

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 328/2012

Братислав Т. Трифуновић

**Примена софтвера SolidWorks за симулацију бризгања
пластичних маса и пројектовање алата
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да изврши прикупљање и анализу података везаних за полимерне материјале, као и технологије њихове прераде, са посебним освртом на технологију инјекционог бризгања и машина које се користе за ову технологију. Потребно је размотрити проблематику пројектовања алата за израду производа од пластичних маса, као и примену CAD софтвера за њихово пројектовање. У практичном делу рада показати могућност симулације бризгања пластике, у оквиру софтвера SolidWorks, и на основу добијених резултата извршити пројектовање алата

Препоручена литература:

- [1] Мирослав Нађ, Полимерни материјали, Научна књига, Загреб 1991
- [2] Богдан Недић, Технологија прераде пластичних маса, Крагујевац, 2008
- [3] Бошко Перошевић, Калупи за ињекционо пресовање пластомера, Научна књига, Београд 1995

Крагујевац, април 2014

ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме: У оквиру рада извршено је прикупљање, систематизација и анализа података везаних за полимерне материјале, као и технологије њихове прераде, са посебним освртом на технологију инјекционог бризгања и машина које се користе за ову технологију. Размотрена је проблематика пројектовања алата за израду производа од пластичних маса, где је посебна пажња посвећена основним елементима алата (уливни систем, систем за избацивање, извлакачи и избацивачи, систем за вођење и центрирање, систем за хлађење и систем за одзрачивање). Описан је и значај примене CAD софтвера за пројектовање алата, као и значај примене стандардних делова. У практичном делу рада, на примеру тела дугмета бојлера, приказане су могућности симулације бризгања у софтверу SolidWorks Plastics и на основу добијених резултата извршено је пројектовање алата.

Кључне речи: Полимерни материјали, инјекционо бризгање, симулација, алат.

Abstract: Within the framework master thesis was performed systematization and analysis of data which were related to polymer materials, technology and tools for making plastics masses with particular emphasis on technology and injection molding machines which are used for this technology. Was considered the problem in area of design tools for the manufacture of parts plastic masses, where special attention was dedicated to the basic elements of tools (pouring system, ejection system, extractor and ejector, system for guiding and system for centering, system for cooling and deaeration system). Was described the importance of CAD software for the design tools, as well as the importance of applying standard parts. In the practical part of the paper, on the example of the body button boiler, was presented possibilities of injection molding by simulation of software SolidWorks Plastics and based on the obtained results, was performed projecting the tools.

Keywords: Polymeric materials, injection molding, simulation, tool.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	3
2. Полимери и технологије прераде	5
2.1 Основни појмови.....	5
2.2 Врсте пластичних маса	5
2.3 Додаци полимерима.....	6
2.4 Својства пластичних маса.....	7
2.5 Предности и недостаци пластичних маса	9
2.6 Технологије прераде пластичних маса	9
3. Поступак и машине за бризгање пластике	13
3.1 Поступак бризгања	13
3.2 Карактеристике материјали који се користе у поступку бризгања	16
3.3 Машины за бризгање пластике	18
4. Проблематика пројектовања алата за израду производа од пластичних маса	24
4.1 Утицајни фактори на пројектовање алата	24
4.2 Скупљање у калупу и накнадно скупљање производа.....	25
4.3 Основни елементи калупа	26
4.3.1 Уливни систем	26
4.3.2 Систем за избацивање	32
4.3.3 Извлакачи уливног система и избацивачи	33
4.3.4 Систем за вођење и центрирање калупа	34
4.3.5 Систем за хлађење калупа.....	35
4.3.6 Систем за одзрачивање калупа	37
4.4 Материјали.....	37
5. Примена софтвера за пројектовање алата за делове од пластичних маса и стандардних делова алата	38
6. Симулација бризгања	42
6.1 Основне команде модула SolidWorks Plastics	42
6.2 Припрема и покретање анализе	44
6.2.1 Увожење геометрије радног модела	44
6.2.2 Дефинисање материјала и параметара процеса	45
6.2.3 Позиционирање уливног канала.....	49
6.2.4 Покретање анализе	50

6.3 Резултати симулације и њихова анализа	51
6.3.1 Резултати анализе за различите пресеке разводних канала	55
7. Пројектовање алата.....	67
7.1 Уливни систем	68
7.2 Гравура	68
7.3 Систем за избацивање отпреска.....	69
7.4 Систем за вођење калупа.....	70
7.5 Тело алата.....	71
7.6 Елементи за хлађење калупа	72
8. Закључак.....	74
9. Литература	75

1. Увод

Као резултат потребе за деловима који ће са мањом масом и ценом, а без губитка других не мање битних особина задовољити потребе корисника настале су пластичне масе и производи од пластичних маса. Пластичне масе су имале првенствено за циљ да у неким областима замене металне материјале и да при томе имају исте или барем сличне механичке особине, данас не само да успевају да замене металне материјале већ са развојем савремене хемијске индустрије и да превазиђу њихове механичке особине. Такође и проблеми који се тичу њихове рециклаже и њихове поновне употребе су успешно решени [2].

За прве писане документе о настанку и примени полимерних материјал могу се усвојити извештаји из 1843. године малајског хирурга др Монтгомерија у којима износи да Малајци користе гутанерку (коагулисани латекс неких мајајских дрвета) за прављење дршки ножева и за друге предмете [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 смеша два протеина: фиброина и серицина. Развој машинске технологије полимерних влакана је започео тек почетком 20 века. Термин полимер први је увео Барцелијус. Године 1909. др Хендрик Бекеланд, је успео после многобројних покушаја да добије контролисану реакцију између фенола и формалдехида. Материјал који је након тога добијен назван је бакелит по свом проналазачу. То је била прва синтетичка смола и представљао је почетак индустрије синтетских пластичних материјала.

Врло брзо после бакелита уследило је добијање других полимерних материјала. Проналаском полиетилена у Енглеској начињен је пробој у индустрији паковања. Након многобројних истраживања откривене су нове технологије за добијање потпуно нових материјала, као и проширење примене постојећих [1].

Упоредо са експерименталним истраживањима у индустрији, текао је рад из области експерименталне и теоријске физике и хемије у многим научним установама, тако да је дошло до развоја теоријских модела добијања полимерних материјала. Низом експерименталних метода омогућено је да се макромолекули "виде" и на тај начин учине могућим за изучавање динамике полимерних система.

Производња пластичних маса у свету се сваке године вишеструко увећава. Данас производња знатно прелази 100 милиона тона, док је 1950. године износила испод једног 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 својстава пластичних маса, што подразумева обимна истраживања као и усавршавање метода за истраживања.

Ради даљег повећања примене пластичних маса, потребно је обезбедити развој у три правца:

- развој нових врста пластичних маса,
- развој технологија прераде, уређаја и алата за прераду и
- развој нових производа од пластичних маса.

Пројектовање алата за бризгање пластике је јако комплексан посао. Како би се олакшало пројектовање и постигле жељене карактеристике користи се низ софтвера за симулирање процеса бризгања којима се могу добити важне информације за процес пројектовања алата.

У оквиру овог рада описана је проблематика пројектовања алата за делове од пластичних маса и симулација процеса бризгања за део који се израђује у овим алатима.

У другом поглављу дат је опис основних врста полимерних материјала са њиховим карактеристикама, предностима и манама. Такође, описани су основни поступци којима се ови материјали могу прерађивати.

Поступак инјекционог бризгања детаљно је описан у оквиру трећег поглавља. Такође су описани основни елементи машина за бризгање пластике, а за неке од машина дате су основне карактеристике.

Проблематика пројектовања алата за бризгање пластике подразумева проучавање основних елемената алата (уливне системе, системе за вођење и центрирање калупа, систем за избацивање производа, систем за хлађење калупа...). Детаљан опис ових елемената дат је у оквиру четвртог поглавља.

Пето поглавље описује примену CAD софтвера за пројектовање алата, основне команде, поступак рада, као и каталоге стандардних елемената алата (HASCO).

Симулација бризгања описана у шестом поглављу обухвата унос 3D модела радног комада у програм SolidWorks Plastics, описивање основних команди, карактеристичних параметара, поступак рада и приказ резултата симулације.

Седмо поглавље обухвата пројектовање алата у програму SolidWorks и опис алата.

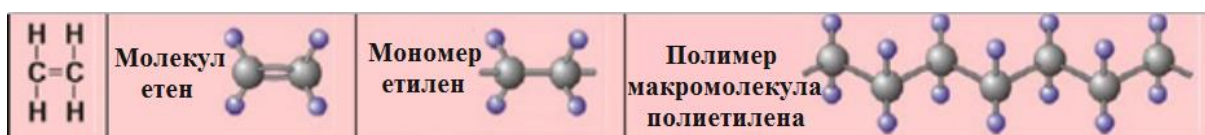
На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

*Рад је реализован у сарадњи са фирмом **GOMMALINE** из Крагујевца, која је пружила сву неопходну техничку и стручну помоћ. Основна делатност фирме је конструкција и израда алата за бризгање пластике. Фирма поседује лиценцирани софтвер **SolidWorks**, у оквиру којег су извршене све потребне симулације.*

2. Полимери и технологије прераде

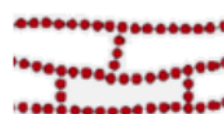
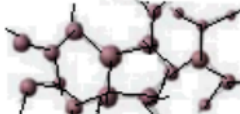
2.1 Основни појмови

Пластичне масе су макромолекуларни спојеви који настају међусобним повезивањем молекула неметала по неком правилу понављања (C, Cl, H, N, O и S). Ситни молекули називају се мономери, а настали макромолекули са јаком ковалентном везом полимери (слика 2.1) [9].



Слика 2.1 Пример добијања макромолекула полиетилена спајањем молекула етена (етилена)

Двовалентни мономери граде влакнасти или ланчани низ молекула (линеарни, гранати, умрежени), а тровалентни просторну мрежу молекула (слика 2.2). Настала структура може бити кристална - делимично кристална или аморфна [9].

Грађа				
	Линарна Van der Waalova веза	Граната има и бочне везе	Умрежена ковалентно везани ланци	Просторна мрежа 3D мрежа
Врсте	Термопласти	Термопласти	Еластомери	Дуромери
Структура	Кристалична	Аморфна	Аморфна	Аморфна

Слика 2.2 Грађа, подела и структура макромолекула

Хомомери су макромолекули састављени само од једне врсте мономера, а **кополимери** су макромолекули настали повезивањем различитих мономера. Њихова се својства прилагођавају функцији производа.

2.2 Врсте пластичних маса

Главне врсте пластичних маса су:

- термопласти (кристалне или аморфне структуре),
- еластомери и
- дууромери.

Термопласти (пластомери) су линеарни макромолекули, лако се обликују, на околној температури су у чврстом стању, загревањем омекшавају и прелазе у житко стање – пластифицирају, а хлађењем отврдњавају. Могу се употребљавати више пута (рециклирати).

Дуропласти (дуромери) су обично мрежасто спојени мономери. Загревањем прелазе само једном у пластично стање и то врло брзо, а затим у стално чврсто стање. Поновним загревањем не омекшавају, већ сагоревају. Не могу се пластично обликовати. Могу издржати више температуре од термопласта.

Еластомери (термоеласти, еласти) имају међусобно лабаво везане молекуле и без кристалних зрнаца. Еластични су при собној температури и истежу најмање, на двоструку дужину без заостале деформације [6].

Пластичне масе могу настати од различитих сировина па у зависности од сировина могу се поделити на:

- потпуно синтетске (нафта, земни гас, песак, вода, угаљ),
- полусинтетске (целулоза, беланчевина) и
- природне (целулоза, скроб, кератин, кожа, свила, вуна, каучук).

Главни поступци којима се добијају полимери могу се поделити на:

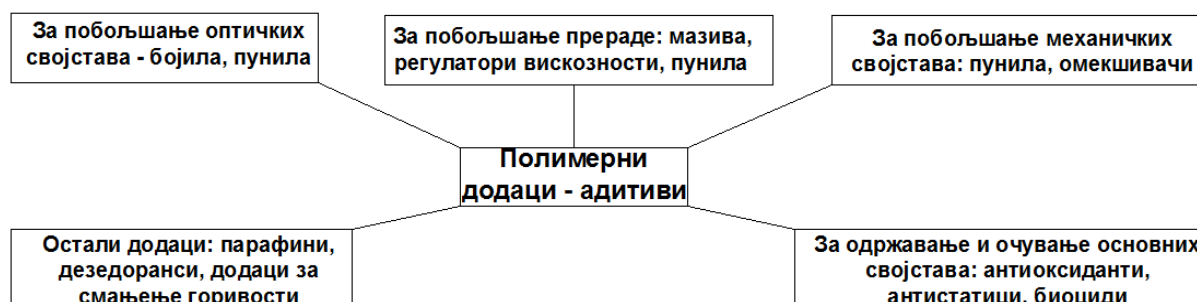
- **полиадацију** – реакција раздруживања разноврсних молекула и спајања атома у полимере без излучивања нуспродуката (термопласти – PUR, дуропласти – EP),
- **поликондезација** – реакција згушњавања и спајања разноврсних молекула уз излучивање нуспродуката нпр: вода. На овај начин се претежно добијају дуропласти (MF, PF, SI, UF, UP) и термопласти, и
- **полимеризација** – реакција спајања истих или сличних молекула без нуспродуката. На овај начин се добијају термопласти (PE, PP, PS, PVC).

2.3 Додаци полимерима

Како би се полимерима побољшала својства и способност прераде њима се често додају и додатне супстанце:

- пластификатори
- пигменти
- стабилизатори
- пуниоци
- мазива
- очвршћивачи.

На слици 2.3 су приказана нека од својстава која се поправљају применом ових додатака.



Слика 2.3 Полимерни додаци и њихова улога [9]

Пластификатори су органска једињења, хемијски активна, чији је циљ повећање пластичности производа, повећање еластичности на рачун затезне чврстоће и тврдоће и смањење температуре топљења. По хемијском саставу су сложена органска једињења, нпр. трикезол, сулфат, комфор итд.

Пигменти се додају са циљем да производ добије одређену боју, а не утиче на физичке особине.

Стабилизатори обезбеђују трајност високополимерних хемијских једињења у случају дејства: температуре, ултраљубичастог зрачења и др.

Пуниоци се додају у циљу постизања тражених особина: механичких, термичких, отпорности на хабање и др.

Мазива се додају да се материјал при преради на повишеним температурама не лепи и не развлачи по металној површини за прераду.

2.4 Својства пластичних маса

Основна својства пластичних маса могу се поделити на:

- механичка
- физичка
- термичка
- електрична и
- оптичка

У механичка својства се убрајају:

- затезна чврстоћа
- чврстоћа на притисак
- отпорност на удар
- тврдоћа
- динамичка чврстоћа и
- трење

Затезна чврстоћа одређује се испитивањем на стандардној епрувети затезањем, дејством сила истог правца и интензитета али супротног смера. Затезна чврстоћа је најважнији показатељ и она се креће од 100 до 200 daN/cm², а са ојачањима до 650 daN/cm².

Чврстоћа на притисак одређује се притискивањем епрувете између две паралелне плоче, при чему је једна од њих непокретна а друга покретна. Највећи напон у тренутку лома епрувете се одређује по обрасцу: $R_c = F/A$ [6].

Савојна чврстоћа је највећи напон настао у тренутку лома епрувете услед савијања и представља количник момента савијања М и отпорног момента пресека W, $R_b = M/W$.

Отпорност на удар своди се на одређивање релативне склоности кидања узорка услед наглог удара.

Тврдоћа представља отпорност материјала према продирању другог тела. Најчешћа метода за одређивање тврдоће је Бринелова метода.

Динамичка чврстоћа представља највеће променљиво напрезање које узорци издрже без појаве лома након практично бесконачног броја циклуса. Одређује се испитивањем на пулзаторима.

Испитивањем трења установљава се отпорност материјала према хабању површине и то мерењем промене тежине испитиване епрувете у односу на референтни елемент израђен од различитих материјала.

У физичка својства спадају:

- густина,
- масени проток и
- упијање воде.

Густина пластичних маса зависи од хемијског састава и присуства пунила и пластификатора. Густина пластичних маса креће се од 0.9 до 1.9 g/cm³, а у изузетним случајевима и до 2.4 g/cm³, што је знатно мање од густине метала и неорганских материјала. Управо та мала густина и представља велику предност пластичних маса у односу на друге материјала посебно у случајевима када се тражи мала тежина производа.

Масени проток који се још зове и индекс флуидности представља брзину истискивања пластичних маса у истопљеном стању, кроз отвор одређеног пресека, у одређеним условима, у току 10 минута.

Као последица губитка воде пластификатора код пластичних маса долази до појаве скупљања. Последица скупљања је кривљење предмета. Са друге стране материјали који упијају већу количину воде су нестабилни, имају лошије диелектричне особине и тешко се прерађују. Из тог разлога треба водити рачуна о количини упијене воде у полимерном материјалу.

Испитивање количине упијене воде врши се на кондиционираним епруветама при температури 50 °C у временском периоду од 24 часа. Само испитивање обавља се потапањем епрувете од пластичних маса у хладну воду температуре 23 °C у току 24 часа. Након тога вода се уклони брисањем површине узорка, а узорак измери. Повећање тежине у процентима представља количину апсорбоване воде.

Термичке својства пластичног материјала зависе од температуре, притиска и врсте пластичне масе. У ова својства се убрајају:

- специфична топлота,
- топлотна проводљивост,
- температурна проводљивост,
- топлотна продорност и
- температура постојаности облика.

Специфична топлота је количина топлоте коју треба довести јединици масе при загревању како би температура порасла за 1 °C. Специфична топлота код пластичних маса у великој мери зависи и од структуре. Из тог разлога се специфична топлота посебно разматра код аморфних и кристалних маса.

Топлотна проводљивост представља количину топлоте коју је могуће провести кроз пресек материјала при задатом температурном паду и у одређеном времену.

Температурна проводљивост представља брзину којом се мења температура тела или ток ширења топлоте.

Топлотна продорност представља брзину продирања топлоте у тело или способност акумулације. Топлотна продорност је веома важна особина и од велике је значаја за многе прорачуне.

Температурна постојаност облика представља температуру при којој се под задатим оптерећењем постиже одговарајућа деформација. Познавање температурне постојаности облика је посебно значајно за одређивање потребног времена хлађења пластичне масе.

У електрична својства спадају:

- површински електрични отпор,
- запремински електрични отпор,
- диелектрична чврстоћа и
- диелектрична константа.

Оптичка својства су:

- отпорност на светло и
- индекс преламања светлости.

2.5 Предности и недостаци пластичних маса

Главне предности због којих пластичне масе налазе све већу примену у односу на друге врсте материјала су [2]:

- лакша израда елемената, нарочито делова сложене конструкције,
- висока продуктивност,
- мала густина у односу на метале,
- стабилност полимерних материјала на вибрације,
- отпорност на киселине и раствараче и
- пропуштање светлосних зрака омогућује примену полимерних материјала у оптици.

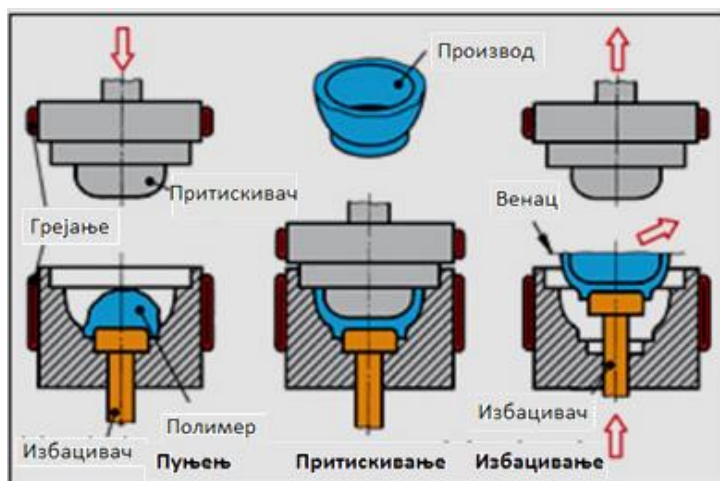
Поред наведених предности пластичне масе имају и одређене недостатке као што су:

- ниска чврстоћа на повишеним температурама,
- смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења и
- краatak век трајања, процес старења је интензиван под утицајем светлости, топлоте, влаге и киселине.

2.6 Технологије прераде пластичних маса

Полимери се израђују у облику праха, љуспица, гранула, зрнаца или смоле, а њихова прерада у готове производе изводи се процесима обраде као што су: пресовање, екструдирање, убризгавање, натапање, каландровање и бројне методе резања и спајања [6].

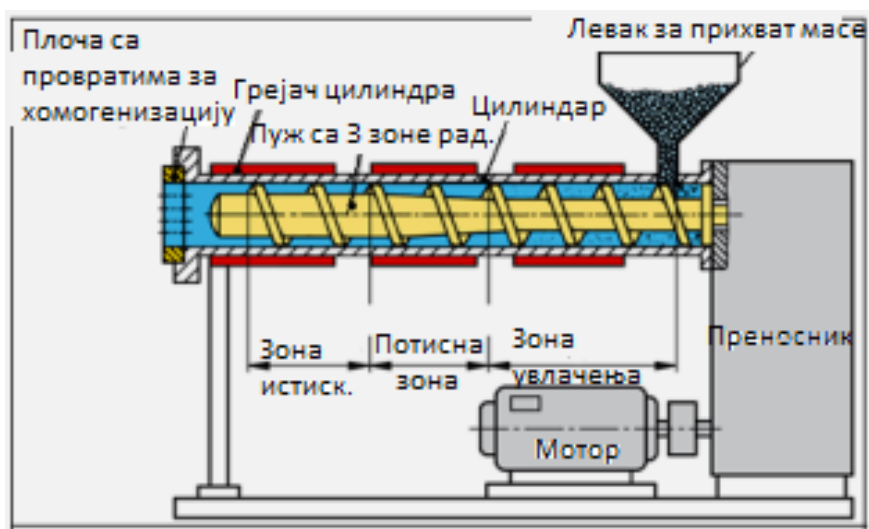
Пресовање. Пластична маса у облику праха или таблете ставља се директно у отворени и предгрејани калуп у коме се, под притиском и повишеном температуром, пластифицира, обликује и очврсне. Фазе рада су: пуњење, притискивање и избацивање. Сам поступак је приказан на слици 2.4.



Слика 2.4 Пресовање пластичне масе [9]

Екструдирање је континуални поступак прераде пластичних маса. Користи се за израду цеви, профила, трака и слично, а са посебим уређајима и за облагање електричних водова изолацијом.

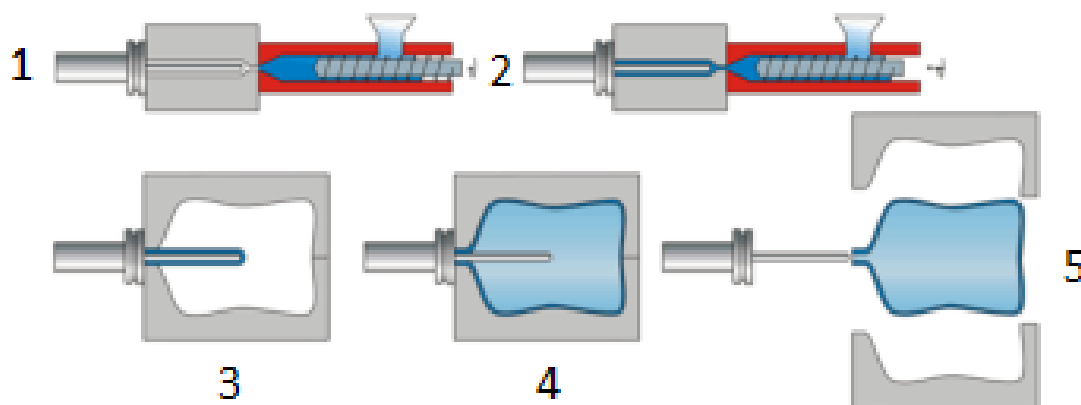
Најчешће се користи екструдер са цилиндром и пужом који помоћу левка прихвата масу у облику гранула или праха, пластифицира је и хомогенизује помоћу грејача и истискује кроз отвор у млазници (слика 2.5).



