

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Смер: Производно машинство

Предмет: Технологије прерада пластичних маса

Број индекса: 400/2018

Александра З. Васић

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**



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

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

Предмет: **Технологије прераде пластичних маса**

Име и презиме: **Александра Васић**

Број индекса: **400/2018**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Термообликовање пластичних маса**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о технологијама термообликовања пластичних маса, алатима, машинама и производима. Потребно је посебно описати технологије обликовања пластичних маса које не користе вакуум. У посебном делу рада извршити моделирање и израду радног стола за загревање припремака од пластичне масе и савијање. На крају рада приказати примере делова добијених савијањем пластичних маса.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Технологије израде делова термообликовањем,
3. Машине и алати за термообликовање,
4. Израда делова савијањем пластичних маса,
5. Пројектовање радног стола за загревање и савијање,
6. Примери производа од пластичних маса добијени савијањем,
7. Закључци,
8. Литература.

Ментор:

Крагујевац, 24.03.2021.

Др Богдан Недић, редовни професор

Резиме: Предмет овог рада је пројектовање радног стола за загревање и савијање пластичних маса. У овом раду дате су основне карактеристике пластичних маса које се користе за термообликовање. Такође, биће дати примери производа од пластичних маса добијени савијањем. Такође, биће описане основне технологије израде делова термообликовањем. Објасниће се алати и машине које се користе за термообликовање, као и поступак израде делова савијањем

Кључне речи: пластичне масе, термообликовање, савијање, акрил (ПММА)

Summary: The subject of this paper is the design of a work table for heating and bending plastics. This paper presents the basic characteristics of plastics used for thermoforming. Also, examples of plastic products obtained by bending will be given. Also, the basic technologies of thermoforming parts will be described. The tools and machines used for thermoforming will be explained, as well as the process of making parts by bending

Keywords: plastics, thermal glare, bending, acrylic (PMMA)

Садржај:

1.	УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
2.	КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛАСТИЧНИХ МАСА КОЈЕ СЕ КОРИСТЕ ЗА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ	4
2.1	Акрил (поли метилметакрилат - <i>PMMA</i>)	9
2.2	Акрилонитрил бутадиен стирен (<i>ABS</i>).....	10
2.3	Целулозни ацетат	11
2.4	Полиетилен мале густине (<i>LDPE</i>)	11
2.5	Полиетилен велике густине (<i>HDPE</i>).....	11
2.6	Полипропилен (<i>PP</i>).....	11
2.7	Полистирен (<i>PS</i>).....	12
2.8	Поливинил хлорид (<i>PVC</i>).....	13
3.	ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗРАДЕ ДЕЛОВА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕМ.....	16
3.1	Слободно обликовање	18
3.2	Обликовање притиском.....	19
3.3	Обликовање помоћу обликача.....	19
3.4	Реверзибилно развлачење	20
3.5	Вакуум термообликовање	21
3.6	Дубоко извлачење помоћу дводелног алата	22
3.7	Вакуумско обликовање са предразвлачењем	23
3.8	Термообликовање у калупу са вакуумским предобликовањем	24
3.9	Механичко термообликовање.....	24
3.10	"Блистер" и "Скин" паковање	25
4.	МАШИНЕ И АЛАТИ ЗА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ.....	26
4.1	Предгрејне коморе	35
4.2	Алати за термообликовање	36
4.3	Вакуум термообликовање применом мембране	39
5.	ИЗРАДА ДЕЛОВА САВИЈАЊЕМ ПЛАСТИЧНИХ МАСА.....	41
5.1	Акрил бендер пресе	45
5.2	Грејачи	47
5.3	Тракасти грејачи	47
5.4	Контактни грејач.....	49
6.	ПРОЈЕКТОВАЊЕ РАДНОГ СТОЛА ЗА ЗАГРЕВАЊЕ И САВИЈАЊЕ.....	51

7. ПРИМЕРИ ПРОИЗВОДА ОД ПЛАСТИЧНИХ МАСА ДОБИЈЕНИ САВИЈАЊЕМ	65
8. ЗАКЉУЧАК	69
9. ЛИТЕРАТУРА.....	71

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Појам пластике се први пут употребио почетком XIX века, а измислио ју је Александар Паркс 1860. године. Пластика је постала популарна тек у последњих неколико деценија и данас се користи као један од најчешћих материјала за индустријске и друге производе.

У прошлости се углавном користила зато што је била јефтина, али данас није тако и њена производња је у великом порасту. Пластика је широко распрострањена и даје велики допринос данашњем начину живота. Користи се у скоро свим областима производње.

Пластика се одликује својом чврстоћом, флексибилношћу, малом тежином и отпорношћу на корозију. Захваљујући овим особинама пластика је отпорна и дуготрајна под различитим условима, такође је биоразградива, под утицајем сунчеве светлости и воде се не распада лако. Пластика је назив за низ синтетичких и полусинтетичких производа полимеризације. Ти производи су лака и провидна једињења која не проводе или тешко проводе струју. Пластика се данас користи највише у ауто индустрији, у производњи намештаја, играчки, протеза, цеви, боја, текстила и дискова (CD и DVD).

Поред пластике, у производњи користе се и други материјали: метал, папир, картон и стакло. Ови материјали најчешће се користе у производњи амбалаже. Амбалажа служи као заштита производа од спољашњих утицаја, као и хемијских, микробиолошких и климатолошких. Заштита коју амбалажа пружа је веома важна за производе прехранбене индустрије. Значај амбалаже у продаји производа је велики као и дизајн саме амбалаже који представља један од њених најважнијих својстава.

Подела амбалаже према основним функцијама:

- Транспортна амбалажа – служи као заштита производа у транспорту и складиштењу од оштећења. Постоје две врсте транспортне амбалаже:
 - спољашња и
 - унутрашња.

Спољашња амбалажа служи као заштита од оштећења, крађа и евентуалног губитка. У ту групу се убрајају: сандуци, контејнери, кутије од картона и др.

Унутрашња амбалажа служи као заштита од корозије и влаге, као и других утицаја из спољашњости.

- Комерцијална амбалажа, која се пакује и продаје директно потрошачу. Паковање обавља произвођач или трговина. Комерцијална амбалажа својим дизајном пласира производ.
- Подела амбалаже према дужини и начину употребе се дели на повратну и неповратну амбалажу.
- Подела амбалаже према материјалу: папирна, картонска, пластична, метална, стаклена, дрвена, текстилна и комбинована од неколико материјала.
- Подела амбалаже према облику: кутије, тубе, кесе, вреће, листови, судови, бурад, фолије и сл.

Данас се за израду амбалаже најчешће користе полимерни материјали. Прва синтеза полимеризације 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.

Особине полимерних материјала, као и једноставност производње предмета од полимерних материјала су карактеристике које су ове материјале уврстиле у најчешће заступљене у савременом свету. Производи од полимерних материјала су самим тим добили борбу и у великој мери смањили примену других материјала, као што је нпр. дрво. Као последица тога, савремени полимерни материјали се све више обогаћују другим материјалима при чему постају квалитетнији и способнији да одговоре најразличитијим захтевима савременог света. Примењују се најчешће за израду амбалажа, у грађевинарству, аутоиндустрији, електроиндустрији, опрему за домаћинство, намештај, медицине, а у све већој мери и за потребе војне индустрије.

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

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 појединици упакованог садржаја, што је несумњива предност са аспекта заштите животне средине. Поред тога, данас су већ развијени технолошки процеси поновне прераде искоришћених полимерних материјала.

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 производи, тако и делови великих димензија.

Термообликовање је процес обликовања претходно загрејане пластике у виду фолије и танких плоча, дебљине од 0,15 до 6 mm. Спада у ред најекономичнијих поступака обраде пластичних маса.

Познавање технологије термообликовања пластичних маса и њихове отпорности на хабање у условима коришћења производа од различитих пластичних маса је неопходно. Правилан избор пластичне масе за конкретан производ је од пресудне важности за његово квалитетно коришћење и опстанак производа на тржишту.

У првом делу рада дата су уводна разматрања, а у другом основне карактеристике пластичних маса које се користе за термообликовање.

У оквиру трећег дела дате су технологије израде делова термообликовањем.

У четвртом поглављу описане су машине и алати који се користе за термообликовање.

У петом делу приказани су примери делова добијени термо савијањем пластичних маса.

У шестом поглављу описан је начин моделирања радног стола за загревање и савијање термопласта. Радни сто је реализован према моделу и приказани су делови направљени помоћу њега.

На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛАСТИЧНИХ МАСА КОЈЕ СЕ КОРИСТЕ ЗА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ

Полимерни материјали су производи хемијске индустрије, који све више дају обележје времену у коме живимо. За мање од једног века, наука је створила много нових материјала од којих човек прави предмете којима се служи. Овакав развој производње и потрошње полимерних материјалапроузрокован је како развојем технологије њихове производње и прераде, тако и проналажењем нових, са аспекта економског гледишта, повољних сировинских извора. [2]

Полимерни материјалису нашли такву примену да је већ сада тешко замислити живот без њих, јер се употребљавају скоро у свим областима човековог живота. Иако не могу да замене све материјале, значај полимерних материјалау човековом животу сваким даном је све већи. Због тога имају све већу вредност, тако да степеном њихове производње почиње да се мери степен животног стандарда у једној земљи. [2]

Полимерни материјали су материјали који садрже полимерно једињење као главни елемент. У одређеним условима производње полимерни материјали се могу обликовати под утицајем притиска и топлоте, да би при хлађењу задржали жељени облик. [2]

Неке од особина полимерних материјала могу бити висока вредност коефицијента линеарног ширења, око 5 до 10 пута већа него код осталих материјала и ниска топлотна проводљивост. На скоро све полимерне материјалене може утицати водена пара, вода, со и киселина, као ни растварачи. Велики недостатак већине полимерних материјала је старење, које се одвија врло споро услед утицаја светлости, кисеоника, топлоте и др. [2]

У највећем броју случајева полимерни материјали се састоје из полимера (синтетичких смола), пунила, пластификатора, боја, а у неким случајевима у састав улазе мазива, стабилизатори, очвршћивачи и катализатори. [3]

Пластификатори су материје у којима се полимери растварају због чега долази до промене њихових механичких особина (повећава се еластичност, али се смањује тврдоћа). [3]

Пластификатори представљају сложена органска једињења, а по агрегатном стању су уљасте течности које имају високе температуре кључања. Пластификатори се додају пластичним масама како би могла да се олакша њихова прерада икако би пластична маса прешла у високопластично стање. Однос пластификатора и полимера може бити и 50:50%. [3]

Стабилизатори представљају супстанце које се полимерима додају како би се спречило њихово старење. [3]

Пунила су супстанце које се додају полимерима како би се побољшале њихове механичке особине и смањила цена коштања. Према хемијском саставу пунила могу бити органског или неорганског порекла. Неорганска пунила смањују запаљивост полимера и утичу на његове електричне особине. Органска пунила делују углавном као очвршћивачи.

Пунила могу бити прашкаста (дрво, кварцно брашно) и слојевита (хартија, метална фолија). [3]

Боје се користе како би се полимерни материјали обојили и добили већу термичку и хемијску стабилност. Боје могу бити органског или неорганског порекла, према хемијском саставу. [3]

Мазива се додају полимерима ради побољшања пластификације и ради елиминисања појаве везивања пластичне масе за алат. [3]

Очвршћивачи делују у смислу омогућавања преласка полимерног материјала у чврсто стање, а овај процес очвршћивања убрзавају катализатори. [3]

Катализатори представљају супстанце којима се смањује временски период очвршћивања пластичне масе. Ови додаци боји садржани су 3-5% у односу на масу полимера. [3]

Основна подела полимењних материјала је на пластичне масе и еластомере. [3]

Пластичне масе су синтетички полимери чији су молекули дуги, линеарни или разгранати ланци. Пластомери подлежу знатно мањем еластичном деформисању. Основно својство пластометра је да загревањем омекшају, а хлађењем очврсну а да не промене своја својства. [3]

Еластомери имају молекуларну структуру и као синтетички материјали у употреби са дуропластима су пуно меканији. Овим начином се постиже одређена еластичност код ових материјала, што омогућава да се након привремене деформације могу вратити у претходни облик. По завршетку финалне обраде (након што очврсну) облик се не може више променити (нпр. аутомобилске гуме). У еластомере се убрајају производи који на температурама блиским нули могу подлећи еластичном деформисању и до 100%. Одличан пример за то је каучук. [3]

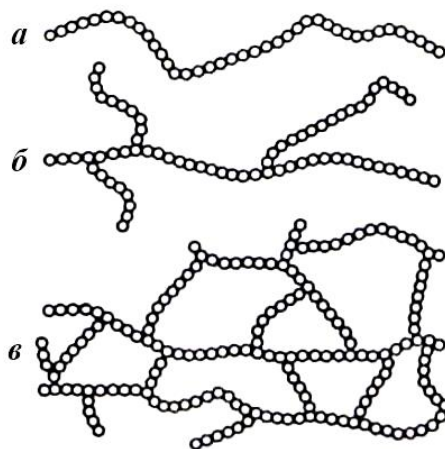
У зависности од понашања на повишеним температурама пластичне масе могу се поделити у две основне групе: [1]

- термопластичне пластичне масе (термопласти) и
- термореактивне пластичне масе (дуропласти) [1]

Термопластични материјали (термопласти) су материјали са линеарном изразгранатом макромолекуларним структурама (слика 2.1). Загревањем до температуре омекшавања или топљења не мењају своју хемијску структуру, тако да њихова прерада представља само реверзибилну промену стања. Под дејством притиска и температуре може им се теоријски неограничено пута мењати облик. Они при загревању омекшавају и постају пластични, а при хлађењу остају у затеченом или задатом стању. Термопласти се могу подвргавати вишестепеном загревању, али не преко температуре растварања и хлађења без значајних промена корисних особина. [1]

У термопластичне материјале спадају: полиетилен, поливинил, поликарбонат, полистирол, полиметакрилат, полифлуоретилени и пластичне масе на бази целулозе. Термопластике представљају полимерне материјале који се враћају у првобитно стање при загревању на собној температури. Обликовање термопластичних маса је лако и од њих се израђују посуде, боце и пластичне фолије, такође су погодни су за облагање хране (стреч

фолија). Ниска цена и функционалне предности су омогућиле употребу пластике у паковању намерница. [1]



Слика 2.1: Општи изглед макромолекула, а) линеарни, б) разгранати, в) мрежастиполимер [1]

У термопластичне материјале спадају: полиетилени, поливинили, поликарбонати, полистироли, полиметакрилати, полифлуоретилени и пластичне масе на бази целулозе. Термопластике представљају полимерне материјале који се враћају у првобитно стање при загревању на собној температури. Обликовање термопластичних маса је лако и од њих се израђују посуде, боце и пластичне фолије, такође су погодни су за облагање хране (стреч фолија). [1]

Термореактивни материјали (дуропласти) су пластичне масе са густо просторно умреженом макромолекуларном структуром. Поседују повећану чврстоћу, амеханичка 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. Имају ограничену способност мењања облика под дејством виших температура и притиска. Ови материјали кад се једном загреју до одређене температуре прелазе у нерастворљиво стање. У ову групу спадају: фенопласти, аминопласти, епоксиди, алкиди, силикони, незасићени полистри и казеинске пластичне масе. Због повећане чврстоће и издржљивости најчешће се употребљавају у аутомобилској индустрији. [1]

На слици 2.2 и 2.3 приказани су најчешће коришћени производи од пластичних маса за паковање намирница.



