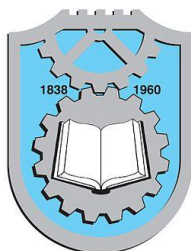


Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 503/2011

Лазар М. Арсић

Обрада резањем полимерних материјала

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. ред. проф. др Богдан Недић – председник

2. _____ - члан

Датум одбране: _____

3. _____ - члан

Оцена: _____

Крагујевац, новембар 2016.

САДРЖАЈ

УВОД.....	4
1. ОПШТЕ О ПОЛИМЕРИМА.....	6
1.1 Пластичне масе – састав и класификација.....	7
1.2 Примена полимера у индустрији.....	10
2. ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРЕРАДЕ ПОЛИМЕРА.....	12
2.1 Пресовање.....	12
2.2 Каландровање.....	12
2.3 Дување.....	13
2.4 Екструдирање.....	13
2.5 Бризгање.....	14
2.6 Вакуум термоформирање.....	15
2.7 Заваривање пластичних маса.....	16
3. ТЕХНОЛОГИЈА ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА.....	17
3.1 Правила при обради резањем полимерних материјала.....	18
3.2 Својства алата за обраду резањем полимера.....	18
3.3 Основне мере опреза за спречавање прекомерног загревања алата у подручју обраде.....	18
4. ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА.....	19
4.1 Обрада стругањем.....	19
4.2 Обрада глодањем.....	22
4.3 Обрада бушењем.....	25
4.4 Проширивање.....	27
4.5 Сечење.....	29
4.6 Резање воденим млазом.....	33
4.7 Израда навоја.....	35
5. ПРИМЕРИ ДЕЛОВА НАСТАЛИХ ОБРАДОМ РЕЗАЊЕМ.....	36
ЗАКЉУЧАК.....	41
ЛИТЕРАТУРА.....	43

РЕЗИМЕ

Због све веће тежње да се метални делови замене материјалом мале тежине, отпорнијим на корозију, лаким за израду и притом да обезбеде исте карактеристике односно исту намену, почела је израда делова од пластичних маса. Развој хемијске индустрије последњих година 20-тог века, посебно у области полимерних материјала довео је до развоја читавог низа нових производа и масовне производње најразличитијих материјала специфичних механичких и других карактеристика. У раду је приказано опште о полимерима, пластичним масама, њиховим карактеристикама и примени у индустрији. Затим су описани неколико начина прераде који се користе за прераду и обраду пластике. У наставку приказано је опширније о технологији обраде резањем полимерних материјала стругањем, бушењем, глодањем, сечењем и делови који се обрађују овим начином прераде, у оквиру тога су приказане и геометрије алата за ове поступке и режими обраде полимерних материјала. На крају су представљени примери и примена делова насталих овом технологијом.

Кључне речи:

обрада резањем, полимерни материјали, стругање, бушење, глодање, сечење.

Due to the increasing tendency to replace metal parts material light weight, corrosion resistant, easy to produce and thereby to provide the same features and the same purpose, she began making parts of plastics. The development of chemical industry in recent years of the 20th century, especially in the field of polymeric materials has led to the development of a whole range of new products and mass production of various materials with specific mechanical and other characteristics. The paper presents a general polymer plastics, their characteristics and application in the industry. Then they described several ways of processing used for processing and plastics processing. The following is shown in detail on the technology of cutting plastic materials turning, drilling, milling, cutting and parts that can handle this type of processing, in this framework are presented and geometry tools for these procedures and modes of processing of polymeric materials. At the end of the present examples and application components created this technology.

Key words:

processing of cutting, polymeric materials, turning, drilling, milling, cutting

УВОД

Развој хемијске индустрије последњих година XX века, посебно у области полимерних материјала довео је до развоја читавог низа нових производа и масовне производње најразличитијих материјала специфичних механичких и других карактеристика. Са појавом композитних материјала долази до нове технолошке револуције, јер се нови материјали могу пројектовати и производити тако да имају знатно боље карактеристике од појединачних особина полазних материјала или нама познатих материјала.[1]

Хемијска влакна се први пут срећу у старој Кини, где се свила добијала на вештачки начин, цеђењем секрета из свилених буба, који се састојао од смеше два протеина: фибриона и серицина. Развој машинске технологије полимерних влакана је започео тек почетком XX века. Термин полимер први је увео Барцелијус.[1]

Производња пластичних маса у свету се сваке године вишеструко увећава. Данас производња знатно прелази 100 милиона тона, док је 1950. године износила испод 1 милиона тона. Овакав раст производње није забележен ни код једног другог материјала, тако да је производња пластичних маса превазишла производњу свих метала заједно. Полимерни материјали имају веома разноврсну структуру што представља основне проблеме при анализи утицаја полазних сировина и технолошких параметара на њихове карактеристике. Да би се ови утицаји одредили, потребно је познавање хемијских, механичких, термичких, електричних и других својства пластичних маса што подразумева обимна истраживања као и усавршавање метода за истраживање.

Израда предмета од пластичних маса има читав низ предности: [1]

- ниска цена коштања;
- мала густина у односу на метале (не прелази $1,5 \text{ kg/dm}^3$);
- лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради;
- добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори;
- висока отпорност на киселине, растворе и друге агресивне средине;
- добра прозачност и способност бојења;
- добра пригушујућа својства, односно висока отпорност на вибрације, због чега се користе као добри изолатори вибрација;
- добра својства апсорпције звука, односно добри су звучни изолатори;
- добре антифрикционе, а по потреби добра фриксиона својства.

Недостаци пластичних маса су: [1]

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

Ради даљег повећања примене полимерних материјала, потребно је обезбедити: развој нових материјала пластичних маса, развој технологије прераде, уређаја и алата за прераду и развој примене нових материјала и развој нових производа од пластичних маса. [1]

Многи производи од пластике ће захтевати одређени степен обраде и дораде након што се обрађују и пре него што се стављају на тржишту. Основна сврха многих завршних обрада и машинских обрада је отклањање недостатака као што су огреботине, удубљења, тупа места, гребени настали приликом одвајања калупа. Код екструдираних дела може да се појаве уздужне огреботине са ивице екструзионог калупа. Термоформирани комади могу показати недостатке који су били присутни пре обраде. Одливањем пластике у чврсте калупе може остати мали трагови на местима где се спајају половине калупа. Чак и када се користе флексибилни калупи, трагови могу остати на месту где је пластика убачена у калуп. Многе завршне операције на многим ливеним отпресцима могу се избећи пажљивим дизајнирањем производа или калупа. За завршну и машинску обраду потребно је коришћење многобројних техника које су доступне за пластичне масе као што су стругање, глодање, бушење, брушење, тестерисање... Поправка и уклањање дефекта нису једини разлози за завршну и машинску обраду. У неким применама, може бити неопходно тестерисање, бушење, глодање, само за припрему пластичне масе за спајање и монтажу. У другим случајевима завршна и машинска обрада може да се користи да се задовоље веом мале мере толеранције и обраде до жељених толеранција. Машинска обрада може бити корисна у раним фазама пројектовања за стварање прототипова и за ниско обимну производњу.

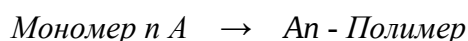
У првом поглављу писано је опште о полимерима, процесима настајања полимера, полимеризација, поликондензација и полиадиција, затим састав и карактеристике пластичних маса и примена у индустрији. У другом делу рада представљене су неколико технологије прераде полимера пресовање, каландровање, дување, екстудирање, заваривање пластичних маса. У трећем поглављу дат је увод у технологију обраде резањем полимера, када се она користи, дате су мере опреза приликом обраде резањем, правила, својства алата. У четвртом поглављу представљени су поступци технологије обраде резањем, стругање, глодање, бушење, сечење, израда навоја, сечење воденим млазом, њихови поступци, геометрија алата за обраду полимера и режими рада. Пето поглавље представља примере у индустрији где се користе делови и елементи од полимера настали технологијом обраде резањем.

1. ОПШТЕ О ПОЛИМЕРИМА

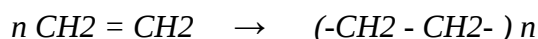
Пластичне масе су материјали код којих је основна компонента полимер. Термин полимер (настао од грчког предлога *poli* - много и именице *meros* - део) је синоним за макромолекулска једињења. Развојем хемијске индустрије последњих деценија, дошло је до изузетно брзог и значајног продора њихове примене у машинству. [1]

Једномолекуларна једињења - мономерни имају својство да се под одређеним условима (одговарајућој температури и притиску) у присуству катализатора, спајају у макромолекуларна једињења која се називају **полимери**. Разликују се природни полимери, који су саставни део биљака и животиња, нпр. целулоза, скроб, беланчевине, каучук као и једињења у облику силицијум диоксида и др, и синтетички полимери добијени хемијском прерадом и синтезом нискомолекуларних једињења (мономера). Синтетички полимери се добијају синтезом мономера, а основне методе су: полимеризација, поликондензација и полиадиција. Полимеризација је стварање макромолекула спајањем мономера без издвајања споредних продуката и регруписавања атома у молекулу. Процес полимеризације се не сме прекидати јер се не може на исти начин и наставити [1].

Полимеризација се може изразити једначином: [1]



Односно, у случају етилена:



У наведеним једначинама n је степен полимеризације.

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

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

Полиадиција је метод синтезе која се одликује одсуством издвајања споредних продуката и могућношћу извођења у ступњевима, што указује да је то метода синтезе која се налази између полимеризације и поликондензације[1].

1.1 Пластичне масе – састав и класификација

Пластичне масе, у највећем броју случајева, се састоје из полимера - синтетичких смола као основних компоненти и у мањем или већем обиму додатних материјала као што су пластификатори, пунила, боје, а понекад и мазива, 13 стабилизатори и очвршћивачи. Такође, пластична маса може бити састављена само из полимера. [1]

Пластификатори, омекшивачи, су материје у којима се полимери растварају, односно набубре, што изазива промену њихових својстава, првенствено повећање еластичности на рачун затезне чврстоће и тврдоће, као и измену неких физичко-хемијских својстава, у првом реду снижења температуре топљења.

Пунила се пластичним масама додају како ради побољшања механичких својстава, тако и због смањења цене коштања пластичних маса.