Слика 2.5 Пужни екструдер [9]

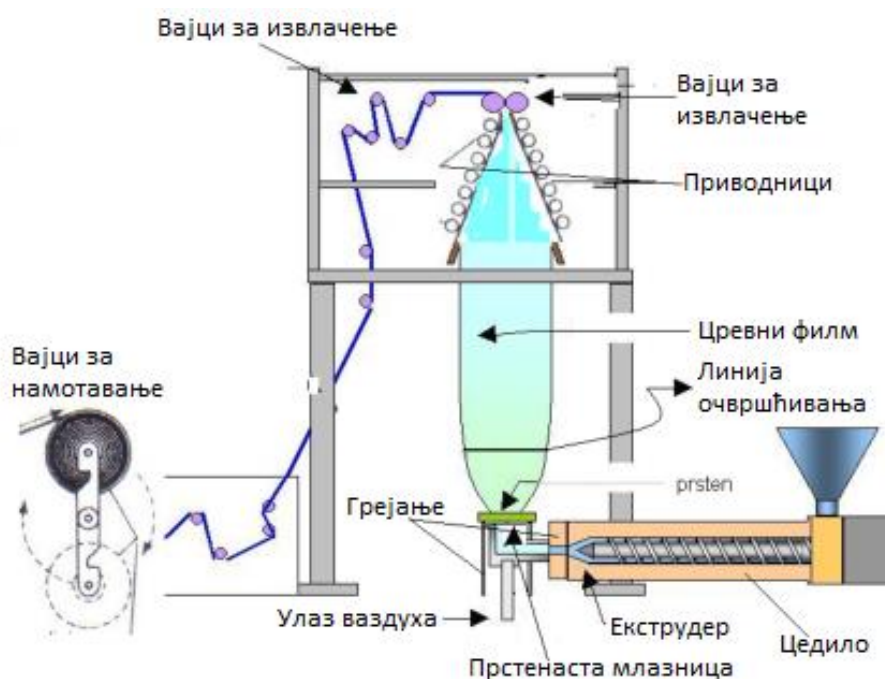
Дување пластике је производни процес у ком се обликују шупљи пластични делови претежно термопласти. Генерално постоје ињекционо, екструзионо и дување пластике истезањем.

Ињекционо дување. Маса за обликовање је ухваћена у калуп и у њега се убацује ваздух. Притисак ваздуха тада потискује пластику да належе на калуп. Када се пластика охлади и очврсне калуп се отвара и обликовани део се избацује. Поступак је приказан на слици 2.6.



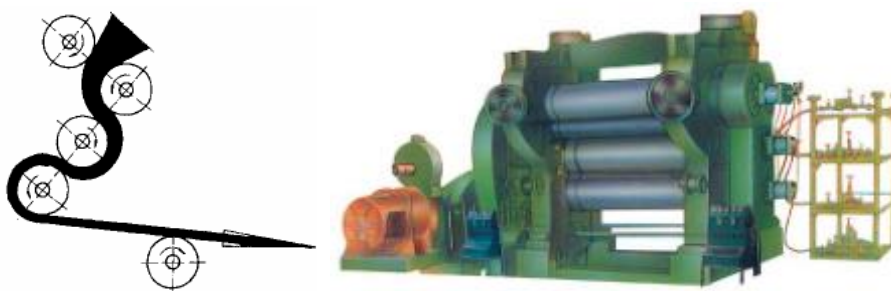
Слика 2.6. Инјекциско дување пластике (1,2-инјекцијско убризгавање; 3-облик припремка пре удувавања пластичне масе, 4-удувавање ваздуха, 5-отварање калупа и избацивање производа) [9]

Екструдирање дуваних фолија. Растопљена маса се кроз алат у облику прстена екструдира приликом чега се формира црево одређеног пречника и дебљине зида. Црево се хлади ваздухом како би се спречило лепљење фолија при њеном намотавању. Шема овог поступка је приказана на слици 2.7.



Слика 2.7 Екструдирање фолије [9]

Каландровање је процес ваљања пластичних маса (слично као ваљање метала). Пластичне масе се више пута пропушта између загрејаних ваљака, тако да се дебљина стално смањује (слика 2.8).



Слика 2.8 Схема поступка каландровања и машина на којој се изводи поступак

Термообликовање. Претходно обликована маса као полупроизвод (фолије, плоче..) загрева се помоћу топлог ваздуха на $110-180^{\circ}\text{C}$, доводи у термоеластично стање, преобликује без пукотине и затим споро хлади. Преобликовање може бити дубоким вучењем, развлачењем и вакумирањем. На слици 2.9 је приказан један од поступака термообликовања.



Слика 2.9 Алт за дубоко вучење са матрицом (термообликовање)

Поред наведених поступака често се примењују и екструдирање цеви, облагање жице екструдирањем, ливење пластике, заваривање пластичних маса, пултрудирање, намотавање, коекструдирање, ротационо истискивање идр.

3. Поступак и машине за бризгање пластике

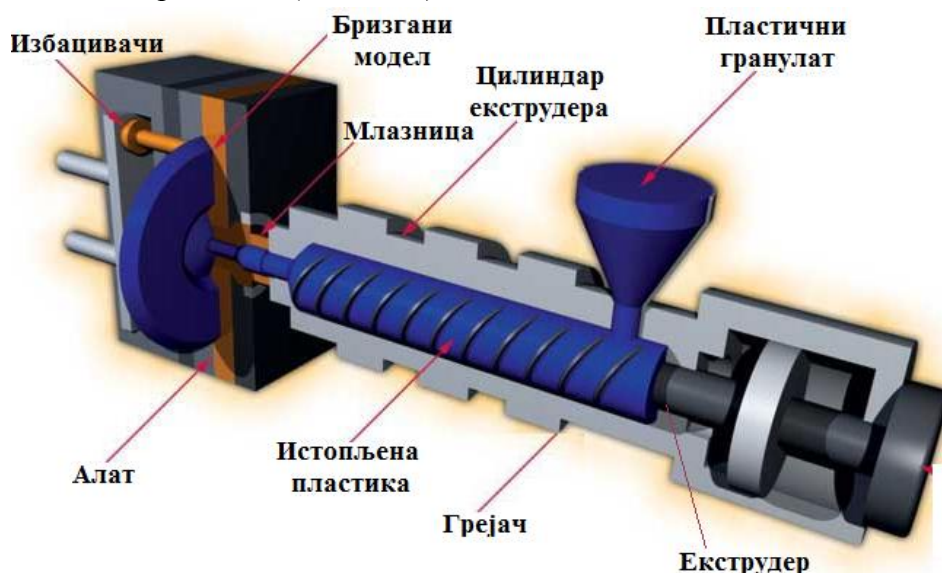
3.1 Поступак бризгања

Бризгање представља један од најчешће примењиваних поступака прераде пластичних маса. Овим поступком се могу успешно обрађивати све врсте полимерних материјала (дуромери, еластомери и пластомери). Помоћу овог поступка се практично у једном циклусу од сировине (полимерног материјала) добија готов производ који има одређену употребну вредност. Колики је удео процеса бризгања у односу на остале поступке у преради пластичних маса најбоље осликава слика 3.1.



Слика 3.1 Удео различитих поступака у преради полимера

Бризгање се може дефинисати као поступак прераде пластомера брзим убризгавањем растопа у темперирану калупну шупљину и уједно очвршћавања у њој приликом чега се добија жељени облик производа (слика 3.2).

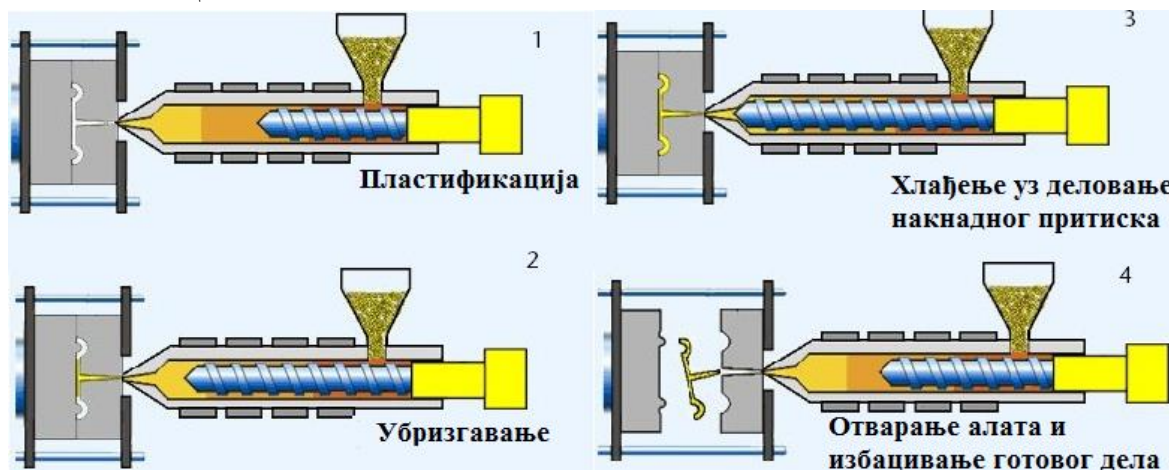


Слика 3.2 Процес бризгања

Главна предност прераде полимерних материјала поступком бризгања огледа се у уштеди материјала, мањем времену израде и мањем потребном простору за одвијање процеса

производње. Упркос високим трошковима за набавку опреме овај поступак је исплатив чак и код серије од неколико хиљада комада [5].

Ипак као највећа предност примене овог поступка се истиче тачност димензија делова који се добијају овим поступком. Процес бризгања се може поделити у четири фазе које су приказане на слици 3.3.



Слика 3.3 Фазе процеса бризгања [13]

У првој фази процеса бризгања врши се затварање калупа. Гранулати пластике из левка се уз помоћ екструдера доводе до места у цилиндру на којима се налазе грајачи. На овај начин долази до растапања пластичне масе.

У другој фази екструдер (пужни вијак) делује као клип и при томе врши убризгавање пластичне масе у калуп. Како би се извршило успешно пуњење калупне шупљине потребни су високи притисци убризгавања. По правило је реч о притисцима убризгавања од 500 до 3000 bara. Такође се настоји постићи и висока брзина убризгавања, у неким случајевима чак и до 1,5 m/s.

У трећој фази након извршеног пуњења калупне шупљине делује се накнадним притиском у цилиндру за убризгавање како би се попуниле шупљине које настају при хлађењу услед запреминске контракције пластичне масе. Накнадни притисак је по правилу мањи од притиска убризгавања, јер више не постоји високи отпор течењу растопа.

У четвртој фази након извршеног потпуног хлађења дела у калупу, долази до отварања алата и избацивања готовог дела помоћу одговарајућих избацивача из алата. Екструдер се враћа у крајњи почетни положај чиме се нова количина пластичног гранулата уводи у цилиндар екструдера.

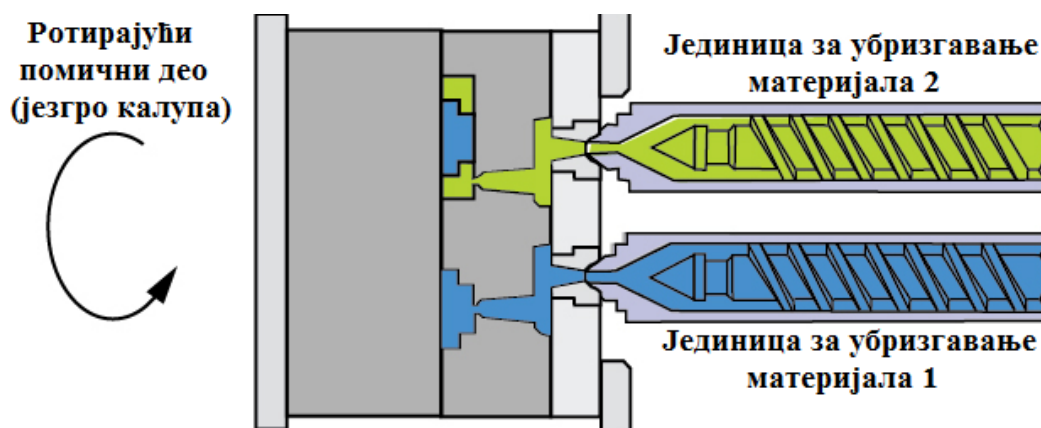
Због све веће потребе за производима од пластике који се добивају поступком бризгања, а у циљу повећања ефикасности настале су посебне врсте бризгања као што је нпр. вишекомпонентно бризгање. Ова метода прераде пластомера пружа широке могућности израде различитих делова у више боја или од више материјала (слика 3.4). Разликују се:

- Двокомпонентно,
- трокомпонентно и
- четворокомпонентно бризгање.



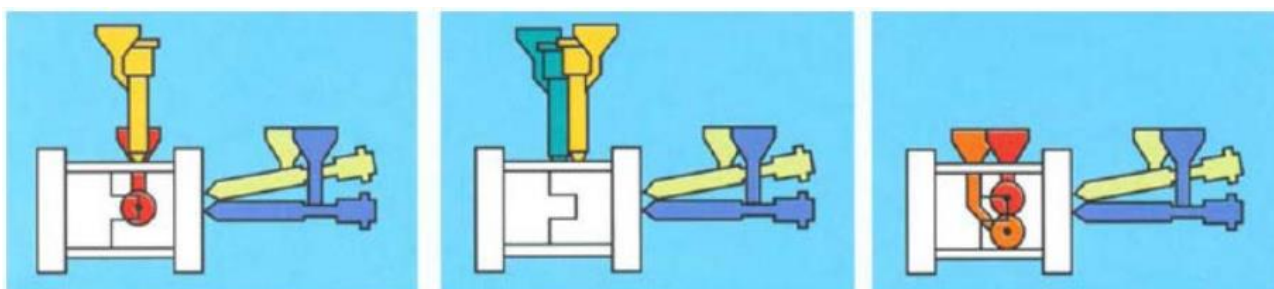
Слика 3.4 Производи израђени поступком вишекомпонентног бризгања

Код ових поступка бризгања примењује се машина за бризгање са више јединица за загревање, а компоненте се убризгавају свака кроз посебну млазницу једна иза друге. Након убризгавања прве компоненте у калуп и израде предоблика, калуп се доводи у други положај где му се извлачењем или померањем језгра повећава калупна шупљина у коју се кроз другу млазницу убризгава друга компонента. На слици 3.5 приказано је двокомпонентно бризгање у L - извођењу.



Слика 3.5 Схематски приказ двокомпонентног ињекционог бризгања са ротирајућим језгром [14]

На истом принципу се изводи трокомпонентно и четворокомпонентно убризгавање (слика 3.6) с тим што у том случају постоје три односно четири јединице за убризгавање.



Слика 3.6 Четворокомпонентно бризгање [2]

При избору материјала за вишекомпонентно бризгање треба водити рачуна о међусобној адхезији пластомера, јер мора доћи до топлотне дифузије једног пластомера у други. Пожељно је да се други материјал убризгава при вишој температури од првога. Овим

поступком могу се успешно комбиновати пластомери и еластопластомери, пластомери и еластомери или пак користити комбинацију више кртих материјала.

Конструкција калупа за вишекомпонентно инјекционо бризгање је знатно сложеније од класичног калупа за бризгање. Калупи за вишекомпонентно инјекционо бризгање су због своје компликованије конструкције 70 – 80% скупљи од уобичајених. Међутим њихова употреба је исплатива чак и при мањим серијама.

3.2 Карактеристике материјали који се користе у поступку бризгања

Део за који се конструише алат израђен је од **AKRILONITRIL BUTADIEN STIREN-a (ABS)**, тако да ће његове карактеристике бити описа у даљем тексту [4].

ABS спада у тзв. техничке пластике. Одликује га висока жилавост и крутост у широком температурном подручју, као и димензионална стабилност. Жилавији је од полистирена, има бољу отпорност на високу температуру и хемикалије. Обично је непровидан и може се бојати по целокупној маси или само по површини. Основне техничке карактеристике овог материјала дате су у табlici 3.1.

Таблица 3.1 Техничке карактеристике **ABS-a**

ОСОБИНЕ		Јед. мере.	ABS високо отпора на удар	ABS отпоран на топлоту	ABS средње отпоран на удар	ABS само-гасив	ABS са 20-40% SV
ФИЗИКЕ	Густина на 23 °C	g/cm ³	1,01–1,08	1,05-1,08	1,03-1,06	1,16-1,21	1,23-1,36
	Упијање влаге (24h, 23 °C, 3mm)	%	0,30-0,45	0,2-0,45	0,2-0,45	0,2-0,6	0,40-0,18
ТОПЛОТНЕ	Температура топљења	°C	-	-	-	-	-
	Постојаност према топлоти (константа)	°C	60-100	90-110	70-100	55-80	100-110
	Линарни коефицијент термичког ширења	m/m°C	9,5-1,3x10 ⁻⁵	6-9,3x10 ⁻⁵	8-10x10 ⁻³	6,5-9,5x10 ⁻⁵	2,9-3,6x10
	Топлотна проводљивост	W/m°C	0,19-0,33	0,19-0,33	0,19-0,33	0,19-0,33	
	Специфична топлота	J/kg°C	1200-1700	1200-1700	1200-1700	1200-1700	
МЕХАНИЧКЕ	Тврдоћа по Роквел-у	Скала	P 75-105	R 100-115	R 107-115	R 90-107	M 65-100
	Прекидна чврстоћа	N/mm ²	29-50	44-55	44-50	34-41	59-127
	Модул еластичности код истезања	N/mm ²	1600-2100	1900-2900	2000-3100	1500-2100	4100-7000
	Чврстоћа на савијање	N/mm ²	41-76	68-86	75-89	55-75	107-186
	Модул еластичности код савијања	N/mm ²	1400-2600	2200-2800	2000-3100	1700-2400	6200-8900
	Чврстоћа на притисак	N/mm ²	31-55	49-69	32-85	44-51	82-147
	Модул еластичности код притиска	N/mm ²	96-1400	1300-1600	1400-1600	900-1400	
	Затезна чврстоћа Извод на 23 °C	J/m	245-410	108-333	108-313	88-254	54-137
ЕЛЕКТРИЧНЕ	Специфични отпор (23 °C, 50% релативне влаге)	Ωm	1-4,8x10 ¹⁴	1-5x10 ¹⁴	2,7x10 ¹¹	1,69x10 ¹³	7,2x10 ¹²
	Диелектрична константа (10 ⁶ Hz)		2,4-3,8	2,4-3,8	2,4-3,8	2,4-3,8	
	Диелектрични фактор губитка (10 ⁶ Hz)		0,007-0,015	0,007-0,015	0,007-0,015	0,007-0,015	

	Отпор електричном луку	sek.	50-85	50-85	50-85	25-95		
ХЕМИЈСКЕ	Самогасивост (UL – 94)	cm/min	Гори споро	Гори споро	Гори споро	V-1, V-2		Гори споро
	Постојаност према светлу		Пожућује и постаје крт					
	Постојаност према разређеним киселинама		Нема утицаја					
	Постојаност према концентрисаним киселинама		Изразито их нагризају киселине са оксидирајућим деловањем					
	Постојаност према разређеним алкалијама		Нема утицаја					
	Постојаност према концентрисаним алкалијама		Нема утицаја					
	Постојаност према органским растварачима		Растворљив у кетонима, естрима и хлорисаним угљеводоницима					
ТЕХНОЛОШКЕ	Сушење пре прераде	h/°C		Од 2 – 4 сата у сушари на 70-80 °C				
	Температура бризгања	°C	205-270	230-280	205-260	190-220		240-280
	Температура калупа	°C	65-95	65-95	65-95	50-65		65-95
	Притисак убризгавања (специфични)	N/mm ²	98-176	98-176	98-176	98-176		98-176
	Брзина убризгавања		Велика	Велика	Велика	Велика		Велика
	Скупљање у калупу	%	0,4-0,8	0,4-0,8	0,4-0,8	0,4-0,8		0,1-0,2

Поред бризгања ABS се може користити и за екструдирање, дување и вакуумирање. ABS се добро обрађује стругањем, глодањем и утискивањем, добро се штампа и лепи одговарајућим лепковима.

Овај материјал се успешно примењује у хемијској, електро, аутомобилској индустрији, за израду играчака, апарата за домаћинство итд. Општи услови прераде су дати у табелици 3.2.

Таблица 3.2. Општи услови прераде бризгањем

Температура цилиндра, °C	180-280
Температура калупа, °C	65-95
Притисак бризгања, bar	110-180
Накнадни притисак, bar	60-120
Брзина убризгавања средња ка вишој, %	80
Противпритисак дозирања, bar	15-25
Окретање пужа, o/min	90-120
Скупљање производа у калупу, %	0,4-0,8
Сушење материјала	4 h
Млазница	Отворен и са затварачем

ABS врло мало апсорбује влагу, али и релативно мали садржај воде отежава прераду, узрокује грешке на површини производа и отежава дозирање. Због тога се препоручује претходно сушење у алуминијумским посудама, топлим ваздухом на температури од 80 – 90 °C, уз дебљину слоја од 3 – 4 cm.

Уобичајне температуре прераде су између 200 – 260 °C. Превисока температура цилиндра и предуго задржавање материјала у цилиндру могу проузроковати разградњу ABS

– а. Производи намењени метализирању морају се обликовати на температурама од 240 – 280 °C, са температуром калупа 40 – 90 °C, док брзина убризгавања мора бити што мања.

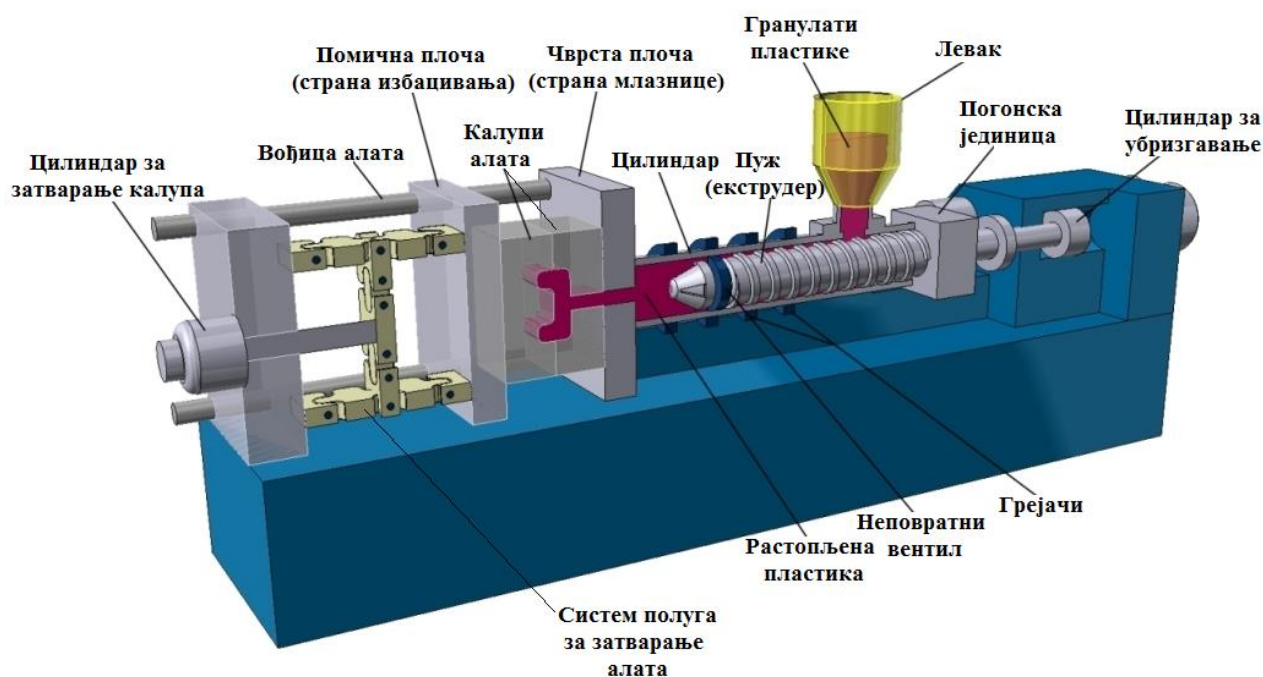
Дозвољено одступање температуре по зонама је до 10%. За прераду ABS-а најчешће се користе отворене млазнице, великог отвора (4,5-12 mm) и мале дужине улива. На тај се начин спречава губитак притиска и стварање мртвих углова. Млазница са игластим врхом треба избегавати.

3.3 Машине за бризгање пластике

Постоји велики број машина за бризгање али све машине се састоје из четири основна дела:

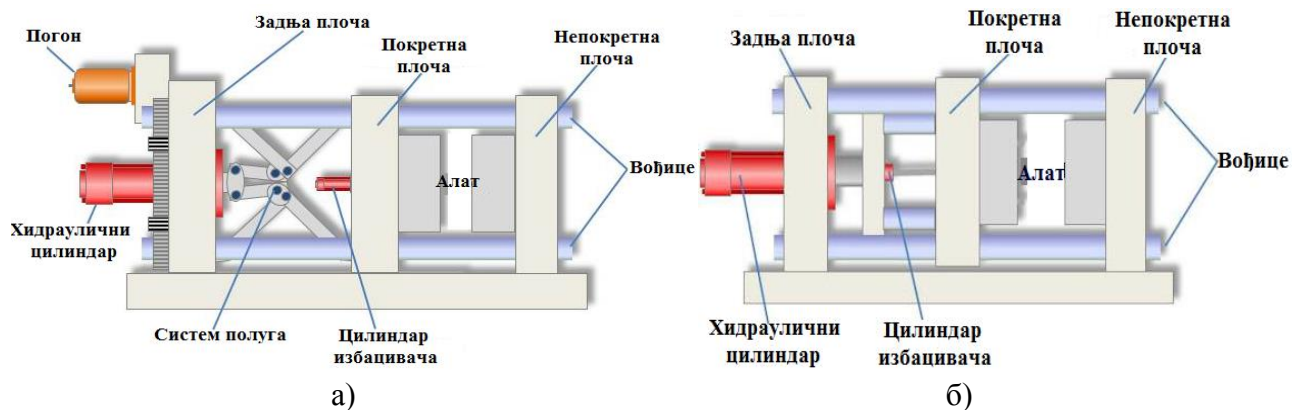
- система за затварање калупа,
- система за убризгавање,
- погонског система и
- управљачког система.