Слика 2.2.: Полиолефин, пример паковања намирница[3]

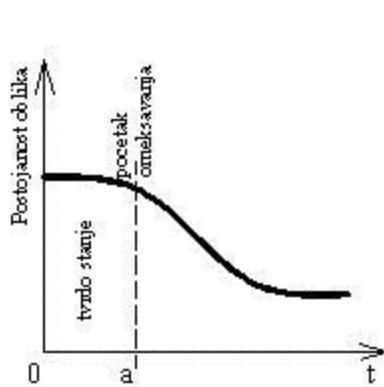


Слика 2.3: Полиестер, посуде за одлагање намирница[3]

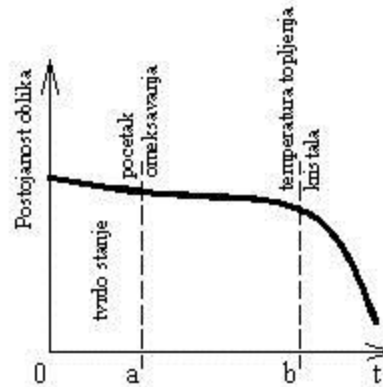
Термообликовањем се обликују пре свега термопласти који на собној температури у облику припремка (полуфабриката) имају тврдоћу као коначни производ. То су, на пример, полистирен (РС) (масиван или пенаст), термополимер акрил будадијен стирен (АВС), целулозни ацетат (СА), поливинил хлорид (PVC) и др. Да би се термопласти прерађивали овом технологијом потребно је добро познавање понашања материјала према топлоти. [4]

Термопласт (од старогрчког: θερμός термós = топло, вруче и πλάσσειν плáссеин = обликовати), или пластомер је пластика, која се код одређене температуре може обликовати. Овај је поступак реверзибилан. Може се хлађењем и поновним загревањем поновити онолико пута колико док га се не прегреје и настане такозвана термичка разградња. Још једна јединствена значајка термопластике је могућност заваривања. [3]

Термопластични полимери нису отпорни на повишене температуре, па кад загреју постану погодни за обликовање, а затим као течност погодни за убризгавање. Након хлађења, смеша стврдне и задржава задати облик. Термопластични материјали могу се рециклирати. [3]



Слика 2.4: Дијаграм промене облика постојаност аморфних термопласта у зависности од температуре[3]



Слика 2.5: Утицај температуре на кристалне структуре

Код прераде термопласта разликују се прерада аморфних и кристалних термопласта. Промена облика аморфних термопласта у зависности од температуре дата је дијаграмом на слици 2.4. Пад вискозитета зависи од односа дужине и пречника макромолекула. Прерада термопласта се врши при вишој температури и нижем вискозитету. Појава унутрашњих напрезања у готовом производу се спречава наглим хлађењем. Методе које се користе за прераду аморфних термопласта су: каландровање, екструзија, ливење под притиском и пресовање. [3]

Делимично кристални термопласти се при повећању температуре понашају као аморфни, али тек када достигну температуру топљења кристала долази до наглог пада вискозитета. Материјал до температуре а је у чврстом стању. У области од а до б материјал омекшава, а повећањем температуре преко б (температура топљења кристала) настаје нагли пад вискозитета. Од тада се понашају као аморфни термопласти. [3]

Кристални термопласти имају низак вискозитет, па се тако могу прерађивати: ливењем, уроњавањем, синтеровањем и шприцањем. Ваљање и каландровање се тешко изводи тако да се ова два поступка не примењују. [3]

Већина термопластике има високу молекулску тежину. Полимерни ланци се повезују међумолекуларним силама, које брзо слабе са повишеном температуром, дајући вискозну течност. У овом стању, термопластика се може преобликовати и обично се користи за производњу делова различитим техникама обраде полимера као што су ињекционо пресовање, пресовање под притиском, каландрирање и екструзија. [2]

Термоформирање описује поступак загревања термопластичног лима до његове тачке омекшавања, истезања преко или у једнострану калуп и задржавања на месту док се хлади и учвршћује у жељени облик. Термопластични лим се стегне у држач и загрева се у рерни помоћу конвекционе или зрачеће топлоте док не омекша.

Затим се лист држи водоравно преко калупа и притиска у њега или се протеже преко калупа помоћу притиска вакуума, ваздушног притиска или механичке силе. Омекшани лим одговара облику калупа и држи се на месту док се не охлади. Затим се вишак материјала обреже и формирани део се ослобађа. [4]

Вишак материјала може се избрусити, помешати са неискоришћеном пластиком и преобликовати у термопластичне листове. [4]

Термоформирање се обично користи за паковање хране, али има много примена од пластичних играчака до ветробранских стакала авиона до тацни у кафетеријама. Листови танког профила (мање од 0,060 инча) углавном се користе за круту амбалажу или за једнократну употребу, док се листови дебелог профила (већи од 0,120 инча) обично користе за козметичке трајне површине на аутомобилима, туш кабинама и електронској опреми. [4]

У овом процесу могу се користити различити термопластични материјали, укључујући следеће:

- **Акрил (PMMA)**
- Акрилонитрил бутadiен стирен (ABS)
- Целулозни ацетат
- Полиетилен мале густине (LDPE)
- Полиетилен велике густине (HDPE)
- Полипропилен (PP)
- Полистирен (PS)
- Поливинил хлорид (PVC) [2]

2.1 Акрил (поли метилметакрилат - PMMA)

Данашња индустрија акрила се може поделити на два различита тржишта од више милијарди долара: са једне стране је тржиште полиакрилних киселина (PAA) и његових деривата естарских деривата (PAC), са друге стране је тржиште поли (метил метакрилата) (PMMA). PMMA је познат и под трговачким именима као што су Lucite, Perspex и Plexiglas. Служи као чврста замена за стакло за предмете као што су акваријуми, визири за мотоциклистичке kacиге, прозори авиона, окна за подморнице, сочива спољних светла аутомобила и др. Значајно се користи за израду знакова, укључујући натписе и логотипе. У медицини се користи у цементу костију и за замену очних сочива. Акрилна боја састоји се од честица PMMA суспендованих у води. [2]

Табела 2.1. Важније физичке карактеристике *PMMA*[2]

Карактеристика	Јединица	<i>PMMA</i>
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

PMMA се обликује бризгањем, екструдирањем, ливењем, дувањем. Плоче се лакообликују вакуумирају и метализирају. Може се лепити изаваривати ултразвуком, а лако се обрађује разним механичким поступцима. [2]

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 може употребљавати у облику раствора или суспензија за лакове, боје, лепак, текстилне апликације, као и у кожарској, папирној и осталим индустријама. [2]

2.2 Акрилонитрил бутадиен стирен (ABS)

Акрилонитрил бутадиен стирен (ABS) је термополимер синтетисан из стирена и акрилонитрила у присуству полибутадиена. ABS је лаган материјал који показује високу отпорност на ударце и механичку жилавост. При нормалном руковању представља мало ризика за људско здравље. Користи се у многим потрошачким производима, као што су играчке, уређаји и телефони. [2]

2.3 Целулозни ацетат

Целулозни ацетат је ацетатни естар целулозе. Први пут је припремљен 1865. Целулозни ацетат се користи као филмска основа у фотографији, као компонента у неким облогама и као материјал за оквир наочара; користи се и као синтетичко влакно у производњи филтера за цигарете и играње карата. У фотографском филму, целулозни ацетат је заменио нитратни филм педесетих година прошлог века, био је далеко мање запаљив и јефтинији за производњу. [2]

2.4 Полиетилен мале густине (LDPE)

Густина полиетилена ниске густине износи од 0,915 до 0,935 g/cm³. Оно омекшава већ на температури од 85 до 87 °C, а почиње се топити на ~110 °C. То је жиљав материјал високог модула еластичности, воскасте конзистенције и непотпуне прозирности. [2]

Прерађује се екструдирањем, дувањем, вакуумирањем, ротоливењем, пресовањем и заваривањем. Тешко се лепи. [2]

2.5 Полиетилен велике 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. [2]

2.6 Полипропилен (PP)

Полипропилен (PP) је користан за тако разнолике производе као што су пластичне посуде за храну за виšekратну употребу, пластичне посуде за микроталасну и машину за прање судова, облоге пелена, облоге и кућишта санитарних уложака, ужад, теписи, пластичне лајсне, цевни системи, аутомобилске батерије, изолација за електричне каблови и филтери за гасове и течности. [2]

У медицини се користи у лечењу кила и за израду медицинске опреме отпорне на топлоту. Полипропиленски листови се користе за фасцикле за папире и амбалажу и чисте канте за складиштење. Полипропилен је дефинисан пластиком која се може рециклирати. Иако је релативно инертан, осетљив је на ултраљубичасто зрачење и може се знатно разградити на директној сунчевој светлости. Полипропилен није отпоран на удар као полиетилени (HDPE, LDPE). Такође је донекле пропусан за врло испарљиве гасове и течности. [2]

PP се успешно прерађује пресовањем, екструдирањем (плоче, шипке, профили, цеви, облагање каблова, траке за палете, текстилна влакна), каландрирањем, термоформирањем, ротоливењем, дувањем и бризгањем. Заварује се ултразвуком. [2]

Табела 2.2. Важније физичке карактеристике полипропилена[2]

Карактеристика	Јединица	PP
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	12·10 ⁻⁴
Коефицијент топлотног ширења	1/K	(8.1-10)·10 ⁻⁵
Температура употребе	°C	max 125
Температура омекшања	°C	150-155
Температура топљења	°C	160-170

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 PP-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. [2]

2.7 Полистирен (PS)

Полистирен се производи у различитим облицима који имају различите примене. Екструдирани полистирен (PS) се користи у производњи прибора за јело за једнократну употребу, кућишта за CD и DVD, пластичних модела аутомобила и чамаца и кућишта детектора дима. Експандирана полистиренска пена (EPS) користи се за израду изолационих и амбалажних материјала, као што су „кикирики“ и обликована пена која се

користи за ублажавање крхких производа. Полистиренски кополимери се користе у производњи играчака и кућишта производа. [2]

PS се прерађује бризгањем, дувањем, екструдирањем. Може се лепити, вакуумирати и заваривати. Полупроизводи могу се лако механички обрађивати, такође и метализирати. *PS* има одличне механичке и топлотне особине, као и димензиону стабилност. Од посебне важности је сушењееовог термопласта и прерада у сувом стању. Гранулат не сме бити прашњав или прљав. [2]

Табела 2.3: Важније физичке карактеристике *PS*-а[2]

Карактеристика	Је диница	<i>PS</i>
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

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. [2]

2.8 Поливинил хлорид (*PVC*)

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* је између -30°C и 80°C . Основна карактеристика *PVC* је термопластичност (табела 2.4). 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. [2]

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. [2]

Табела 2.4. Важније физичке карактеристике *PVC*-а[2]

Карактеристика	Јединица	<i>PVC</i> тврд	<i>PVC</i> 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	$(15-20) \cdot 10^{-4}$	$(13-17) \cdot 10^{-4}$
Коефицијент топлотног ширења	$1/\text{K}$	$(5-10) \cdot 10^{-5}$	$(7-25) \cdot 10^{-5}$
Температура употребе	$^{\circ}\text{C}$	max 65/80	max 50/75
Температура омекшања	$^{\circ}\text{C}$		
Температура топљења	$^{\circ}\text{C}$	80-85	75-80

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. [2]

Највећи *PVC* прерађује се каландрирањем за израду флексибилних фолија, екструдирањем и бризгањем. Заварује се ултразвуком. [2]

У аутомобилској индустрији за израду пресвлака, готовоје 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. [2]

3. ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗРАДЕ ДЕЛОВА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕМ

Термообликовање је производни поступак где се пластични лим загрева на савитљиву температуру формирања, обликује у одређени облик у калупу и обрезаје да би се створио употребљив производ. Лист, или "филм" када се говори о тањим мерачима и одређеним врстама материјала, загрева се у рерни на довољно високу температуру која омогућава да се развуче у калуп или на њега и охлади до готовог облика. [7]

У свом најједноставнијем облику, мала машина за стол или лабораторију може се користити за загревање ситно исечених делова пластичног лима и истезање преко калупа помоћу вакуума. Ова метода се често користи за узорке и прототипове. У сложеним и обимним апликацијама, веома велике производне машине се користе за загревање и обликовање пластичног лима и обрезивање формираних делова са лима у континуираном процесу велике брзине и могу произвести хиљаде готових делова на сат у зависности од машине и величина калупа и величина делова који се формирају. Припремци за термообликовање су у облику трака, фолија и плоча исечених на одговарајућу димензију. [7]

Термоформирање се разликује од бризгања, дувања, ротационог ливења и других облика прераде пластике. Од танких фолије се термоформирањем првенствено производе чаше, амбалажа, поклопци, тацне и других производа за прехранбену, медицинску и општу намену, за производе који се налазе у малопродаји. [7]

Већина компанија за термоформирање рециклира свој отпад од пластике, компресовањем у машини за балирање или уношењем у гранулатор (млин) и производњом млевене љуспица, за продају предузећима за прераду или поновну употребу у сопственом погону. Отпад и отпадна пластика из процеса термоформирања често се претварају назад у екструдирану фолију за поновно обликовање.

Термообликовање се изводи на припремцима у термоеластичном (гумастом) стању, за разлику од поступака као што су екстудирање, бризгање, пресовање где се обликовање врши у термопластичном стању. Оваква обрада омогућује брзо хлађење производа. [7]

У термоеластичном стању ланчани молекули имају извесну покретљивост и деловањем механичке силе може доћи до њиховог кретања а да при томе структура материјала углавном остаје непромењена. [7]

Највећа могућност промене облика термообликовањем постиже се непосредно изнад температуре омекшавања (T_g). На нижим температурама материјал је крт, а на вишим температурама постаје пластичан. У поређењу са металима сила преобликовања је знатно мања, због чега се могу користити алати знатно нижих механичких карактеристика (нпр. алати од легура алуминијума и сл.) [7]

Фолије или танке плоче од термопластичних материјала се постављају на једноставне алате, на њих се учвршћују тако да нема размака између фолије и алата. Загревањем фолије до температуре омекшавања и стварањем вакуума у алату испод фолије, долази до истезања материјала фолије и њеног прилагођавања површини алата. Након престанка загревања долази брзо до хлађења дела и скидања са алата. Након што се добијени део уклони, одстрани се вишак материјала сечењем, чиме се добија готов део. Као алтернатива, уместо примене вакуума између алата и фолије, може се користити извлакач којим се притиска загрејана фолија. [7]

Због веома малих сила потребних за термообликовање за израду алата се могу користити различити материјали. За пробе и мале серије се могу користити алати од гипса ојачаног стакленим влакнима, дрвета, медијапана и сл. За веће серије најчешће се користе алати од легура алуминијума с' обзиром на њихову топлотну проводљивост и једноставну обраду. За велике серије и масовну производњу због велике постојаности алата се праве од термички обрађеног челика. [6]

Постоји велики број поступака термообликовања зависно од врсте примењеног уређаја и начина оптерећења при обликовању. Оптерећење се може вршити уз помоћ:

- Слободног истезања,
- Елемената алата,
- Притиска флуида,
- Вакуума и
- Комбиновано. [6]

Предности термообликовања:

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

Недостаци термообликовања:

1. велика количина отпадног материјала који настаје због потребног држања а затим опсецања обратка. Овај отпадни материјал се по правилу рециклира,
2. висока цена полазног материјала (плоче, траке, фолије),
3. лимитирани облици обратка, могућа је производња делова углавном отворених облике. Израда делова са оштрим ивицама и променљивим дебљинама материјала је веома отежана а некада и немогућа, и
4. у неким случајевима код термообликовања долази до заосталих унутрашњих напона у материјалу, што може бити лимитирајући фактор. [6]

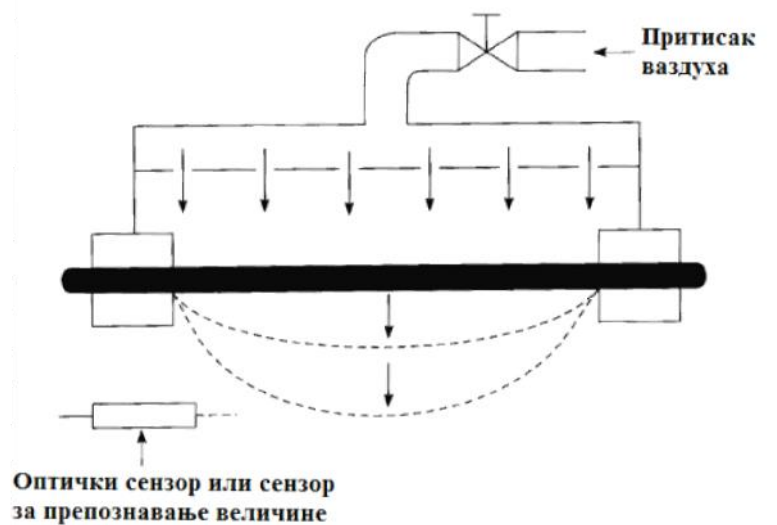
При термообликовању врши се једнолико загревање полуфабриката на оптималну температуру да би се превео у термоеластично стање у коме се дејством оптерећења врши деформисање, а затим хлађење са алатом при чему производ добија коначни облик. Грејање се врши помоћу грејача (најчешће инфрацрвених грејача), или у воденом или другом купатилу. [6]

Разликују се два поступка термообликовања:

- савијање и
- дубоко извлачење.
 - помоћу матрице,
 - помоћу калупа и
 - вакуум термообликовање. [6]

3.1 Слободно обликовање

Слободно обликовање је термичко обликовање без алата. Карактеристично за производе са високим оптичким својствима, јер употреба алата у том случају није погодна. Предмет који се обликује се хвата у рам алата и обликује дејством силе ваздуха под притиском са једне стране плоче. Плоча на тај начин добија облик мехура, чије се димензије контролишу електронски. Облик који се добија на тај начин зависи само од рама, тј. држача и оствареног притиска ваздуха. Најчешћи облик држача је кружни облик, сферичан. [6]



Слика 3.1.1: Слободно обликовање[6]

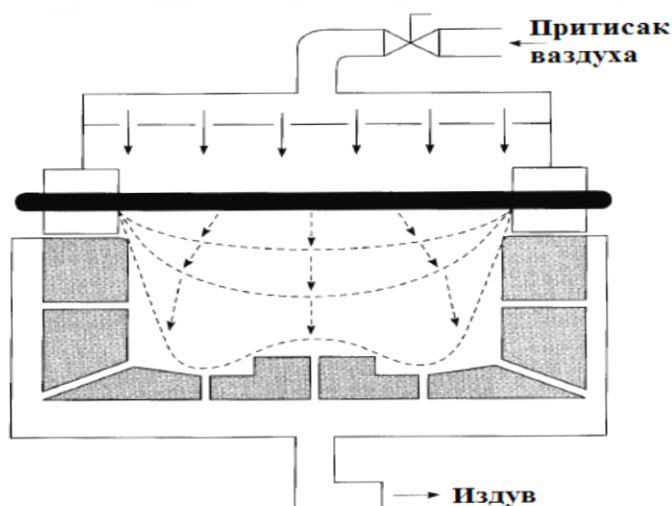


Слика 3.1.2: Пример делова од поликарбоната[6]