Боје се пластичним масама додају према потреби, а задатак им је да поред обојености масе, утичу и на хемијску и термичку стабилност.

Стабилизатори се додају пластичним масама у циљу продужавања, тј. очувања отпорности на топлоту и штетно зрачење, чиме се донекле смањује опасност од старења и пропадања [1].

Овим средствима припада мазиво које се додаје пластичним масама ради побољшања пластификације и ради одстрањивања лепљења за калуп. У ову сврху најбољи су парафин, стеарин и калцијум - стеарат.



Слика 1.1. Приказ изгледа обојених пластичних маса. [2]

Зависно од понашања на повишеним температурама пластичне масе се деле на:

1) Термопластичне пластичне масе

Одликују се могућношћу поновне еластичне деформације у загрејаном стању. Ове пластичне масе углавном не садрже пунила, осим средстава за бојење и пластификатора којим се постиже измена својстава чврстоће [1].

Основне одлике термопластичних пластичних маса су [1]:

- осетан утицај повишене температуре на својства чврстоће,
- оптичка провидност код многих пластичних маса је висока,
- могућност бојења углавном неограничена,
- ниска цена обликовања за производњу великих серија, а отпатци се могу поново употребити,
- могу се неограничено обликовати и спајати на топло али углавном са лепљивим раствором.

2) Термореактивне пластичне масе

Одликују се тиме да повишењем температуре очвршћавају услед структурних промена, а поновним загревањем не омекшавају. Ове пластичне масе скоро увек садрже пунила, очвршћиваче и стабилизаторе са циљем да се побољшају својства садржане смоле путем хемијских реакција [1].

Основне одлике термореактивних пластичних маса су [1]:

- повећана температура нема велики утицај на механичка својства,
- ниска оптичка проводљивост,
- могућност бојења ограничена,
- висока цена обликовања, а отпатци се не могу поново користити, и
- неспојиви су на топло и нелепљиви са растворима.

Најзначајнија класификација пластичних маса је према главним хемијским фамилијама и према њиховој природи:

а.) Главне хемијске фамилије

Табела 1.1. Преглед основних врста пластичних маса [1]:

Врста пластичне масе	Фамилија – Хемијска природа	Врста пластичне масе	Фамилија – Хемијска природа
Термопластичне пластичне масе	Полиетилени	Термореактивне пластичне масе	Феноли
	Полипропилени		Аминопласти
	Епоксидне смоле		Епоксидне смоле
	Полистироли		Полиестери*
	Полиамиди		Урелици
	Полиформаделхиди		
	Поликарбонати		
	Целулозе		
	Метакрили		
	Политетрафлуоретилени		
	Ацетати		

Напомена: * Припадају и једној и другој групи пластичних маса.

б.) Опште карактеристике пластичних маса

Табела 1.2. Карактеристике термопластичних пластичних маса [1]:

Општи подаци	Карактеристике	Утицај
Пластичне масе које не трпе неку хемијску промену приликом обликовања	Механичка својства	На које утиче температура
	Обликовање	Са могућношћу понављања
	Трошкови обликовања	Мали за велике серије
	Могућност бојења	Обично добра
	Провидност	Обично добра због полимера *
	Заваривање	Обично је могуће топљењем
	Лепљење	Обично помоћу растварача
	Рециклажа	Отпаци се могу поново користити

* Додатак кополимера стирол-акрилонитрата и поликарбоната и метакрила.

Табела 1.3. Карактеристике термореактивних пластичних маса [1]:

Општи подаци	Карактеристике	Утицај
Пластичне масе које трпе повратне хемијске трансформације при обликовању	Механичка својства	Мало утиче температура
	Обликовање	Не може се понављати
	Трошкови обликовања	Већи због пресовања са сабијањем
	Могућност бојења	Обично добра
	Провидност	Никаква
	Заваривање	Не могу се заварити *
	Лепљење	Само специјалним лепковима
	Рециклажа	Отпаци се могу поново користити

* Практично нерастворљива под дејством топлоте и разних растварача.

в.) Главни додатни материјали у пластичним масама

Табела 1.4. Главни додатни материјали у термопластичним пластичним масама [1]:

Општи подаци	Додатни материјали	Утицај
Пластичне масе које не трпе неку хемијску промену приликом обликовања.	Калцијум – карбонат	Ради побољшања димензионалне стабилности у зависности од температуре
	Силикати	
	Талк	
	Азбестна влакна	Ради побољшања одређених механичких и термичких карактеристика
	Стаклена влакна	
	Графит	Ради побољшања

Табела 1.5. Главни додатни материјали за термореактивне пластичне масе [1]:

Општи подаци	Додатни материјали	Утицај
Пластичне масе које трпе повратне хемијске трансформације при обликовању. Практично нерастворљиве пластичне масе.	Струготина	Општа примена
	Мешавина органско-неорганске материје	Ради побољшања електричних карактеристика
	Органска влакна	Побољшавају ударну жилавост
	Органске тканине	Побољшавају ударну жилавост
	Лискун	Мали губици при високој фреквенцији
	Азбест	Велика термичка отпорност
	Стаклена влакна	Одличне механичке, термичке и електричне карактеристике

1.2 Примена полимера у индустрији

Због својих механичких својстава и могућности обликовања различитим технологијама обраде, полимери су потисли многе друге материјале и њихова примена у индустрији је у сталном порасту. У развијеним земљама око једне трећине произведене пластике се користи за паковање, а једна трећина налази примену у индустрији аутомобила, намештаја, електронске индустрије, и војној индустрији. У војној индустрији на бази полимера највише примену имају композитни материјали са полимерном матрицом. Композитни са полимерском матрицом користе у одбрамбеној индустрији због мале тежине и одличним особинама, омогућавајући производње мање тежине и јача возила, бродова, оружја и објеката. [3]

**Слика 1.2.** Приказ примењених решења пиштољског рукохвата од полимерних композита. [3]

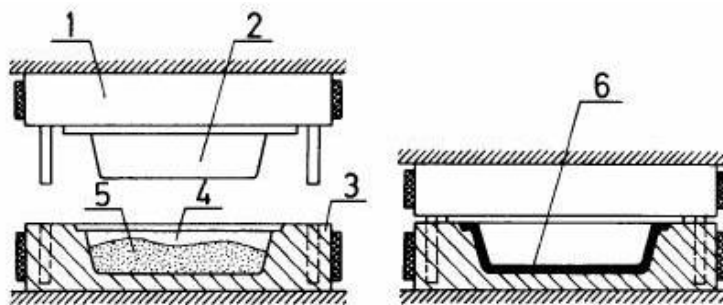
У прехранбеној индустрији полимери се највише примењују за паковање прехранбених производа. Индустрија амбалаже по примени полимерних материјала је на првом месту. Сврха им је да одрже храну што дуже свежом и да спрече кварење хране. Медицинска индустрија сваке године троши 3,5 – 4 милиона тона полимера. Полимери су нашли примену у медицини због своје хемијске инертности и постојаности на дезинфекцијска средства, корозију, и стерилизајуће услове, због могућности прецизног обликовања у завршне облике и ниске цене. Због својих карактеристичних својстава као што су релативно ниска густина, лагана прерада, ниска електрична проводљивост, корозијска заштита, полимери се све више користе као конструкцијски материјали у грађевинарству и пољопривреди. [21]

2.ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРЕРАДЕ ПОЛИМЕРА

Под прерадом пластичних маса подразумевају се сви поступци којима се од полимера – сировине добијају полуфабрикати или готови производи. Поступак прераде зависи од састава, врсте и стања полимера. Поступци прераде пластичних маса деле се на: основне операције прераде, прераде полуфабриката и помоћне операције прераде [4].

2.1 Пресовање

Као највећа предност пресовања сматра се чињеница да ови производи по својим димензијама одговарају алату. Дакле, све димензије се могу одредити тачно. Да би маса била погодна за прераду пресовањем, она мора да постане течна при одређеној температури, да се може бризгати у алату деловањем притиска и да при томе испуни контуру алата. Пластичне масе се обликују пресовањем на аутоматским или полуаутоматским пресима са калупима који се греју.



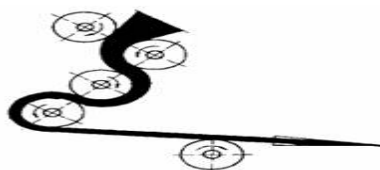
Слика 2.1. Шема поступка пресовања пластичних маса. [4]

1. држач обликача; 2. обликач; 3. матрица калупа; 4. гнездо калупа
5. материјал за пресовање и 6. предмет обраде

У првој фази, у калуп се дозира одговарајући састав материјала за пресовање у облику праха или таблета. У другој фази алат се затвара и пластична маса под притиском и на одговарајућој температури, испуњава калуп. Основни параметри процеса пресовања су температура загревања, која зависи од врсте полимера односно кополимера, и притисак који зависи од облика предмета обраде [4].

2.2 Каландровање

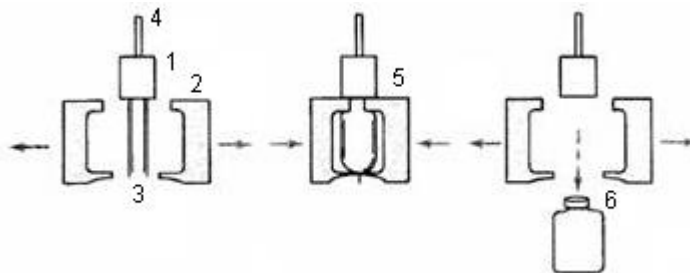
Каландровање је процес ваљања пластичних маса и еластомера (слично као ваљање метала) где се смешта више пута пропушта између загрејаних ваљака, тако да се дебљина стално смањује. Дебљина лима или фолија насталих каландровањем је 0,1 до 1 mm. У процесу каландровања може се нанети слој пластичне масе на памучну траку или на траку од папира. [4].