На слици 3.7 приказана је шема машине за бризгање са основним деловима.



Слика 3.7 Машина за бризгање и њени основни делови

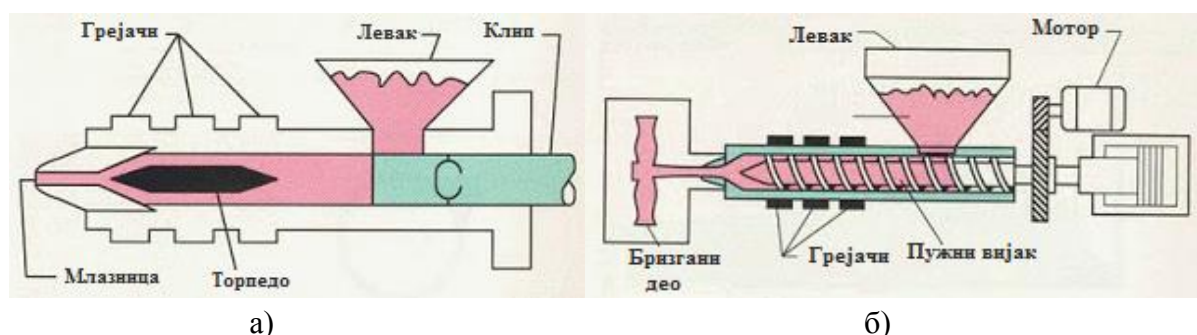
Систем за затварање калупа има улогу да затвори помични и непокретни део калупа за време бризгања и деловања накнадног притиска, и да обезбеди отварање калупа и потискивање охлађеног отпреска из гравуре након бризгања. Разликују се хидраулични и механички систем за затварање калупа (слика 3.8) [10].



Слика 3.8 Систем за затварање калупа (а – механички, б – хидраулични)

Систем за убризгавање има задатак да обезбеди пластифицирање пластомера како би се постигла потребна способност течења, и да затим обезбеди његово брзо убризгавање у гравуру. Основни делови система за убризгавање јесу комора (цилиндар) за топљење и млазница. У зависности од начина на који се остварује кретање пластомера у цилиндру за топљење разликују се два основна система за убризгавање:

- систем убризгавања помоћу клипа (слика 3.9 – а) и
- систем убризгавања помоћу пужног вијка (слика 3.9 – б).



Слика 3.9 Систем за убризгавање (а – помоћу клипа, б – помоћу пужног вијка)

Код цилиндра са клипом топлота која је потребна за пластифицирање пластомера доводи се кроз зид цилиндра и предаје се делу пластомера који се налази у непосредном додиру са зидом. Остатак материјала се загрева конвекцијом. Кретање растопа у цилиндру се остварује помоћу клипа [3].

Оно што је карактеристично за овај начин убризгавања је да температура пластомера по пресеку цилиндра знатно варира и то од температуре једнаке температури цилиндра за пластомер који се налази у непосредном контакту са цилиндром, до температуре која може бити нижа од температуре пластификације за пластомер који се налази у средини цилиндра. Ово доводи до тога да и пластомер има различиту брзину струјања по пресеку приликом дејства клипа.

Како би се овај проблем делимично решио у цилиндар се уграђује нови елемент под именом торпедо који има улогу да смањи пресек пластомера који се загрева и да се самим тиме постигне уједначенија температура. При томе овај торпедо, који се израђује заједно са самим цилиндром, мора да поседује задовољавајућу хидродинамику. Ово знатно повећава цену саме јединици за убризгавање а постигнути резултати нису задовољавајући, јер се

појављује проблем тежег убризгавања. Због свега наведеног овај начин убризгавања се ређе користи и то углавном за израду малих отпресака.

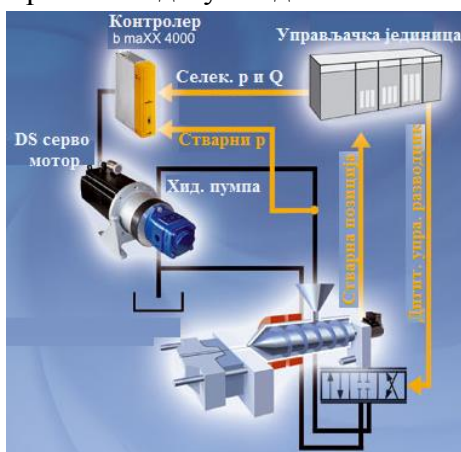
У основи пужне пластификације лежи тродимензионално кретање растопа у цилиндру, настало услед ротације пужног вијка. Ротацијом пужа у подручју улаза пластомера у цилиндар почиње његов транспорт у смеру млазнице. Кретање пужа у цилиндру условљава сложено вртложно кретање делића у међузубљу, као и њихово равномерно кретање дуж цилиндра. На тај начин се остварује знатно боља хомогенизација растопљене масе и њено равномерно убризгавање.

Загревање пластомера се остварује на два начина: спољашњим загревањем и трећем честица пластомера услед јаког мешања. Мешање пластомера врши се под веома великим притиском па је количина топлоте која се ослобођена велика. На овај начин се обезбеђује пластификација пластомера пре свега топлотом насталом као последица трења, а мањим делом топлотом која се доводи помоћу грејача у цилиндар. Оваквим начином добија се и до сто пута већи ефекат преноса топлоте у односу на пренос топлоте код клипног цилиндра. Важна особина бризгалице са пужним вијком је да омогућава добијање хомогене растопљене масе, уз минимално задржавање.

Погонски систем машине за бризгање је обично хидраулични и чине га електромотор са две крилне пумпе које имају могућност пропорционалне регулације протока и притиска уља непосредно на пумпи. Примена оваквих пумпи омогућује дигитално бирање свих радних притисака и брзине кретања у току радног циклуса и њихово прилагођавање технолошким захтевима.

Управљачки систем машина за бризгање је углавном данас дигиталног типа. Пример управљачког система и његова улога је приказана на слици 3.10. Оператор на машини помоћу рачунара а на основу врсте пластике који се бризга и алата у који се бризга уноси одговарајуће режиме потребне за рад машине. У овом случају су то притисак p и проток Q . Ти подаци као улазни се одводе до контролера где се извршава одређени алгоритам (програм) на основу кога се добија излазни сигнал потребан за управљање сервомотором.

Сервомотор покреће хидрауличну пумпу која из резервоара усисава уље и преко потиснога вода и дигиталног разводника доводи уље до хидроцилиндра бризгалице. У потисном воду се прати притисак уља и одговарајућа информација о стварном притиску се посредством дигиталног сигнала шаље до контролера који врши одговарајуће корекције у сигналу сервомотора уколико притисак одступа од селектованог.



Слика 3.10 Улога управљачког система код машине за бризгање пластике

Данас се многе фирме у свету баве производњом машина за бризгање пластике али свакако најпознатије од њих су: ARBURG, TOSHIBA и MITSUBISHI.

ARBURG

Седиште фирме ARBURG налази се у Немачкој у граду Лосбургу. Ова фирма запошљава 1900 радника и бави се пре свега производњом машина за бризгање пластике. Оно што је одлика машина овога произвођача је максимална енергетска ефикасност. За машину ARBURG 320C (слика 3.11) основне карактеристике су дате у табели. 3.3 [7].



Слика 3.11 Машина за бризгање пластике ARBURG 320C

Таблица 3.3 Карактеристике машине за бризгање пластике ARBURG 320C

Модел машине	ARBURG 320C	
Габаритне димензије	mm	3415x1430x1850
Тежина	kg	2300
Електрични прикључак	A	63
Јединица за затварање калупа		
Сила затварања	max. kN	500
Сила отварања	max. kN	35
Ход отварања	max. mm	350
Висина калупа	max. mm	200
Растојање између вођица	mm	320x320
Величина плоче	mm	446 x446
Тежина помичне плоче	max. kg	180
Сила избацивања	max. kN	30
Ход избацивача	max. mm	125
Хидраулична јединица		
Снага хидрауличне пумпе	kW	11
Капацитет резервоара за уље	l	165
Време потребно за отв. алата	s	1,3
Стандард квалитета		DIN EN 60204
Утичнице (1 монофазна, 1 трофазна)		1 x 16 A

Јединица за убризгавање		
Пречник пужног вијка	mm	25/30/35
Ефективна дужина пужног вијка	L/D	24/20/17
Ход пужног вијка	max. Mm	120
Израчуната запремина убризгавања	max. cm ³	59/85/115
Притисак убризгавања	max. bar	2500 / 2000 / 1470
Брзина убризгавања	max. cm ³ /s	66/96/132
Обимна брзина пужног вијка	max. m/min	35/42/49
Обртни момент пужног вијка	max. Nm	210/250/290
Сила контакта на млазници	max. kN	50
Инсталисана снага грејача цилиндра	kW	8,8/4
Капацитет левка за уливање мат.	l	50

TOSHIBA

TOSHIBA је мултинационална корпорација са седиштем у јапанском граду Токију. Главна делатност ове фирме је производња електронских уређаја и компоненти. Представља једну од 20 водећих светских фирми у овој области. Основана је 1930 године и данас броји више од 700 фирми у целом свету [8].

Одељак ове фирме под називом Toshiba Machine бави се производњом алатних машина, машина за ливење, индустријских робота, као и машина за инјекционо бризгање пластике. За машину Toshiba EC55SX – U21 (слика 3.12) основне карактеристике су дате у табlici 3.4.



Слика 3.12. Машина за бризгање пластике Toshiba EC55SX – U21

Таблица 3.4. Карактеристике машине за бризгање пластике Toshiba EC55SX – U21

Модел машине	Toshiba EC55SX – U21	
Габаритне димензије	mm	4000x1200x1600
Тежина	kg	3300
Електрични прикључак	A	63
Јединица за затварање калупа		
Сила затварања	max. kN	500
Сила отварања	max. kN	20
Ход отварања	max. mm	300
Висина калупа	mm	150 - 470

Растојање између вођица	mm	410x340
Величина плоче	mm	510 x460
Тежина помичне плоче	max. kg	180
Сила избацивања	max. kN	20
Ход избацивача	max. mm	70
Јединица за убризгавање		
Пречник пужног вијка	mm	22/25/28
Капацитет убризгавања	cm ³	38/49/62
Притисак убризгавања	max. bar	2840/2200/1750
Накнадни притисак	max. bar	2840/2200/1750
Брзина убризгавања	max. cm ³ /s	76/98/123
Дозирање	g/sec	6,1/7,8/9,7
Брзина пужног вијка	RPM	420/420/380
Сила контакта на млазници	max. kN	9,8
Инсталисана снага грејача цилиндра	kW	4,7

4. Проблематика пројектовања алата за израду производа од пластичних маса

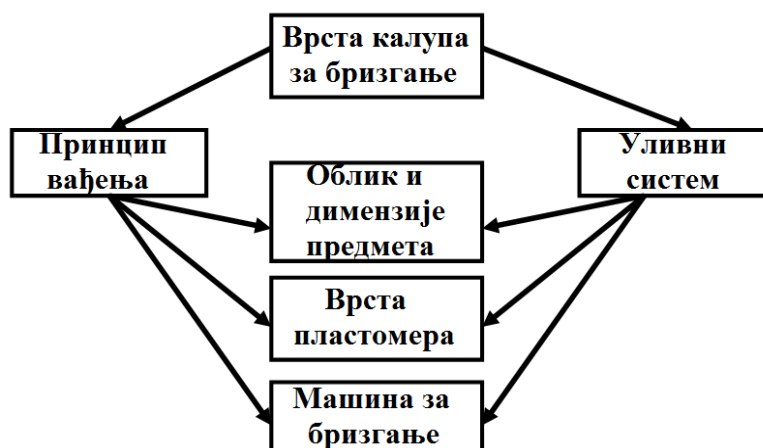
У технолошком процесу прераде пластичних маса бризгањем алат заузима централно место. Обзиром да се ради о аутоматизованој серијској производњи, сваки елемент радног циклуса мора задовољити одређене критеријуме те производње. Свака секунда скраћења радног циклуса је врло битна. Због тога је најважније да се код пројектовање и израде алата не направе грешке које ће касније имати негативне последице на квалитет производа и продуктивност. Претерана штедња при пројектовању и изради калупа (употреба мање квалитетних челика, неодговарајућа термичка обрада, лош квалитет обраде) сигурно ће довести до нежељених последица у производњи [5].

Алат представља централни део система за бризгање пластичних маса. Квалитет његове израде и поуздано функционисање су основа економичне производње и израде производа високог квалитета. Основни задаци калупа су:

- прихватање растопљеног пластомера и његово хлађење до постизања жељеног облика производа,
- избацивање производа из гравуре и
- циклусни рад система за бризгање.

4.1 Утицајни фактори на пројектовање алата

Облик, димензије, естетски захтеви и остали фактори везани за сам производ пресудно утичу на пројектовање алата за бризгање. Тако нпр. од димензија и облика предмета зависи број (једна или више) калупних шупљина (гравура) и положај подеоних равни слика 4.1. Естетски захтеви могу бити пресудни по питању места уливног канала и начина његовог уклањања након вађења предмета из гравуре [5].



Слика 4.1 Утицајни фактори на пројектовање алата [5]

Особинама пластичних маса, као што су температура и притисак убризгавања, време хлађења, коефицијент скупљања, поклања се посебна пажња при конструкцији алата за бризгање пластике.

Утицај материјала је нарочито изражен у следећим фазама пројектовања алата:

- димензионисање гравуре (калупне шупљине),
- прорачун скупљања у калупу и накнадног скупљања,
- квалитет површине калупа,
- место и облик уливног система и
- принцип вађења предмета.

Машина утиче на пројектовање алата за бризгање првенствено својим капацитетом (од неколико грама до неколико килограма) и габаритима.

Три међусобно зависна фактора (материјал, облик и димензије) утичу на одређивање уливног система и вађење предмета из калупа. Тиме се усмеравају активности пројектовања и израде алата. Поред овога, треба тежити потпуној аутоматизацији рада са калупима, како би се скратио радни циклус.

4.2 Скупљање у калупу и накнадно скупљање производа

При одређивању калупне шупљине треба урачунати скупљање и евентуално накнадно скупљање производа (таблица 4.1). Скупљање је разлика у мерама калупне шупљине и производа. Скупљање у правцу бризгања и у управном правцу може се разликовати. Накнадно скупљање је разлика у мерама производа на собној и некој другој температури. Проценат скупљања је тешко одредити јер зависи од много фактора. Аморфни термопласти (полистирол) имају мало скупљање, без обзира на спољашње услове. Делимично кристалне масе (полиетилен) имају широко подручје скупљања, које зависи од притиска убризгавања и накнадног притиска. Што су ови притисци већи, то је скупљање мање. Облик калупне шупљине и уливка, такође утиче на скупљање. Укупно скупљање је разлика у мерама калупне шупљине и производа након складиштења [9].

Таблица 4.1 Режији рада при инјекционом бризгању

Врста пластичне масе	Притисак убризгавања p [bar]	Накнадни притисак убризг. p [bar]	Темп. масе °C	Темп. алата °C	Скупљање %	Нагиб %
Polystyrol	1200 – 1500	$(0,3 - 0,6) \cdot p$	150 – 280	10 - 50	са 0,45	1,5
ABS	1000 – 1500	$(0,3 - 0,6) \cdot p$	180 – 240	50 – 85	0,4 – 0,7	-
Polyethylen	1200 – 1500	$(0,3 - 0,6) \cdot p$	140 – 350	20 – 60	1,5 – 2	0,2 – 2
Polypropylen	1200 – 1800	$(0,4 - 0,8) \cdot p$	150 - 260	20 – 60	1,2 – 2,2	1,5
Polycarbonat	1300 – 1800	$(0,4 - 0,6) \cdot p$	230 – 320	85 – 120	0,7 – 0,8	1
PVC	800 - 1600	$(0,3 - 0,5) \cdot p$	140 - 210	20 - 60	0,5 – 0,7	1,5

4.3 Основни елементи калупа

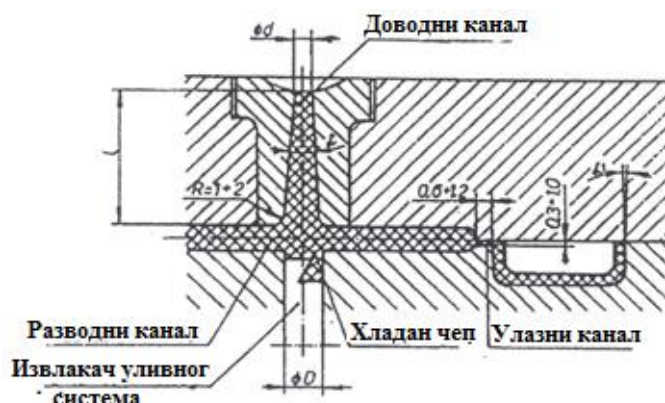
Основни елементи калупа су:

- Уливни систем,
- Гравура,
- Систем за избацивање отпреска,
- Систем за хлађење калупа и
- Систем за одзрачивање.

4.3.1 Уливни систем

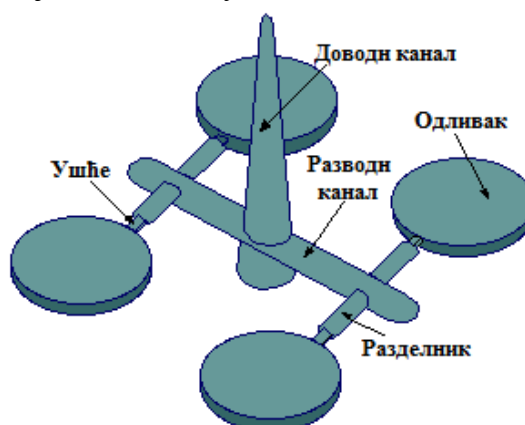
Уливни систем калупа за бризгање пластичне масе састоји се од једног или више канала који повезују млазницу бризгалице са калупним шупљинама. Намена уливног система јесте да омогући што бржи проток растопа, без појаве турбуленције, и равномерно попуњавање калупа. Примена и добра израда уливног система има велики утицај на функционалност калупа, својства, квалитет производа и продуктивност. Грешке у димензионисању и изради уливних канала имају многе негативне последице у производњи. Уливни систем (слика 4.2) се састоји од [6]:

- Доводних канала,
- Разводних канала и
- Улазних канала.



Слика 4.2 Уливни систем

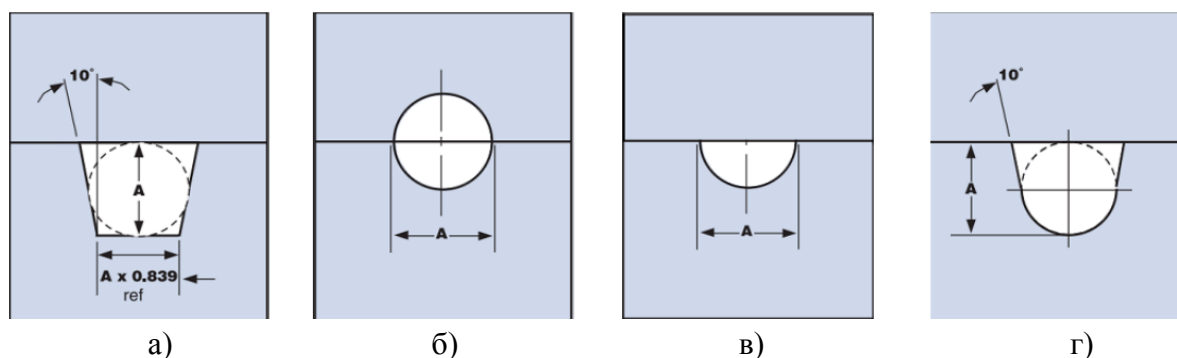
На слици 4.3 приказан је одливак са уливним системом.



Слика 4.3 Одливак, уливни систем – грозд

Доводни канал се поставља у непокретном делу алата. Налази се у оси канала млазнице. При бризгању, растоп пластомера испуњава доводни канал и у њему очвршћава, тако да се мора одстранити после сваког циклуса [3].

Разводни канали се примењују у случају уливања из више тачака или код калупа са више гравура. Повезује доводни канал са гравуром калупа. У пракси се употребљавају три врсте разводних канала и то: кружног, трапезног и полукружног попречног пресека (слика 4.4).



Слика 4.4 *Могући облици попречног пресека разводног канала (а – трапезни, б – кружни, в – полукружни, г – трапезни заобљени)*

Разводни канал повезује доводни канал са уливним каналом. Разводни канал би требало да има што већу површину попречног пресека уз минималан обим тог пресека. Такође разводни канал треба да има велики однос запремине према површини његовог пресека. На тај начин смањиће се губици топлоте, превремено очвршћавање растопљене пластике у самом уливном систему као и пад притиска. Идеалан профил пресека за разводни канал је кружни. Иако је кружни профил разводног канала најефикаснији, он је јако скуп за израду, јер се мора изградити у обе половине калупа.

Јефтиније али ефикасно решење је трапезни профил попречног пресека разводног канала. Трапезоидни разводни канал би требало да буде дизајниран са конусом страница од $2^\circ - 5^\circ$. Дубина трапеза би требала да буде једнака ширини базе као што је приказано на слици 4.4. Оваква конфигурација осигурава добар однос запремине према површини попречног пресека.

Полукружни разводни канал се не препоручује због малог односа запремине према површини пресека. Наиме ако би кроз канал полукружног попречног пресека у који је уписан круг истог пречника као и у трапезном попречном пресеку протикао полимер обим тог полукруга би био већи па самим тиме и површина одавања топлоте у односу на трапез.

Идеална величина пречника разводног канала зависи од много фактора као што су: запремина, дужина разводног канала, капацитет уливног канала, време трајања циклуса итд. Генерално разводни канали треба да имају пречник попречног пресека величине до максималне дебљине дела који се бризга, али у оквиру граница од 4-10 mm како би се спречило прерано очвршћавање полимера или пак предуго време трајања циклуса.

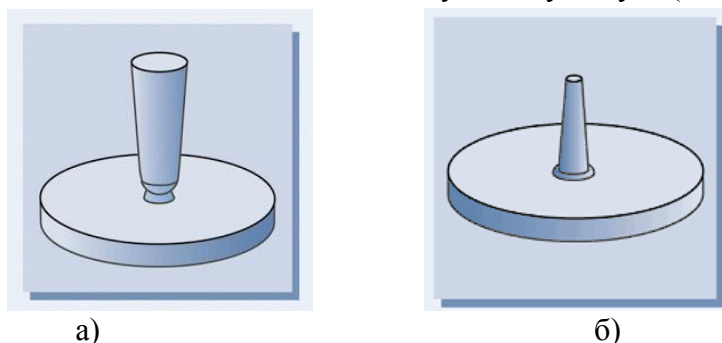
Пречник разводног канала треба да буде довољно велики да се смањи губитак притиска, али ипак довољно мали да се одржи задовољавајуће време трајања циклуса. Мањи пречници се успешно примењују као резултат анализе протока полимера коришћењем одговарајућих софтверских пакета за симулацију. Коришћењем канала мањег пречника

постижу се равномернија температура растопа и побољшање протока полимера. Већи пречници канала нису економични због веће количине енергије коју је потребно уложити у одржавање полимерног материјала у течном стању.

Улазни канал (уливак) повезују разводни канал са гравуром. Они су знатно мањег попречног пресека од разводних канала, па се често називају и уливна грла.

Избор попречног пресека улазног канала изводи се на основу облика разводног канала, док се његово димензионисање врши по искуственим обрасцима или препорукама произвођача пластомера.