Дијапазон облика обрадака добијених слободним обликовањем је веома сужен у односу на обликовање помоћу калупа. Ако је држач у облику кружног прстена, обрадак је сферичан а ако је држач у облику сузе обрадак ће бити издужен и аеродинамичан, нпр. ветробран тркачког аутомобила има облик сузе и мора имати добра оптичка својства. [6]

3.2 Обликовање притиском

У овом случају се материјал такође поставља у покретне рамове и једино могуће кретање је вертикално, заједно са рамом. Материјал се загрева и прелази у стање погодно за обликовање. Када се оствари чврста веза између калупа и рама између којих је фолија или проца, на горњу површину фолије (плоче) делује сила ваздуха под притиском, која је усмерава према дну калупа. На тај начин се фолија приљубљује уз дно и зидове калупа. Тај притисак је приближно 1 до 2 бара, а услов за успешно обликовање је велика брзина обликовања, услед чега неће доћи до хлађења плоче и проблема при обликовању. [6]



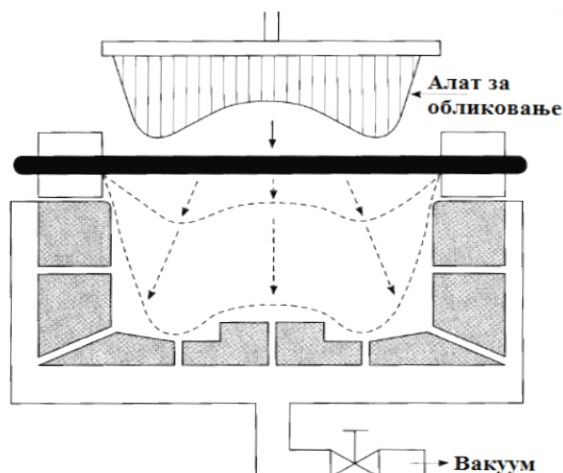
Слика 3.2: Обликовање притиском[6]

Како би се олакшало обликовање и избегла појава контра притиска, тј. супротстављање притисака са доње стране фолије (плоче), на зидовима калупа постоје отвори кроз које се истискује ваздух који је заробљен између фолије (плоче) и зидова калупа. [6]

3.3 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. [6]

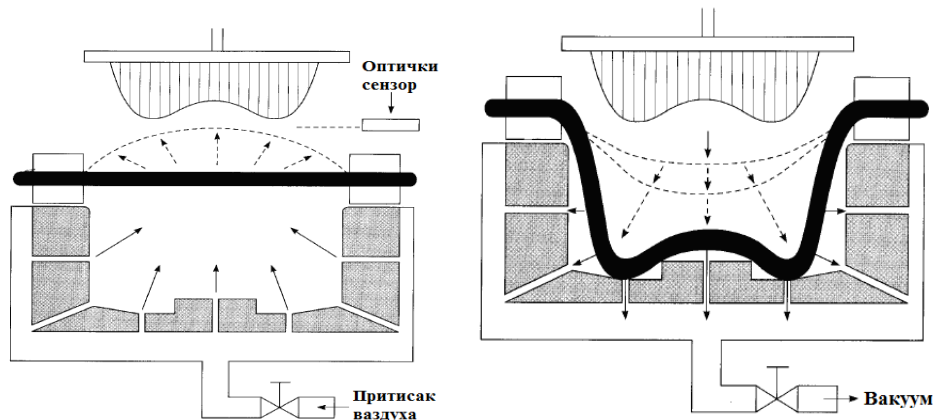
Главна предност овог поступка је униформност дебљине зида обратка, која код вакуума и притисног обликовања није присутна. Чврст обликач омогућује да се материјал пребаци у зону отежаног течења, те на тај начин обезбеди потребну дебљину обратка. Обликач нема улогу потпуног дефинисања облика обратка већ само помаже правилном усмеравању деформисања и течења материјала. Облик обратка одређен је вакуумом и калупом. Обликач се израђује од метала, дрвета, термопластике. [6]



Слика 3.3: Обликовање помоћу обликача[6]

3.4 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 и даље стањује. Деловањем вакуума формира се финални облик обратка. [6]



Слика 3.4: Реверзибилно развлачење[6]

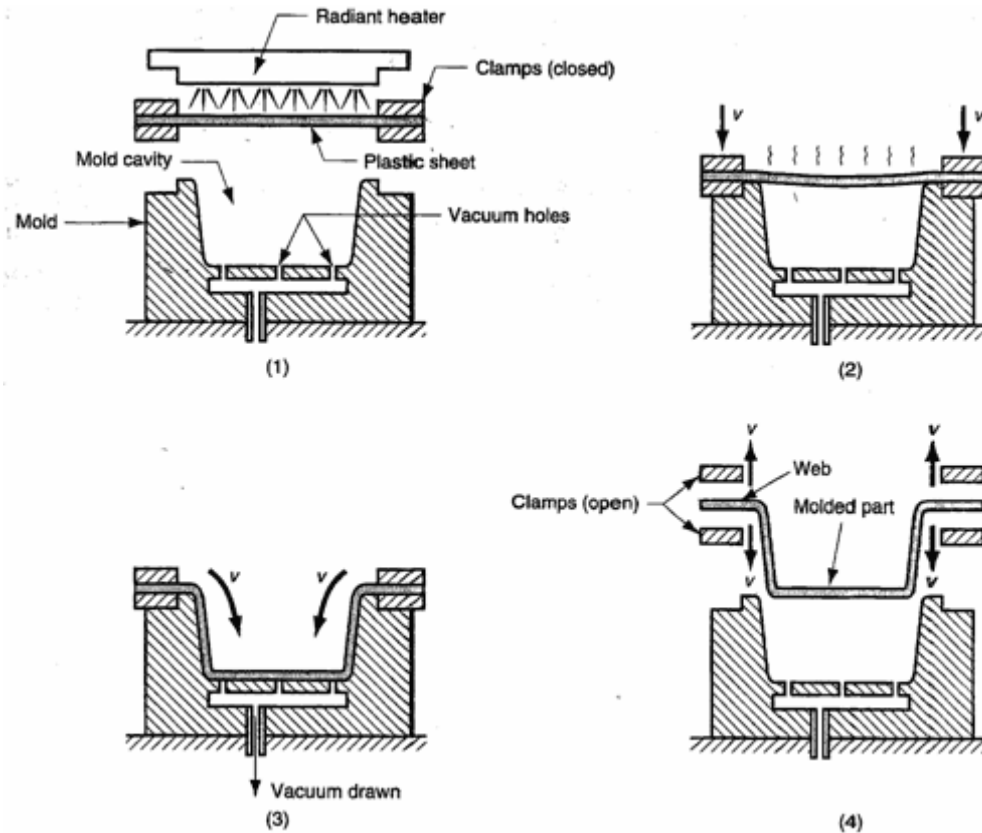
Предност овог поступка у односу на претходни је боља контрола дебљине зида обратка. Недостатак овог процеса је дужи радни циклус. [6]

Фино подешавање дебљине обратка врши се:

- варирањем температуре обраде,
- варирањем димензија обратка у првој фази,
- димензијама обликача (чепа),
- обликом обликача (чепа),
- брзином кретања обликача. [6]

3.5 Вакуум термообликовање

Овај поступак је један од најзаступљенијих поступака прераде термопласта. Заједно са поступком дувања шупљих тела, овај поступак је највише заступљен за израду амбалаже различите намене. Поступком се могу производити како делови малих димензија и дебљина тако и делови великих димензија. Као један од најважнијих поступак прераде пластичних маса усавршен је и високо аутоматизован. [6]



Слика 3.5: Вакуум термообликовање[6]

Припремак у облику плоче одговарајућих димензија поставља се на рам који чврсто стеже материјал. Материјал се загрева док не омекша, након чега се рам са обратком чврсто поставља на алат за обликовање. Дејством вакуума долази до приљубљивање материјала уз зидове алата. Овај начин обликовања се користи у случају када је потребно на обратку постићи fine детаље са стране алата. [6]

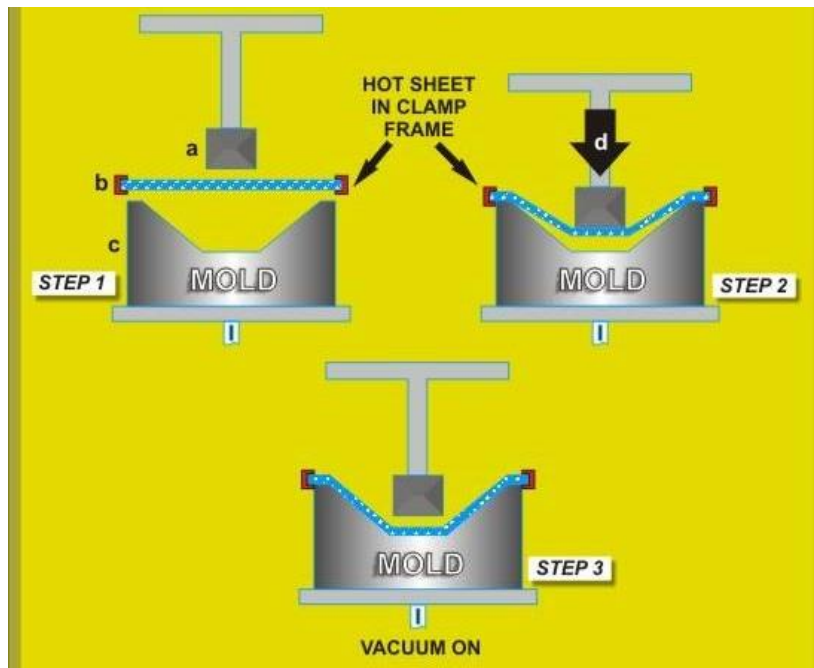
Код вакуум термообликовања у пракси се примењују два основна поступка:

- поступак са негативним алатом и
- поступак са позитивним алатом. [6]

Код поступка са негативним алатом, слика 3.5. деловањем вакуума долази до увлачења загрејаног материјала у калупну шупљину. Дубина увлачења је ограничена због знатних локалних смањења дебљине зидова коначног производа. [6]

Локална смањења дебљине зида производа се могу умањити механичким предизвлачењем помоћу посебних трнова - извлакача. Њиховом применом се могу

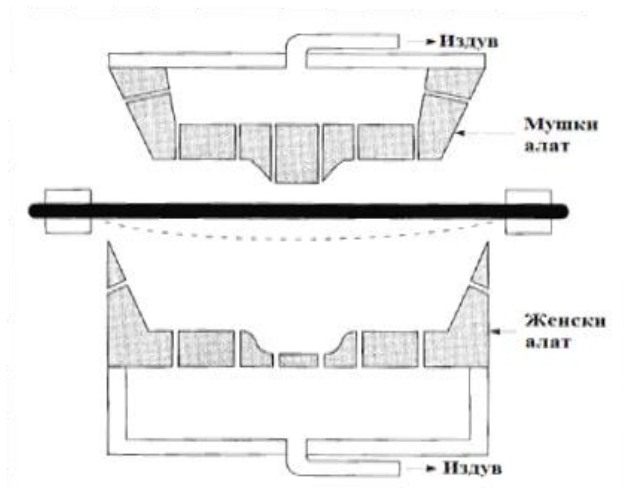
постићи и знатно веће дубине извлачења. На слици 3.6 је приказана примена трна за предизвлачење. [6]



Слика 3.6: Примена трна за предизвлачење[6]

3.6 Дубоко извлачење помоћу дводелног алата

Овај поступак се често назива механичко термообликовање извлачењем. Користи се дводелни алат са матрицом и обликачем који врше деформисање загрејаног материјала од термопласта присиљавајући га да поприми жељени облик. Предности овог поступка су могућност добијања прецизних димензија дела и утискивања рељефа на обе површине дела. Недостатак је сложен алат са матрицом и обликачем и висока цена, слика 3.7. [6]



Слика 3.7: Дубоко извлачење помоћу дводелног алата[6]

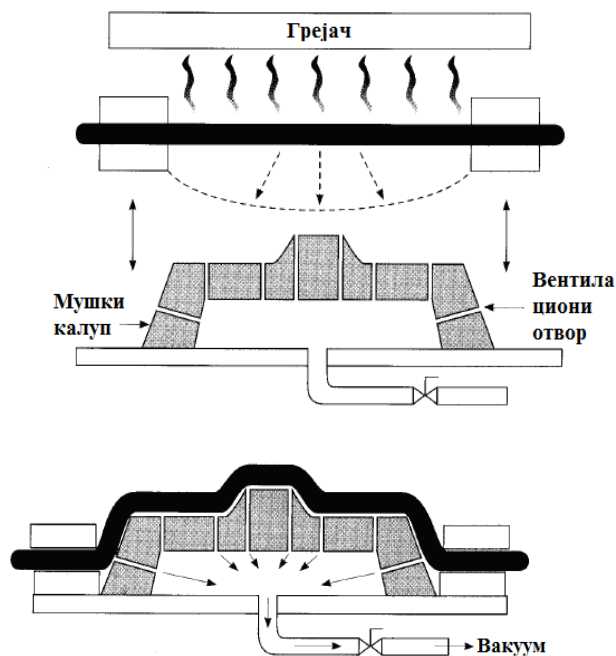
Пре извлачења потребно је загревање материјала од термопласта и алат и извршити постављање, позиционирање и стезање у алату, што додатно усложњава овај поступак. [6]

Овај поступак се користи код производње неправилних делова великих димензија, сложеног облика високе тачности, при чему је потребно да дебљина зида готовог производа буде иста као дебљина полазног материјала. Отвори у матрици и обликачу омогућају одвођење заробљеног ваздуха. Притисак обликовања је знатно виши у односу на друге поступке топлог обликовања, али је знатно нижи у односу на инјекционо или компресионо пресовање. Обликовање дводелним алатом примењује се за делове са мањом дубином извлачења. [6]

3.7 Вакуумско обликовање са предразвлачењем

Код оваквог поступка обликовања загрејани припремак ствара висећи облик мехура, а затим се формирање завршног облика обратка остварује помоћу обликача (мушког) и вакуума, слика 3.8. [6]

Овај поступак може да се комбинује са поступком биаксијалне оријентације материјала, а у том случају се развлачење материјала врши ван држача непосредно пре постављања 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. [6]



а) загревање

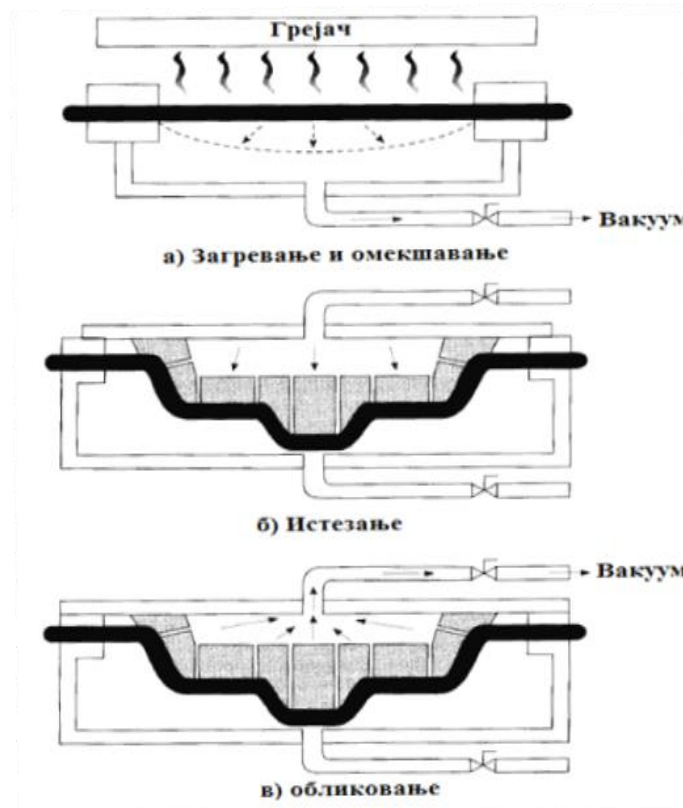
б) обликовање

Слика 3.8: Вакуумско обликовање са предразвлачењем[6]

Главна предност овог поступка је већи однос извлачења у односу на обликовање помоћу калупа. Друга предност је мања цена обликача на цену калупа. 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. [6]

3.8 Термообликовање у калупу са вакуумским предобликовањем

Ово обликовање је варијанта претходне обраде с тим што се развлачење остварује вакуумски, слика 3.9. [6]



Слика 3.9: Термообликовање у калупу са вакуумским предобликовањем[6]

Главна предност овог поступка је униформност дебљине зида обратка, која код вакуума и притисног обликовања није присутна. [6]

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. [6]