Слика 2.2. Шема поступка каландровања. [4]

2.3 Дување

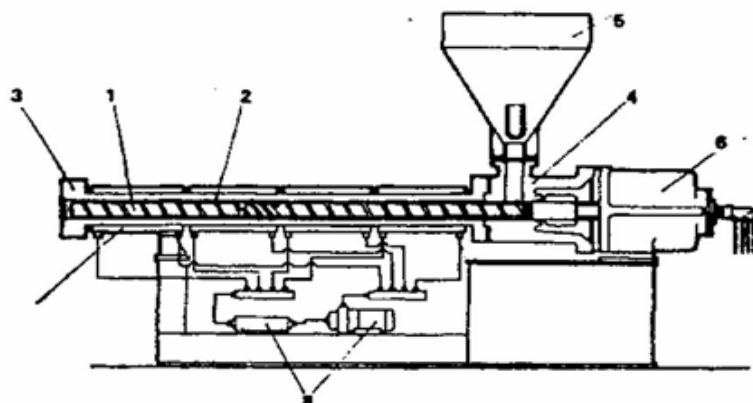
Користи се за израду танкозидних судова од пластике (боца, пластичних канти и сл.). Најпре се у загрејани екструдер (1) сипа гранулат тако да се на излазу формира меко црево (3). Оно се уводи у отворени дводелни калуп (2), калуп се потом затвара и у црево доводи загрејани ваздух под притиском кроз цевчицу (4). Тако се пласика потискује уз зидове калупа попримајући његов унтрашњи облик. [4].



Слика 2.3. Дување боца из екструдираног црева: 1 - глава екструдра, 2 - отворен калуп, 3 - екструдирано црево, 4 - проводник за довођење ваздуха под притиском, 5 - затворени калуп, 6 - готова боца. [4]

2.4 Еккструдирање

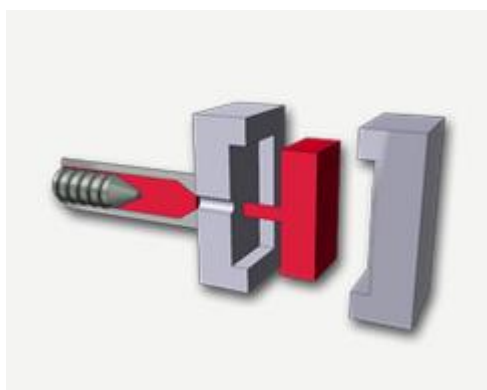
Екструдирање је континуалан поступак прераде пластичних маса. Овим поступком пластична маса, као полазна сировина, у праху или најчешће гранулату убацује се путем левка у цилиндар машине у којој је смештен један или више пужева, који транспортују, а под утицајем доведене топлоте преводе је у течно стање. Дејством погона за обртање пужа, као и савлађивањем отпора који настају транспортовањем растопљене пластичне масе, кроз отворе између пужа и цилиндра, маса се пластифицира, хомогенизира и на крају у алату машине формира се у жељени облик. Ова машина у којој се одвија поменути процес зове се екструдер. [4].



Слика 2.4. Скица једнопужног екструдера: 1-пуж, 2-цилиндар, 3-спојница за спајање са алатом, 4-водено хлађење улазна зона, 5-левак, 6-погон екструдера, 7-темперање пужа, 8-систем за хлађење и температурање цилиндра, 9-грејни елементи за грејање цилиндра. [4]

2.5 Бризгање

Процес бризгања изводи се на машинама за бризгање. Маса за прераду у облику зрна, гранула или прашка у одговарајућем саставу и количини сипа се кроз левак у цилиндар, где се греје и стапа се, а затим се клипом та растопљена маса гура према калупу који има нижу температуру, услед чега се пластична маса брзо хлади и очвршћава. Снижење температуре калупа изводи се расхладним средствима преко одговарајућих канала. Бризгање је са економског аспекта најзначајнији поступак прераде. Главне предности убизгавања су у уштеди материјала, мањем времену израде и мањем потребном простору за производњу. И поред великих трошкова за набавку опреме (машина и алата) овај поступак даје велике предности код серија од само неколико хиљада комада [4].



Слика 2.5. Приказ поступка бризгања. [5]

Предности овог поступка су: [4]

- тачност димензија и облика предмета, као и велику могућност обликовања предмета,
- производност са чистом и глатком површином у било којој боји,
- широке могућности дораде, обраде и оплемењивања површине,
- брза производња великих серија,
- велике могућности искоришћавања материјала.

У току анализе квалитета пластичних маса мора се одредити и понашање одговарајуће пластичне масе у технолошком смислу, да би се одабрао најоптималнији поступак - процес прераде. [4]

2.6 Вакуум термоформирање

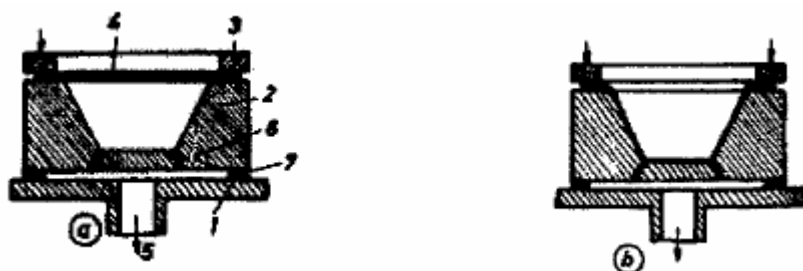
При преради термоформирањем, материјал се загрева на температуру која омогућава обликовање без измене основних карактеристика пластичне масе. Највеће промене облика постижу се изнад температуре омекшавања. При топлотном обликовању у термопластичном стању, за време еластичног развлачења, долази до оријентисања молекула. Поступком се могу прерађивати само тврди термопласти на нормалној температури, који се налазе у облику полупрерађевина. Могућност прераде је боља уколико је интервал између температуре омекшавања и течења већи, уколико је веће подручје термопластичности. [4]

Два основна поступка термоформирања су: [4]

- савијање;
- извлачење.

Савијање се изводи тако што се термопластична маса претходно загрева, а затим под одређеним углом и радијусом савија помоћу одговарајућих алата или између ваљака. Поступак се највише користи при производњи већих посуда или цеви.

Извлачење је поступак обликовања спољашњом силом, која делује на фиксно стегнуту плочу између прстена и држача, тако да се површина плоче повећава, а дебелина смањује. [4]



Слика 2.6. Термоформирање вакуумирањем. [4]

а.) пре вакуумирања, б.) после вакуумирања

1-постоље, 2-матрица, 3-држач, 4-фолија, 5-отвор за ваздух, 6-отвор, 7-заптивач

Деловање спољне силе на плочу може бити механичко (помоћу клипа), пнеуматско (деловањем збијеним ваздухом) и вакуумом.

Вакуумирање је уведено као основни поступак термоформирања, јер је значајно усавршен и аутоматизован. [4]

2.7 Заваривање пластичних маса

Заваривање пластичних маса је спајање два дела непосредно или посредно (жицом за заваривање), претходним довођењем пластичне масе у термопластично стање, када молекули имају велику слободу кретања. Деловањем притиска долази до хомогеног сједињавања. [4]

На основу начина загревања разликују се пет основних поступака заваривања:[4]

- заваривање загрејаног гаса;
- заваривање загрејаног елемента;
- заваривање притиска (трењем);
- диелектрично заваривање;
- заваривање ултразвуком.

Заваривање топлим гасом је настарији и врло једноставан поступак за заваривања плоча, цеви. Заваривање се изводи топлим гасом који загрева плоче и жицу која се лаганим притиском повија и испуњава шав.

Заваривање загрејаним елементом се састоји у томе да се површина пластичних материјала загреје до температуре спајања медијумом за загревање (204-342 °C). За време периода хлађења делује се слиом притиска (0,03-0,09 МПа) на спојене делове.

Диелектрично заваривање се изводи струјом високе френквенције. Између металних електрода, које се налазе под наизменичним напоном високе френквенције 20 – 60 MHz налази се пластична маса која није проводник већ диелектрик.

Ултразвучно заваривање, алат који вибрира при френквенцији ултразвука додирује половину дела. Фрикциона топлота, која се ствара због високо френквентних вибрација, топи пластичну ивицу на једној површини. Истопљени материјал са обе површине тече лагано и очвршћава када престану ултразвучне вибрације. [4]

3. ТЕХНОЛОГИЈА ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА

Излаз из процеса преобликовања представља отпресак дефинисаног геометријског облика и прописаних својстава. Таквом отпреску потребно је често поступцима одвајања отклонити вишак материјала, заварити, залепити или дотерати површину. На својства полимера посебно изражено утиче температура. Полимери су лоши проводници топлоте, на шта свакако треба обратити пажњу при обради резањем. Главни проблем код обраде полимерних материјала је повећање температуре услед трења, што самњује обрадљивост. Прекомерним загревањем алата односно полимера, долази до нарушавања квалитета полимера као и до његовог топљења. Последица тога је лош квалитет обрађене површине, могућност запињања алата и постоји могућност цепања полимера односно напрснуће. Врло је важно спречити загревање алата односно производа до тачке где омекшавање и топљење полимера постају значајни. Постоје специјално израђени алати за елиминисање проблема са загревањем. Уопштено висока тачка топљења, константно подмазивање, висока тврдоћа и крутост су фактори који повећавају обрадљивост. Постоје полимерни материјали као акрили, полистирени, поликарбонати и већина дурумера који су тврди и крхки, и захтевају посебно пажњу приликом обраде да би се избегли оштећења и ломови. Приликом обраде потребно је брзо и често отклањати остатке струготине. Остаци и код пластомера и код дурумера врло брзо постану гумасти при загревању, па могу довести до заглављивања алата. Остала унутрашња својства полимерних материјала морају бити размотрена пре и током саме обраде. Обрада пластомера до ниских толеранција је врло тешка због еластичног враћања материјала након завршетка обраде. Еластично враћање јавља се током обраде и након завршетка, и о њему треба водити рачуна приликом одабира задњег угла алата. Ширење сабијеног материјала приликом еластичног враћања повећава трење између резне и задње површине дела који се обрађује, па долази до повишења температуре и појачаног трошења оштрице. Растезна чврстоћа полимера је 2 до 3 пута нижа од притисне чврстоће. Због тога је потребно алат наместити тако да се искористе ниски модул растезности и ниска растезна чврстоћа при одвајању. То се постиже великим предњим углом алата, а последица је снижење потребног рада резања. Топлотна растезљивост полимера десет је пута већа у односу на метал. Услед акумулирања топлоте приликом обраде долази до растезања дела који се обрађује, повећања трења између алата и дела и додатног загревања дела. Да би се при обради избегло високо загревање алата, треба пазити да се правилно изаберу резне ивице, довољно велики слободни угао алата (између задње и обрадиве површине), да се осигура једнолико одвођење честице, добро хлађење алата и мали посмак оштрице алата. При свакој обради битно је ускладити материјал и геометрију алата за резање са врстом полимерног материјала. Учесталије додавање појачивача основном полимерном материјалу доводи до појачаног трошења оштрице алата, што такође смањује обрадљивост. Зато алат треба бити направљен од тврдог метала или са дијамантским уметком. [6]