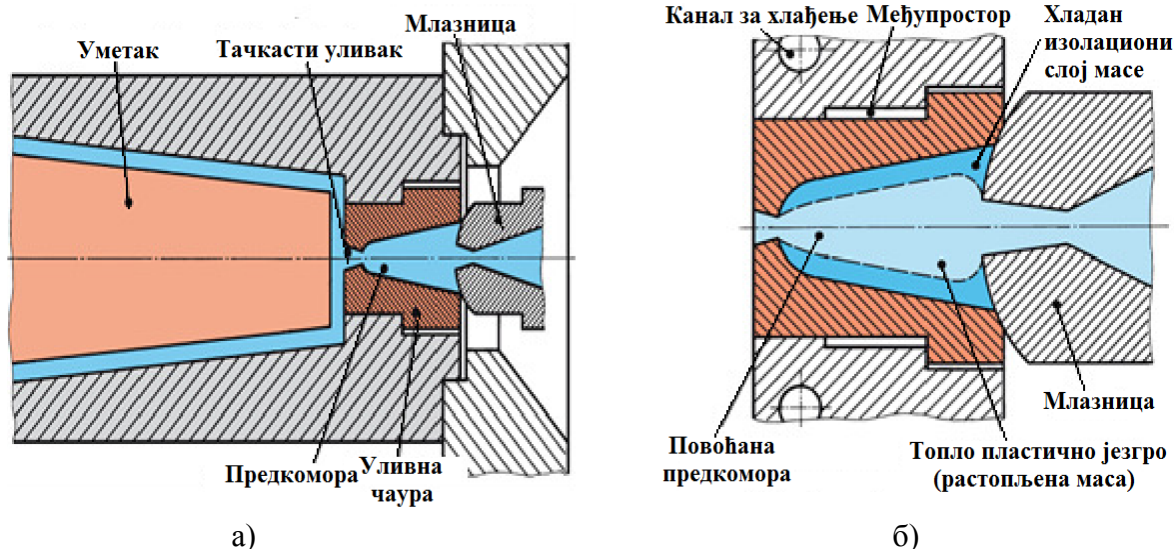
Улазни канал може бити канални тачкасти и у облику конуса (слика 4.5)



Слика 4.5 Улазни канал (а – тачкасти, б – конусни)

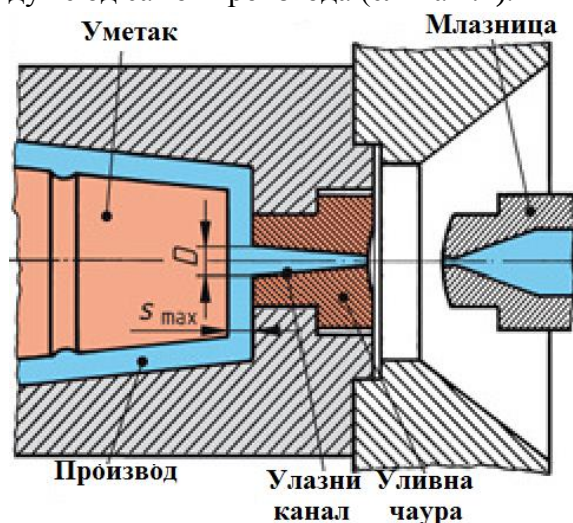
Тачкасти улазни канал се при одвајању кида на месту најмањег попречног пресека, а на производу остаје уливни шиљак. Изостаје накнадно одређивање и нема видљивог оштећења површине. Претежно се користи за израду производа малих димензија у масовној производњи у алатима са једним или више гнезда, као и за производе већих димензија који захтевају више улазних канала. Што је мањи отвор тачкастог улазног канала то је лакше одвајање кидањем. Ако се охлади маса у комори услед преспорог пуњења калупа, биће потребно накнадно ручно вађење улазног канала [9].

Због наведених потешкоћа израђују се повећане и продужене предкоморе, тако да се на њиховим зидовима ствара хладнији слој масе, који као топлотни изолатор спречава даље хлађење масе и омогућује течење кроз језгро улазног канала (слика 4.6). Даља могућност да се спречи хлађење масе је уградња специјалних грејача у предкомору.



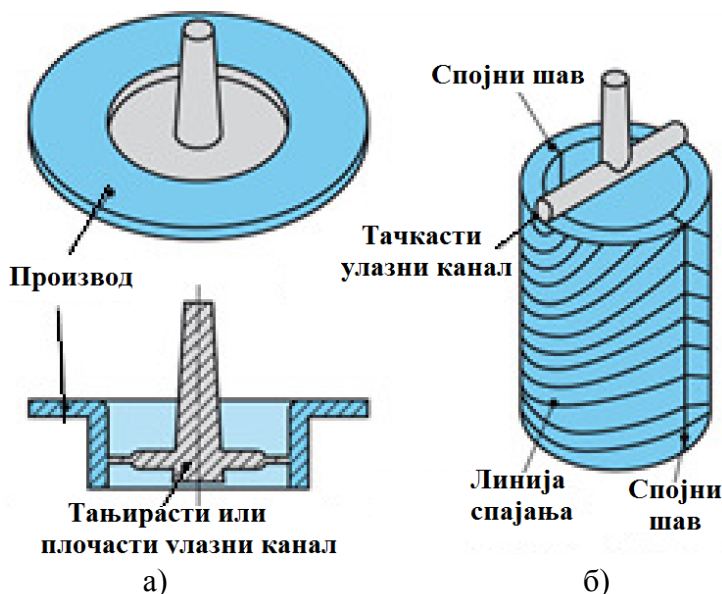
Слика 4.6 Тачкасти улазни канал (а- са предкомором, б- са повећаном предкомором) [9]

Конични улазни канал користи се претежно за ротационо симетричне делове. Улазни канал се накнадно одсеца. Због трагова одсецања није добро да се улазни канал налази на видљивој површини производа. Пречник D треба одредити тако да очвршћавање улазног канала увек траје дужи од самог производа (слика 4.7).



Слика 4.7 Конични канални улазни канал

Тањирасти (плочасти) улазни канал је предвиђен за прстенасте производе (слика 4.8 а). Ако би се уместо овог улазног канала користио један или два тачкаста међусобно повезана улазна канала онда би се створила спојна линија (спојни шав) дуж целог производа (слика 4.8 б). Што је маса хладнија при спајању, то ће чврстоћа шави бити мања.

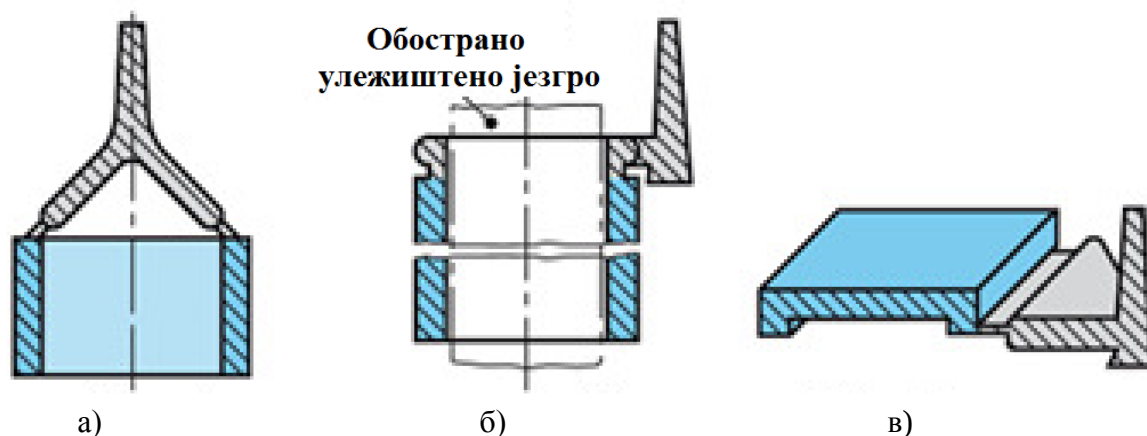


Слика 4.8 Улазни канал (а- правилан (тањирасти), б – неповољан (тачкасти))

Рачвасти улазни канал се користи за израду кратких шупљих производа (слика. 4.9 а).

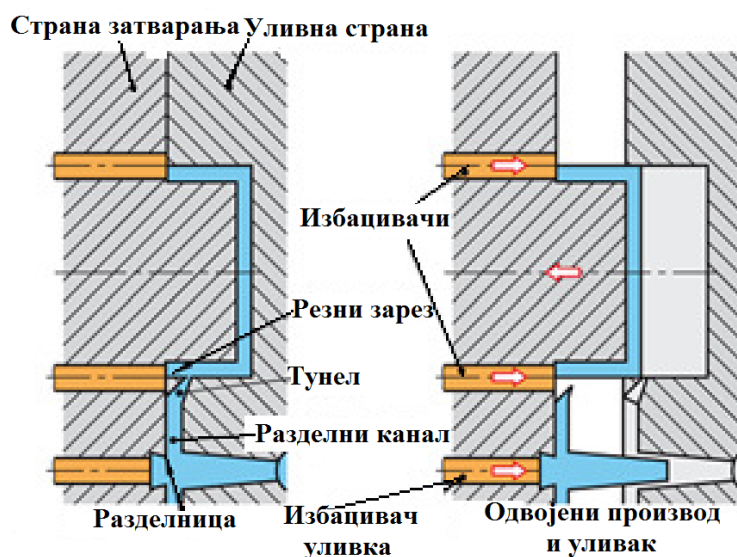
Прстенасти улазни канал се користи за цевасте производе у алату са уграђеним језгром, који је улежиштен са обе стране (слика 4.9 б).

Филмски улазни канал је облика уливне траке и користи се за израду равних производа великих површина (слика 4.9 в).



Слика 4.9 Врста улазног канали (а – рачвасти, б – прстенести, в – филмски)

Тунелски улазни канал се поставља бочно на производ или на неко друго мање видљиво место, а одваја се аутоматски од производа приликом отварања калупних плоча (слика 4.10)

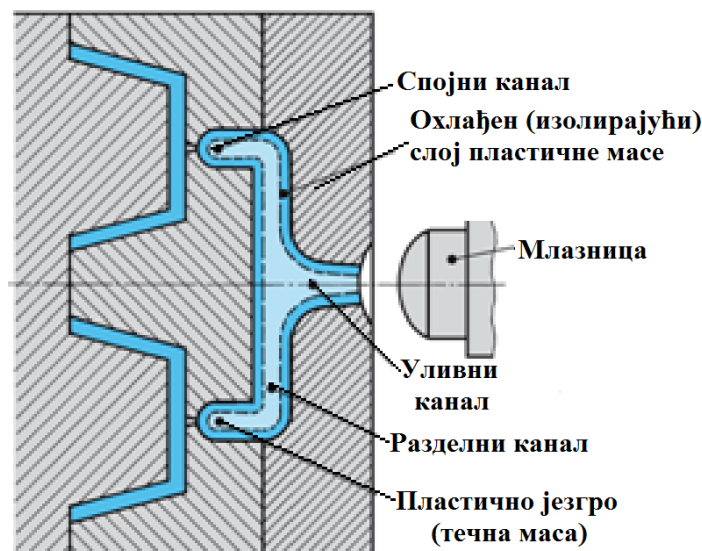


Слика 4.10 Тунелски улазни канал

Отварањем помичне калупне плоче повлачи се производ и уливак. При томе се уливак на месту тунелског ушћа одваја од производа. При крају отварања избацивачи избацују производ и уливак из калупне плоче. Да би се обезбедило правилно одвајање производа преко резног зареза потребно је предвидети његово слободно савијање и одабрати правилан конус тунела.

Због великог губитка притиска тунелски уливак се користи за израду једноставнијих и ситних производа у алатима са више гнезда.

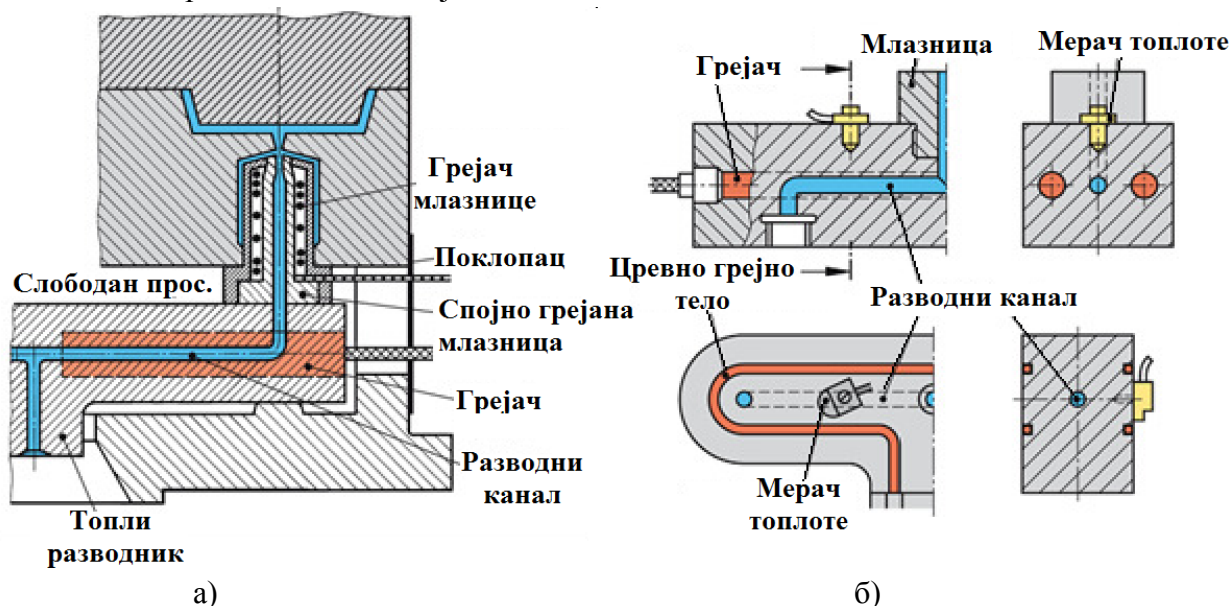
Уливак са изолацијским каналима има повећан пречник разводних и доводних канала. На зидовима канала очврсне танки слој пластичне масе који својом топлотном изолацијом спречава хлађење према унутрашњости канала и тако осигурава да у језгру канала остане растопљена пластична маса (слика 4.11).



Слика 4.11 Уливак са изолацијским каналом

На овај начин се штеди на одвајању улива, а маса задржана у њему се користи за даљу прераду.

Улазни канал са грејачима. Код ових улазних канала постоје цевни грејачи који спречавају брзо хлађење растопљене масе и одржавање потребне температуре у разводним каналима (слика 4.12). При уградњи разводног канала оставља се слободан простор како би се избегао додир са знатно хладнијим алатом [9].

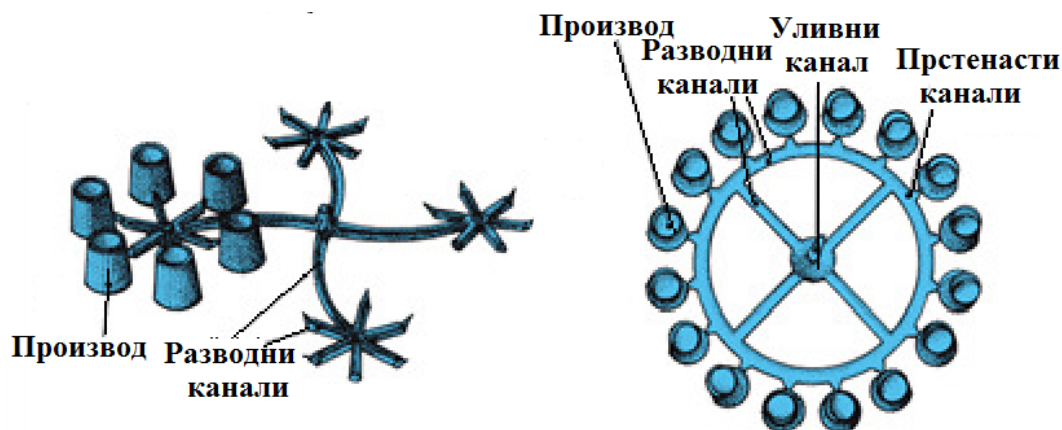


Слика 4.12 а-Алат са топлим улазним каналом, б – грејни елементи [9]

Код алата са више гнезда израђује се више производа у току једног циклуса убризгавања. У гнезда се маса доводи помоћу разводних канала (слика 4.13).

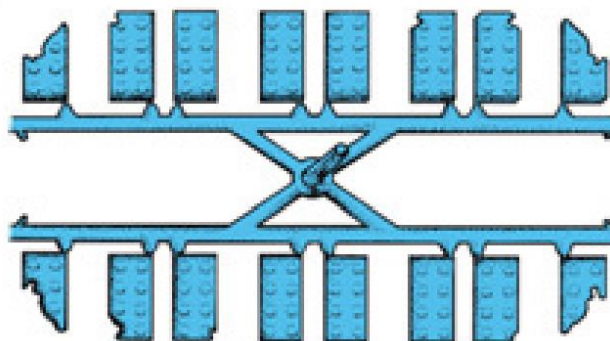
Звездасти разводни канал се користи за гнезда која су центрично постављена око улазног канала. Код разводног канала према слици 4.13 – а дужина путева течења масе је иста за сва гнезда.

Предност прстенастог разводника (слика 4.13 – б) је у томе што је укупна дужина путева течења материјала знатно краћа.



Слика 4.13 Звездасти разводни канал (а – варијанта 1, б – варијанта 2 са прстенастим каналом)

Редни разводни канал (слика 4.14) има различите дужине путева течења што може смањити квалитет производа, односно довести до неравномерног попуњавања гнезда калупа. Овај недостатак се може отклонити израдом канала са различитим попречним пресеком. Предност радног разводника је у могућности израде више производа у једном циклуса убризгавања.



Слика 4.14 Редни разводни канал

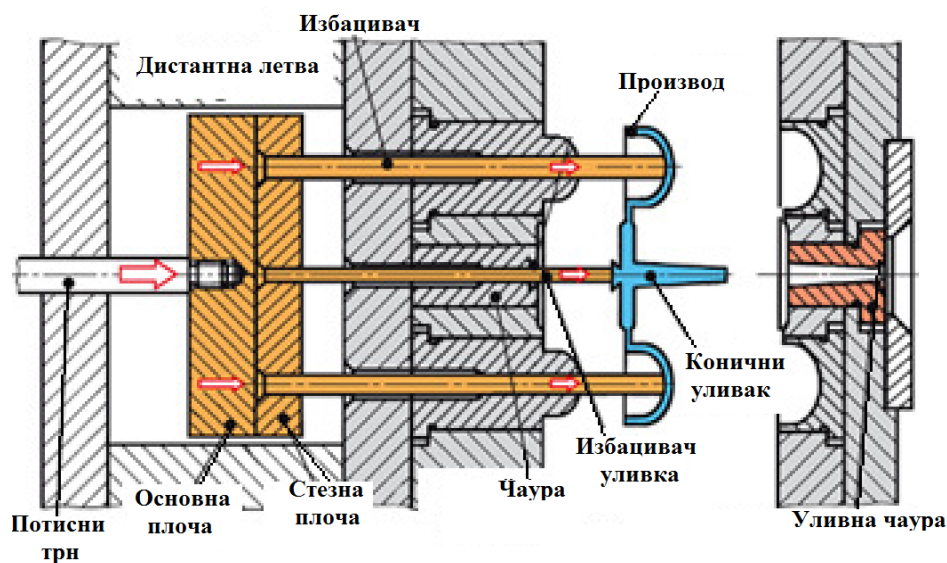
4.3.2 Систем за избацивање

На врсту система за избацивање отпреска утиче неколико чиниоца:

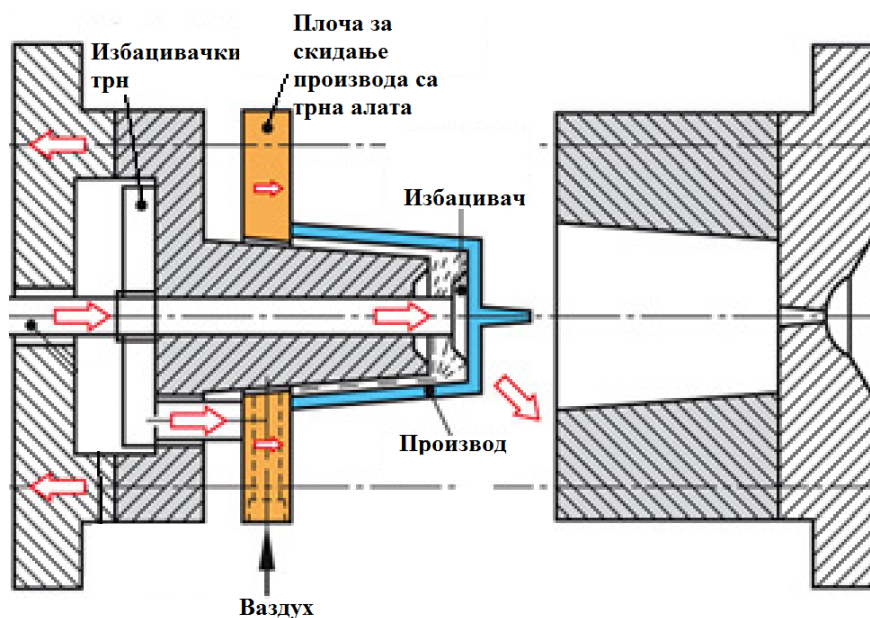
- облик отпреска,
- број отпреска у калупу,
- врста пластомера,
- ниво аутоматизације рада калупа и
- врста и могућност машине.

Важно је изабрати такав систем избацивања готовог дела из калупа који не доводи до застоја у раду алата и што је најважније, који обезбеђује добијање отпреска са назнатним траговима избацивача. Разликују се три основна избацивачка система:

- Систем избацивања са избацивачима (слика 4.15)
- Систем избацивања са прстеном (слика 4.16)
- Систем са ваздушним избацивањем.



Слика 4.15 Систем избацивања са избацивачима

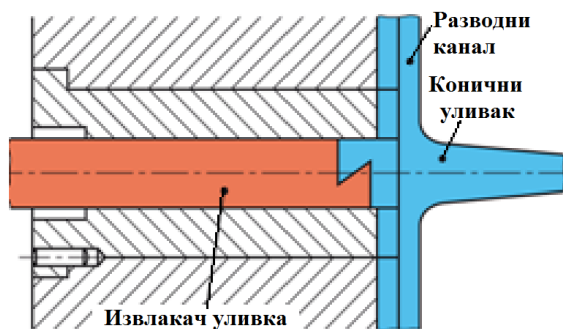


Слика 4.16 Систем избацивања са прстеном

4.3.3 Извлакачи уливног система и избацивачи

Извлакачи уливног система имају намену да при отварању калупа одвоје охлађени материјал који се налази у уливном каналу од млазнице цилиндра за топљење и у следећој фази да извуку уливак из уливне пушкице. Највише се примењују код аутоматског рада и калупа са више калупних шупљина. На слици 4.17 приказан је извлакач коничног уливка. [5].

Дужина и облик избацивача треба прилагодити калупној шупљини (гнезду). Пресек избацивача треба бити довољно велики да на производу не остави отисак и не оштети неку видну или функционалну површина.



Слика 4.17 Извлакач коничног улива

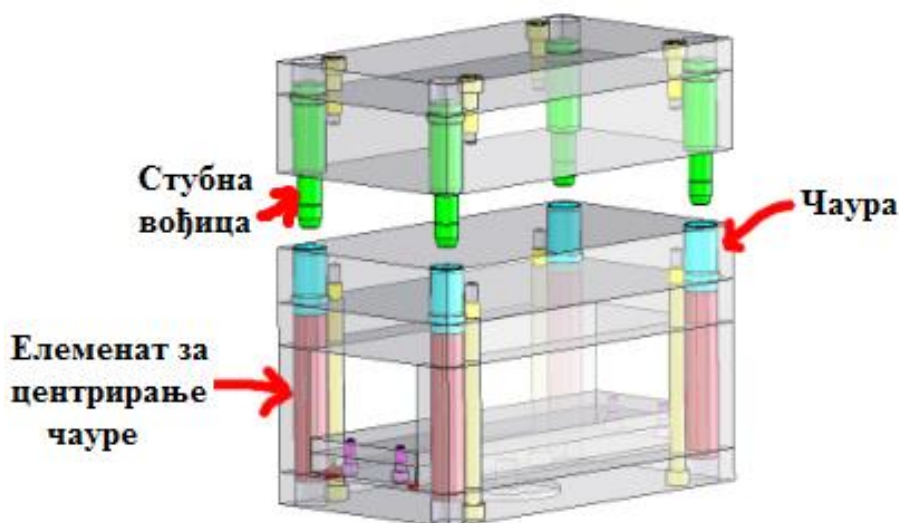
За истовремено вађење производа и мреже разводних канала са улазним каналима потребно је уградити чауру за извлачење и избациваче. Постоје различити облици избацивача, а неки од њих су приказани на слици 4.18.



Слика 4.18 Различите врсте избацивача

4.3.4 Систем за вођење и центрирање калупа

Задатак система за вођење је да центрира и обезбеди паралелност хода покретног и непокретног дела калупа, као и одржавање тачног положаја плоча у равни отварања калупа. У супротном долази до оштећења производа, а врло често и до лома калупа. Најчешће се вођење врши помоћу стубних вођица (слика 4.19).