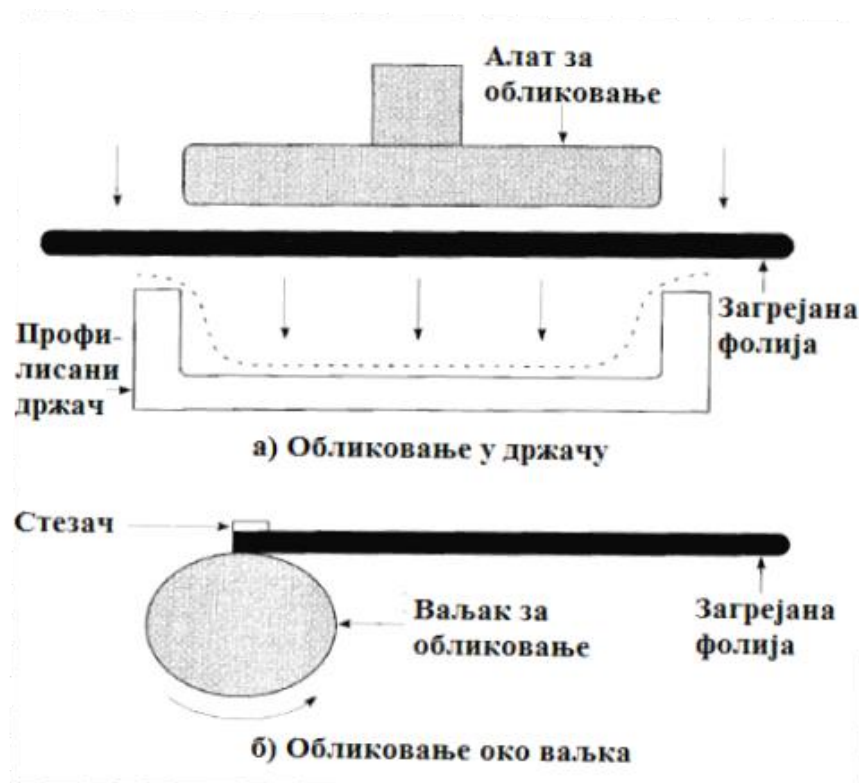
Финална фаза обликовања је обликовање вакуумом. Хлађење обратка је последња фаза обраде а изводи се у калупу. Овај поступак омогућује производњу обратка сложених облика и добру контролу дебљине обратка. [6]

3.9 Механичко термообликовање

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. [6]

На слици 3.10а 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. [6]

На слици 3.10б 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. [6]



Слика 3.10: Механичко термообликовање[6]

3.10 "Блистер" и "Скин" паковање

"Блистер" и "скин" паковања користи се у медицини и малопродаји за паковање производа малих димензија. У оба случаја паковања производ се налази између две фолије од којих је једна обично провидна или се поставља између картонске подлоге и фолије. [6]

"Блистер" паковање врши се топлим обликовањем фолије која је од прозирне пластика. Алат за израду блистер паковања је калуп са више гнезда. Обликовање блистера обично се врши вакуумом код мањих дубина. Након обликовања већег броја гнезда, следи пуњење блистера производима који се пакују. Након тога се ставља покривна фолија или картон која се лепи на блистер. На крају се врши одсецање на жељену димензију. Упаковани производи у блистеру имају могућност одређеног померања, али се не могу једноставно без оштећења паковања узети. Други поступак "Блистер" паковања је да се вакуум термообликовањем добијају појединачни облици у које се врши паковање производа. Производ се може вадити и поново враћати у "блистер" паковање. [6]

Код "скин" паковања производ се поставља на фолију или картонску подлогу. Након тога се преко производа поставља фолија која се загрева и вакуумом приљубљује уз производ. Након тога се врши исецање упакованих делова. Овај поступак је јефтинији. Код овог поступка производ се не може померати унутар паковања. [6]

4. МАШИНЕ И АЛАТИ ЗА ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ

Термообликовање је производни поступак обликовања термопластичних фолија или танких плоча. Термообликовање је једноставнија технологија од других поступака (нпр. екструдирања, инјекционог или компресионог пресовања), а опрема је једноставнија и јефтинија. Машине за вакуум – термообликовање врше обраду термопластичних материјала различитих димензија и различите дебљине. Материјали који се користе могу бити: PP, PS, HIPS, PET, PLA, PVC. [10]

Запослени намотавају ролну пластичног лима или филма на постоље термоформера са ваљком и затим га провлаче кроз крајње ваљке за увлачење. Када се машина активира, пластични лим или филм се постављају у рерну за загревање, а затим у станицу за формирање где се формирају делови, а затим напредују до трим станице. [10]

Опрема за термообликовање варира у сложености, величини и цени од произвођача до произвођача и креће се од једноставних јефтиних полуаутоматизованих машина до високо аутоматизованих система. [10]

Постоје два типа термообликовања: [8]

- 1) Линијско термообликовање - где се лист пластике доводи из екструдера у пећницу помоћу вођице и система ометања. (Опасности које могу бити повезане са поступком екструзије нису обрађене у овом модулу.)
- 2) Термоформирање са ваљком - Термоформирање са ваљком (слика 4.1) где се лист пластике увлачи из ролне у пећ. Следеће илуструју подручја у којима се могу пронаћи потенцијалне опасности и могу применити могућа решења када се користе машине за термоформирање.

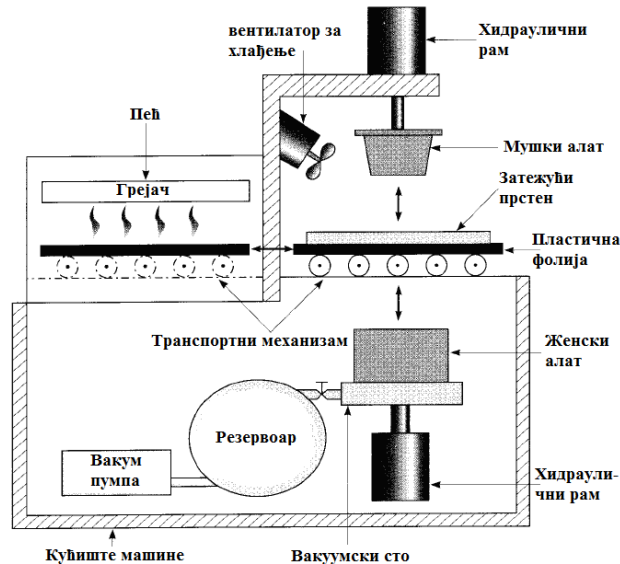


Слика 4.1. Термоформирање са ваљком[8]

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. [8]

Међутим све ове машине да имају следеће функције:

- загревање фолије
- држање фолије
- транспорт (померање) фолије
- обликовање у одговарајућем калупу [9]



Слика 4.2: Машина за термообликовање са једном позицијом[8]

На слици 4.2 приказана је једна машина за топло обликовање са једном радном позицијом. 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 припремке. [8]

Грејачи су обично постављени у један затворен простор и чине фуруну. 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]

Постоје доста различитих машина које се могу користити за термообликовање пластичних маса, ово су примери неких машина које се користе:

KMS600

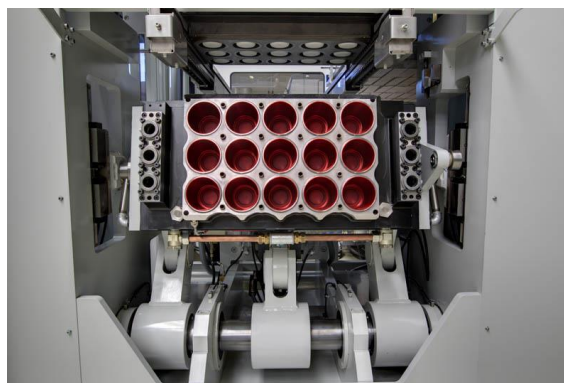
KMS600 је машина за термообликовање (Слика 4.3) високог капацитета намењена предузећима која захтевају велике капацитете, са 3 до 5 редова калупа. Ово је МЕАФ-ова машина за термообликовање која комбинује технологију опуштања са линеарно вођеним погоном, што чини KMS600 поузданом, јефтином за одржавање и издржљивом машином. Идеална је за средња и велика предузећа која захтевају већи капацитет (до 70000 комада/сату) и ефикасност. [9]



Слика 4.3: KMS600[9]

Предности ових 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. [9]



Слика 4.4: Изглед калупа за термообликовање на машини KMS600[9]

Табела 4.1: Карактеристике машине KMS600[9]

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 машина за термообликовање 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. [9]



Слика 4.5: BMS700[9]

Табела 4.2: Карактеристике машине BMS700 [9]

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 машина предвиђена за предузећа која захтевају мањи капацитет, са једноредним калупом. Такође, може бити идеална за мању производњу или пробни рад. [9]

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. [9]



Слика 4.6: BMS500[9]

Табела 4.3: Карактеристике машине BMS500[9]

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/х) и са једноредним калупом за мали обим производње. [9]

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. [9]



Слика 4.7: CM420[9]

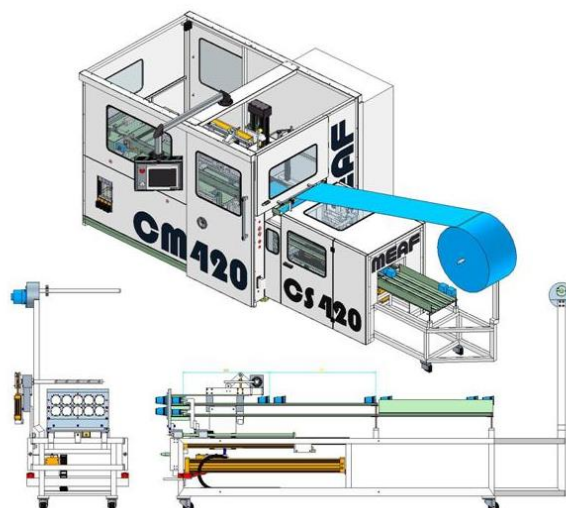
Табела 4.4: Карактеристике машине CM420[9]

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

Предности ових машина CM420 је то што 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. [9]



Слика 4.8: Изометриски поглед моделиране машине CM420[9]

Главне операције које се изводе на овим машинама су:

1. загревање,
2. обликовање помоћу вакуума и
3. хлађење готовог облика. [9]

На слици 4.9 приказано је неколико примера производа добијених на овим машинама.



Слика 4.9: Готови производи[9]



Слика 4.10: Машина за појединачну и малосеријску израду делова од фолије сечених формата, формата А3, на посебној машини се врши опсецање[11]



Слика 4.11: Машина за серијску и аутоматску израду делова од фолије из ролне, машина располаже са аутоматским опсецањем готовог производа и намотавањем отпадног материјала[11]



Слика 4.12: Машина за малосеријску израду делова од фолије сечених формата формата А0, на посебној машини се врши [11]

4.1 Предгрејне коморе

Одређени типови фолије захтевају додатно догревање поред типичног загревања у термоформинг машинама (на пример PP). Решење за овај проблем је примењивање предгрејне коморе која се поставља између уређаја за одмотавање фолије и машине за термообликовање. [9]

Када се ради о већим машинама као што су нпр. KMS600, којима је потребан додатан капацитет и брже догревање и транспорт фолије, предгрејна комора од 46 kW је потребна. [9]

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 фрекветних претварача
- Аларм индикација када пластична ролна празна. [9]

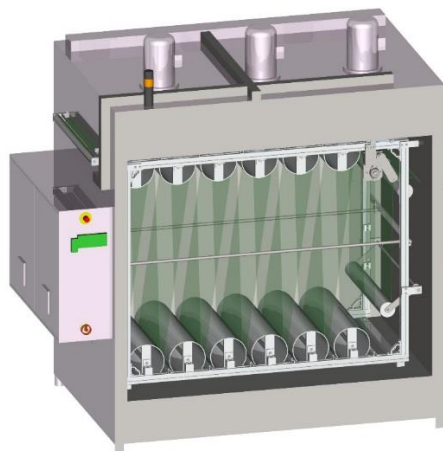


Слика 4.1.1: Спољни изглед предгрејне коморе[9]

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 PP фолије опушта и температура PP фолије се повећава. Ово додатно загревање 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. [9]

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 претвараача 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. [9]



Слика 4.1.2: Унутрашњи изглед предгрејне коморе[9]

4.2 Алати за термообликовање

Алати за термообликовање су знатно јефтинији од алата који се користе за бризгање. За израду прототипа делова користе се алати од дрвета, епоксида или других јефтиних материјала. Производни алат за термообликовање пластике израђен је од ливеног или обрађеног алуминијума, лаганог и релативно јефтиног метала са добром топлотном проводљивошћу за ефикасан пренос топлоте. [12]

Сви пројекти термообликовања почињу са избором правих алата. Алат је најважнији фактор у производњи квалитетног термообликованог производа. Прави алат за термообликовање може створити оштре линије, ивице, текстуру и остале детаље који остају доследни од комада до дела. [12]

Постоји неколико фактора које треба узети у обзир приликом одлучивања о најбољој врсти алата који ће се користити за термообликовање, као што су:

- компатибилност материјала,
- количина производње и
- величина дела. [12]



Слика 4.2.1: Пример алата за термообликовање[14]

➤ Обрађени алуминијум

Ово је најфинији алат за термообликоване производе је калуп са контролисаном температуром израђен од алуминијумског блока. Производи израђени од алуминијумског алата димензијски су конзистентнији и стабилнији. Толеранције се могу држати индустријских стандарда. Такође, плоче се могу направити са малим вакуумским отворима дуж појединог дела како би се ваздух евакуисао. Будући да је порозност минимална, производи се могу израђивати са више детаља и текстуре. [13]

➤ Ливени алуминијум

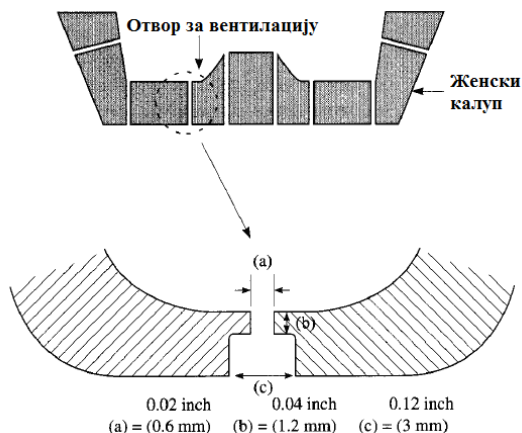
Овај алат може бити јефтинији од обрађеног алуминијума, али даје конзистентне делове уз минимално савијање. Међутим, ливени алуминијум захтева више рупа за вакуум, што ограничава избор текстуре. [13]



Слика 4.2.2 Пример алата[14]

Алат који се користи за термообликовање може се лако променити како би се створиле различите конфигурације или модели у линији производа. Заменљиви уметци могу додати нове функције за обликовање, логотипе, отворе или друге варијације. Та флексибилност такође значи да је једноставно изменити алате када је време за редизајн или ажурирање ваших термообликаних производа. [13]

Калупи за термообликовање имају нагиб на вертикалним површинама од $2^{\circ} \div 7^{\circ}$ ради лакшег вађења обратка. [13]



Слика 4.2.3: Вентилациони отвори код алата за термообликовање[13]

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 4.2.3). За тање и мекше термопласте препоручују се мањи вентилациони отвори. Размак између вентилационих отвора обично није критичан. [13]



Слика 4.2.4: Шупљине калупа за термообликовање[14]

На професионалним поставкама, калуп ће обично имати много шупљина. Лист ширине 4 метра имаће више шупљина по ширини и даће пуно комада одједном. Већи алати имају и друге карактеристике, попут дувања пластике ваздухом, тако да је реч о циновском мехурићу, који равномерно истеже материјал и припрема га за прелазак преко комада са великом дубином. [13]

4.3 Вакуум термообликовање применом мембране

Посебан случај израде делова вакуум термообликовањем је примена машина са мембраном која је намењена за израду делова од термопласта већих дебљина. Састоји се из коморе за загревање плоча од термопласта на високим температурама, радне плоче са грејаним алатима на које се након загревања пребацује грејани део и мембране помоћу која се вакуумом приљубљује на радну плочу и алат. То значи да се део обликује мембраном са једне стране и алатом са друге стране. [16]



Слика 4.3.1.: Машина применом мембране[16]

Технологија грејања код ових машина се састоји се од директног контактеног грејања применом грејаних плоча од алуминијума електричним грејачима. На овај начин се гарантује постепена и хомогена дистрибуција топлоте по целој дебљина и површини материјала. Материјал се претходно постави и загрева на алуминијској грејаној плочи у комори која обезбеђује равномерно грејање са обе стране. [15]



Слика 4.3.2: Пример добијен овом методом[16]

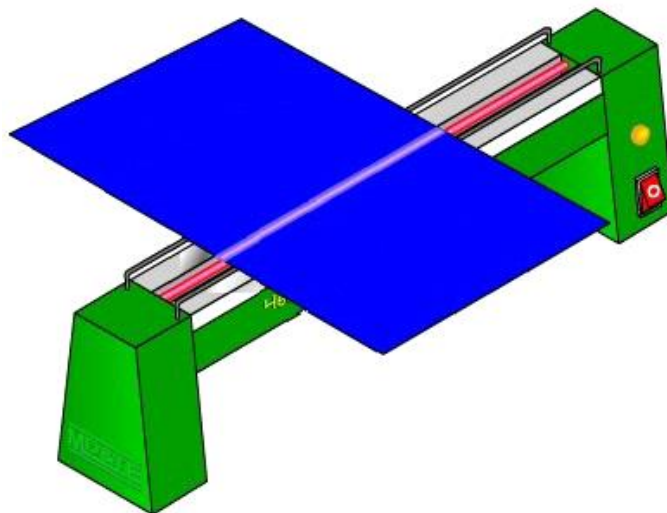
Вакуум преса се често поставља изнад коморе за загревање чиме се штеди простор. Примене оваквих машина је различита: термообликовање термопласта, фурнирање и ламинирање дрвених плоча, као и савијање шперплоче, пресовање закривљених ламинираних делова, лепљење масивних плоча од дрвета. [15]

5. ИЗРАДА ДЕЛОВА САВИЈАЊЕМ ПЛАСТИЧНИХ МАСА

Савијање пластике, такође познато као драпирање или обликовање, је врста термичког (топлотног) преобликовања у коме се материјал локално загрева. Овај поступак се користи за производе са најчешће једним углом савијања. Варијанта овога је хладно савијање или обликовање тврдоће, што је погодно за поликарбонат и PETG. Савијање пластичних маса се врши применом одговарајућих алата, шаблона или уређаја при чему се претходно врши локално загревање зоне материјала која се деформише. Након загревања зоне до омекшаног стања, може се вршити савијање до жељеног облика. Зона загревања материјала одговара шестострукој дебљини материјала. Радијус савијања треба да буде најмање једнак дострукој дебљини материјала, како би се спречила појава пукотина или пуцања на самом радијусу савијања. Након тога врши се држање у алату док се део не охлади и задржи потребан облик. [17]

При савијању пластике, цео лим се прво загрева у термалној рерни, чинећи га пластичним (савитљивим). Затим се пластични лим ставља преко калупа по мери. Након хлађења, материјал задржава облик калупа. Сви термопластични синтетички материјали могу се савити када се загревају. [17]

На слици 5.1 је приказан уређај за савијање термопласта.