Када постоји потреба за обрадом резањем, опрема и компоненте су врло сличне онима који се користе за обраду дрвета и меких метала. Разлика у алатима коришћеним за обраду полимерних материјала зависи од њихових карактеристика. Обрада се дешава на месту где се сусрећу део који се обрађује и алат. Алат и део се означавају као триболошки пар. За остваривање процеса одвајања честица потребно је релативно гирање између алата и дела (главно гирање које даје брзину резања и помоћно). Највећи део енергије троши се на обликовање одвојене честице и савладавање трења. Настала

топлота одводи се из триболошког пара помоћу система за хлађење, а део топлоте остаје у алату и делу. Обрада резањем врши се у чврстом стању. Под појмом обрада резањем подразумевају се поступци стругања, глодања, бушења, развртања, праволинијског и кружних резања, брушења, полирања. Ти поступци у основи су исти као и код обраде метала и дрвета. Поступци обраде резањем се ретко користе за израду полимерних делова, што је случај у појединачној производњи, изради прототипова, нултих и мањих серија. Учесталије се део настао неком од технологија обраде полимера подвргава обради резањем ради уклањања вишкова и постизања жељене геометрије. [7]

3.1 Правила при обради резањем полимерних материјала [6]

1. Алати за обраду морају бити одржавани да буду врло оштри. Стандардне резне плочице са оштрим резним угловима су прихватљиве за краткотрајну обраду, а за дуготрајну обраду препоручује се плочице од волфрамовог карбида или дијаманта.
2. Треба пазити на одговарајући размак алата. Неприлагођени угао размака алата може проузроковати проблеме због еластичне природе полимера.
3. Мерења морају бити вршена са опрезом ради ширења материјала приликом загревања алата односно дела. Димензије дела се могу мењати чак до 24 сата након завршетка обраде.
4. Загревање дела треба смањити. Пошто код полимерних материјала нема проводљивости топлоте као код метала, уколико није контролисана приликом обраде топлота би могла уништити површину дела.

3.2 Својства алата за обраду резањем полимера [7]

Основни облик алата са резном оштрицом је клин. Разликује се алат са једном и више оштрица. За алате који служе обради полимера карактеристичан је велики предњи угао алата, што смањује потребни рад резања. Ниски модул растезљивости је разлог зашто се мора користити врло оштар резни алат. Развијена топлота при обради се ради ниске топлотне проводљивости полимера одводи углавном у резни алат (99,2-99,8%), а остатак се задржава у површинском слоју дела који се обрађује. Ради тога постоји потреба за интензивним хлађењем површине дела. Количина развијене топлоте може се смањити полирањем предње плоче оштрице резног алата. При обради пластомера радне температуре су до 60°C, а код обраде дуромера око 150°C. Приликом сваке обраде битно је ускладити материјал и његову геометрију са врстом полимера који се обрађује.

3.3 Основне мере опреза за спречавање прекомерног загревања алата у подручју обраде [6]

1. Користити само врло оштре алате и одржавати их оштрима.
2. Осигурати да алат буде у стању резања а не стругања.
3. Осигурати довољно велики слободни угао између задње површине и обрадиве површине алата.
4. Имати под контролом брзину резања и посмак одабран за обраду.
5. Користити мале посмаке оштрице алата.
6. Користити расхладне течности у случају релативно дужих обрада. Хлађење може бити вршено ваздушним млазом, течним распршивачем на бази воде.
7. Осигурати једнолико одвођење честица.

4. ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА

Многи производи од пластике ће захтевати одређени степен обраде и дораде након што се обрађују и пре него што се стављају на тржишту. Основна сврха многих завршних обрада и машинских обрада је отклањање недостатака као што су огреботине, удубљења, тупа места, гребени настали приликом одвајања калупа или посебна сврха. Код екструдираних дела може да се појаве уздужне огреботине са ивице екструзионог калупа. Термоформирани комади могу показати недостатке који су били присутни пре обраде. Одливањем пластике у чврсте калупе може остати мали трагови на местима где се спајају половине калупа. Чак и када се користе флексибилни калупи, трагови могу остати на месту где је пластика убачена у калуп. Многе завршне операције на многим ливеним отпресцима могу се избећи пажљивим дизајнирањем производа или калупа. За завршну и машинску обраду потребно је коришћење многобројних техника које су доступне за пластичне масе као што су стругање, глодање, бушење, брушење, тестерисање... Поправка и уклањање дефекта нису једини разлози за завршну и машинску обраду. У неким применама, може бити неопходно тестерисање, бушење, глодање, само за припрему пластичне масе за спајање и монтажу. У другим случајевима завршна и машинска обрада може да се користи да се задовоље веом мале мере толеранције и обраде до жељених толеранција. Машинска обрада може бити корисна у раним фазама пројектовања за стварање прототипова и за ниско обимну производњу. [8]

Сваки тип пластике има јединствене особине, и стога се може претпоставити да имају различиту обраду. Карактеристике су далеко другачије од оних металних материјала. Разматрање својства рада је важно у одређивању најбоље брзине, геометрије алата, материјала алата, течности за хлађење и подмазивање. [8]

4.1 Обрада стругањем

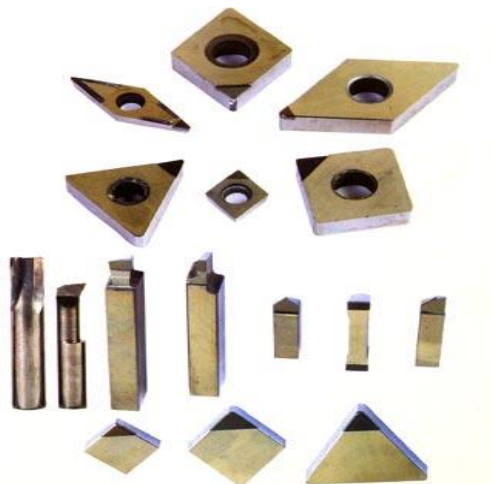
Обрада стругањем је поступак обраде првенствено ротационих делова. Остварује се тако што предмет обраде изводи главно обртно кретање, а алат помоћно праволинијско кретање. Релативна кретања алата и предмета обраде условљавају и врсту производне операције у обради стругањем.

Главно кретање је дефинисано брзином резања (V , m/min), бројем обрта предмета обраде (n , o/min). Помоћно кретање је одређено кораком (S , mm/o аксијално померање алата за један обрт предмета обраде) и брзином помоћног кретања (V_p , mm/min). [9]

Поступак стругања полимерних материјала је у основи исти као код обраде метала. Разликују се величине углова и брзине обраде. Разлог прецизног стругања полимерних материјала је спречавање настанка удубљења. Препоручују се мали посмаци како не би дошло прекомерног загревања, брзине резања до 180 m/min. Приликом обраде дуромера не треба очекивати глатку завршну обраду. Процедура за обраду дуромера слична је обради месинга, само што је трошење алата пуно екстремније. Мазива се ретко користе, али ваздушне млазнице у зони обраде могу помоћи при проводљивости топлоте. Одвојене честице препоручљиво је уклањати уисним цревима у зони резања. [9]

Алати у обради стругањем и геометрија алата за обраду полимера

Стругарски ножеви су разноврсни по облику, димензијама и врсти алатног материјала. Стругарски нож се састоји од: тела алата на коме се налазе резни елементи (резни клин) и дршке преко које се изводи постављање и причвршћивање на носач алата. [9]



Слика 4.1. Изглед алата за стругање полимера. [10]

Према врсти обраде разликују се стругарски ножеви за: [9]

- спољашњу обраду;
- снутрашњу обраду;
- усецање и одсецање;
- израду навоја.

Према квалитету површине стругарски ножеви се разврставају на ножеве за: [9]

- грубу обраду;
- завршну (фину) обраду.

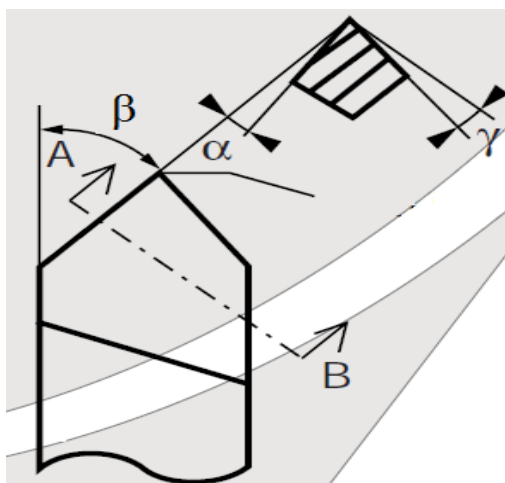
Према облику стругарски ножеви могу бити: [9]

- прави;
- савијени;
- крстасти.

Према смеру кретања у току обраде, стругарски ножеви се деле на: [9]

- леве;
- десне;
- чеоне.

Резну геометрију стругарског ножа од чијих вредности зависи израда алата за обраду полимерних материјала су: углови резног клина, γ – грудни (предњи) угао, α – леђни (задњи) угао и β – угао клина. [11]



Слика 4.2. Геометрија резног клина. [11]

Табела 4.1. Приказ геометрија алата за стругање појединих полимерних материјала.[11]

Полимерни материјали	Леђни (задњи) угао $\alpha, ^\circ$	Грудни (предњи) угао $\gamma, ^\circ$	Угао клина $\beta, ^\circ$
Поликарбонат	5-10	6-8	45-60
АБС	5-15	25-30	15
Најлон	6-10	0-5	45-60
Полисulfат	6	0	45-60
ПВДФ	10	5-8	10
Ацетал	6-8	0-5	45-60
ПЕТ	5-10	0-5	45-60
ППО	5-10	6-8	45-60
Полиетеркетон	6-12	5	45-60
Полиетерамид	15	5	5
Полиамид	0-5	8-10	60-75
Ојачане пластике	6-8	2-8	45-60

За одређивање режима рада за стругање појединих полимерних материјала најважније је знати потенцијалну дубину резања, брзину резања главног кретања и корак помоћног кретања.