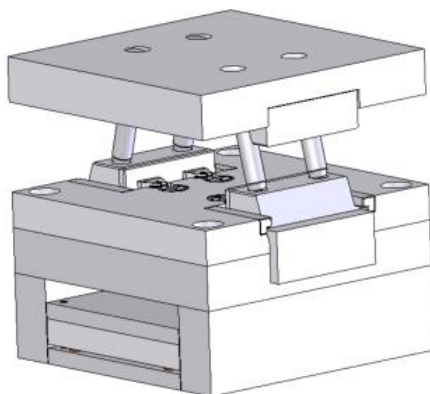
Слика 4.19 Вођење алата помоћу стубних вођица

Задатак водећих стубова и клизне чауре је да центрирају и осигурају паралелност хода унутар равни отварања пре него што гнезда калупа дођу једно до другог.

Најчешће се користе 2, 3 или 4 водећа стуба, зависно од величине калупа. Постављају се по спољашњем ободу калупа, ради бољег центрирања.

Код производа са дугим танким зидовима и цилиндричног облика, притисак у калупној шупљини настоји померити језгро у једну страну.

Услед тога може доћи до ексцентричности, неједнаких дебљина зидова и у тежим случајевима, прекида протока и недоливених производа. Најбоље решење код таквих калупа је конусно вођење. Ово вођење има предности у односу на вођење стубним вођицама, јер се налагање врши по конусним површинама. Угао конуса је 10- 30°, а најповољније је 15° (слика 4.20).

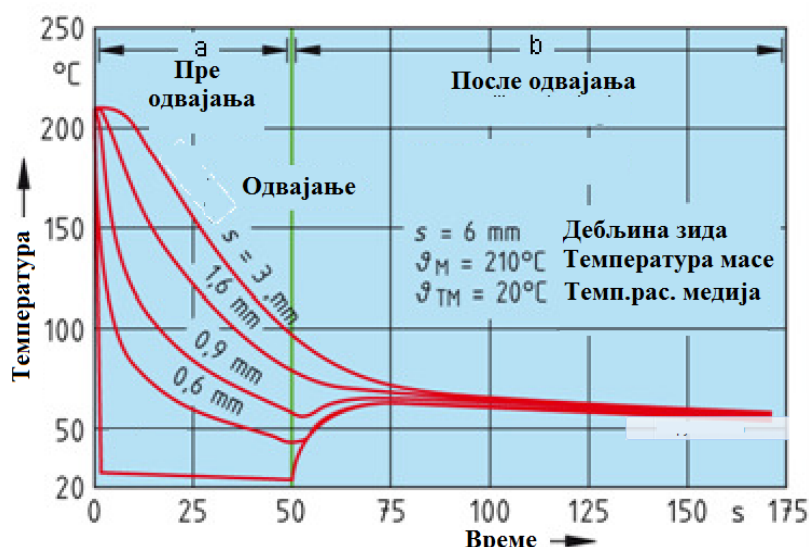


Слика 4.20 Конусно вођење алата

4.3.5 Систем за хлађење калупа

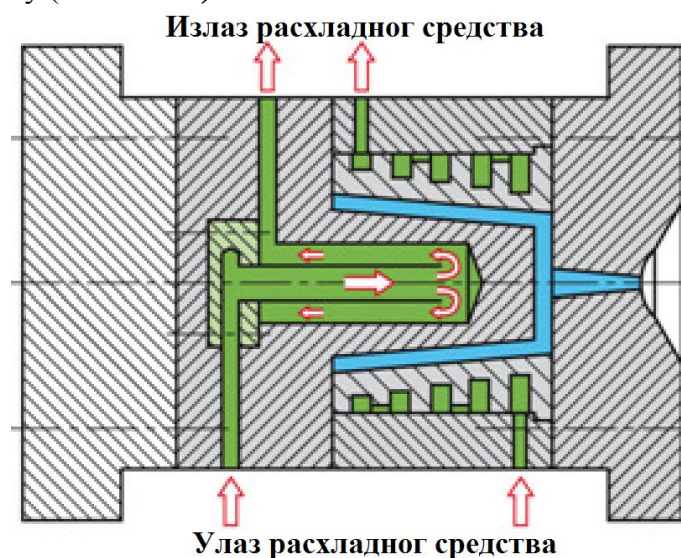
У току процеса бризгања топлота са растопљене масе прелази на зидове разводних канала и гравура алата изазивајући на тај начин повећање температуре алата. Како би се омогућило правилно функционисање алата, као и хлађење убризгане пластичне масе потребно је да поседујемо одговарајући систем за хлађење. [9]

Време хлађења зависи од услова рада и потребно је да буде што краће (слика 4.21).



Слика 4.21 Процес хлађења производа

Као расхладно средство најчешће се користи вода која се проводи кроз расхладне канале израђене у алату (слика 4.22).



Слика 4.22 Расхладни канали у алат

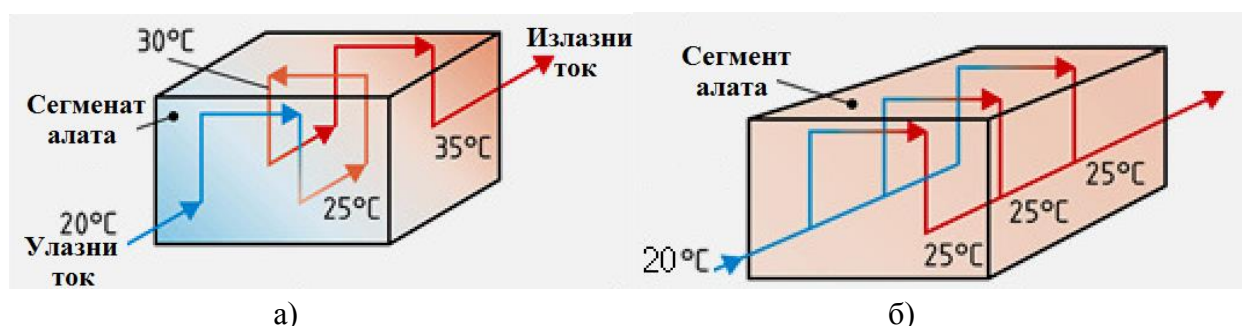
Распоред канала треба прилагодити различитим температурним зонама које се морају брзо и подједнако охладити. При постављању канала треба постићи што боље хлађење, а са друге стране не ослабити крутост калупних плоча. Због једноставности се израђују бушењем, па су кружног попречног пресека. Пречници расхладних канала зависе од дебљине зидова производа (таблица 4.2).

Таблица 4.2 Пречник расхладних канала

Дебљина зида производа (mm)	Пречник расхладног канала d (mm)
2	8 – 10
4	10 – 12
6	12 - 15

Распоред расхладних канала може бити:

- Серијски (слика 4.23 –а) и
- Паралелни (слика 4.23 – б)



Слика 4.23 Распоред расхладних канала (а – серијски, б – паралелни)

4.3.6 Систем за одзрачивање калупа

Приликом убризгавања у калупу, растоп из шупљине потискује ваздух. Уколико ваздух не може да изађе из калупне шупљине, долази до компресије и повећања температуре ваздуха. То се може негативно одразити на квалитет производа. Симптоми су [3]:

- појава прегрејаних линија или ваздушних рупа, локално прегарање и деградација материјала производа и
- површина је неравна и прекривена ситним мехурићима.

Ове грешке се могу уклонити на два начина и то:

- реконструкцијом уливног система и
- применом система за одвод ваздуха – одзрачивање.

Систем за одзрачивање калупа може бити изведен:

- између разделних равни калупа,
- око игала за избацивање и
- кроз специјалне игле.

Најчешће се изводи систем одзрачивања између разделних равни калупа, на начин да се на местима где се предвиђа заробљавање ваздуха урежу жљебови за одзрачивање. Дубина жљебова је од 0.05 – 0.12 mm и треба водити рачуна да не буду превелики, како не би дошло до цурења растопа.

4.4 Материјали

Алатни челици требају испунити бројне захтеве са обзиром на различита места примене и поступке прераде. Тражи се лака обрадивост, посебно добра способност полирања. И постојаност димензија при термичкој обради. Такође је неопходна отпорност површина на повишени притисак и хабање, као и довољна антикорозивна отпорност са обзиром да је алат изложен деловању агресивних маса и расхладних течности. [9]

Калупне плоче и уметци се раде од челика за цементацију 21MnCr5 (Č4321), а за веће алате од побољшаног алатног челика 40CrMnMoS86 (Č4742) који се добро обрађује, а каљење није потребно.

За високополиране калупе користи се специјални челик за цементацију X19NiCrMo4 (Č5429). За велике површинске притиске и посебно оптерећене калупе користи се прокаљиви челик за рад у топлотном стању X38CrMoV51 (Utop Mo1, Č4751).

За израду калупа и уметака отпорних на корозију користе се нерђајући челици X2Cr13 (prohrom 4 extra, Č4175) или X36CrMo17 (prohrom 5, Č4770). За израду кућишта и осталих делова користи се нелегирани алатни челик C45W3 – некаљен (Č1540).

5. Примена софтвера за пројектовање алата за делове од пластичних маса и стандардних делова алата

У прошлости, испитивање је било важан део развоја производа. Слабости дизајна могли су се открити само испитивањем након израде производа а пре него што производ дође у руке купца. Међутим, задњих година, способност извршавања детаљне анализе многих аспеката дизајна користећи алате рачунарски подржаног инжењеринга развила се до тачке када се „виртуелни“ може сматрати реалистичним предлогом.

Развој програмских система који омогућавају симулацију процеса израде производа, отворио је шире могућности анализе производа у току пројектовања (све корекције се изводе у овој фази, тако да нема накнадних корекција на готовом производу) и кроз то допринео подизању квалитета и снижавању трошкова. У ову сврху се користи следећи софтверски пакети:

- Moldflow,
- PlasticAdvaizer (ProEngineer, SolidWorks, Autodesk Inventor),
- Catia и
- SolidWorks (Premium, Advanced).

Примена рачунара и софтвера у процесу пројектовања производа је, у току последњих десет година, у много чему изменила машинску производњу која је данас без тога практично незамислива [5].

Гледано кроз перспективу производног инжењерства моделирањем се могу остварити бројни циљеви, а сви на неки начин са финансијском позадином:

- оптимизација постојећег процеса и повећање продуктивности,
- побољшање квалитета производа,
- смањење броја покушаја у фази пројектовања новог или модификовања постојећег процеса или производа (брза израда прототипова, краћи циклус пројектовања),
- побољшање система контроле процеса (intelligent procesing),
- побољшање производних способности добављача за компаније које се баве монтажом,
- пројектовање нове опреме и алата, и
- стицање знања и едукација (визуелизација процеса, проучавање параметара процеса, научно објашњење уочених феномена).

Софтвери, било да се ради о ливењу метала, бризгању пластике, обради метала резањем итд., омогућују спровођење широког спектра анализа, кроз експериментисање на виртуелном производу у току пројектовања. Крајњи ефекат примене софтвера за резултат има јефтинији и квалитетнији производ.

Процес пројектовања делова од пластичних маса (слика 5.1) може се рашчланити на три основна дела:

- CAD моделирање,
- Симулација процеса израде и
- Пројектовање алата за израду пластичних маса.

Процес 3D моделирања се врши у основном модулу SolidWorks-а. Поступак се у суштини своди на сад већ конвенционалне технике 3D моделирања које су више мање заједничке за све системе ове врсте.

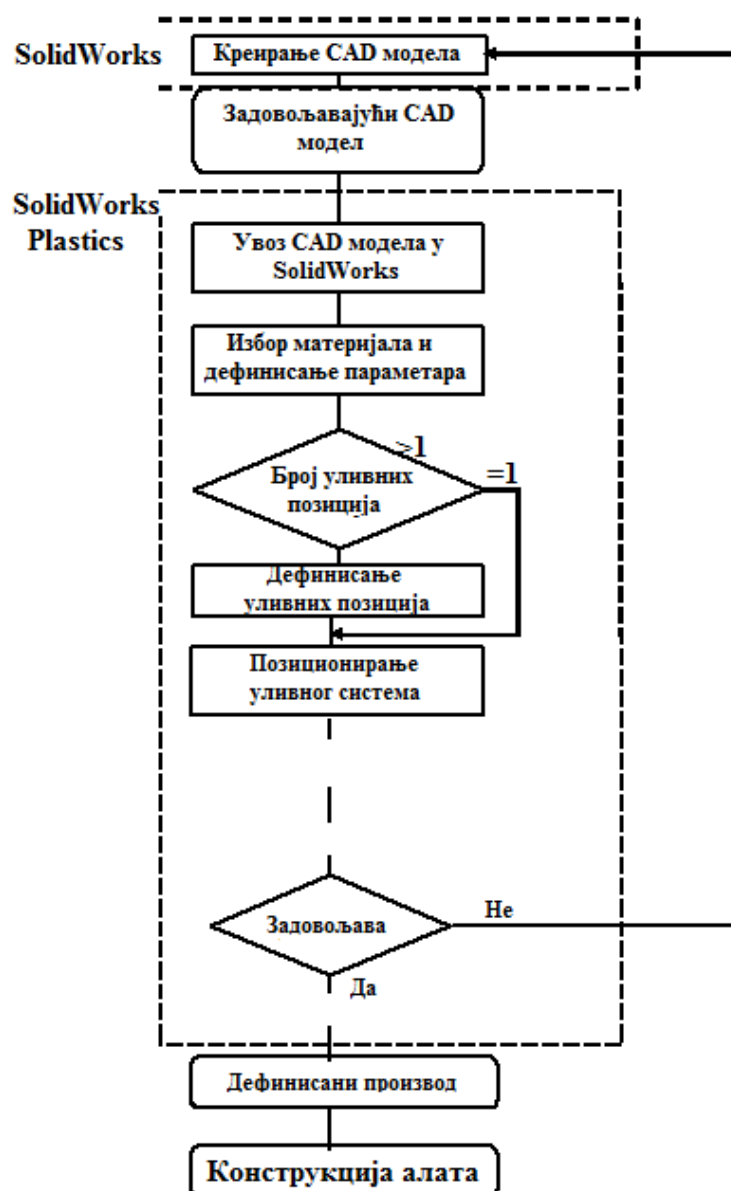
SolidWorks 3D CAD пакет се користи у процесима развоја и пројектовања производа, конструкција, алата и технологије. Из 3D модела производа аутоматизованим поступком лако се долази до радионичких и склопних цртежа, који садрже ортогоналне пројекције, изометричке пресеке, детаље, излазне спецификације и извештаје, као што су саставнице, листе делова и нормативи. SolidWorks се подједнако успешно користи за израду техничких упутстава, инструкција за монтажу, сервисирање и употребу. Симулације и прорачуни су додатна погодност која омогућава инжењерима да провере чврстоћу, деформације, кинематику и динамику покретних елемената, израчунају производну цену конструкције и одреде еколошки утицај производа. SolidWorks 3D CAD такође представља платформу за комуникацију између извођача, купаца, добављача и подизвођача.

Следећи корак у развоју производа представља симулација процеса бризгања. Способност симулације подржане рачунаром превазишла је сва очекивања. Некада су симулације захтевале употребу централног рачунара, данас могу да се одраде на персоналним рачунарима. Сада је могуће сложеније процесе симулирати уз проширени опсег испитиваних карактеристика.

Симулација омогућава инжењерима брз увид у различите параметре процеса бризгања. Ова могућност поједностављује процес пројектовања алата и елиминисае накнадне дораде алата, јер се на овај начин још у раној фази пројектовања могу открити и елиминисати евентуалне неправилности.

За процес симулације, у овом раду, коришћен је софтверски пакет SolidWorks, односно модул SolidWorks – Plastics. Треба нагласити да наведени модул подржава и друге CAD формате као што су IGES, STEP, DXF итд. Односно у њему је могуће извршити симулацију бризгања и за CAD моделе који нису моделирани у Solidworks - у. Примена модула SolidWorks - Plastics је кроз реални пример симулације процеса бризгања приказана у наредном поглављу.

Пројектовању алата за бризгање пластике се приступа након што је производ у потпуности дефинисан.

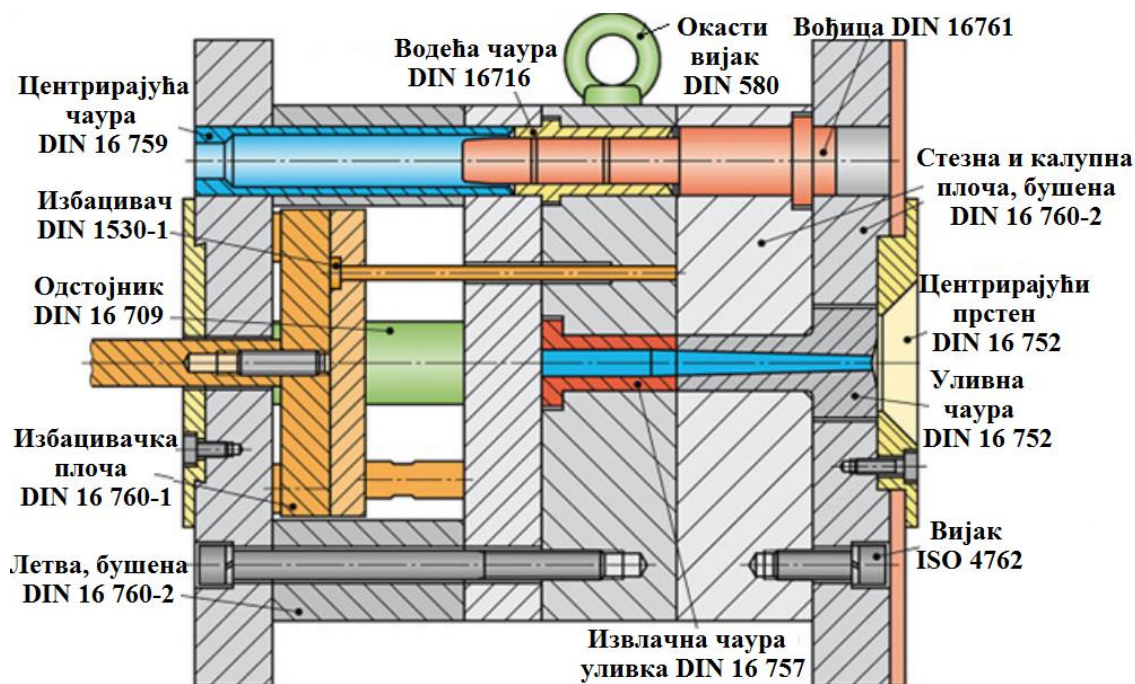


Слика 11. Пројектовање производа од пластичне масе у Solidworks-у

Скоро сви алати за инјекционо бризгање се састоје од готово истих основних елемената. Они су поједностављени и типизирани по облику и димензијама од стране великих произвођача алата и могу се купити готови на тржишту (пр. Hasco, Meusburger). Израђу се у великим количинама, прецизно су израђени и релативно јефтини.

Посеба предност је у томе што се скраћује време израде и испоруке алата. На овај начин се инжењери могу коцентрисати само на израду језгра, гнезда, избацивачког састава и монтажу алата [9].

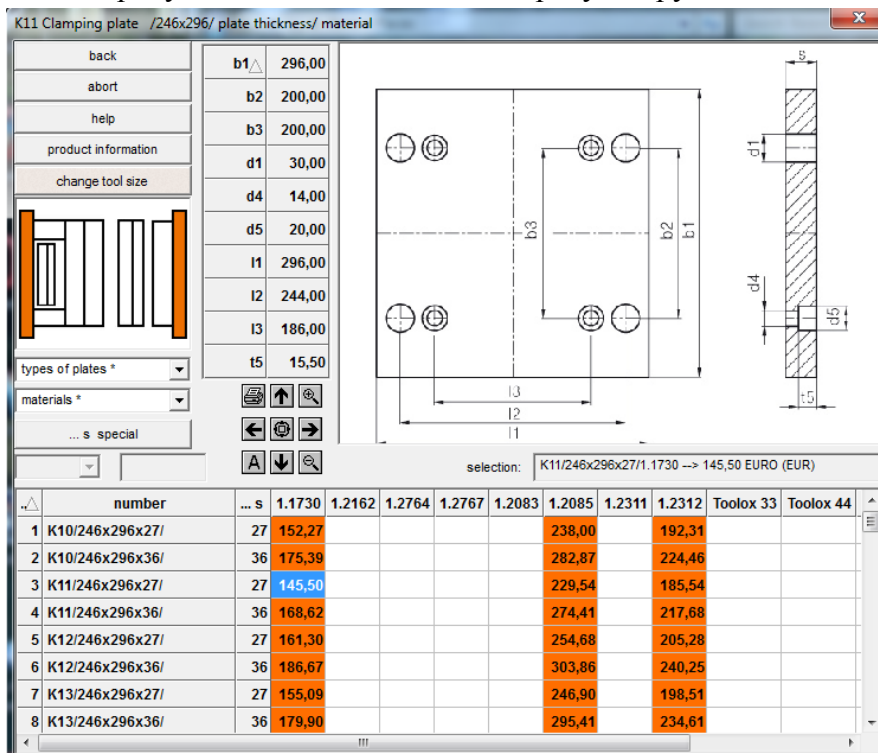
Познати произвођачи развили су тзв. baukasten систем елемената у CAD – техници цртања, тако да се из каталога одабира конкретни елемент и уграђује у конструкцију алата. Baukasten систем обухвата стезне плоче, калупне плоче, кућишта избацивачког система, избациваче, вођице и водеће чауре, а може се проширити и на остале елементе. Неки од стандардних делова алата су приказани на слици 5.2.



Слика 5.2 Стандардни елементи алата

Аустријска компанија HASCO развила је дигитални каталог стандардних елемената алата који у значајној мери поједностављује избор потребних елемената алата и њихових димензија. Пример одабира једног стандардног елемента дат је на слици 5.3.

Једноставним селектовањем делова из каталога и количине која нам је потребна веома брзо се прави поруџбени лист који се такође може врло брзо послати на e-mail произвођача и у врло кратком временском року добити потребни делови. Такође, поред сваког дела може се одмах видети његова тренутна цена као и комплетан рачун поруџбине [12].



Слика 5.3 Дигитални каталог стандардних елемената HASCO

6. Симулација бризгања

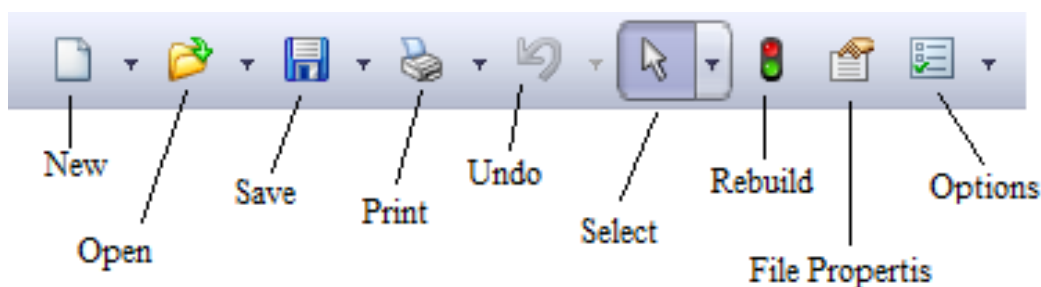
6.1 Основне команде модула SolidWorks Plastics

У овом поглављу су наведене и објашњене команде модула SolidWorks Plastics, намењеног за симулацију процеса бризгања, у оквиру софтвера SolidWorks. Радно окружење програма је једноставно и прегледно, урађено по стандардном обрасцу Windows окружења (линија менија, алата, радна површина, статусна линија). Све команде, којима овај модул располаже, налазе се на одговарајућим палетама алата (toolbars), а неколицина се понавља и у падајућим менијима. Даље, у тексту ће бити објашњене карактеристичне палете алата за овај модул. Палете алата, посматране са аспекта значаја заступљености у фазама симулирања процеса, могу се поделити у три групе:

- Палете алата за општу намену,
- Палете алата за предпроцесирање и
- Палете алата за постпроцесирање.

Детаљна функција команди појединих палета алата биће образложена само за поменућу групу опште намене, док ће се осталим палетама посебно посветити пажња у одговарајућим поглављима.

Основна палета алата је приказана сликом 6.1, где је дато објашњење основних команди.



New – нов документ ;

Open – отварање постојећег документа;

Save – снимање активног документа;

Print – штампање;

Options – додатне опције.

Undo – враћање корак уназад;

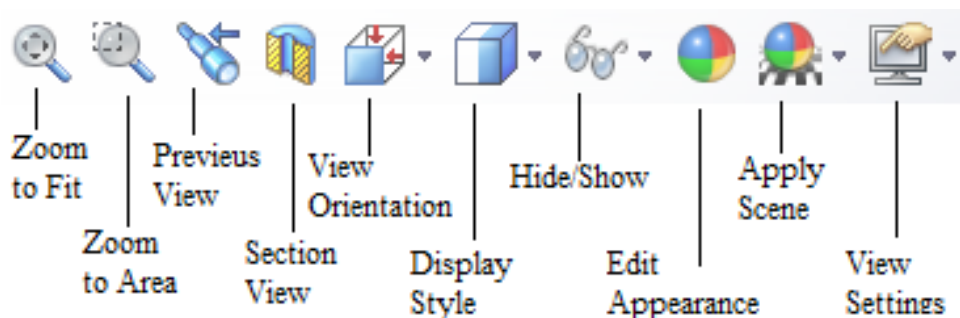
Select – обележавање;

Rebuild – преправљање модела;

File Properties – информације о моделу;

Слика 6.1 Основна палета алата са објашњењима команди

Палета алата за визуелни приказ модела са неопходним објашњењима је приказана сликом 6.2.