Слика 5.1: Уређај за загревање плоче од термопласта за савијање[17]

Могу се савити све термопластичне масе:

- Акрил / РММА, такође познат као Плекиглас
- Поликарбонат (ПЦ), познат и као Лекан®
- PETG
- PVC
- Поликарбонат и PETG се такође могу савијати (у облику темперамента) када су хладни. [3]

Фазе при савијању су:

1. Загревање грејача на жељену температуру.
2. Скидање заштитне фолије са обе стране плоче од термопласта који се савија.
3. Обележавање места савијања помоћу челичне игле или оловке (маркера), или постављање граничника помоћу којих се врши позиционирање плоче од термопласта.
4. Термопаст (нпр. акрилна плоча) се поставља на ослонце у непосредној близини грејача. Положај ослонаца се може подешавати у зависности од дебљине термопласта или потребне површине загревања. Време загревања зависи од дебљине термопласта. Код појединих термопласта или термопласта већих дебљина, потребно је загревање са обе стране.
5. Када се плоча од термопласта довољно загреје и омекша, скида се са ослонаца и поставља на алат за савијање.
6. Савијањем се формира потребни облик дела и оставља да се охлади са алатом. Ова фаза се може вршити и на уређају за загревање на коме се налазе грејачи, граничници и систем за савијање.
7. Након хлађења, део коначног облика се скида са алата. Ако процес формирања није био успешан, термопластична плоча се може вратити на ослонце и поново загрејати, а након тога исправити (вратити у првобитни облик) или извршити накнадно савијање у коначни облик (дораду). [18]

Линијско савијање је савијање где се користи грејач са једном траком или жицом; топлота се примењује локално да би се произвела „врुћа шарка“, омогућавајући да се фолија или танка плоча савије под потребним углом. [19]

Термопластична фолија или танка плоча се загрева преко грејача у облику траке или жице док не постане меканна и савија се под било којим жељеним углом. [19]

Техника термичког савијања (бочна) - употребом пластике са две греде са термичким савијањем од 2 mm - 20 mm дебљине до два савијања одједном, до максималне дужине 2440 mm, уског радијуса у зависности од дебљине употребљеног материјала. [18]

Предности ове технологије су:

- Ниска цена машине и потребних алата
- Једноставно руковање
- Кратко време доласка до коначног производа уз минималну цену,
- У комбинацији са машином за сечење (нпр. ласером) омогућује једноставно, брзо и са ниском ценом добијање производа. [18]



Слика 5.2: Пример машине за савијање термообликовањем[18]

Недостаци су:

- Могу се производити делови једноставних облика мање прецизности,
- Постоји ограничење броја савијања
- Машине су најчешће ручне, не аутоматске, намена за мање серије.
- Може доћи до унутрашњих напрезања у материјалу.
- Могу се прерађивати само термопласти. [18]

Термопластични лимови попут акрила могу се омекшати топлотом. Када је термопластични лим омекшан, може се савити, увити, ваљати и истезати. Након што се термопластика охлади, постаје крута и остаје у новом деформисаном облику. [19]

Неопходно када материјал који се формира не дозвољава хладно савијање, тј. Акрилне материје, или када сложени облик захтева топлоту да би се постигао потребан облик. Процес укључује пропуштање електричне струје кроз проводну жицу која ствара малу топлоту. Затим се пластика која се формира поставља преко жице на тачно место где је потребан завој. На крају се делови пресавијају и остављају да се слегну у расхладне плочице, док не постану довољно крути да се уклоне. [19]

То термопластичне листове чини погодним за:

- савијање линија
- пресовање калупа
- вакуумско обликовање[19]

Савијање пластике може се извршити помоћу неколико техника. Линијско савијање је ефикасан поступак за стварање једног или више завоја уског радијуса у већини облика пластике од лимова. Линијско савијање је поступак термоформирања или обликовања топлотом, који укључује загревање термопластичног материјала преко грејача траке док не постане мекан и савитљив. Једном омекшани, лист, шипка, шипка или цев се постављају преко прецизне машине за стварање савршеног угла радијуса или савијања. Једном охлађена, пластика задржава наведени облик и тачно се производи према стандардима квалитета ISO 9001 и AC 9100, осигуравајући да су полупречници савијања, закривљеност и углови тачно у складу са спецификацијама купца за цртање. [20]

У свакодневној употреби многих професионалаца су пиштољи за врућ ваздух, пламеници или врући калупи за савијање пластике. Сви ови процеси троше пуно времена и компликовани су за употребу. Са професионалним Апрулиц Бендер пресам, које су посебно дизајниране за савијање разних врста пластике, нећете имати сличних проблема. Пресе имају дуг век трајања до 50.000 сати. Можете једноставно савијати материјале и под углом од 90° или правити округле облике, без икаквог напора. Специјалне заштитне пластике на пресам чине рад сигурним и лаким. [20]



Слика 5.3: Машина за линијско савијање[20]

5.1 Акрил бендер пресе

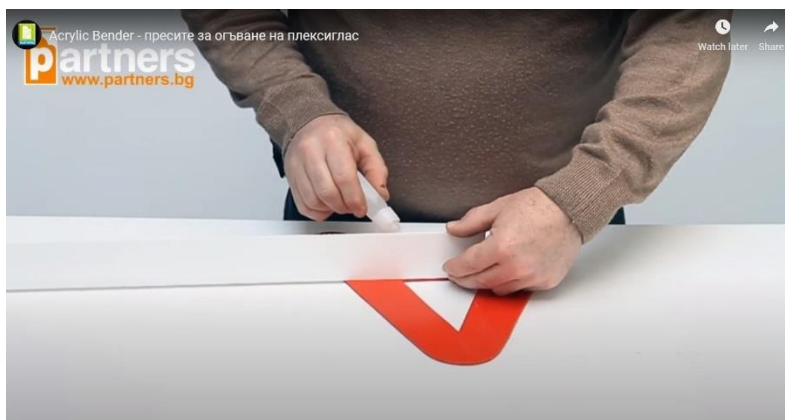
Постоје два типа Акрил Бендер пресе које поједностављују процес савијања плексигласа, PVC-а и сличне пластике. Брзо и без икаквог напора, можете да направите различите производе, као што су канална слова, сталци од плексигласа или постоља. Акрил Бендер пресе су врло једноставан и практичан алат који не захтева посебну обуку. [21]

- Најбољи начин за савијање акрилне пластике је загревање, како би постала мека и погодна за обраду. Савијање комада акрила у жељени облик је лако у загрејаном стању. Неки од најчешће коришћених алата су: пиштољи за врућ ваздух и пламеници за загревање пластике.
- Пластика је широко примењив материјал и користи се за добијање различитих производа у различитим индустријама. Да би савили пластику у одређени облик потребно ју је загрејати како би била лакша за обраду. Помоћу ове пресе процес обликовања је врло једноставан. Потребно је само загрејати место које желимо да савијемо и пажљиво руком формирати облик. Уз завидну брзину и без пуно труда обликовати ћете комаде пластике под различитим угловима или креирати специфичне заобљене облике. [21]

Акрил Бендер пресе су другачије од осталих производа на тржишту и имају три главне предности:

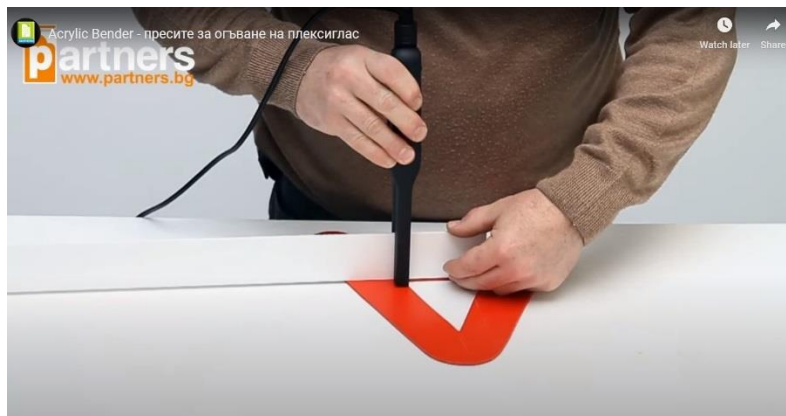
- Једноставне су за употребу,
- имају ниску цену и
- омогућују изузетно брз рад. [21]

Канала слова од плексигласа је могуће правити ручно или машински. Постоје разни алати за ручно савијање каналних слова као што су пиштољи за врућ ваздух, врући калупи или штампарске пресе. Заједничко свима је да загревају и површине које не желите савијати. Акрил Бендер пресе су новина у обликовању пластике и плексигласа и замењују све познате уређаје. Са Акрил Бендер пресема се праве савршена канална слова са великом брзином и лакоћом.



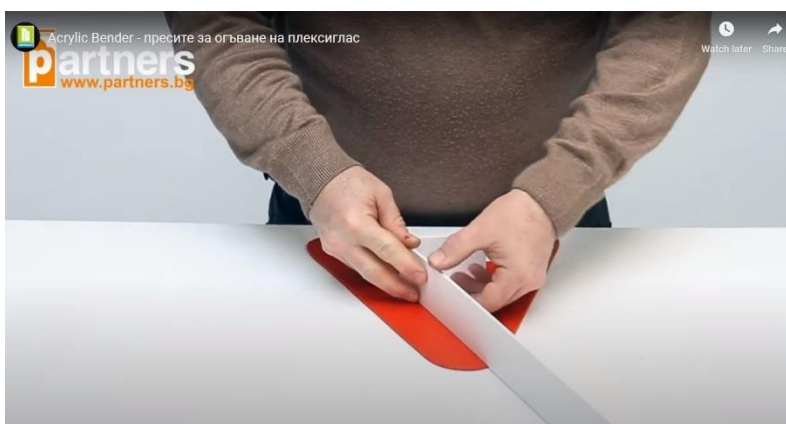
Слика 5.1.1: Први корак поступка[21]

Први корак код прављења слова плексигласом је постављање материјала према калупу слова и стављање лепка на ивицама.



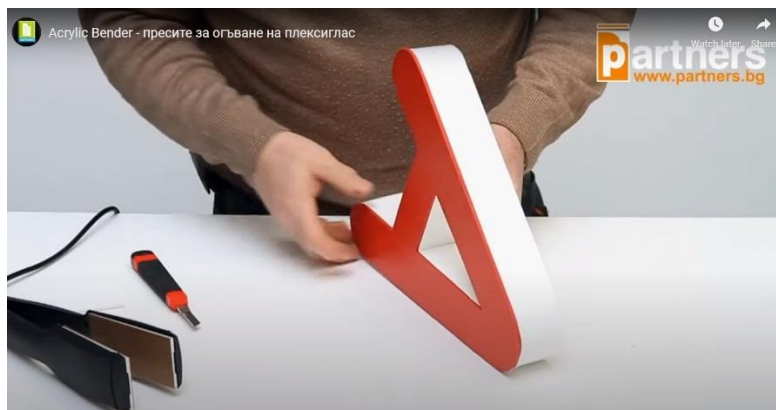
Слика 5.2.1: Други корак поступка[21]

Затим иде други корак у коме се акрилном пресом загрева ивица материјала на месту на ком ће доћи до савијања.



Слика 5.2.3: Трећи корак поступка[21]

Трећи корак се односи на савијање по загрејаној ивици и на тај начин формирање жељеног облика.



Слика 5.2.4: Готов производ[21]

5.2 Грејачи

Разне врсте грејача користе се за загревање термопластике тако да се оне могу савијати и формирати, укључујући:

- грејачи који загревају уску траку
- грејачи који загревају цео или већи део пластичног лима
- грејачи који су у контакту са пластиком
- грејачи који нису у контакту са пластиком [22]



Слика 5.2: Стрип грејач[22]

За линијско савијање, загрева се уска трака од пластике. Генерално, што је гушћа пластика, то мора бити шири загрејана трака. (За вакуумско обликовање, пресовање и дување калупа, греју се читави листови пластике.) [22]

5.3 Тракасти грејачи

Тракасти грејачи, познати и као линијски савијачи, састоје се од грејног елемента отпорне жице (попут отпорне жице од никл-хрома) који се загрева када кроз њега прође контролисана количина струје. [22]

Грејни елемент може бити:

- једна жица отпорна на никл-хром, напета између два терминала
- две или више жица отпорних на никл-хром развучене између терминала
- плетена жица отпора
- намотани отпорни жичани елемент затворен у кварцну, металну или пластичну цев. [22]



Слика 5.3: Тракасти грејач[22]

Ови грејачи зраче топлоту. Термопластичне плоче се држе близу грејног елемента, али нису у контакту с њим. [22]

За грејач се најчешће користи никл-хром жица затегнута опругом у равни непосредно испод линије савијања. [22]

Да би се избегло претерано загревање или опекотине од загрејаног плоче или отвореног грејача, увек је потребно носити рукавице отпорне на топлоту. За савијање плоча дебљине преко 3 мм најчешће је потребно вршити загревање са обе стране окретањем дела више пута, или са грејачима са обе стране. То спречава оштећење површине термопласта услед локалног загревања. Загревање је најчешће у трајању 30 секунди до 1 минута. Потребно је да брзина савијања буде што већа (трзај). [22]



Слика 5.3.1: Пример стрип грејача[23]

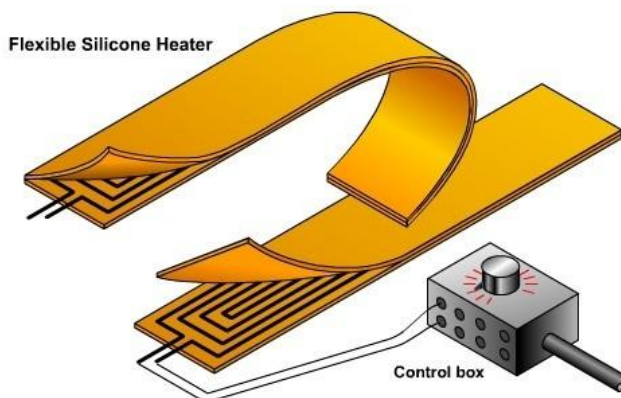


Слика 5.3.2: Савијање[23]

Након загревања и омекшавања материјала долази до савијања материјала уз помоћ одређених калупа и добијања жељеног облика.

5.4 Контактни грејач

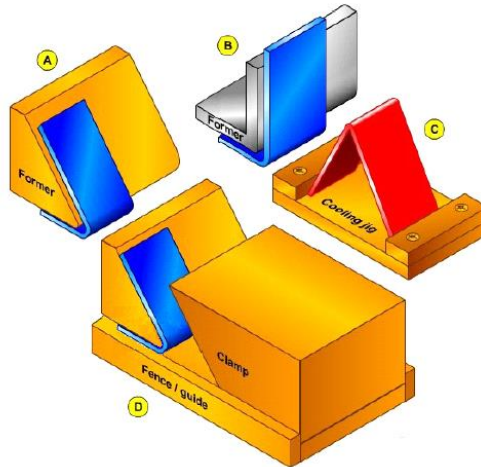
Елементи грејача отпорне жице могу бити затворени у метални или пластични плашт. Ови грејачи су у контакту са термопластиком. [18]



Слика 5.4.1: Контактни грејач[18]

Метално кућиште са профилем секире користи се за примену топлоте директно на термопластику. Отпорна жица обавијена металном траком може се користити за загревање термопластичних и металних шипки, цеви и бубњева. [18]

На слици 5.4.2 су приказани примери једноставних алата за ручно савијање помоћу којих се део од термопласта савија и држи док не охлади.