Табела 4.2. Приказ режима рада појединих полимерних материјала. [11]

Полимерни материјали	Дубина резања mm	Брзина резања V, m/min	Корак S, mm/o
Поликарбонат	1-8	290	0,1-0,5
АБС	1-8	199-488	0,2-0,5
Најлон	1-8	244-488	0,1-0,5
Полисulfат	1-8	350-397	0,1-0,5
ПВДФ	1-8	152-488	0,1-0,5

Ацетал	1-8	290-595	0,1-0,4
ПЕТ	1-8	290-397	0,2-0,4
ППО	1-8	290	0,1-0,5
Полиетеркетон	1-8	290	0,38
Полиетерамид	1-8	305-610	0,13-0,5
Полиамид	1-8	92-183	0,025-0,5
Ојачане пластике	1-8	152-198	0,1-0,5

4.2 Обрада глодањем

Обрада глодањем је поступак обраде равних површина, жљебова, површина специјалног и сложеног облика. Главно кретање је обртно кретање алата дефинисано брзином резања (V , m/min). Помоћно кретање је праволинијско кретање предмета обраде и/или алата и одређено је брзином помоћног кретања (V_p , mm/min, аксијалним померањем у јединици времена), а може бити дефинисано кораком по зубу (S_1 , mm/z, аксијалним померањем за један зуб алата) и кораком (S , mm/o, аксијалним померањем за један обрт алата). [9]

Према распореду резних елемената алата, разликују се два поступка обраде глодањем: [9]

- обимно глодање;
- чеоно глодање;

при чему су зуби глодала за обимно глодање распоређени по обиму цилиндра, а код глодала за чеоно глодање на чеоној страни диска.

Према смеру међусобних кретања алата и предмета обраде, разликују се два поступка обраде глодањем: [9]

- истосмерно глодање;
- супротосмерно глодање

Код обраде истосмерним глодањем смерови главног и помоћног кретања се поклапају и дебљина струготине се мења од максималне вредности до нуле, док код супротосмерних глодања то није случај и дебљина струготине се мења од нуле до максималне вредности. [9]

Основни геометријски параметри обраде глодањем су: [9]

- дубина резања (a);
- угао контакта ψ , централни угао који одговара луку додиралца алата и предмета обраде;
- угао захвата ϕ , дефинише тренутни положај зуба глодала у захвату;
- ширина глодања (b);
- дебљина резног слоја – струготине (h).

Алати у обради глодањем и геометрија алата

Алати у обради глодањем – глодала припадају групи вишесечних алата цилиндричног облика са резним елементима распоређеним по обиму и/или чеоној површини. [9]



Слика 4.3. Изглед глодала за обраду полимера. [12]

Према конструкцији глодала могу бити: [9]

- једнодела (интегрална) глодала - глодала из пуног материјала;
- вишеделна глодала (са уметнутим зубима, лемљним плочицама, механички причвршћених плочица алатних материјала).
-

Према начину постављања на машину глодала су: [9]

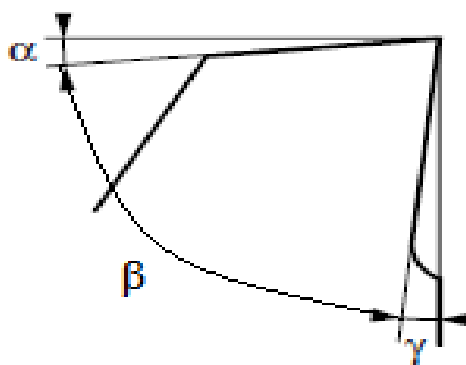
- са коничном или цилиндричном дршком;
- са отвором – насадна глодала.

Према врсти и облику глодала се деле на: [9]

- ваљкаста;
- чеона;
- катураста;
- вретенаста;
- тестераста.
-

Геометрију алата у обради глодањем чине основне димензије: [9]

- пречник
- ширина
- пречник отвора или дршке
- број зуба глодала
- геометрија резног клина



Слика 4.4. Геометрија резног клина код глодаћа. [11]

Код обраде глодањем полимерних материјала, најважнији параметри приликом израде алата су величине које дефинишу резни клин: леђни (задњи) угао и грудну (предњи) угао. [11]

Табела 4.3. Приказ геометрије резног клина за обраду глодањем појединих полимерних метеријала. [11]

Полимерни материјали	Леђни (задњи) угао $\alpha, ^\circ$	Грудни (предњи) угао $\gamma, ^\circ$
Поликарбонат	10-20	5-15
АБС	5-10	0-10
Најлон	10-20	5-15
Полисулфат	2-10	1-5
ПВДФ	5-15	5-15
Ацетал	5-15	5-15
ПЕТ	5-15	5-15
ППО	10-20	5-15
Полиетеркетон	5-15	5-15
Полиетерамид	15	5
Полиамид	5-20	5-15
Ојачане пластике	15-30	6-10

За одређивање режима рада за обраду глодањем појединих полимерних материјала најважније је знати потенцијалну дубину резања, брзину резања главног кретања и корак помоћног кретања. [11]

Табела 4.4. Приказ режима рада појединих полимерних материјала[11]

Полимерни материјали	Дубина резања mm	Брзина резања V, m/min	Корак S, mm/o
Поликарбонат	1-8	290	0,1-0,3
АБС	1-8	290-488	0,1-0,3
Најлон	1-8	244-488	0,1-0,3

Полисулфат	1-8	244-488	0,1-0,3
ПВДФ	1-8	244-488	0,1-0,3
Ацетал	1-8	244-488	0,1-0,3
ПЕТ	1-8	290	0,1-0,3
ППО	1-8	290	0,1-0,3
Полиетеркетон	1-8	168-229	0,1-0,3
Полиетерамид	1-8	199-397	0,1-0,3
Полиамид	1-8	92-244	0,1-0,3
Ојачане пластике	1-8	76-106	0,1-0,3

4.3 Обрада бушењем

Бушење је поступак израде и обраде отвора и рупа. Главно обртно и помоћно праволинијско кретање изводи алат. Главно кретање је дефинисано брзином резања (V , m/min), или бројем обрта (n , o/min), а помоћно кораком (S , mm/o, аксијалним померањем алата за један обрт алата) или брзином помоћног кретања (V_r , mm/min).

Овде су посебно критични дисипација топлоте и одстрањивање остатка струготине. Поврине бургије у додиру са делом који се обрађује, као и површине канала морају бити високо полиране и хромиране. Доступне су бургије произведене специјално за обраду полимерних материјала, али нису погодне за све полимерне материјале. Брзине ротације бургије се обично смањују повећањем промера рупе или повећањем њене дубине. Обично су брзине ротације веће код јачих материјала, и код пластомера и код дуромера. [9]



Слика 4.5. Изглед бургија за бушење полимера. [13]

За бушење отвора рупа користе се бургије. Према облику деле се на: [9]

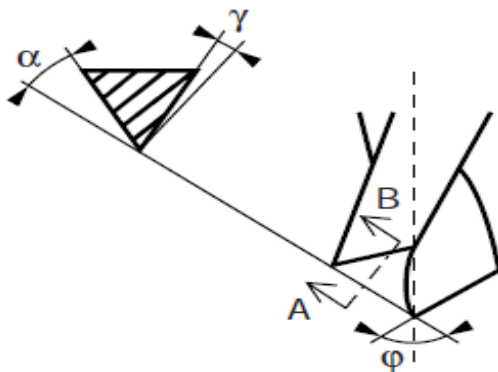
- равне;
- спиралне.

Према врсти алатног материјала бургије се деле на бургије од: [9]

- брзорезног челика;
- тврдог метала.

Према поступку израде бургије се деле на бургије израђене: [9]

- глодањем;
- ваљањем;
- брушењем.



Слика 4.5. Геометрија бургије за обраду бушењем. [11]

Код обраде бушењем полимерних материјала, најважнији параметри приликом израде алата су величине које дефинишу резни клин: леђни (задњи) угао бургије, грудни (предњи) угао бурије и угао врха бургије. [11]

Табела 4.4. Приказ геометрије бургије за обраду бушењем. [11]

Полимерни материјали	Леђни (задњи) угао бургије $\alpha, ^\circ$	Грудни (предњи) угао бурије $\gamma, ^\circ$	Угао врха бургије $\phi, ^\circ$
Поликарбонат	8-10	10-20	90
АБС	8-12	10-30	90
Најлон	5-15	0-20	90-120
Полисулфат	3-10	10-20	90
ПВДФ	10-16	5-20	130
Ацетал	5-10	15-30	90
ПЕТ	5-10	10-20	90
ППО	8-10	10-20	90
Полиетеркетон	12	10-20	118
Полиетерамид	5-10	5-20	70-90
Полиамид	5-15	5-20	90-120
Ојачане пластике	6	5-10	120

За одређивање режима рада за обраду глодањем појединих полимерних материјала најважније је знати потенцијалну дубину резања, брзину резања главног кретања и корак помоћног кретања. [11]

Табела 4.5. Приказ режима рада за поједине полимерне материјале бушењем. [11]

Полимерни материјали	Дубина резања mm	Брзина резања V, m/min	Корак S, mm/o
Поликарбонат	1-8	45-90	0,2-0,4
АБС	1-8	45-199	0,2-0,4
Најлон	1-8	45-152	0,1-0,4
Полисулфат	1-8	15-76	0,1-0,4
ПВДФ	1-8	152-199	0,1-0,4
Ацетал	1-8	45-199	0,1-0,4
ПЕТ	1-8	45-90	0,2-0,4
ППО	1-8	45-90	0,0-0,4
Полиетеркетон	1-8	122	0,05-0,2
Полиетерамид	1-8	90	0,13-0,38
Полиамид	1-8	152-183	0,075-0,13
Ојачане пластике	1-8	76-90	0,1-0,3

Приликом операције обраде бушењем непходно је одрадити „забушивање“. Оно обезбеђује центрирање и правилно вођење спиралне бургије. Изводи се забушивачима са једноструким конусом. [9]