Zoom to Fit – зумирање целог дела;

Zoom to Area – зумирање одређене зоне;

Previous View – стандардни поглед;

Section View – пресек дела;

View Orientation – приказ из одређеног угла;

Display Style – врста приказа модела;

Hide/Show – сакрити/приказати;

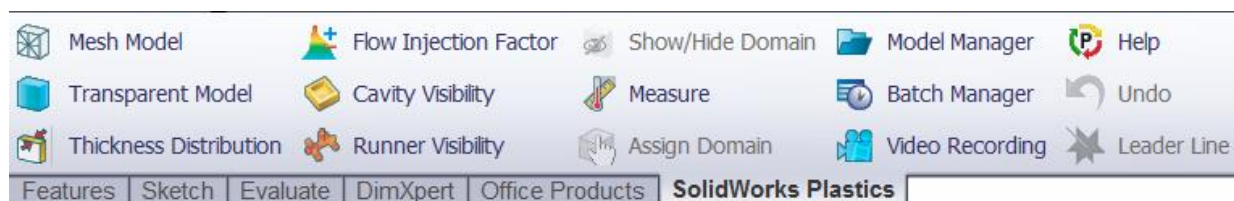
Edit Appearance – увоз материјала за модел;

Apply Scene – подешавање окружења модела;

View Settings – додатне опције за приказ.

Слика 6.2 Палета алата за визуелни приказ са објашњењем команди

Палета алата **CommandMenager** је приказана сликом 6.3. Објашњење основних команди ове палете дато је иза слике 6.3.



Mesh Model – приказ мреже на моделу;

Transparent Model – приказ провидног модела;

Thickness Distribution – приказ дебљине зида;

Cavity Visibility – приказ разделних површина;

Runner Visibility – приказ развидних канала;

Measure – мерења;

Video Recording – снимање видеа;

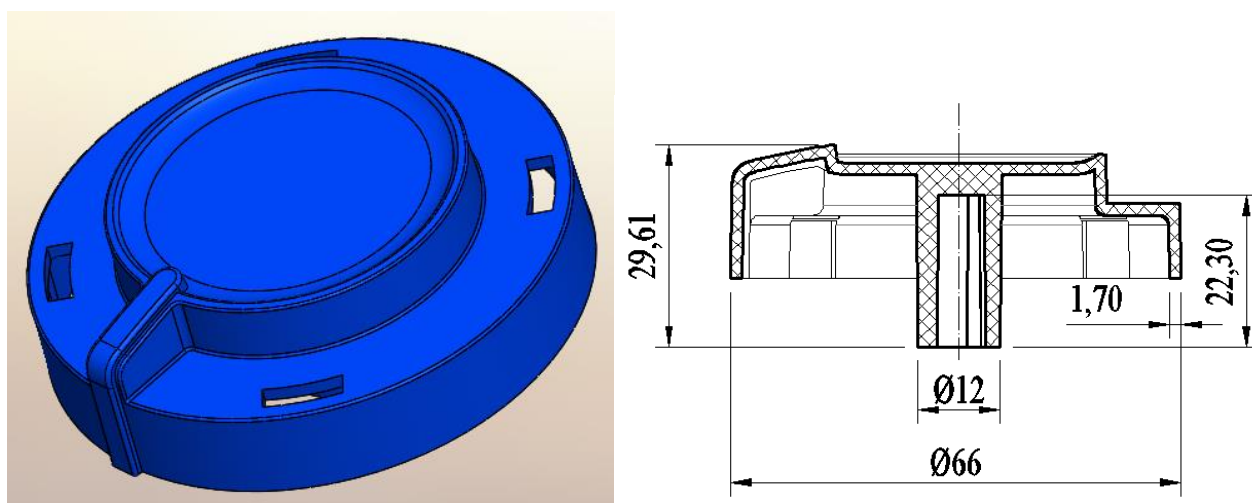
Help – помоћ.

Слика 6.3 Палете алата **CommandMenager** са објашњењем команди

6.2 Припрема и покретање анализе

Након општег осврта на сам софтвер и његово основно окружење може се приступити поступку решавања конкретног проблема кроз који ће практично бити описана функција појединих команди. Као пример узет је пластични део (тело дугмета за бојлер) произвођача Металац из Горњег Милановца (слика 6.4), за који треба моделирати процес бризгања пластике. Сам процес се састоји из неколико фаза:

- увожење геометрије радног модела,
- дефинисање параметара материјала и услова процеса,
- позиционирање уливних канала и
- покретање анализе, која ће бити поступно образложена.



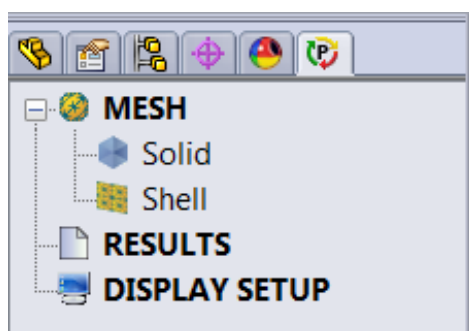
Слика 6.4 Модел и цртеж дугмета бојлера фирме Металац

6.2.1 Увожење геометрије радног модела

Као што је и у уводу напоменуто неопходно је водити рачуна о квалитативним могућностима SolidWorks Plastics-а, односно, да ли је геометрија радног модела погодна за анализу. Дакле, како сам произвођач налаже, главне геометријске карактеристике су његове габаритне мере, тачније однос између највеће и најмање димензије треба да буде већи од 4. У току припрема за покретање анализе, софтвер даје упозорење о евентуалним непрецизностима проузрокованим неодговарајућом геометријом модела [11].

Модел може бити моделиран у било ком **3D CAD** програму, под условом да његов формат одговара SolidWorks-у. Најчешћи формати којима ови програми међусобно успешно комуницирају одговарају **IGES** и **STEP** стандарду.

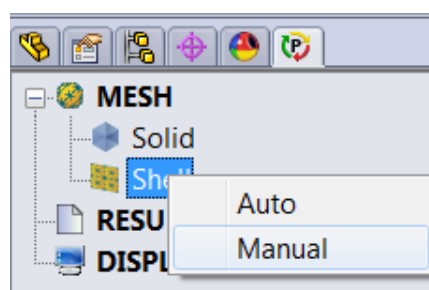
Да би било могуће урадити анализу у модулу SolidWorks Plastics, потребно је увезени модел снимити у формату **SLDPRT**, који одговара софтверу SolidWorks. Прелаз из стандардног окружења у модул за анализу врши се једноставним одабиром иконице **PlasticMenager** . Преласком на ову иконицу (слика 6.5) отварају се опције за припрему анализе.



Слика 6.5 Команде картице *PlasticManager*

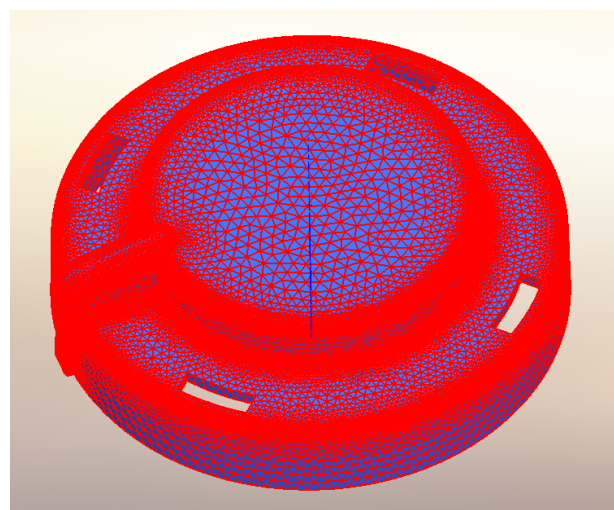
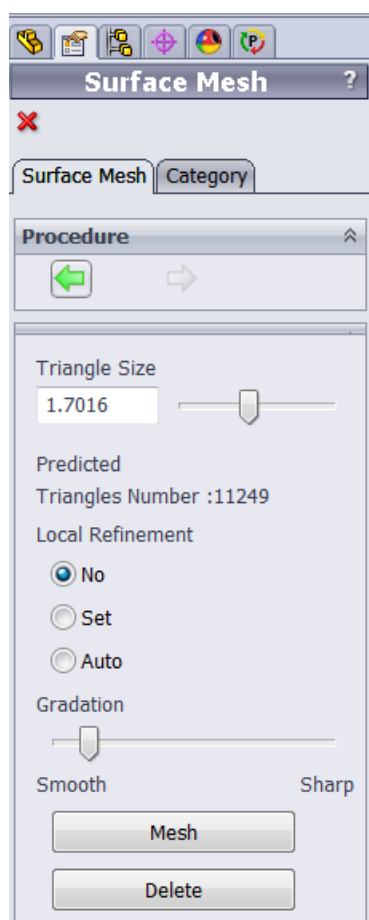
6.2.2 Дефинисање материјала и параметара процеса

Први корак у предпроцесирању је дефинисање мреже модела. Постављање мреже се врши десним кликом на опцију **Shell**, при чему се може одабрати један од два начина дефинисања мреже: аутоматско или мануелно (слика 6.6).



Слика 6.6 Први корак у дефинисању мреже модела

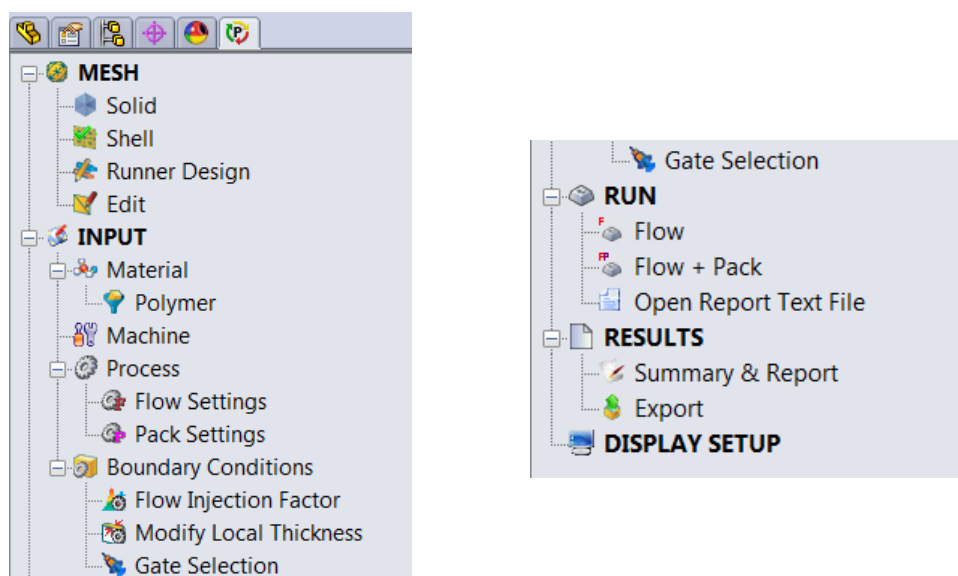
Након избора мануелног начина постављања мреже, отвара се картица **Surface Mesh** у оквиру које се дефинишу основни параметри мреже (слика 6.7). У овој картици се дефинише величина троугластих коначних елемената, преко опције *Triangle Size*, као и локално уситњавање мреже коришћењем опције *Local Refinement*, ако има потребе за тим. Уситњавање мреже може се извршити ручно, преко опције *Set*, селектовањем места на моделу где је потребна ситнија мрежа, као и аутоматски, где програм сам препознаје подручја где је потребно уситњавање мреже. Након извршених подешавања, одабиром команде *Mesh*, врши се генерисање мреже (слика 6.8). Приликом избора мреже треба водити рачуна о величини коначних елемената, јер од њихове величине и броја зависи време трајања симулације (већи број елемената продужује време трајања симулације али исто тако даје и већи квалитет добијених резултата).



Слика 6.8 Генерисана мрежа на моделу

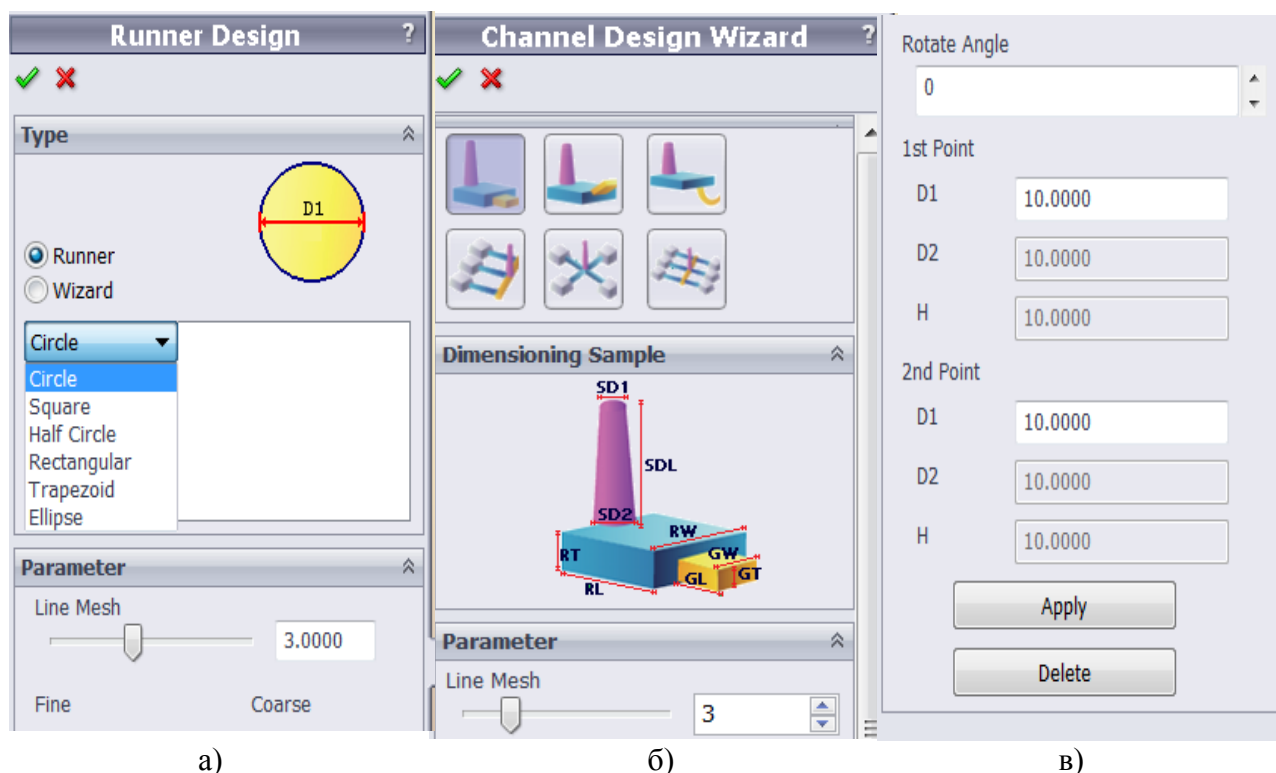
Слика 6.7 Прозор за подешавање мреже

Након формирања мреже прелази се на дефинисање параметара анализе помоћу команди које су приказане на слици 6.9.



Слика 6.9 Прозор за дефинисање параметара анализе

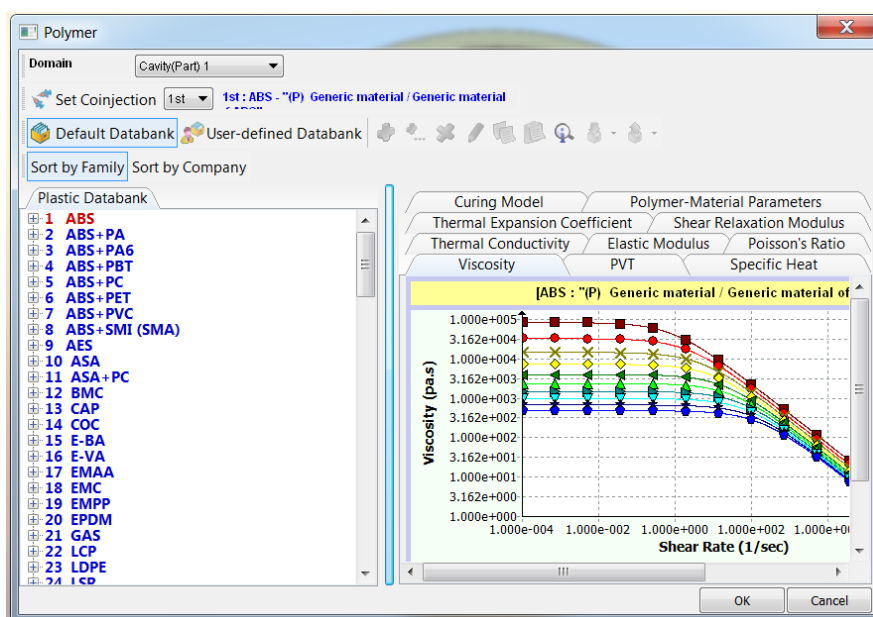
Команде су подељене у 4 групе, **MESH**, **INPUT**, **RUN**, **RESULTS**. У оквиру групе команди **MESH**, помоћу опције *Runner Design*, постављају се разводни канали за бризгање пластике (слика 6.10). Канали се могу поставити на два начина: помоћу команде *Runner*, где корисник сам поставља облик и димензије канала (слика 6.10 а) или помоћу команде *Wizard*, где се врши одабир већ постојећих облика канала (слика 6.10 б). Ако се постављање канала врши ручно, могуће је изабрати неке од следећих пресека канала: кружни, трапезни, полукружни, квадратни, елипсоидни. Након одабира облика канала врши се њихово димензионисање (слика 6.10 в), и на крају, потврђивањем на команду *Apply*, њихово постављање.



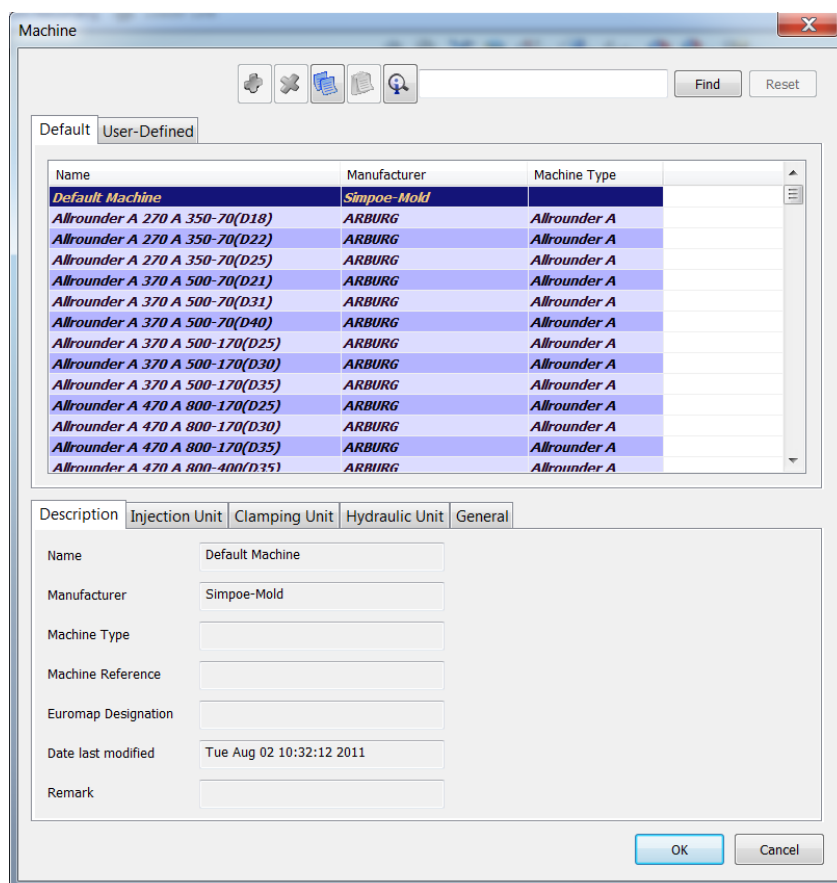
Слика 6.10 Подешавање разводних канала

Наредни корак је дефинисање карактеристика пластичне масе, у оквиру групе команди **INPUT**. Материјал који је претходно дефинисан за овај део је ABS. Софтвер нуди две могућности при избору материјала: корисник сам дефинише особине материјала, или користи већ постојећу базу података која садржи реномиране светске произвођаче пластичних маса. Покретањем команде *Polymer*, отвара се прозор са слике 6.11, у оквиру којег се врши избор материјала. За сваки материјал из базе могуће је видети карактеристике пре него што се исти одабере за анализу.

Такође, у оквиру групе команди **INPUT**, врши се избор машине за бризгање пластике. Програм поседује богату базу машина, различитих произвођача, са њиховим главним техничким карактеристикама (слика 6.12).

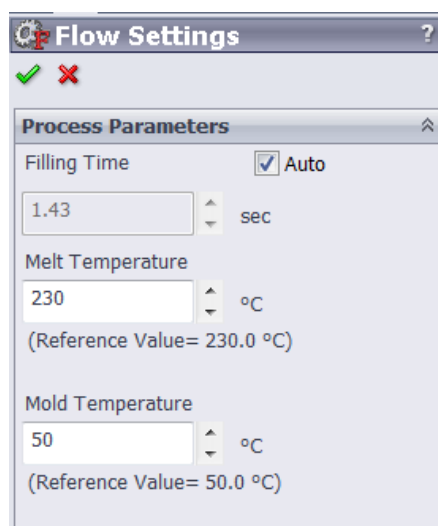


Слика 6.11 Избор материјала



Слика 6.12 Избор машине за бризгање пластике

У оквиру групе команди **INPUT**, налази се команда Flow Settings, којом се дефинише температура алата, као и температура растопа пластичне масе. Такође у оквиру ове команде, уколико се изврши искључивање опције Auto, могуће је и дефинисати временски интервал трајања процеса бризгања (слика 6.13).



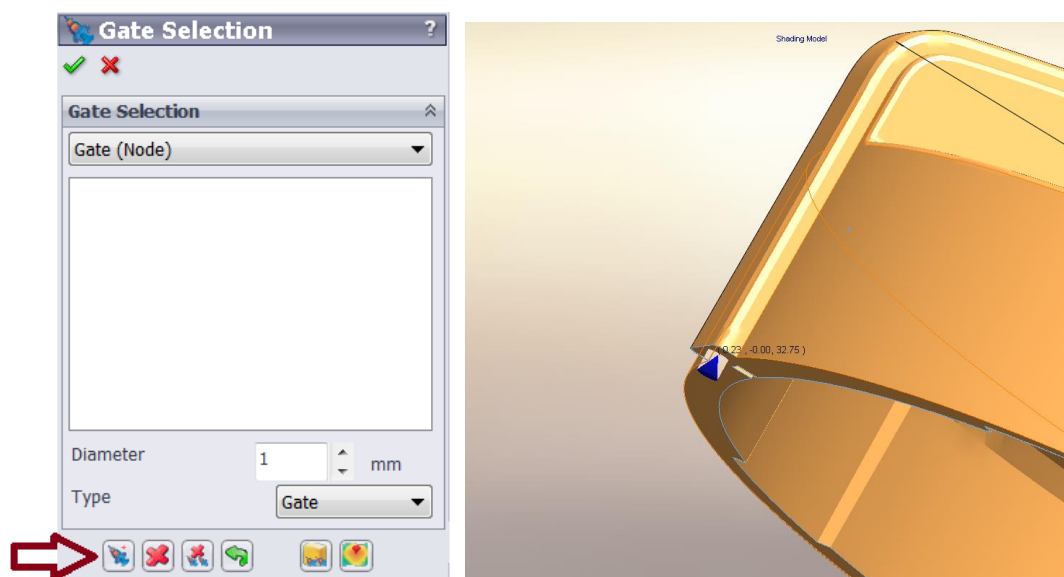
Слика 6.13 Подешавање температуре и времена анализе

6.2.3 Позиционирање уливног канала

Најзначајнији инжењерски подухват у пројектовању алата за бризгање пластике је одређивање броја и положаја уливних канала. У литератури се могу пронаћи бројне препоруке и правила по овом питању која би требало да обезбеде правилно и потпуно попуњавање гравуре.

Следећи корак је постављање места уливања пластичне масе. Врши се преко команде Gate Selection (слика 6.14). Постављање уливног канала се врши притиском левог тастера миша на место где се врши уливање пластике. Други корак је одређивање пречника уливног канала. Након тога, бира се опција Add Gate (показано стрелицом на слици 6.14) и канал је формиран. У оквиру команде Gate Selection постоји опција за аутоматско постављање уливних канала. Међутим, та опција се ретко користи јер, иако даје најбоље позиције уливања, често су те позиције неповољне са аспекта конструкције алата.