Слика 5.4.2: Примери једноставних алата за ручно савијање[18]

- A. Једноставни начин савијања применом алата од дрвета и савијање око профила.
- B. Савијање применом металног угаоног профила (шипке). На месту савијања челични профил је заобљен
- C. Алат од дрвета у облику носача загрејаног и савијеног дела без држања, омогућује слободно хлађење и очвршћавање.
- D. Дводелни алат од дрвета једноставног облика за савијање са могућношћу джања ради добијења дела тачних димензија.

Машине за кристално савијање користе топлоту за омекшавање акрилних и пластичних плоча тако да се лако могу обликовати у било који жељени облик или угао. Када се остави да се материјал охлади, поново постаје крут. Ове машине се могу прилагодити за широку употребу, укључујући инжењеринг украса, умотавање акваријума, израду натписа, израду савијених полица супермаркета и витрина, израду акрилних и пластичних плоча и израду уметничких дела. Машине за савијање акрила доступне су у разним моделима и свака од њих је јединствена по свом дизајну и намени. [18]

6. ПРОЈЕКТОВАЊЕ РАДНОГ СТОЛА ЗА ЗАГРЕВАЊЕ И САВИЈАЊЕ

Радни сто за савијање термопластичних пластичних маса је намењен за израду делова савијањема најчешће су направљени од различитих плочастих материјала. Веома су једноставни за израду, а њихово коришћење је једноставно.

Полазећи од претходно описаних радних столова и уређаја за савијање плоча од термопласта, за пројектовање радног стола усвојено су полазне техничке карактеристике:

- Укупна дужина 1000 mm;
- Укупна ширина 765mm;
- Непокретна површина стола 465x615 mm
- Покретна површина стола 465x615 mm
- Максимална дужина за савијање 615 mm

Пројектовање радног стола за савијање термопласта је обухватало пројектовање неколико делова. У наредном делу рада приказан је начин пројектовања сваког дела посебно. Пројектовање је вршено у програму Catia V5R21.

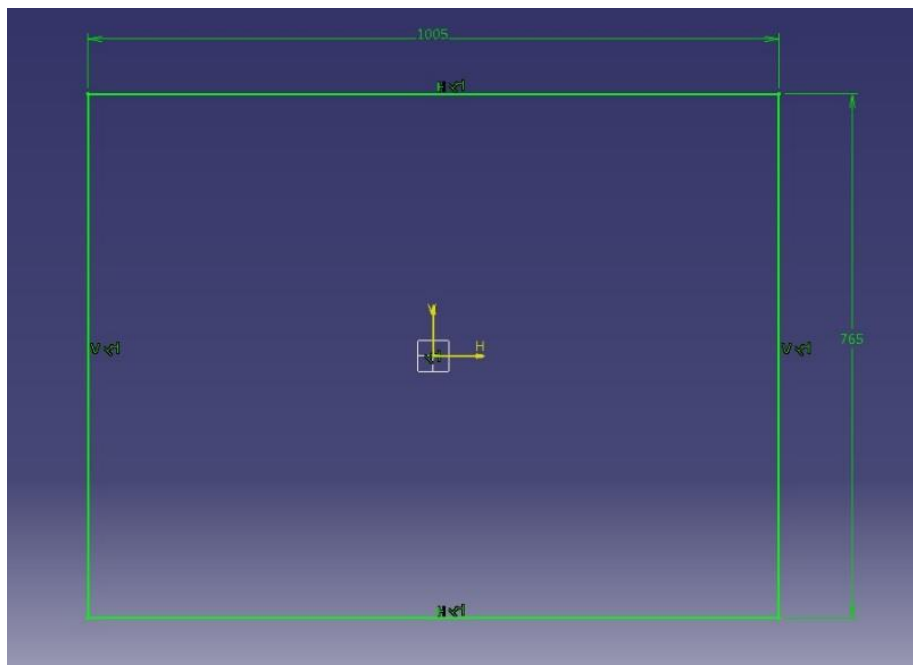
Основа идеја за дизајн и пројектовање радног стола је произашла из прегледа великог броја интернет адреса са машинама и уређајима за савијање пластичних маса, као и великог броја видео записа на youtube.com. На слици 6.1 се може видети један од радних столова који је искоришћен за моделирање [24]



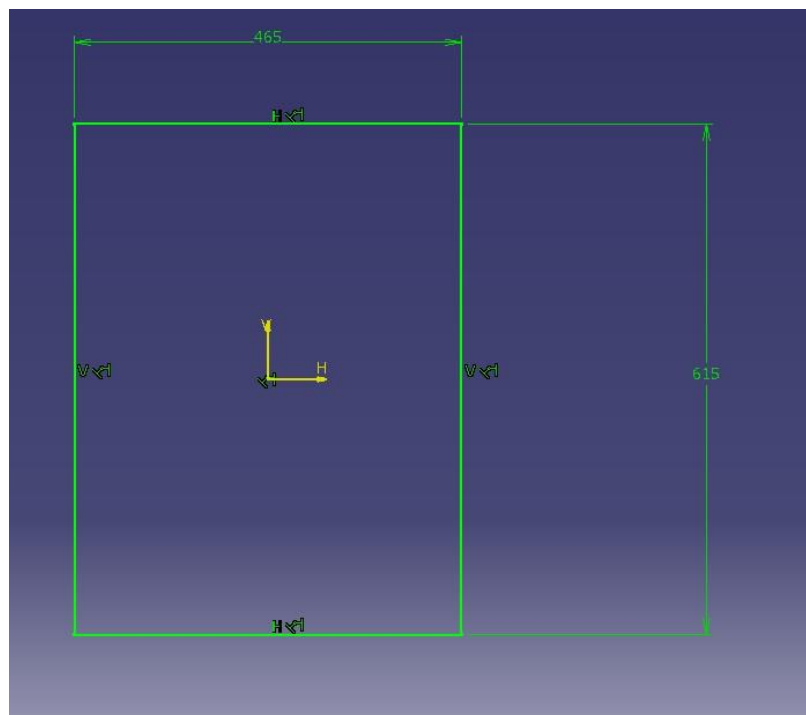
Слика 6.1: Primer радног стола [24]

Основну плочу радног стола чини плочасти материјал од оплемене иверице димензија 1000x765x18 mm.

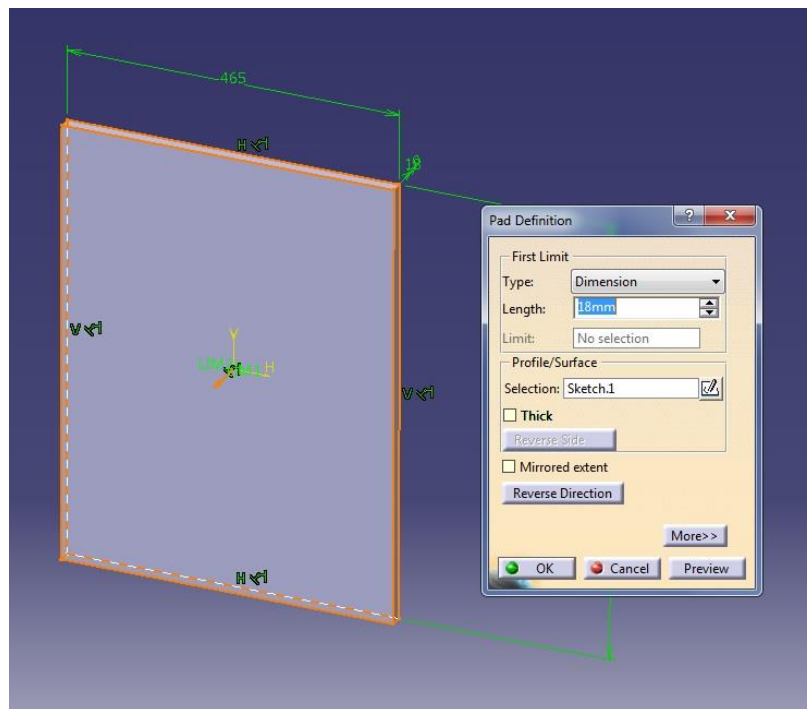
На слици 6.2 је приказан почетак пројектовања основне плоче са задавањем димензија. Следећи корак је додељивање дебљине плоче - 18 mm. На слици 6.3 је приказано пројектовање покретне плоче, а на слици 6.4 задавање дебљине плоче.



Слика 6.2: Задавање основних димензија основне плоче

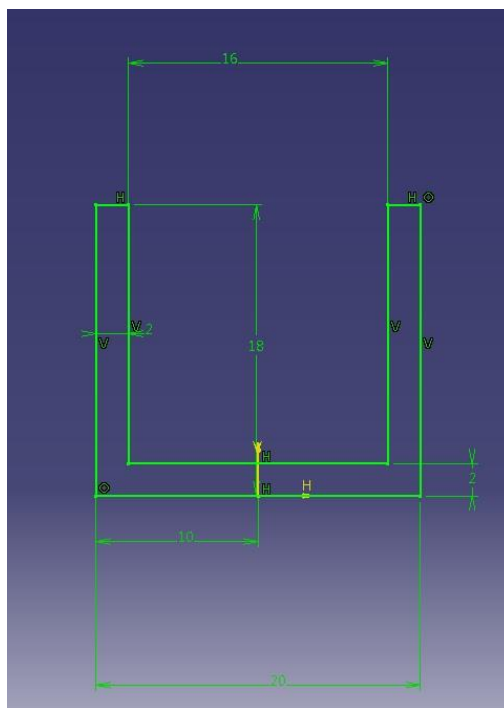


Слика 6.3: Задавање димензије непокретне површине стола



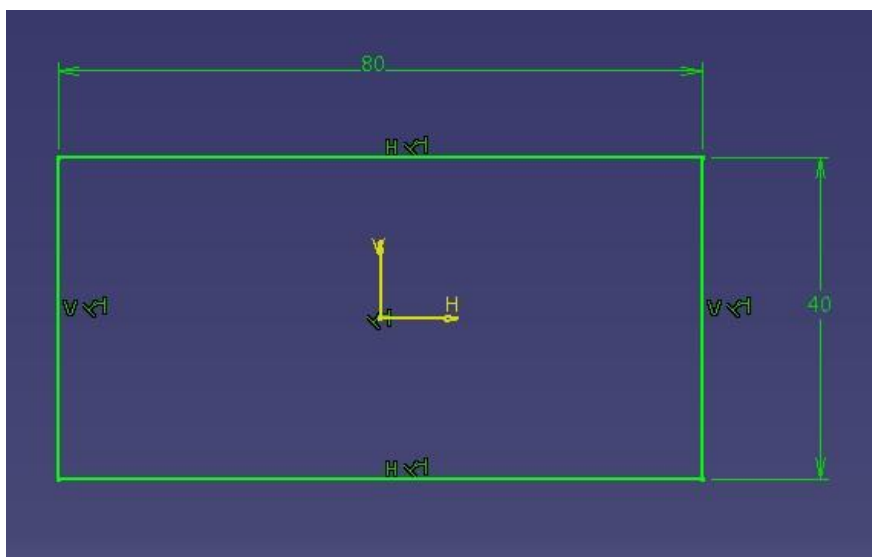
Слика 6.4: Додељивање дебљине 18 mm, функција „Pad“

Након моделирања делова од плочастих материјала вршено је моделирање "П" профила лајсне кроз који пролази жица за загревање. То је "П" профил ласјне димензија 18x18 mm дебљине зида 2 mm. Дужина ове лајсне је 615 mm.

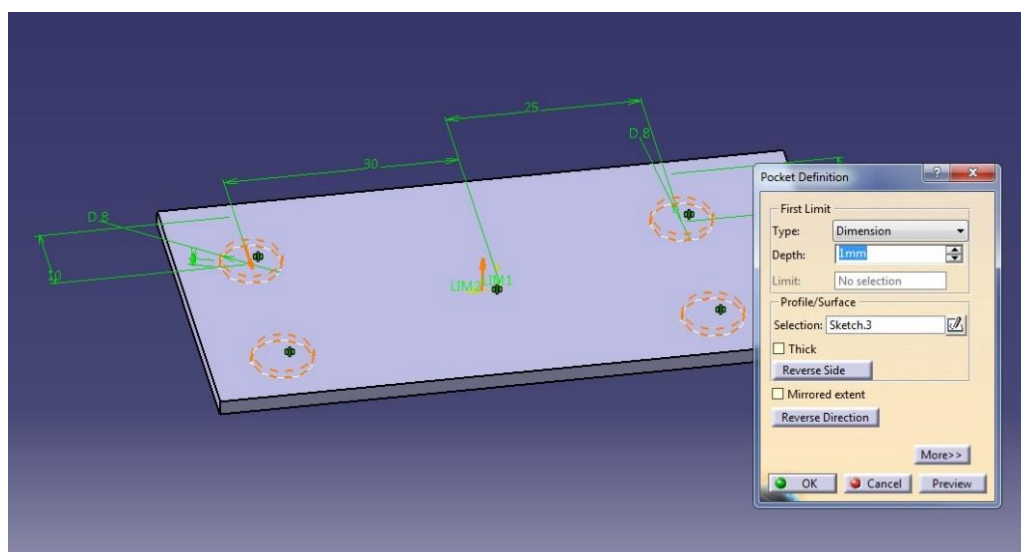


Слика 6.5: Дефинисање димензије "П" профила

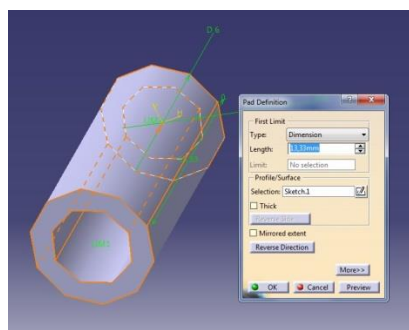
На уређају за савијање се налазе две шарке. На сликама 6.8 до 6.10 су приказани моделирани делови шарке.



Слика 6.8: Дефинисање димензије странице шарке

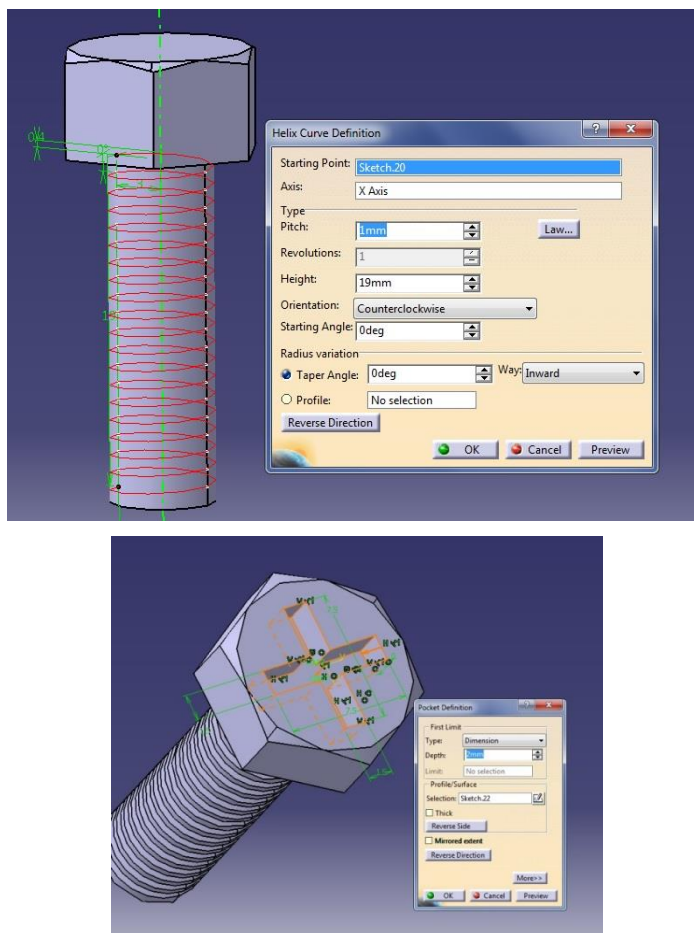


Слика 6.9: Дефинисање отвора опцијом „Pocket“

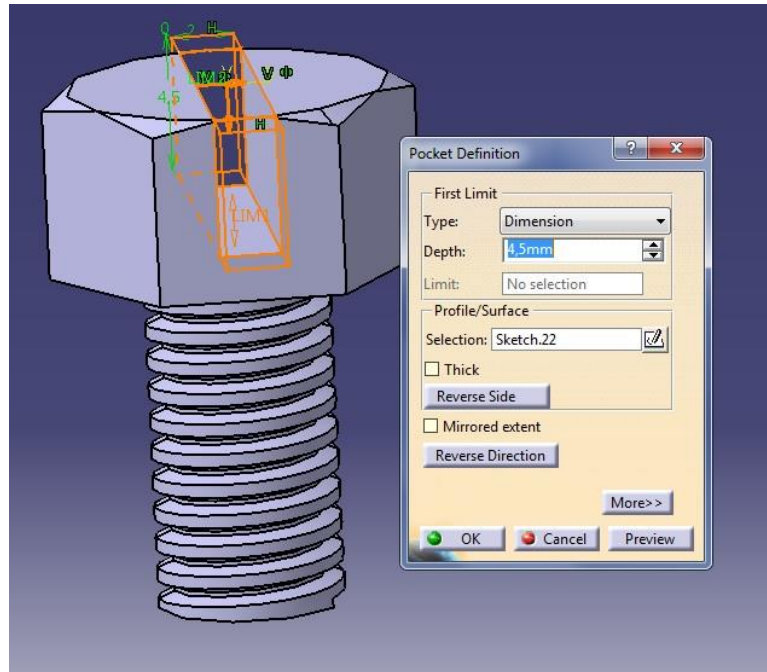


Слика 6.10: Дефинисање цилиндричног дела шарке опцијом „Rad“

Уређај за савијање има на себи две врсте завртњева. Моделирани завртњеви за причвршћивање шарки за плочасти материјал, су приказани на слика 6.11 (16 ком). Овакав завртањ је искоришћен за причвршћивање једног краја опруге. Друга врста завртњева је намењена за позиционирање и вођење жице за загревање (2 ком), слика 6.12.