4.4 Проширивање

Проширивање или развртање је обрада која се врши након обраде бушења и то је коначна обрада отвора. Обезбеђује остварење задатих димензија отвора и прописаног квалитета површина. Проширивање код полимера мора се вршити веома оштрим алатима. Препоручују се завојити канали проширивача и хлађење водом. [9]

**Слика 4.7.** Излед проширивача (развртача) за полимерни материјал. [14]

Проширивачи се деле на: [9]

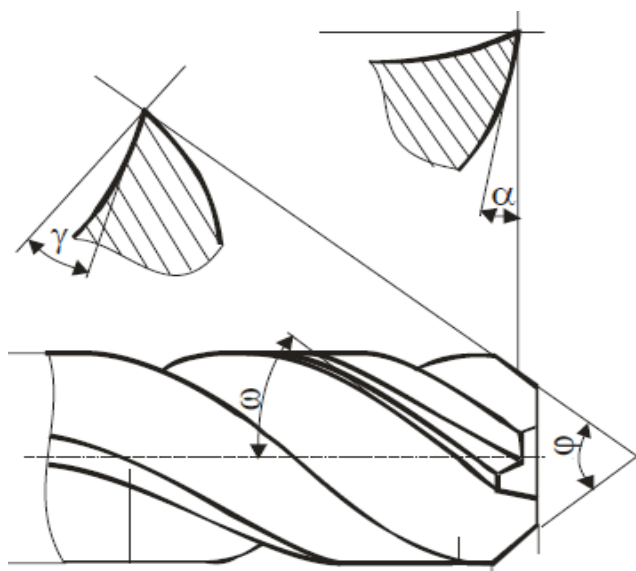
- ручне;
- машинске.

Према конструкцији проширивачи деле се на: [9]

- подешљиве;
- неподешљиве.

Према врсти алатног материјала деле се на прошириваче од: [9]

- брзорезног челика;
- тврдог метала.



Слика 4.8. Геометрија алата за проширивање. [11]

Код обраде проширивањем полимерних материјала, најважнији параметри приликом израде алата су величине које дефинишу алат: леђни (задњи) угао, грудни (предњи) угао и угао врха проширивача. Геометрија алата за проширивање се умного не разликује од геометрије приликом обраде бушења. [11]

Табела 4.6. Приказ режима рада проширивања појединих полимерних материјала. [11]

Полимерни материјали	Брзина резања V , m/min	Корак S , mm/o
Поликарбонат	35-70	0,15-0,3
АБС	35-150	0,15-0,3
Најлон	35-115	0,075-0,3
Полисulfат	12-55	0,075-0,3

ПВДФ	115-150	0,075-0,3
Ацетал	35-150	0,075-0,3
ПЕТ	35-70	0,75-0,3
ППО	35-70	0,0-0,3
Полиетеркетон	90	0,03-0,15
Полиетерамид	70	0,09-0,28
Полиамид	115-140	0,05-0,1
Ојачане пластике	57-70	0,075-0,25

4.5 Сечење

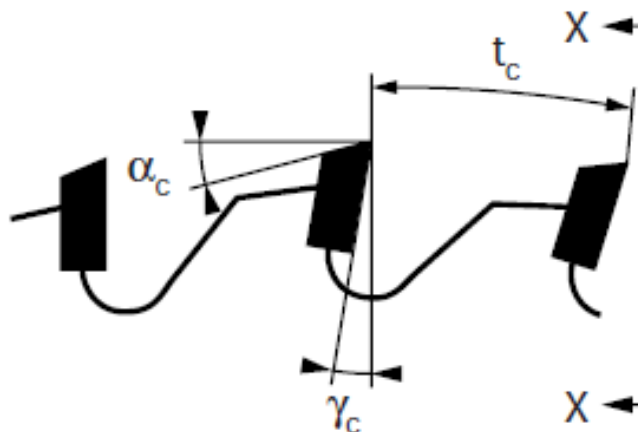
За сечење полимера углавном се користе кружне и тракасте тестере. Препоручује се обавезно хлађење. Брзине резања и посмази зависе од материјала. Тестере се морају одржавати веома оштрим, посебно код обраде дуромера. Препоручују се тестере од карбида. Настала струготина приликом резања уклања се уисним цревима у зони резања. Обрада сечењем се користи првенствено за реализацију производних операција одсецања материјала, мада се може користити и за извођење операција исецања и усецања.

Код обраде на кружним тестерама алат изводи главно обртно кретање (брзина резања V , m/min или број обртаја тестере o/min) и помоћно праволинијско кретање (корак S , mm/o). При обради на тракастим тестерама алат изводи главни кретање (брзина резања V , m/min), а предмет обраде помоћно праволинијско кретање (брзина V_p , mm/min). [9]

Основни алати у обради сечењем су тестераста глодала (кружне тестере), и тракасте тестере и тракасти листови. Кружне тестере се израђују у виду танког диска са зубима по обиму, тако да у суштини представљају тестераста глодала. Кружне тестере великих пречника (изнад 250mm) се ретко израђују из једног комада, интегрално. Уметнути зуби или зуби у виду сегмената од брзорезног челика или тврдог метала механички се причвршћују за тело тестере од конструктивног челика. За сечење полимерних материјала израђују се и тестере са изменљивим плочицама од тврдог метала, са превлакама, керамике, и супер тврдых материјала као што је дијамант. [9]



Слика 4.9. Изглед кружне тестере за сечење полимера. [15]



Слика 4.10. Геометрија кружне тестере. [11]

Код обраде сечењем кружним тестерама полимерних материјала, најважнији параметри приликом израде алата су величине које дефинишу резни клин: леђни (задњи) угао, грудни (предњи) угао. [11]

Табела 4.7. Приказ геометрије кружне тестере за обраду сечењем појединих полимерних материјала. [11]

Полимерни материјали	Леђни (задњи) угао $\alpha, ^\circ$	Грудни (предњи) угао $\gamma, ^\circ$
Поликарбонат	8-17	0-15
АБС	8-17	0-15
Најлон	8-17	0-15
Полисулфат	8-17	0-15
ПВДФ	8-17	0-15
Ацетал	8-17	0-15
ПЕТ	8-17	0-15
ППО	8-17	0-15
Полиетеркетон	8-17	0-15
Полиетерамид	8-17	0-15
Полиамид	8-17	0-15
Ојачане пластике	8-17	0-15

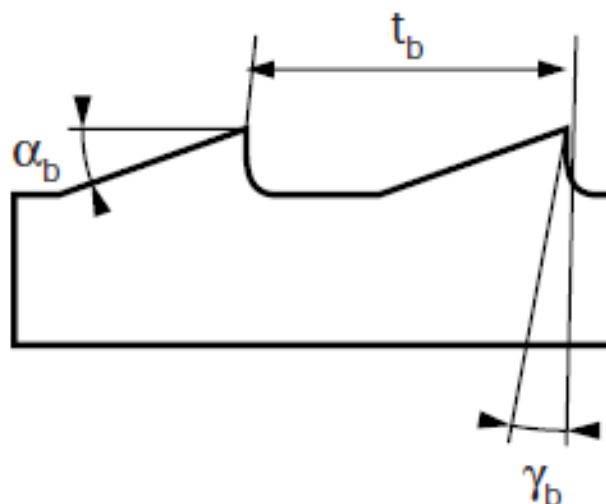
Табела 4.8. Приказ режима рада сечења кружним тестерама појединих полимерних материјала. [11]

Полимерни материјали	Брзина резања $V, \text{ m/min}$	Корак $t, \text{ mm}$
Поликарбонат	900-2800	8-25
АБС	900-2800	8-45
Најлон	900-2800	8-25
Полисулфат	900-2800	8-45
ПВДФ	900-2800	8-25
Ацетал	900-2800	8-25
ПЕТ	900-2800	8-25
ППО	900-2800	8-45
Полиетеркетон	900-2800	8-25
Полиетерамид	900-2800	8-25
Полиамид	900-2800	8-25
Ојачане пластике	900-2800	8-25

Тракасте тестере имају ситне зубе, обично троугластог облика. Направљене су од брзорезног челика, а остали део од конструктивног челика. Тестере треба да су еластичне, јер су изложене непрекидном савијању и исправљању. [11]



Слика 4.11. Изглед и поступак сечења полимера тракастом тестером. [16]



Слика 4.12. Геометрија алата тракасте тестере. [11]

Код обраде сечењем кружним тестерама полимерних материјала, најважнији параметри приликом израде алата су величине које дефинишу резни клин: леђни (задњи) угао, грудни (предњи) угао. [1]

Табела 4.9. Приказ геометрије тракасте тестере за обраду сечењем појединих полимерних метеријала. [11]

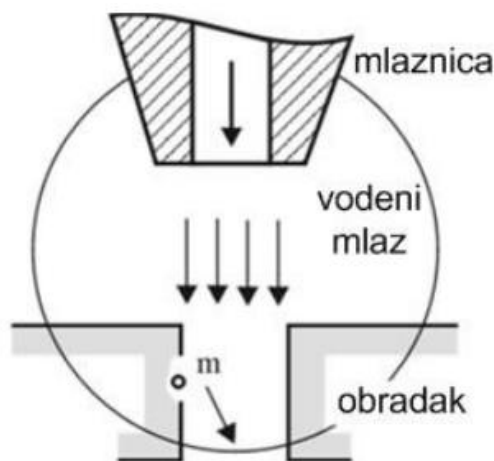
Полимерни материјали	Брзина резања V , m/min	Корак t , mm
Поликарбонат	290	3-6
АБС	290	2-6
Најлон	490	3-5
Полисулфат	490	2-5
ПВДФ	290	2-6
Ацетал	490-790	2-5
ПЕТ	290	3-6
ППО	290	3-6
Полиетеркетон	180-290	3-5
Полиетерамид	900-1500	3
Полиамид	900-2100	2-4
Ојачане пластике	180-290	2-5

Табела 4.10. Приказ режима рада сечења кружним тестерама појединих полимерних материјала. [11]