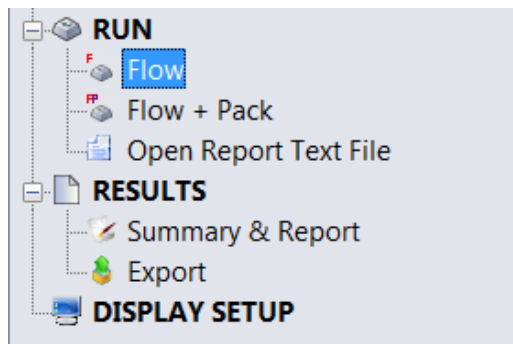
Уколико има потребе за модификацијом положаја уливног канала или је сувишан, довољно га је селектовати и притиснути команду **Delete**.



Слика 6.14 Постављање уливног канала

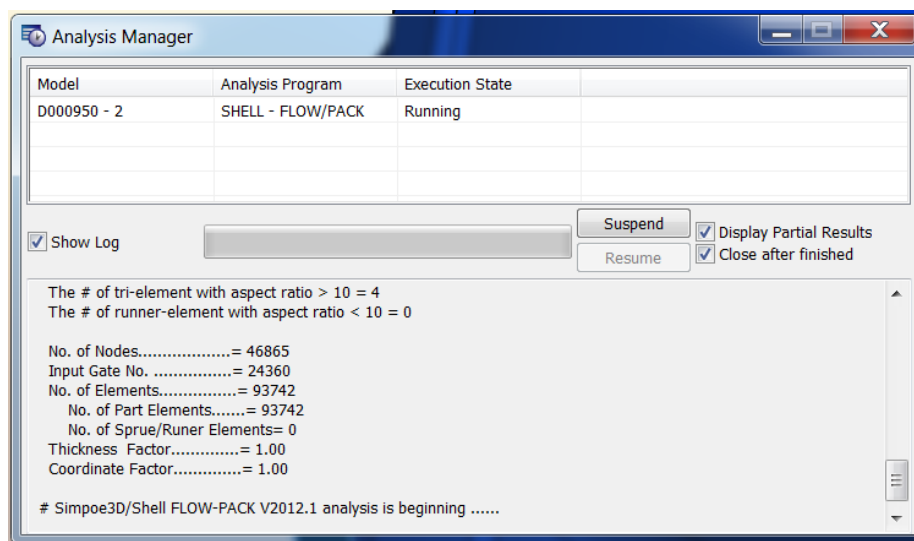
6.2.4 Покретање анализе

Пошто су извршена сва неопходна подешавања, приступа се покретању комплетне анализе процеса. Стартује се команда *Flow* у оквиру групе команди **RUN** слика 6.15 и процес прорачуна започиње.



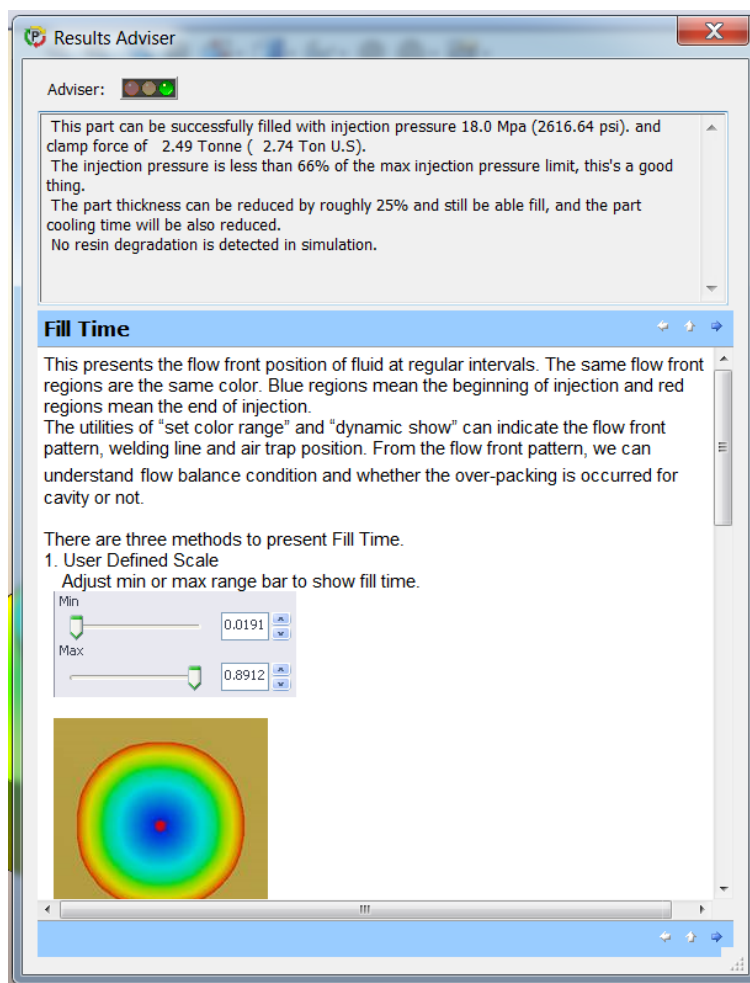
Слика 6.15 Покретање анализе

Овај процес код сложених геометрија може бити дуготрајан па је у току њега обезбеђено и визуелно праћење попуњавања гравуре. Уколико се кориснику учини да попуњавање не иде у жељеном правцу он га може прекинути командом **Suspend**. Прозор на коме се може визуелно пратити проценат извршене анализе приказан је на слици 6.16.



Слика 6.16 Прозор за визуелно праћење анализе бризања пластике

Ови подаци се могу одштампати или извести као текстуални документ слика 6.17. Овим је процес задавања параметара и прорачун завршен и остаје само тумачење добијених резултата о чему ће бити више речи у наредном поглављу.



Слика 6.17 Приказ добијених резултата

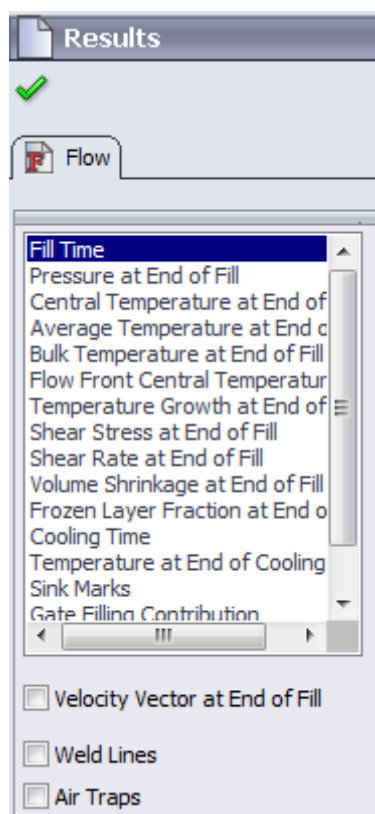
6.3 Резултати симулације и њихова анализа

Финални производ SolidWorks Plastics-а су анимације и живописне графичке интерпретације праћене бројним вредностима које дају опипљиву представу о процесу бризгања пластике и евентуалним проблемима који га прате.

Добра страна овог софтвера је и у томе што једном урађен процес симулације може да се сними, тако да су сви ови резултати у каснијим разматрањима лако доступни без потребе поновног покретања прорачуна који у неким случајевима може бити дуготрајан.

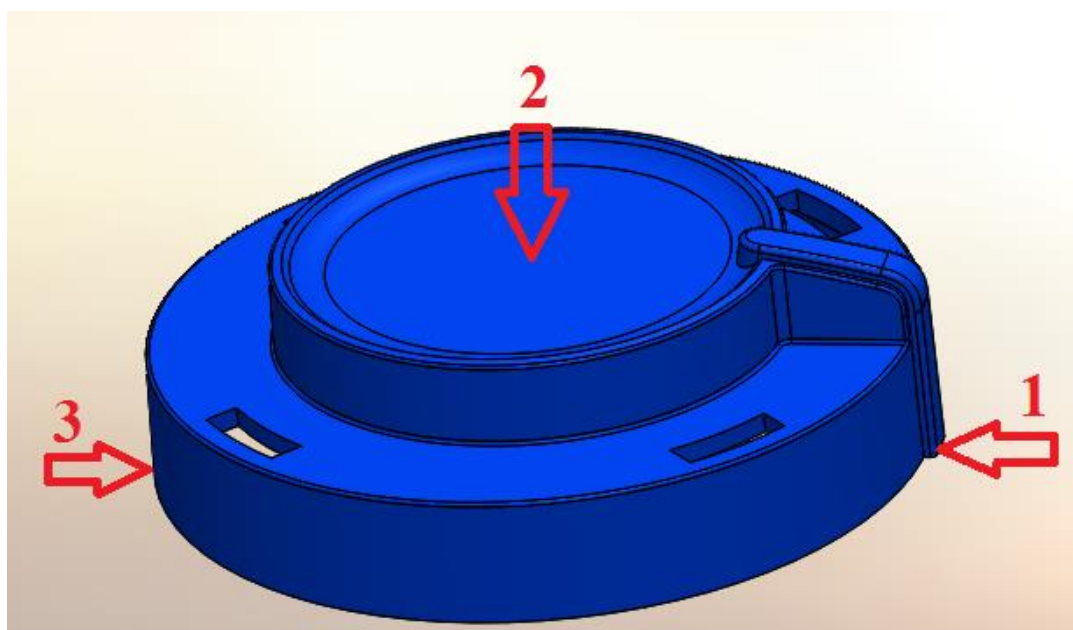
Сви добијени резултати могу се приказати одабиром команди палете алата Results (слика 6.18), које су јако интуитивне.

Падајући мени овог тулбара се састоји из опција на које се притиском тастера миша аутоматски добија одговарајућа интерпретација.



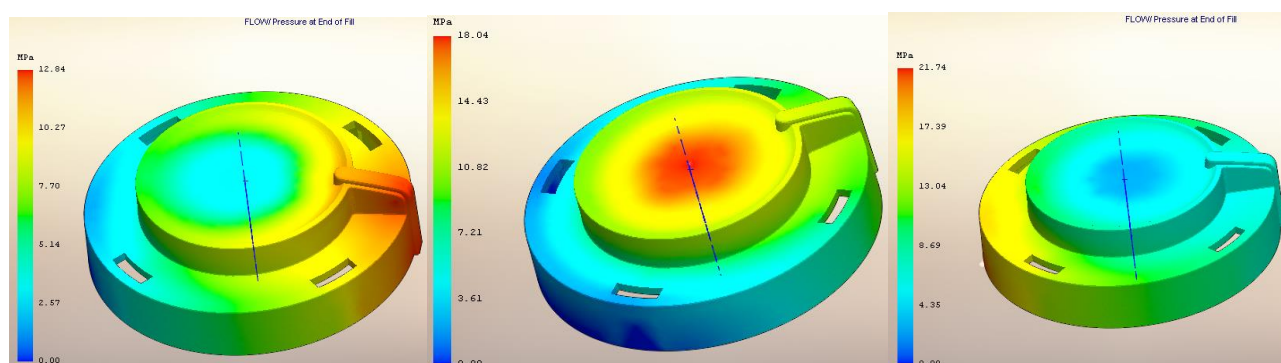
Слика 6.18 Палета алата Results

Како би се одредило најоптималније место уливања, са аспекта потребног притиска уливања, времена уливања, количине гасних мехурова, времена хлађења, линије спајања извршена је симулација за три могуће варијанте уливања. Места уливања за која су извршене симулације приказани су бројевима 1, 2, 3 на слици 6.19.

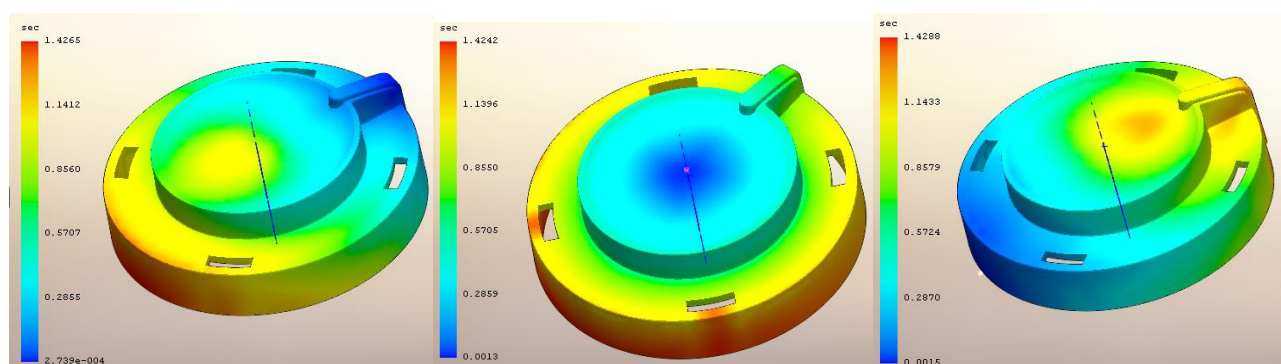


Слика 6.19 Места уливања за која је вршена симулација

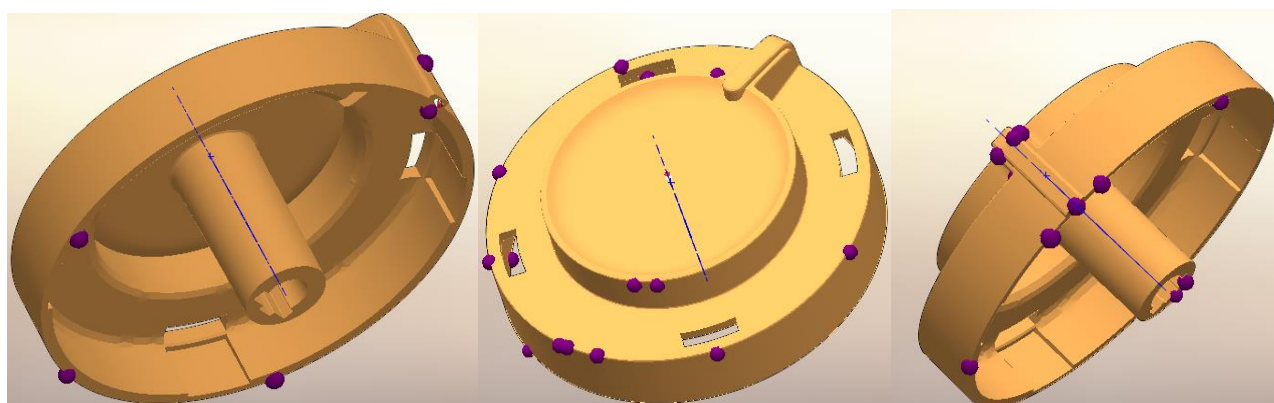
На следећим сликама биће приказани добијени резултати симулације.



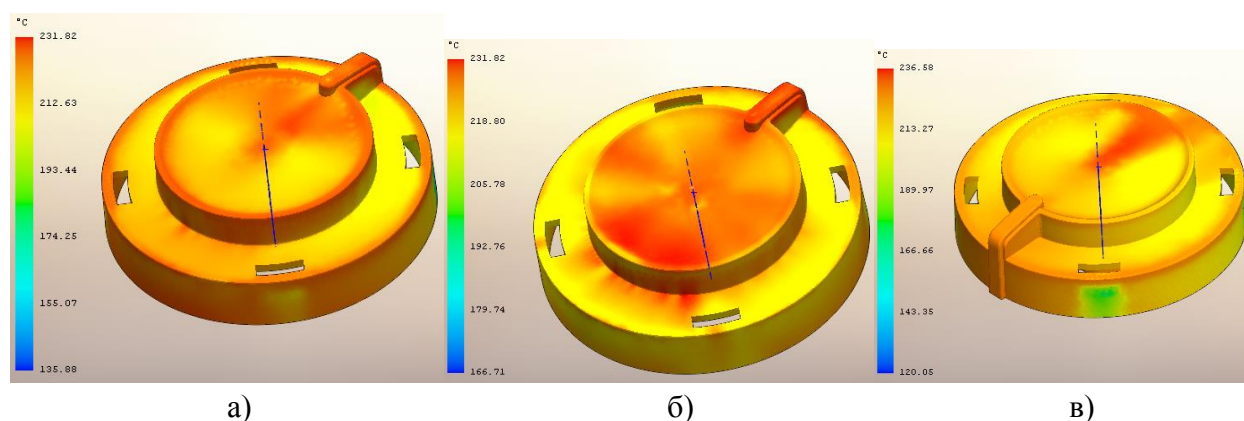
Слика 6.20 Притисак потребан за бризгање дела (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)



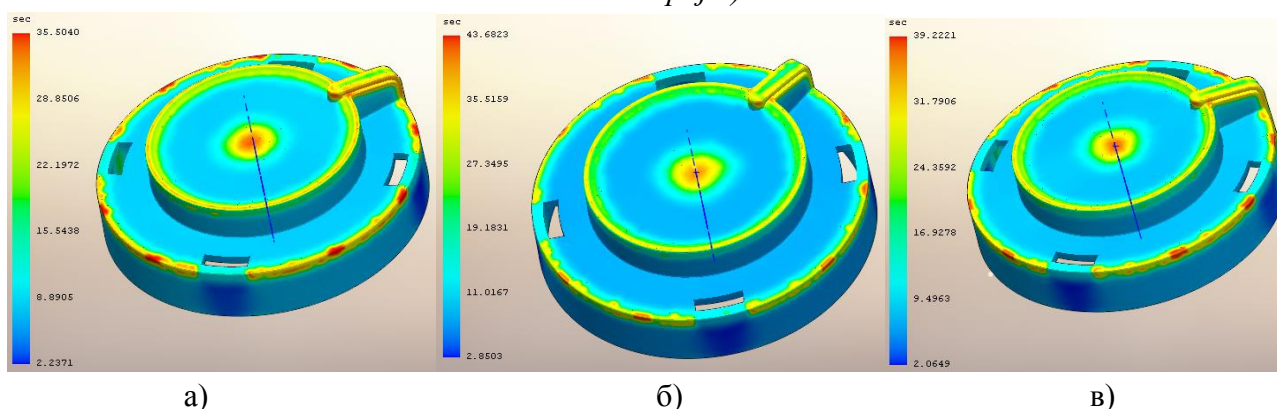
Слика 6.21 Време бризгања (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)



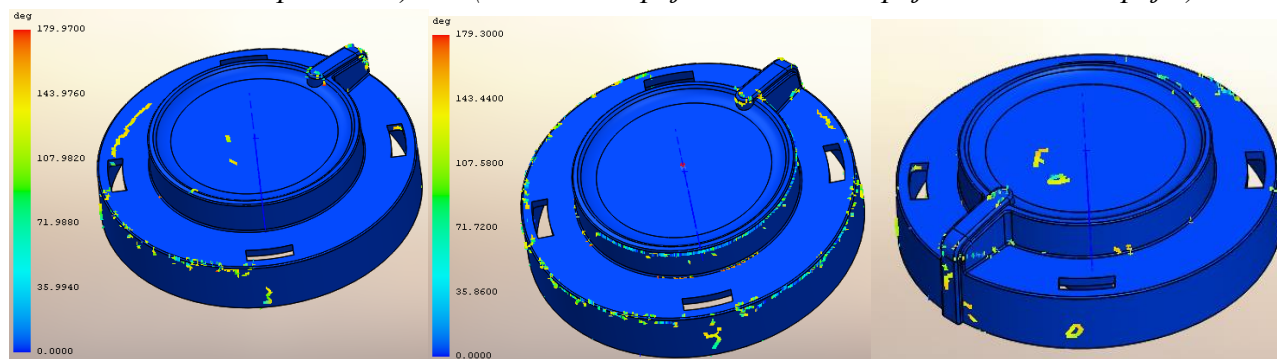
Слика 6.22 Гасни мехурови настали при бризгању (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)



Слика 6.23 Дистрибуција температуре у алату (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)



Слика 6.23 Време хлађења (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)



Слика 6.24 Линије спајања (а – место број 1, б – место број 2, в – место број 3)

Бројне вредности резултата симулације су приказани у таблици 6.1.

Таблица 4.1 Бројне вредности резултата симулације

	Јед.	Место уливања 1	Место уливања 2	Место уливања 3
Притисак бризгања	МПа	12,84	18,04	21,74
Време бризгања	s	1,4265	1,4242	1,4288
Температура у алату	°C	231,82	231,82	236,58
Време хлађења	s	35,5040	43,6823	39,2221

На основу резултата симулације дошло се до закључка да је најбоље извршити уливање на месту број 1. Као што се види сви испитивани параметри имају најмању вредност за ово место уливања. Највећа разлика у добијеним резултатима појављује се у величини притиска бризгања. Притисак који је потребан да се испуни калуп на месту уливања број 1 је скоро два пута мањи него притисак који је потребан за испуњавање калупа на месту број 3, а за 50% у односу на место уливања 2. То доводи до закључка да би за место уливања број 3 била потребна машина знатно већег капацитета него за место уливања број 1, што има за последицу повећање укупних трошкова.

Поред бројних вредности приказаних у табlici 6.1, може се уочити да је број гасних мехурова (слика 6.22), при уливању на месту број 1, знатно мањи него за друга два разматрана места. Упоређујући облик и број линија спајања (слика 6.24) уочава се да је најнеповољније место уливања 2 док је за друга два места уливања распоред и број линија спајања сличан.

На основу горе изнетих чињеница одлучено је да се уливање врши на месту број 1.

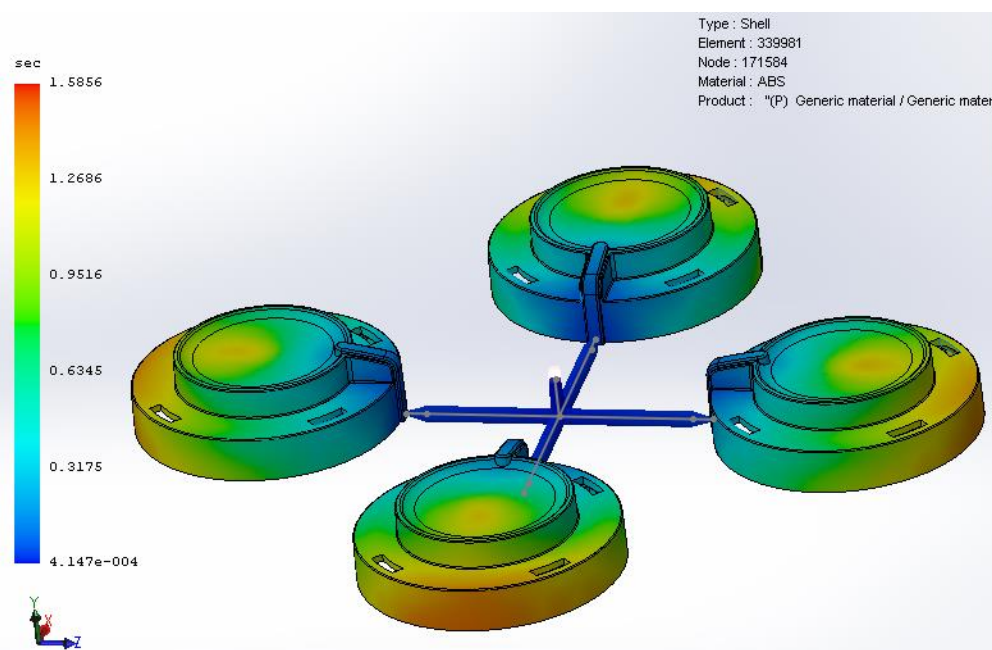
6.3.1 Резултати анализе за различите пресеке разводних канала

Након што је на основу претходне симулације утврђено место уливања прешло се на симулацију бризгања четири дела истовремено за различите пресеке разводних канала. Разлог овакве симулације јесте то што је у пракси економичније овакав део бризгати у алату са четири језгра него у алату са једним језгром, а променом канала се жели показати који пресек канала је најповољнији за процес бризгања.