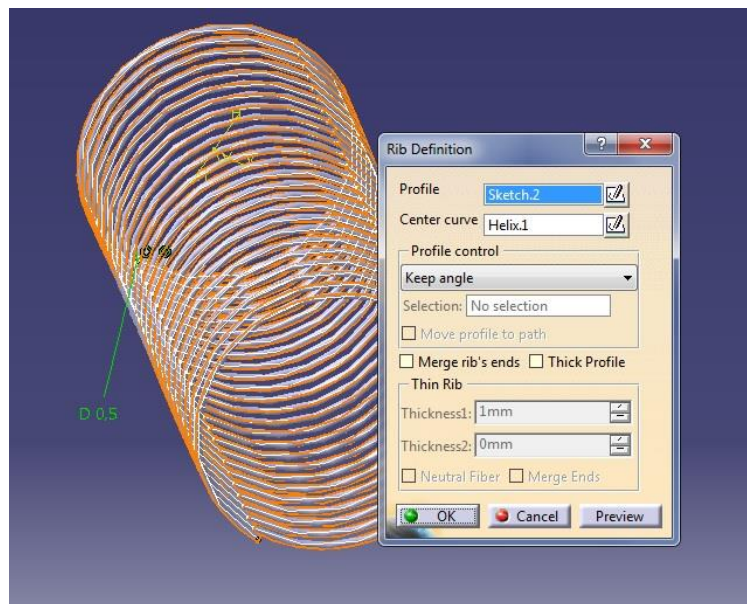


Слика 6.11: Завртања за причвршћивање шарки за плочасти материјал



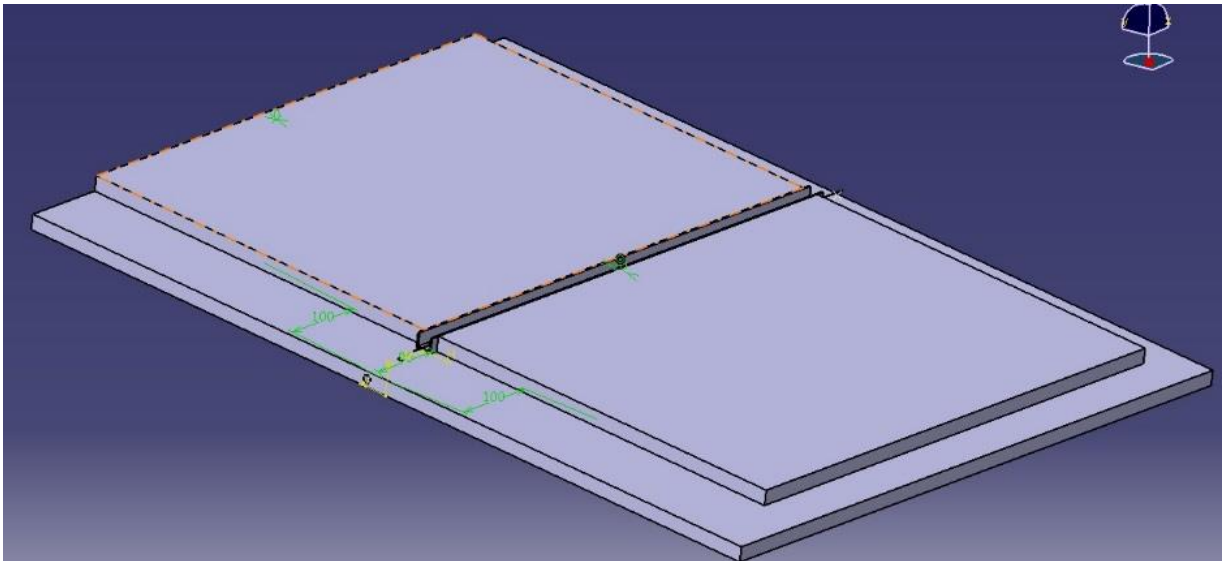
Слика 6.12: Завртањ за позиционирање и вођење жице за загревање

Следећи корак је моделирање опруге која загрејану жицу држи увек затегнутом, јер услед загревања долази до њеног истезања. на слици 6.13 је приказан један од корака при моделирању опруге пречника 12 mm дужине 40 mm и дебљине жице 0,6 mm.



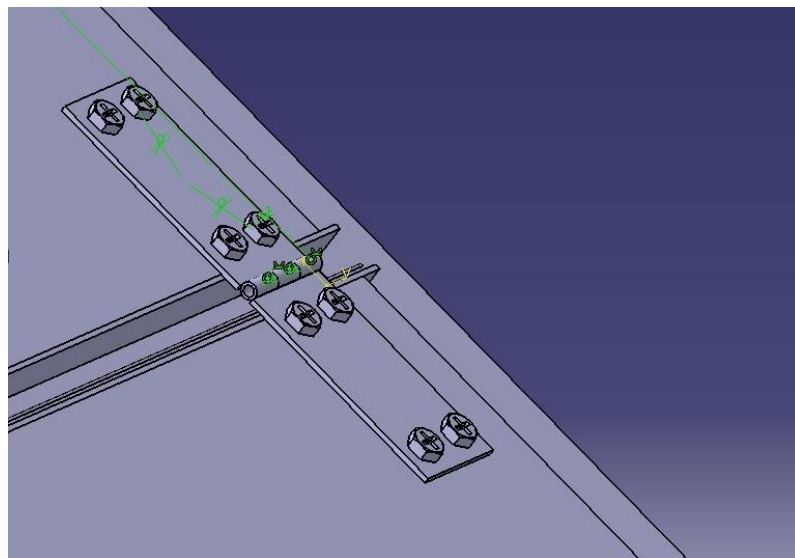
Слика 6.13: Моделирање опруге

Након што су сви делови моделирани извршено је њихово повезивање и формирање склопа у „Assembly Design“. Тачно је дефинисан положај сваког дела опцијама „Coincidence Constraint“, „Contact Constrain“ и „Offset Constrain“. Кораци при моделирању готовог радног стола су приказани на сликама 6.14, 6.15 и 6.16.

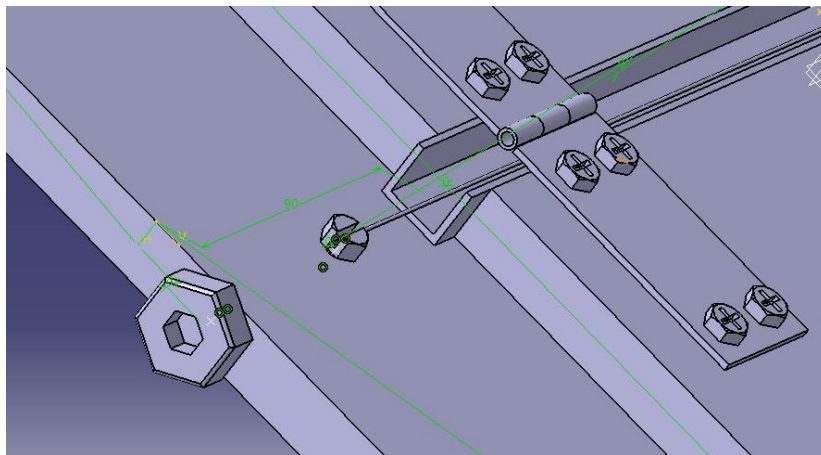


Слика 6.14: Дефинисање положаја плочастих материјала и "П" лајсне

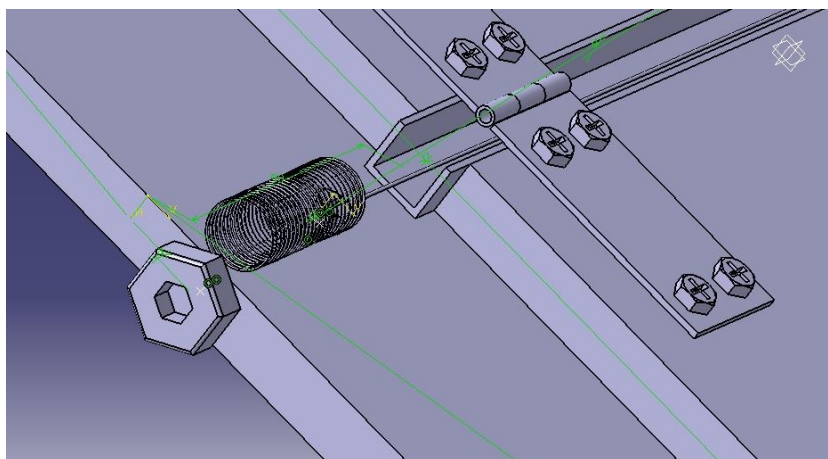
На слици 6.15 је приказано позиционирање шарке и завртњева, а на слици 6.16 позиционирање жице и завртњева за њихово позиционирање и вођење. Такође, приказан је положај завртња за причвршћивање другог краја жице. На крају, слика 6.17 је показан положај опруге.



Слика 6.15: Дефинисање положаја шарки и завртњева

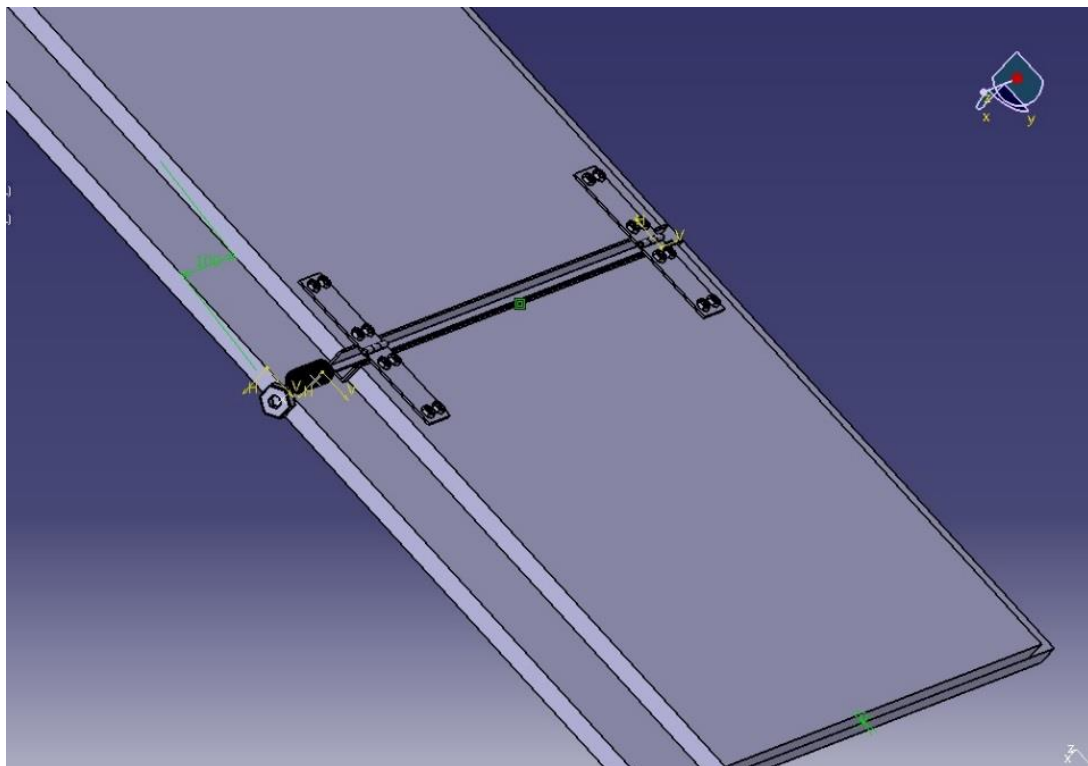


Слика 6.16: Дефинисање положаја завртњева за позиционирање и вођење жице

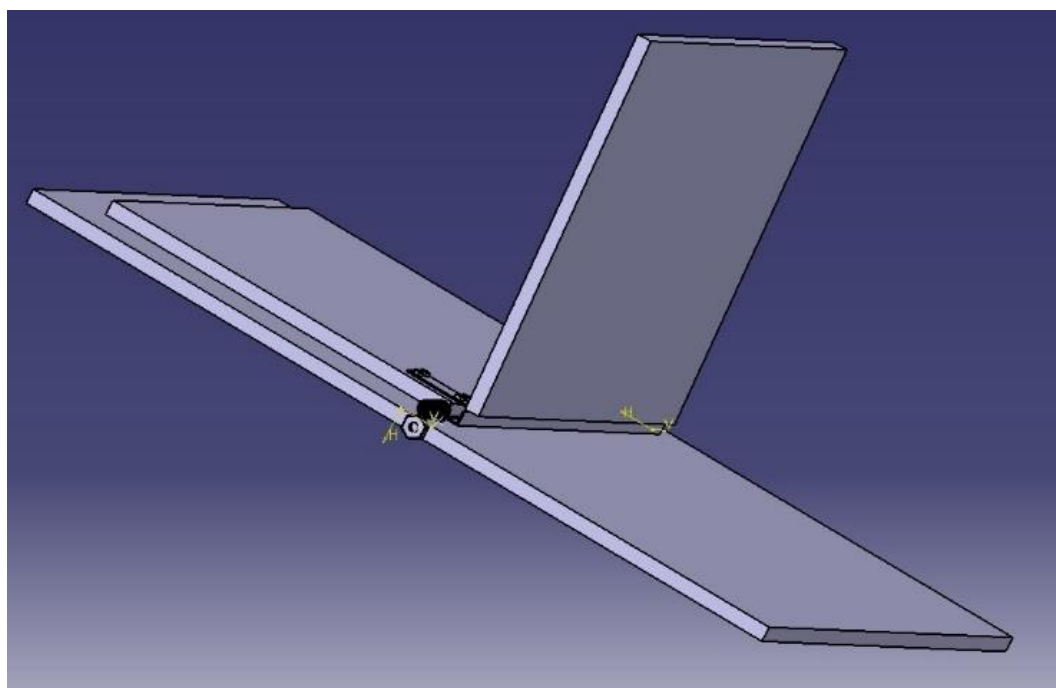


Слика 6.17: Дефинисање положаја опруге

На слици 6.18 је приказан модел радног стола са свим деловима, а на слици 6.19 исти радни сто са подигнутом покретном страницом ради савијања дела.



Слика 6.18: *Модел радног стола за савијање пластичних маса*



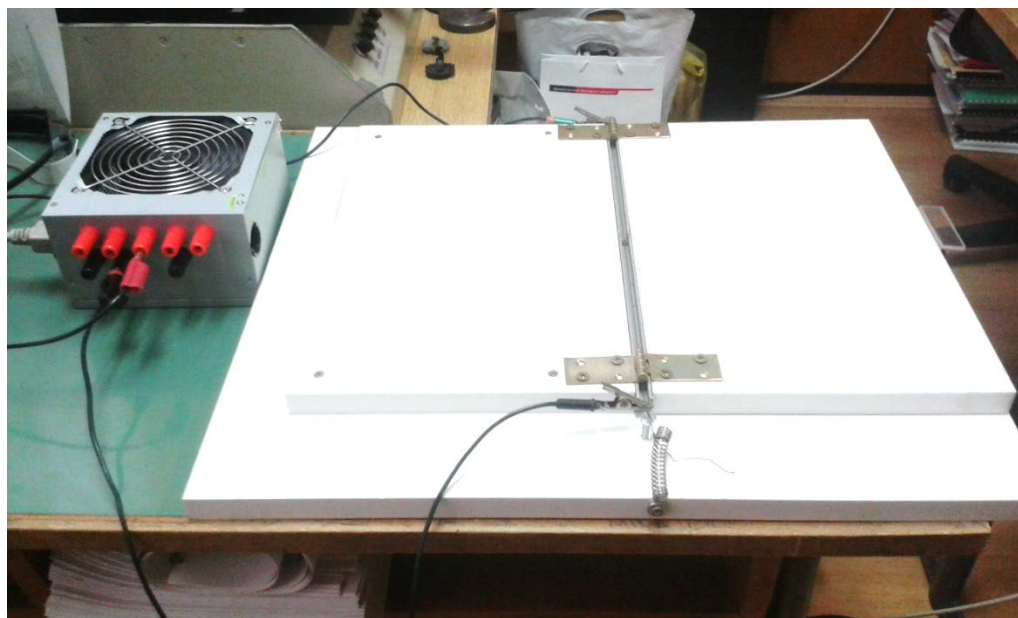
Слика 6.19: *Радни сто са подигнутом покретном страном*

Моделирани уређај за термосавијање пластичних маса је искоришћен за конкретну израду радног стола.