Полимерни материјали	Леђни (задњи) угао $\alpha, ^\circ$	Грудни (предњи) угао $\gamma, ^\circ$
Поликарбонат	18-35	0-8
АБС	18-35	0-8
Најлон	18-35	0-8
Полисулфат	18-35	0-8
ПВДФ	18-35	0-8
Ацетал	18-35	0-8
ПЕТ	18-35	0-8
ППО	18-35	0-8
Полиетеркетон	18-35	0-8
Полиетерамид	18-35	0-8
Полиамид	18-35	0-8
Ојачане пластике	18-35	0-8

4.6 Резање воденим млазом

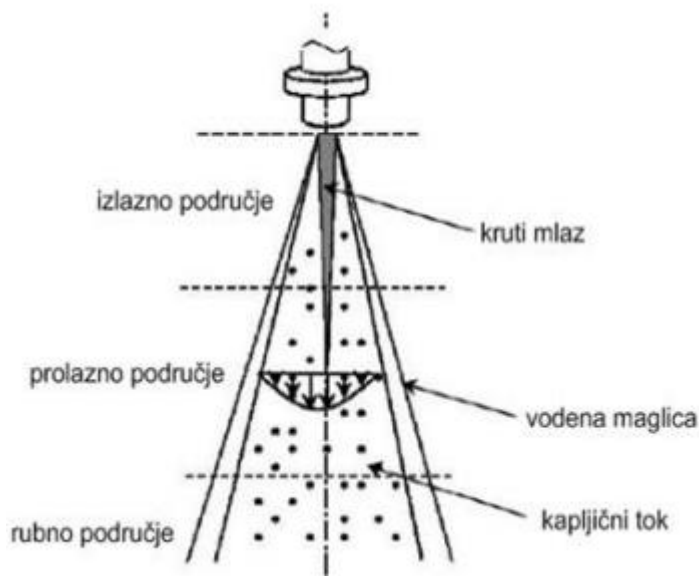
Поступак обраде материјала воденим млазом спада међу механичке поступке обраде. Водени млаз под високим притиском удара о површину дела који се обрађује, при чему повећава пукотине у материјалу истовремено односећи отпадни материјал. [17]



Слика 4.13. Обрада воденим млазом. [17]

Принцип деловања воденог млаза је врло једноставан. Вода под високим притиском (2000-4000 бар), се преко цеви доводи до резне главе у којој се налази тзв. водена млазница (дијамант, сафир) са малим промером отвора (0,1 mm до 0,4 mm). При истицању воде из млазнице формира се узак млаз воде велике брзине (до 1000 m/s), три

пута веће од брзине звука. У тренутку када водени млаз ступи у атмосферу, он се распрши. Што се тиче структуре, водени млаз дели се на излазно подручје где има круту срж која се употребљава за резање. Друго подручје зове се пролазно подручје где настаје водена маглица. То подручје воденог млаза намењено је за фрагментацију. Када водени млаз пређе рубно подручје његов облик прелази у капљични ток, губи снагу и више није употребљив у производњи. [17]



Слика 4.14. Структура воденог млаза. [17]

Поступак резања воденим млазом је све развијенији. Обрадци изрезани воденим млазом имају изузетно гладак рез, нема оштрих рубова. Водени млаз користи се при површинској обради за преобликовање површина, као и за одстрањивање неравнина са материјала. Повећањем притиска и смањењем промера млазнице постиже се већа дубина реза код исте количине протока воде. [17]

Предности обраде полимера воденим млазом: [17]

- нема загревања материјала у зони обраде (хладна обрада);
- нема настајања честица прашине које утичу на дисање;
- кратко време припреме машине;
- једноставна аутоматизација поступка;
- еколошки прихватљив поступак;
- један алат користи се за резање материјала различитог састава;
- нема оштрих рубова резања;
- ограничен губитак материјала због малог промера воденог млаза;
- боље искоришћење енергије;
- није потребан почетни отвор за обраду;
- мале силе за време обраде;
- мала потреба за стегама код постављања и стезања дела;
- тачност обраде $\pm 0,1 \text{ mm}$;
- дебљина материјала који се обрађује и до 100 mm ;

Недостаци обраде воденим млазом: [17]

- избраздане површине обрадом воденог млаза изазивају смањење енергије у дубини реза;
- брзим линеарним резањем добије се V профил;
- код брзог резања унутрашњих углова могу настати урези у материјалу;
- при брзом резању кругова и лукова може доћи до одступања;
- губитком притиска између пумпе и резне главе смањује се брзина резања;
- обрада врло тврдих материјала је врло тешка;
- велика бука приликом обраде (до 100db).

4.7 Израда навоја

Методе и поступци израде навоја најчешће се разврставају према типу машине која се користи за израду навоја. Израда навоја може бити на: [9]

- стругу;
- бушилици;
- глодалици;

Избор метода и поступака израде навоја зависи од обима производње и врсте навоја, спољашњи, унутрашњи, краткоходни или дугоходни, као и од врсте материјала на коме се израђује навој. [19]

Израда навоја на стругу користи се у појединачној и малосеријској производњи. Као алат за израду навоја на стругу користе се стандардни стругарски ножеви за спољашњи и унутрашњи навој, једно и вишепрофилни ножеви, специјални ножеви за израду трапезастог навоја.

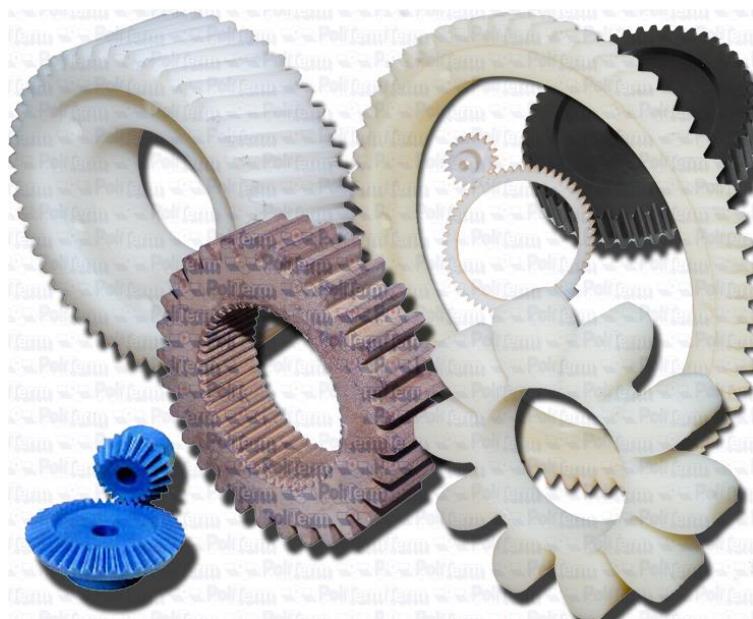
Израда навоја на бушилици могућа је израда унутрашњег или спољашњег навоја применом урезника или нарезница. Урезник има облик завојнице прекинуте жљебовима за одвођење струготине и формирање резног клина алата.

Израда навоја на глодалици могућа је израда краткоходних и дугоходних навоја. Краткоходни навоји се израђују применом вретенастих и ваљкастих навојних глодала. Дугоходни навоји се израђују на универзалним или хоризонталним глодалицама. [9]

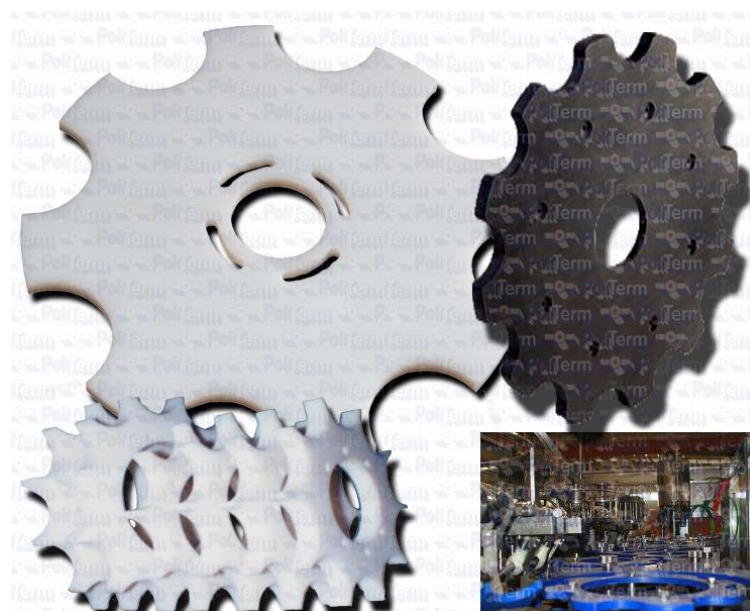
Ширина навоја код полимерних материјала треба бити благо повећана, а висина обраде навоја благо самњена ради еластичнох поврата материјала. То се посебно односи на мекше пластомере. Навоји треба бити добро полирани и препоручује се хромирање. [11]

5. ПРИМЕРИ ДЕЛОВА НАСТАЛИХ ОБРАДОМ РЕЗАЊЕМ

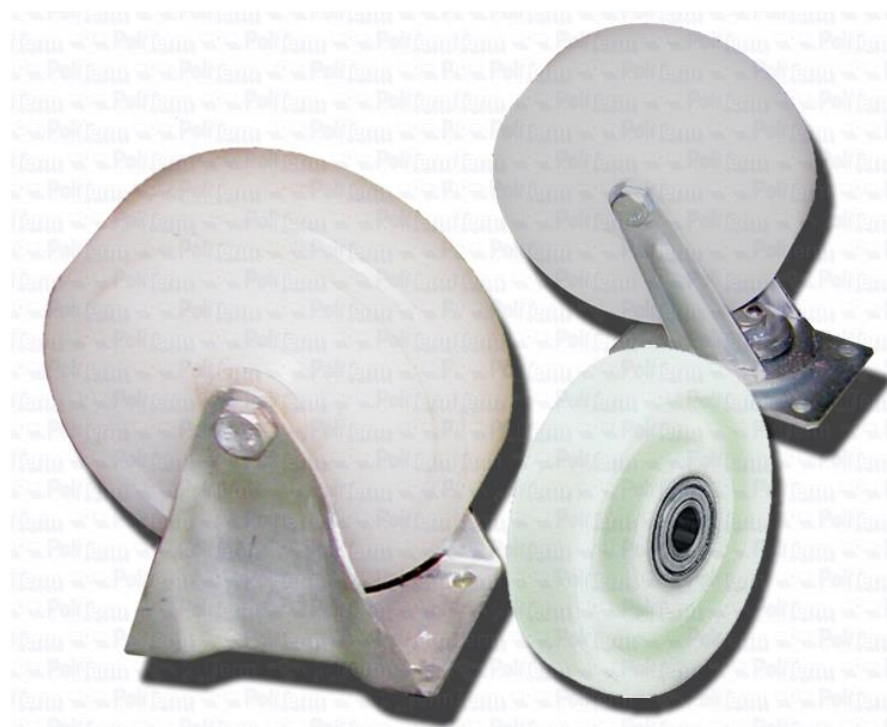
Поступци обраде резањем се ретко користе за израду полимерних делова. Учесталије се део настао неком од технологија обраде полимера подвргава обради резањем ради уклањања вишкова и постизања жељене геометрије. Наведено је неколико елемената и делова од полимера који настају поступком обраде резањем.



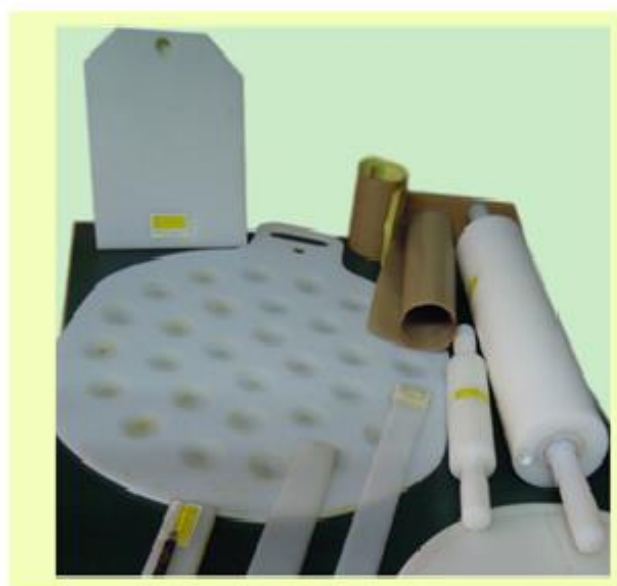
Слика 5.1. Зупчаници од полимера израђени технологијом обраде резањем. [18]



Слика 5.2. Транспортне звезде од полимера израђена технологијом обраде резањем.[18]



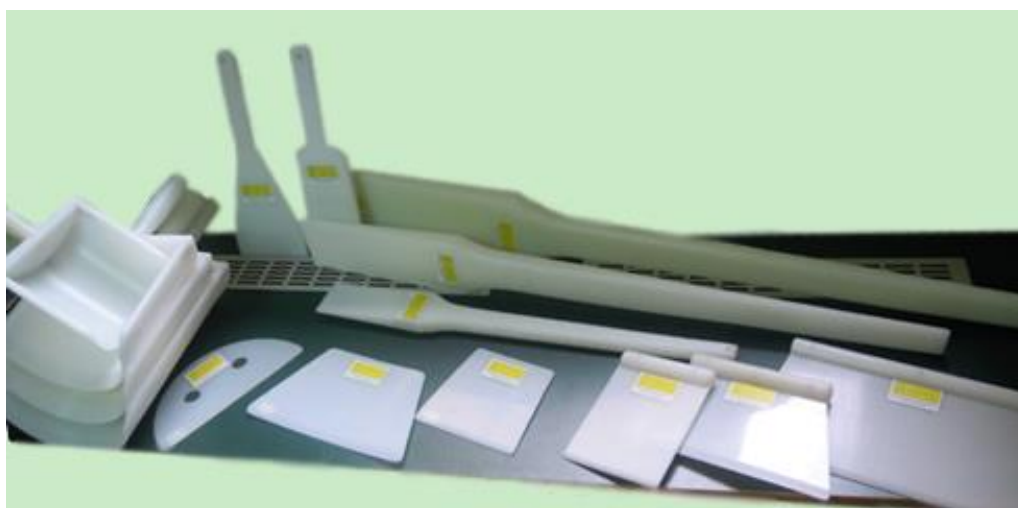
Слика 5.3. Точкиви од полимера израђени технологијом обраде резањем, примену налазе код транспортних и комуналних контејнера, виљушкаре, разне врсте колица.[18]



Слика 5.4. Примена полимера у пекарству, подлога за пизу, оклагије са и без лежаја, даска за сечење, грабилице. [19]



Слика 5.5. Примена полимерних делова за потребе у хладњачама, прибор за чишћење, лопатице, грабилице, кашике, чекићи. [19]



Слика 5.6. Примена у кондиторској и млекарској индустрији, прибор за чишћење, лопатице, кашике за домеравање, лопатице за мешање угушћених ствари. [19]



Слика.5.7. Примена у грађевинској механизацији, кардански улошци, разни машински елементи. [19]



Слика 5.8. Пикантини шина служи да се на њој монтира додатна опрема код оружја израђена технологијом обраде резањем. [20]



Слика 5.9. Штанц плоче од полимера за текстилну и кожну индустрију, за просецање на штанц машинама и код кројења. [18]

ЗАКЉУЧАК

Од самог открића полимера па до данас њихово усавршавање и производња константно расту, чиме су добили велику примену у индустрији. У почетку су били скупи због компликоване производње (неусавршене технологије) па су се углавном користили само у појединим гранама индустрије али са усавршавањем технологије и полимера са додавањем одређених сегмената нашли су примену у скоро свим гранама.

Производња делова од полимера има низ предности као што су ниска цена коштања, мала густина у односу на метале (не прелази $1,5 \text{ kg/dm}^3$), лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради, добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори, итд. Али има и низ мана: ниска чврстоћа на повишеним температурама, смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења, кратак век трајања, што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и кисеоника.

Што се тиче технологије обраде резањем полимера, они могу да се обрађују применом свих техника обраде метала. За обраду пластичних маса користе се машине за обраду дрвета и лаких метала, машине са великом брзином резања. Под појмом обрада резањем подразумевају се поступци стругања, глодања, бушења, развртања, праволинијског и кружних резања, израда навоја.

Правила при обради резањем полимерних материјала:

Алати за обраду морају бити одржавани да буду врло оштри. Стандардне резне плочице са оштрим резним угловима су прихватљиве за краткотрајну обраду, а за дуготрајну обраду препоручује се плочице од волфрамовог карбида или дијаманта.

Треба пазити на одговарајући размак алата. Неприлагођени угао размака алата може проузроковати проблеме због еластичне природе полимера.

Мерења морају бити вршена са опрезом ради ширења материјала приликом загревања алата односно дела. Димензије дела се могу мењати чак до 24 сата након завршетка обраде.

Загревање дела треба смањити. Пошто код полимерних материјала нема проводљивости топлоте као код метала, уколико није контролисана приликом обраде топлота би могла уништити површину дела.

За алате који служе обради полимера карактеристичан је велики предњи угао алата, што смањује потребни рад резања. Ниски модул растезљивости је разлог зашто се мора користити врло оштар резни алат. Зато је за сваки поступак обраде направљена таблица са геометријом алата за различите врсте полимера. Хлађење алата се изводи водом, емулзијом или ваздухом. Постоје и мере ради спречавања прекомерног загревања алата, коришћење само врло оштрих алата и одржавати их оштрима, контролисање брзине резања и корака, осигурати равномерно одвођење струготине.

Поступци обраде резањем се ретко користе за израду полимерних делова, што је случај у појединачној производњи, изради прототипова, нултих и мањих серија. Учесталије се део настао неком од технологија обраде полимера подвргава обради резањем ради уклањања вишкова и постизања жељене геометрије, као што је израда машинских елемената, зупчаника, осовине, вратила, ременица.

Литература

- [1] др Богдан Недић, Владислав Ђукић, Пластичне масе, Машински факултет, Крагујевац, 2004. године;
- [2] http://www.poggigroupspa.com/settori_plastica.html, Октобар, 2016. године;
- [3] Sandra K. Young, Frederick L. Beyer, and Matthew S. Bratcher, „Exploiting Polymer Nanomaterials Technology for the U.S. Army's Objective Force“, SAD, 2002.године;
- [4] др Богдан Недић., Технологије прераде пластичних маса, Машински факултет, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008. године;
- [5] <http://www.plastika-estetika.si/>, Октобар, 2016. године;
- [6] Irvin, I. Rubin: Handbook of plastic materials and technology, Wiley,J. & Sons Inc., New York, 1990. године;
- [7] Игор Ћатић, Производња полимерних творевина, Друштво пластичара и гумарача, Загреб, 2006. године;
- [8] Myer Kutz, Appiled Plastics Engineering Handbook, New York, 2011. године;
- [9] др Богдан Недић, Миодраг Лазић, Обрада метала резањем, Машински факултет, Крагујевац, 2007. године;
- [10] <http://www.dpco.com.vn/English/images/big/A10.jpg>, Октобар, 2016. године;
- [11] <http://www.theplasticshop.co.uk/>, Октобар, 2016. године;
- [12] <http://www.njuskalo.hr/image-w920x690/oprema-obrada-drva/profilna-glodala-obradu-drva-ili-plastike-slika-47722443.jpg>, Октобар, 2016. године;
- [13] <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1w4vrKVXXXXbvVXXXq6xXFXXXo/Xcsource50pcs-Titanium-Coated-HSS-Twist-font-b-Drill-b-font-font-b-Bit-b-font.jpg>,Октобар,2016.године;
- [14] <http://img.goglas.com/img/80186770>, Октобар, 2016. године;
- [15] <http://www.alatioprema.com/wp-content/uploads/2015/03/kruzna-testera-31.jpg>. Октобар, 2016. године;
- [16] http://www.futureplasticsgroup.com/wp-content/uploads/2015/01/images/Cuttingband-saw_lrg.jpg, Октобар, 2016. године;
- [17] hrcak.srce.hr/file/191149, Октобар, 2016. године;
- [18] <http://www.politerm.rs/>. Октобар, 2016. године;

[19] <http://www.infostar.rs/img/files/website/Poslovni%20svet%20e-mail%20pomoc/sipas>.
Октобар, 2006. године;

[20] www.majkasvihoruzja.com, Октобар 2016. године;

[21] Барић, Г, Производња, прерада и потрошња пластике у Европи, 2008. године.