Након набавке плочастих материјала и потребних делова извршено је њихово спајање. на слици 6.20 је приказан реализовани радни сто. За напајање радног стола и загревање жице коришћени су уређаји исправљачи напона и то 0-30 V, 1-10 A, слика 6.20 или исправљач 12 V и 21 A направљен модификацијом напајања рачунара, слика 6.21.



Слика 6.20: Радни сто прикључен на исправљач 0-30 V, 1-10 A



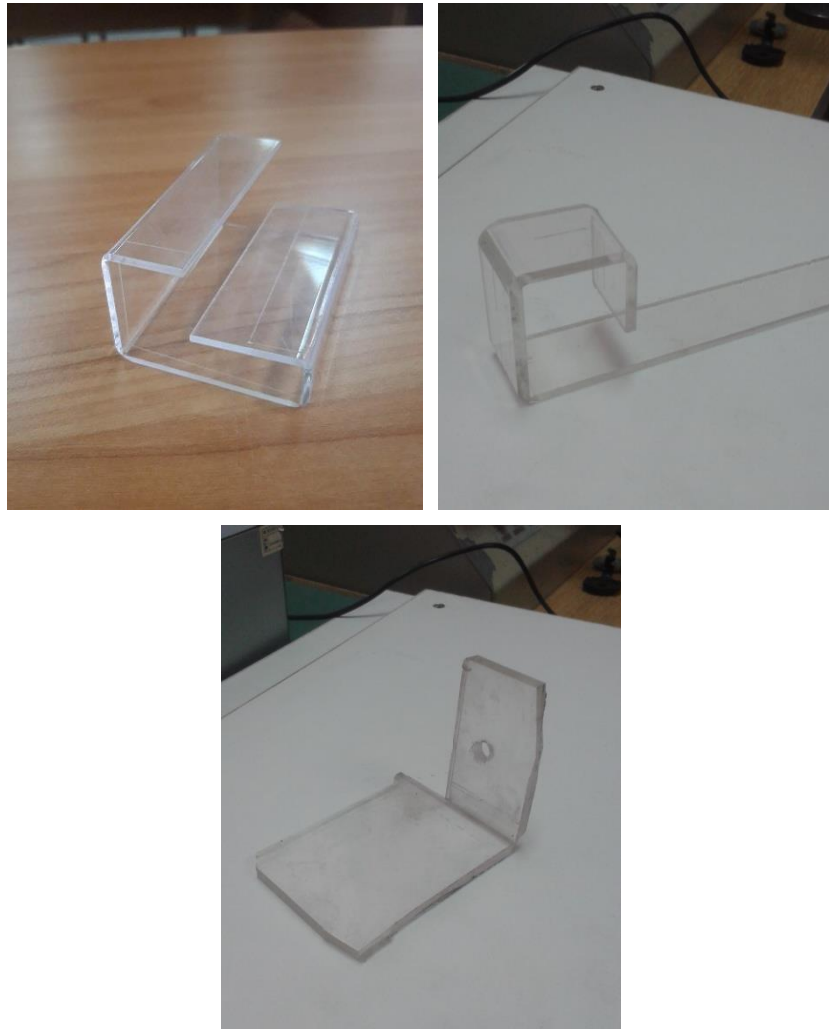
Слика 6.21: Радни сто прикључен на исправљач 12 V, 21 A

На слици 6.22 је приказа начин савијања акрила (PMMA) дебљине 4 mm и транспарентне фолије од PVC.

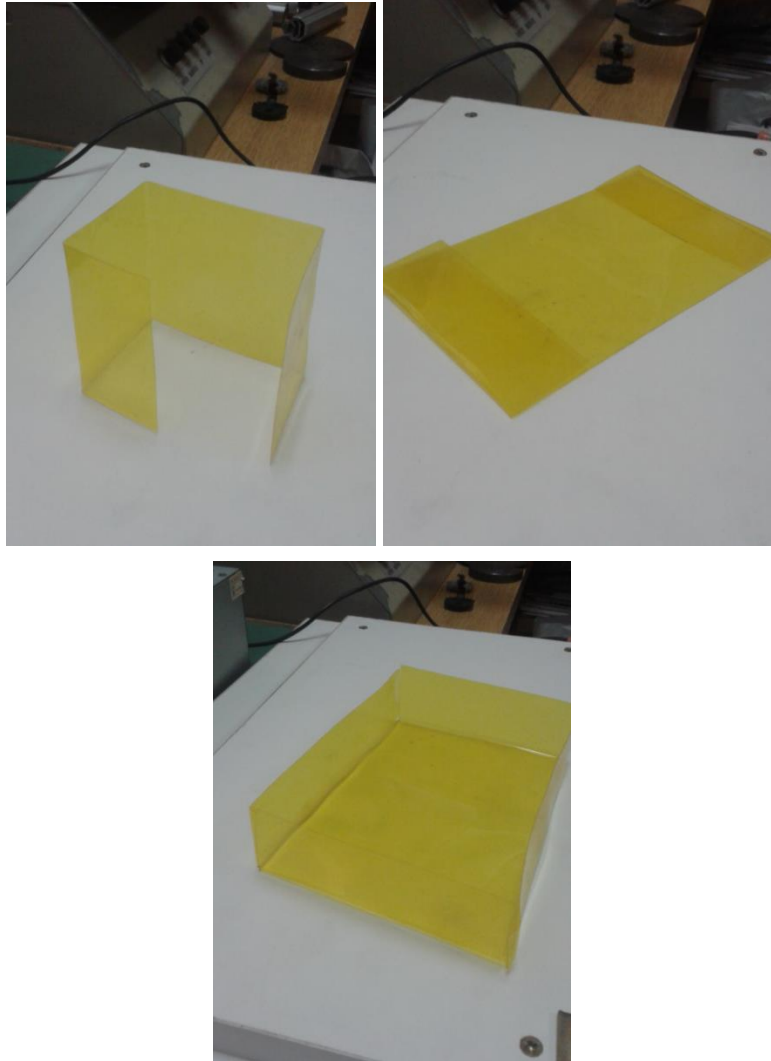


Слика 6.22: Примери савијања делова од акрила дебљине 4 mm и фолије

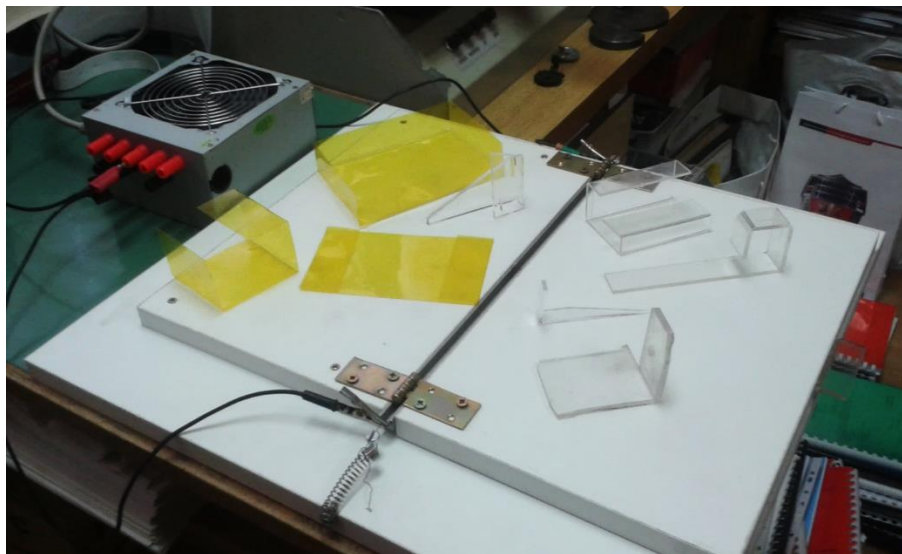
На сликама 6.23 и 6.24 су приказани различити делови делови од акрила (PMMA) дебљина од 2 до 6 mm и транспарентне фолије од PVC.



Слика 6.23: Примери савијених делова од акрила дебљине 3, 4 и 6 mm



Слика 6.24: Примери савијених делова од транспарентне фолије од PVC



Слика 6.25: Радни сто за савијање и примери савијених делова

7. ПРИМЕРИ ПРОИЗВОДА ОД ПЛАСТИЧНИХ МАСА ДОБИЈЕНИ САВИЈАЊЕМ

Термопластика се може разликовати од термоотпорних материјала, они су органски материјали који се топе када се загревају, могу се претопити назад у течност, настају када су у топљеној или вискозној фази, греју се, формирају и хладе у свом коначном облику. Неке врсте термопластике су скупе, чврсте и користе се уместо метала, док се друге користе у уобичајеним свакодневним производима. Лако их је обликовати и обликовати када су вруће. На слици 7.1 дати су примери мањих држача који се могу користити као што се види на слици за накит, сатове, новчанике, документације итд.



Слика 7.1: Примери држача[25]

Такође могу наћи примену и у изради разних кутија које се такође могу користити у разне сврхе. Ови материјали су релативно јефтини, лепо и могу се врло ефикасно обликовати у топлоти. На слици 7.2 дати су примери кутија које могу да имају разне примене у свакодневном животу.



Слика 7.2: Примери кутија[25]

Велики број разних декоративних предмета је добијено савијањем пластике, а поред тога што служе као декорација могу да имају и неке друге намене. На слици 7.3 дати су примери неких декоративних предмета који су добијени овом методом.



Слика 7.3: Примери декоративних предмета[25]

Велику примену налази како у свакодневним предметима тако и у дијазнерском погледу. Тако је на пример, дизајнер Charles Hollis Jones у тренутку када је открио пластику и све могућности које она пружа одлучио да се посвети њеној обради.



Слика 7.4: Примери делова намештаја, Charles Hollis Jones[25]

На слици 7.5, 7.6 и 7.7 дати су примери неких од делова намештаја који су направљени овом методом.



Слика 7.5: Примери столице[25]



Слика 7.6: Примери стола[25]



Слика 7.7: Примери намештаја[25]

У комбинацији са LED и обичним светлима добијају се како обичне тако и декоративне лампе. На слици 7.8 дати су неки од примера тих лампи.



Слика 7.8: Примери лампи[25]

8. ЗАКЉУЧАК

Термообликовање пластике је један од најједноставнијих и најстаријих начина формирања. Овим поступком обликовања пластичних маса се формирају пластични делови који немају велику дубину, али зато имају јаку форму услед веће дебљине зидова код путничких кофера, делова за кућиште рачунара итд. Термообликовањем се обликују пре свега термопласти који на собној температури у облику припремка (полуфабриката) имају тврдоћу као коначни производ. То су, на пример, полистирен (РС) (масиван или пенаст), термополимер акрил будадијен стирен (АВС), целулозни ацетат (СА), поливинил хлорид (PVC) и др.

Термоформирање се разликује од бризгања, дувања, ротационог ливења и других облика прераде пластике. Од танких фолија се термоформирањем првенствено производе чаше, амбалажа, поклопци, тацне и других производа за прехранбену, медицинску и општу намену, за производе који се налазе у малопродаји.

Опрема за термообликовање варира у сложености, величини и цени од произвођача до произвођача и креће се од једноставних јефтиних полуаутоматизованих машина до високо аутоматизованих система.

Што се тиче обраде пластике, термообликовање је имало користи од примене инжењерске технологије, иако је основни поступак обликовања врло сличан ономе који је измишљен пре много година. Саставни део процеса термообликовања је алат који је специфичан за сваки део који треба произвести. Термообликовање танког профила, као што је у раду описано, готово се увек изводи на линијским машинама. Термообликовање дебелог или тешког профила такође захтева алат који је специфичан за сваки део, али с обзиром на то да величина дела може бити врло велика, калупи могу бити ливени алуминијум или неки други композитни материјал. Типично дебели делови морају се обрзати на CNC глодалицама или ручно, ручним глодалицама.

Што се тиче савијања пластике, цео лим се прво загрева у термалној рерни, чинећи га пластичним (савитљивим). Затим се пластични лим ставља преко калупа по мери. Након хлађења, материјал задржава облик калупа. Сви термопластични синтетички материјали могу се савити када се загревају.

У раду су дати основни делови и поступак израде радног стола за савијање и загревање пластичне масе, одакле се може закључити да сама израда овог стола не захтева велика улагања, а исти се може прилагођавати у зависности од потребе. Такође види се да је веома једноставног облика што још додатно олакшава његову израду. У области планирања, пројектовања и производње примењује се CAD/CAM/CAE системи. То су системи код којих се управљање процесом пројектовања и производње обавља преко рачунара. Тиме се постижу побољшања у односу на примену старијих принципа рада. Основне предности овог поступка су уштеда материјала, мање време израде и мање потребан простор за одвијање процеса производње. Конкретно на моделирању овог стола за савијање и загревање пластике коришћен је програм Catia V5R21, али се могу користити и бројни други програми. Такође постоји и велики избор машина које се могу користити у великим предузећима поред овог стола који је практичан и за кућне услове.

Долази се до закључка да би живот човека био готово незамислив без производа који се добијају процесом 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.

На самом крају може се закључити да пластичне масе и процеси њихове прераде имају добру перспективу због ниских улагања у опрему, релативно јефтиних и приступачних сировина и велике флексибилности производње.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богдан Недић, Владислав Ђукић – Пластичне масе – скрипта, Машински факултет, Крагујевац 2004.
- [2] Мирослав Нађ – Полимерни материјали – Научна књига, Загреб 1978.
- [3] Ивана Зеџ – Употреба пластике и других амбалажних материјала у производњи и у комерцијалне сврхе - Мастер рад, Београд 2016.
- [4] Jim Throne, Приручник за савијање пластике (друго издање), 2017.
- [5]http://www.plasticsrecycling.com/?gclid=CjwKCAjwu5CDBhB9EiwA0w6sLXjiqoMZL_PxZG3U6UANTUjbwUIMo3dvhDjJDoOn7wGsmJr65epPKxoCuUQQA_vD_BwE, приступљено 24.10.2020.
- [6]<http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Tehnologije%20oblikovanja%20plastike/TOPLo%20OBLIKOVANJE%20PLASTIKE.pdf>, приступљено 24.10.2020.
- [7]<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoforming#:~:text=Thermoforming%20is%20a%20manufacturing%20process,to%20create%20a%20usable%20product>, приступљено 24.10.2020.
- [8]<https://radiofrequencywelding.com/what-is-thermoforming-and-how-can-the-process-be-used-in-product-manufacturing/>, приступљено 28.10.2020.
- [9] www.meaf.com, приступљено 28.10.2020.
- [10] <https://www.wm-thermoforming.com>, приступљено 28.10.2020.
- [11]https://www.osha.gov/SLTC/etools/machineguarding/plastics/thermoform_machine.html, приступљено 28.10.2020.
- [12] https://www.midwestpatterns.com/thermoform_molds.php, приступљено 28.10.2020.
- [13]<https://www.rayplastics.com/tooling-foundation-thermoforming-design-guide/>, приступљено 28.10.2020.
- [14] <http://techtoolent.com/thermoform-tooling.html>, приступљено 28.10.2020.
- [15] <https://industrialcustom.com/thermo-and-vacuum-forming/>, приступљено 15.11.2020.
- [16] <http://gregstrom.com/types-of-thermoforming/>, приступљено 15.11.2020.
- [17] https://www.notesandsketches.co.uk/PDF/Line_Bending_Process.pdf, приступљено 15.11.2020.
- [18] https://www.notesandsketches.co.uk/Line_Benders.html, приступљено 15.11.2020.
- [19] <https://www.acrylite.co/line-bending-acrylic.html>, приступљено 15.11.2020.
- [20] <http://www.wseni.co.kr/new/index.php>, приступљено 15.11.2020.
- [21] <http://bender.partners-ltd.com/sr/pocetna/>, приступљено 15.11.2020.
- [22] <https://rotabend.co.uk/rotabend/acrylic-strip-heaters/>, приступљено 15.11.2020.
- [23] <https://www.youtube.com/watch?v=LnoA5Q12QWE>, приступљено 15.11.2020.
- [24] <https://www.youtube.com/watch?v=-mVmzWQ7Iy8>, приступљено 23.12.2020.
- [25][https://www.pinterest.com/search/buyable_pins/?q=acrylic%20chair&rs=typed&term_metal\]=acrylic%7Ctyped&term_metal\]=chair%7Ctyped](https://www.pinterest.com/search/buyable_pins/?q=acrylic%20chair&rs=typed&term_metal]=acrylic%7Ctyped&term_metal]=chair%7Ctyped), приступљено 23.01.2021.