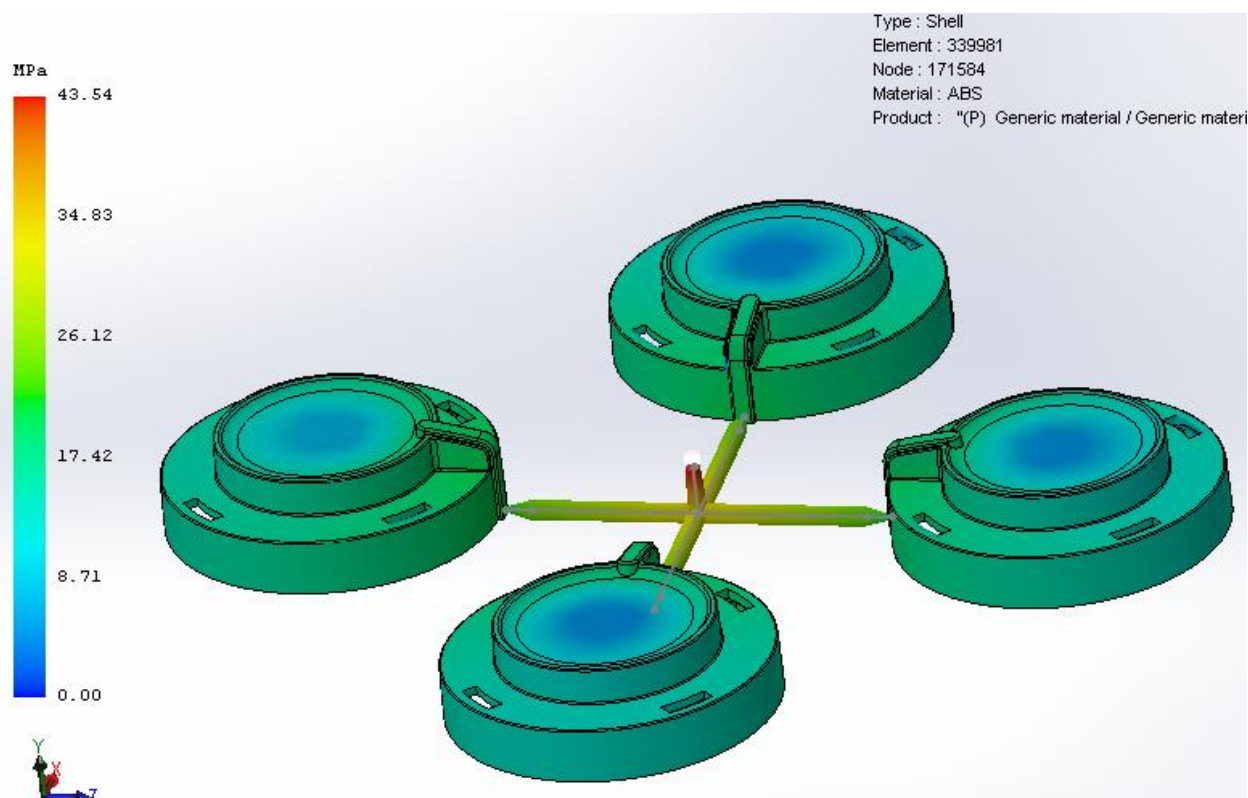
У разматрање су узете три могуће варијанте пресека канала:

- Кружни пресек канала (слика 4.4 – б),
- Полукружни пресек (слика 4.4 – в) и
- Трапезни пресек (слика 4.4 – а)

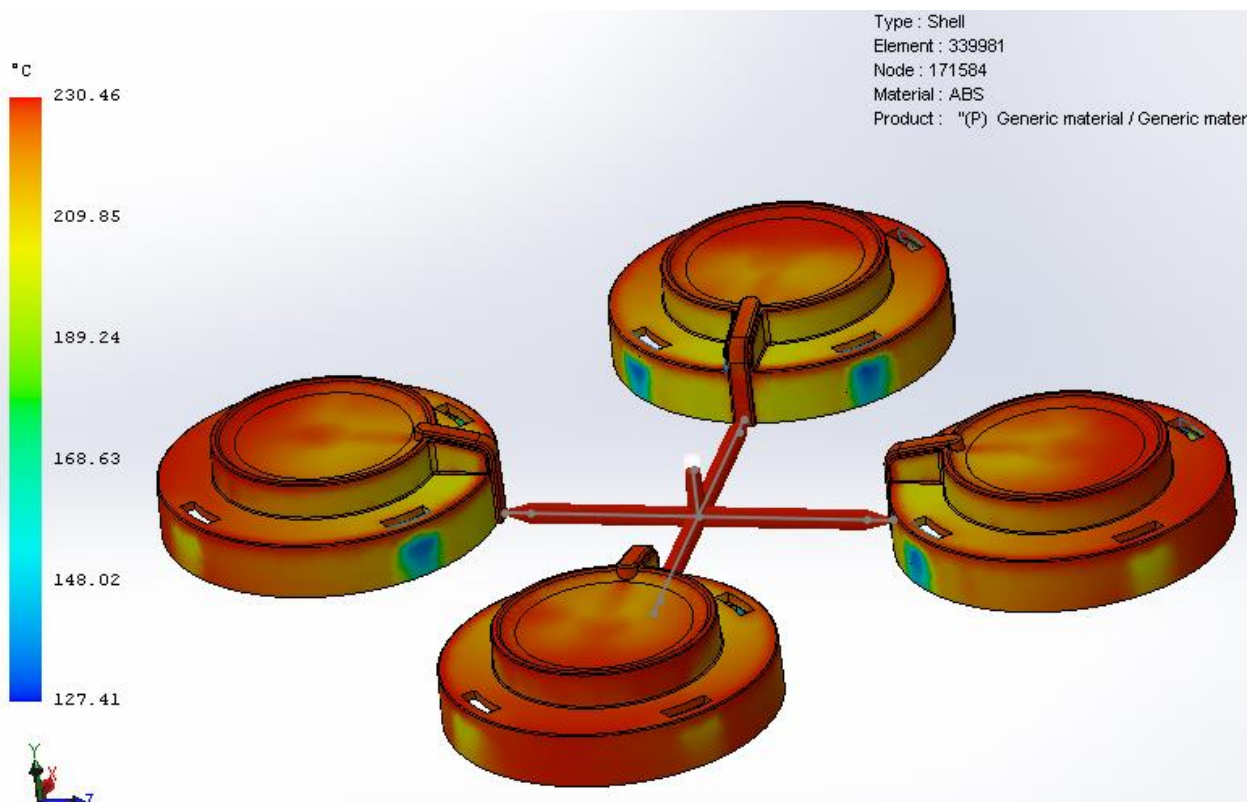
Резултати симулације за **кружни пресек** разводних канала су приказани на следећим сликама.



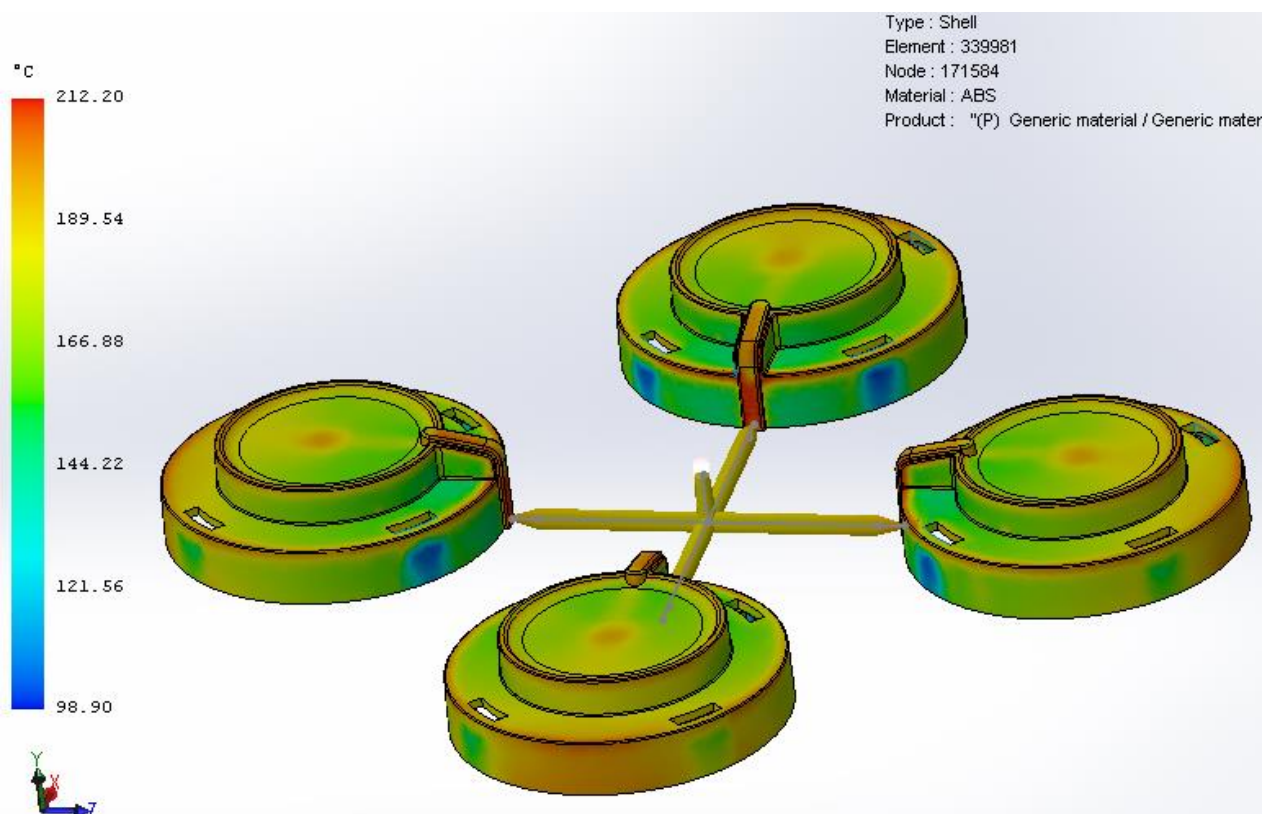
Слика 6.25 Време бризгања



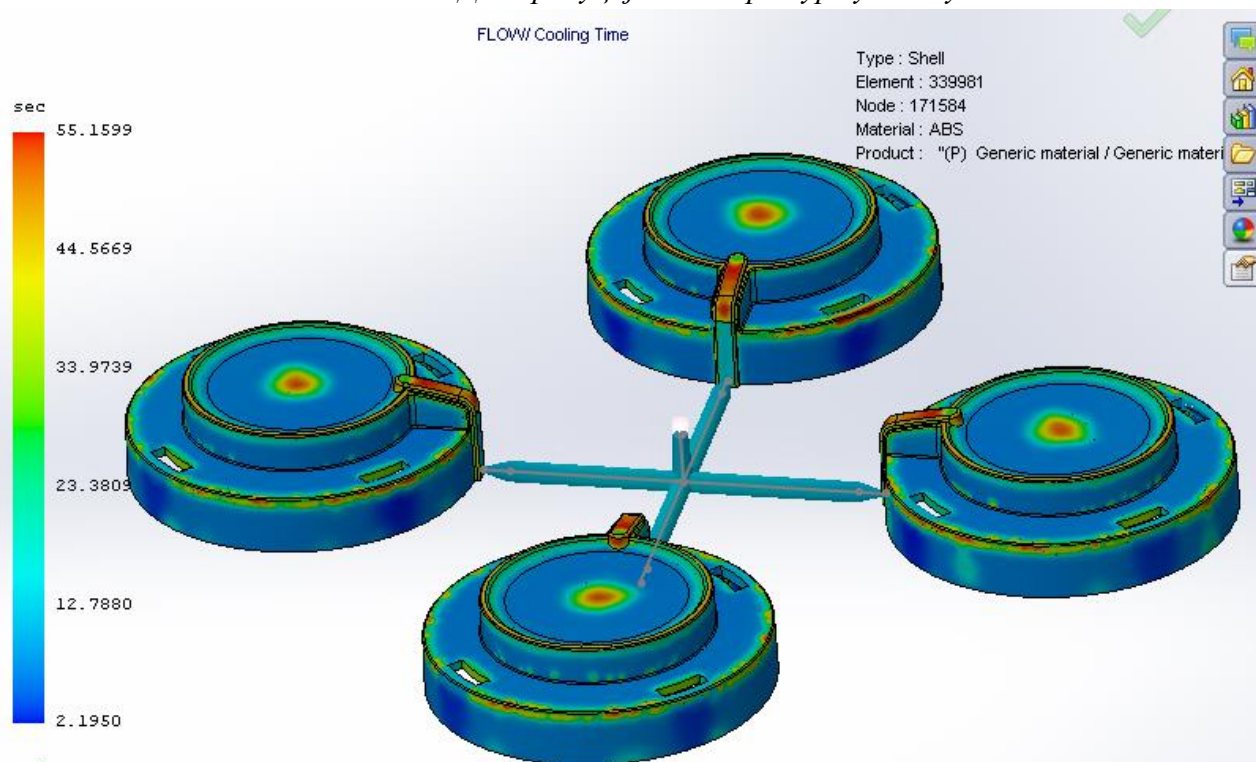
Слика 6.26 Притисак бризгања



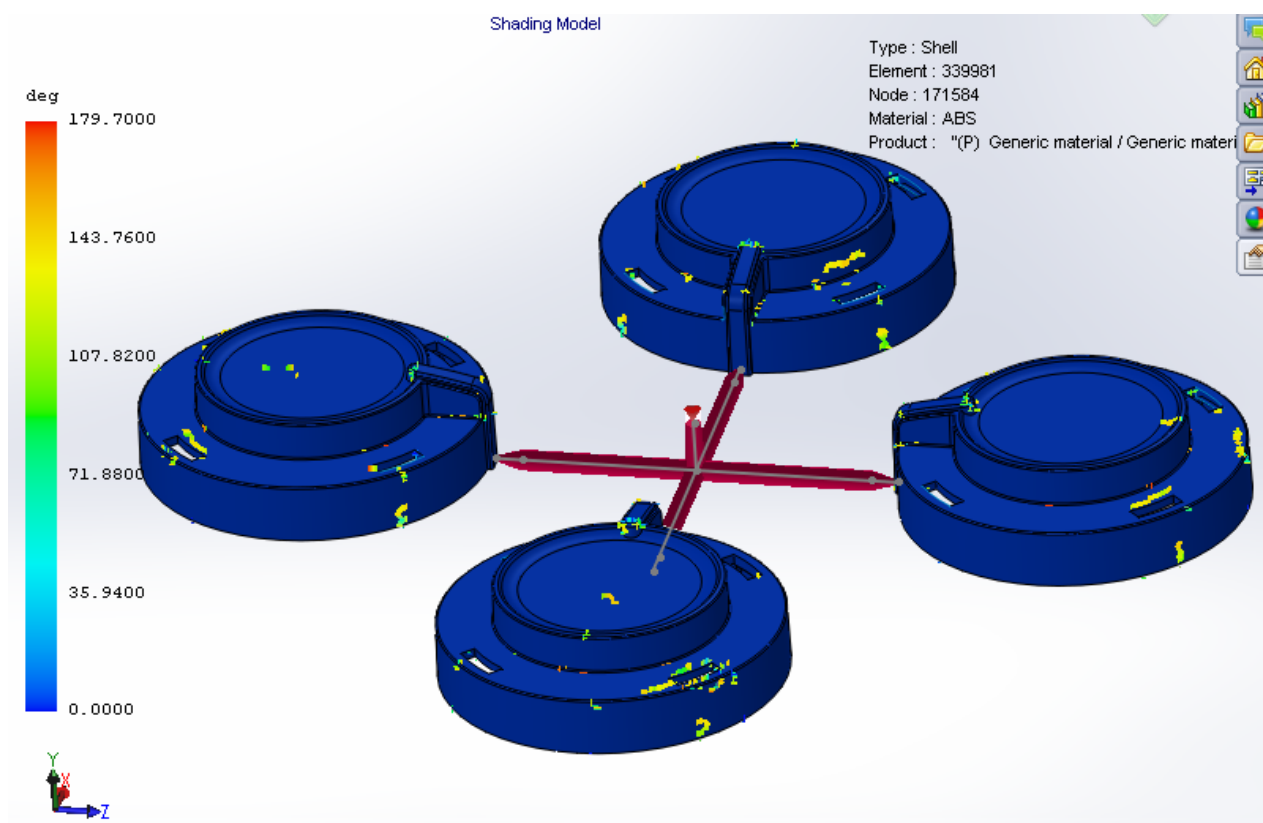
Слика 6.27 Расподела температуре након бризгања



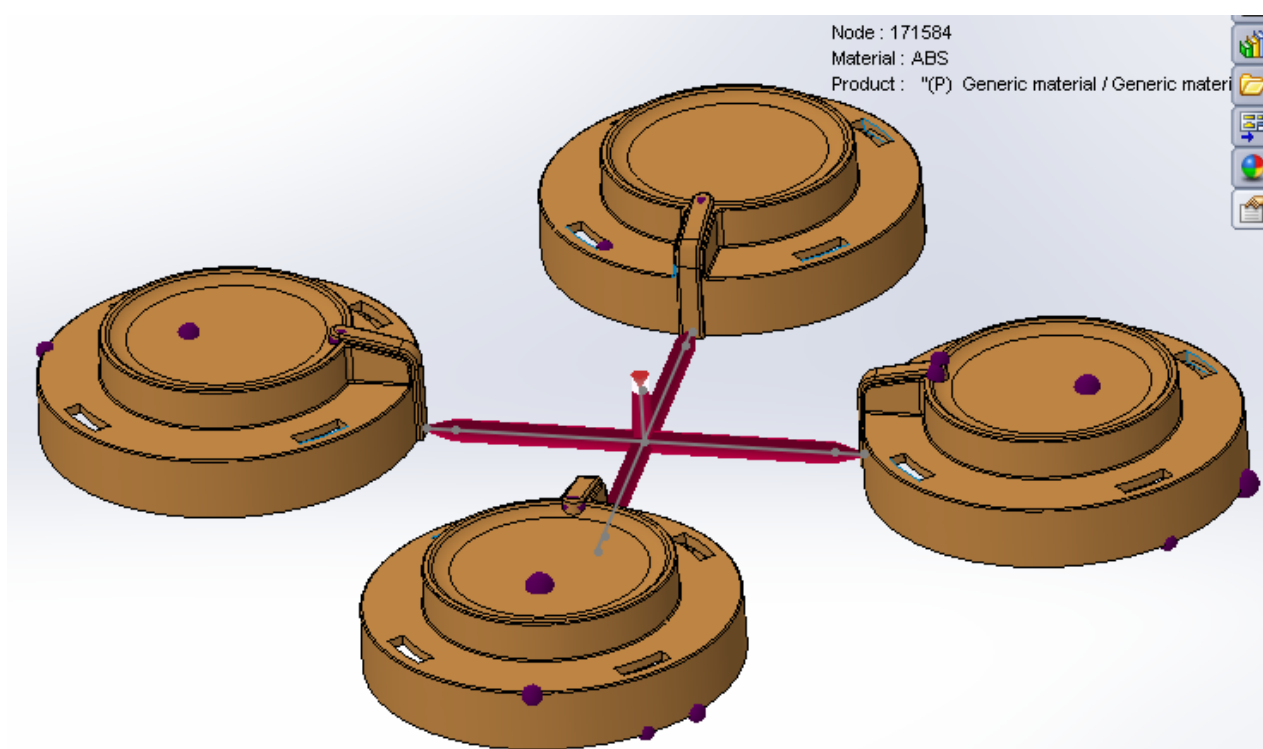
Слика 6.28 Дистрибуција температуре у алату



Слика 6.29 Време хлађења

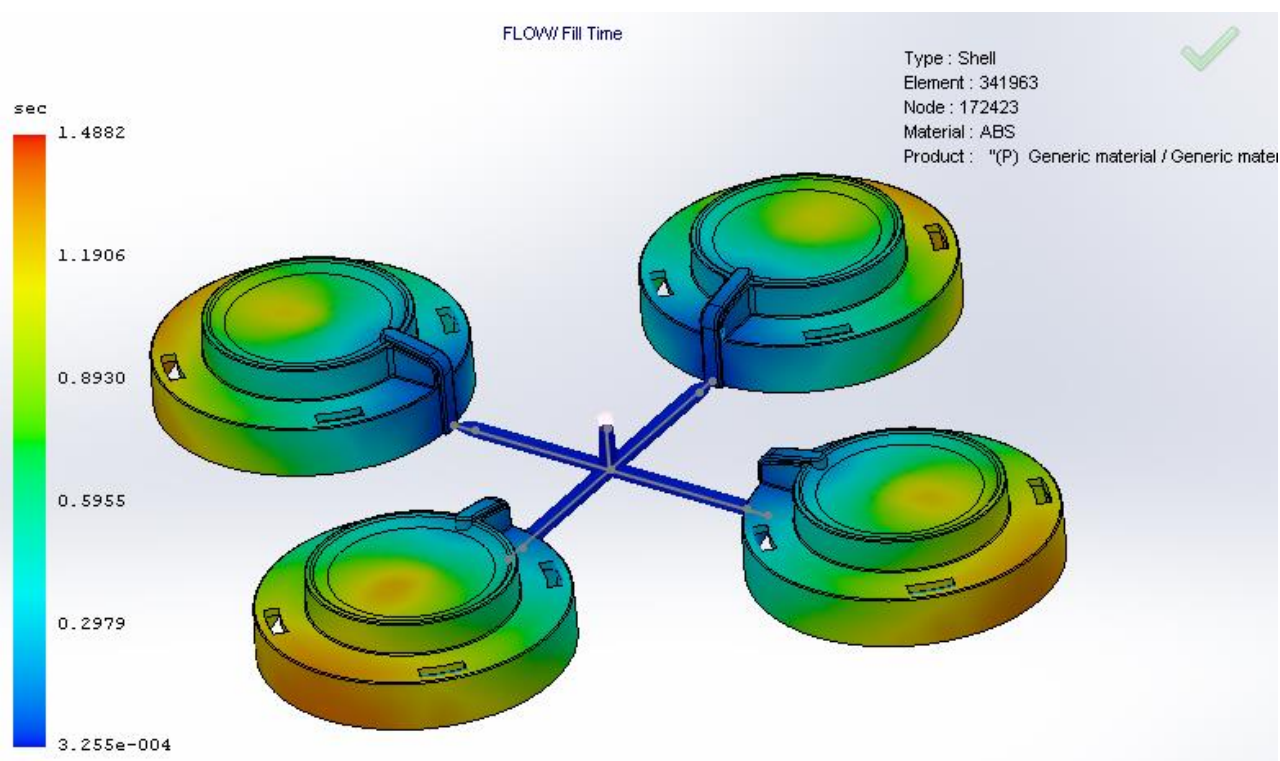


Слика 6.30 Линије спајања

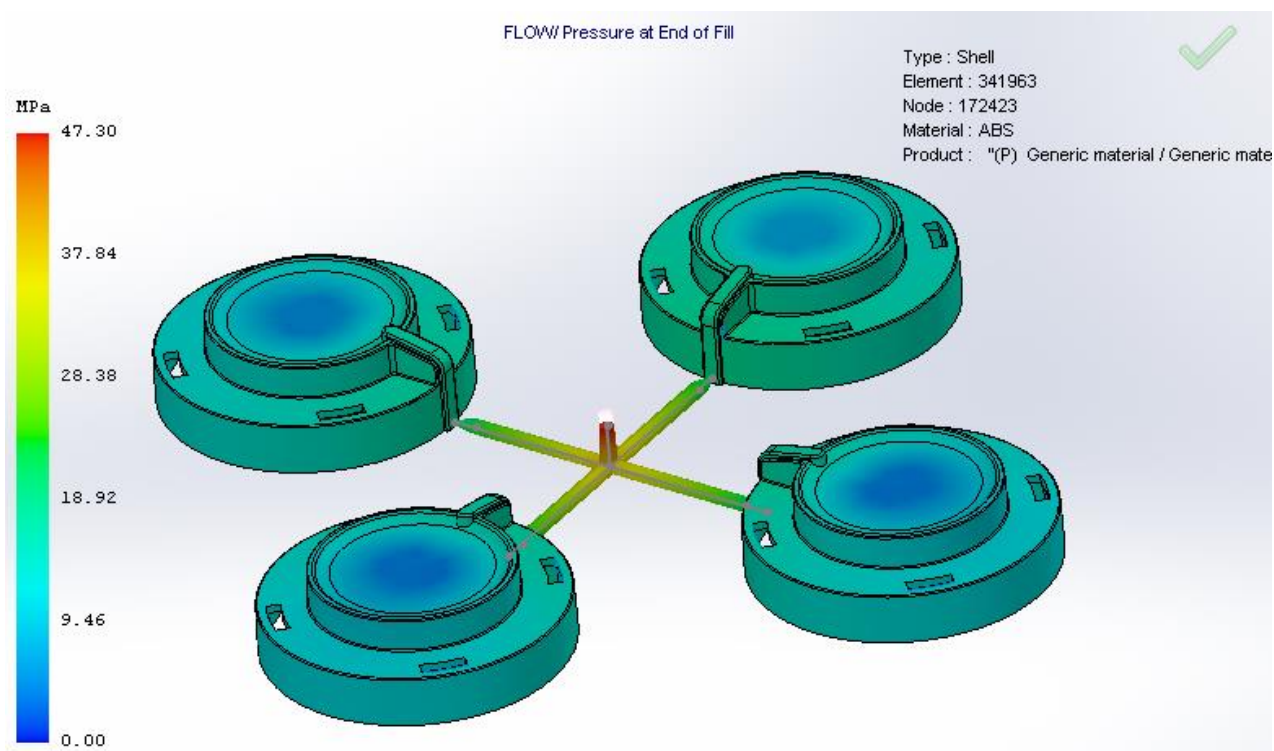


Слика 6.31 Гасни мехурови

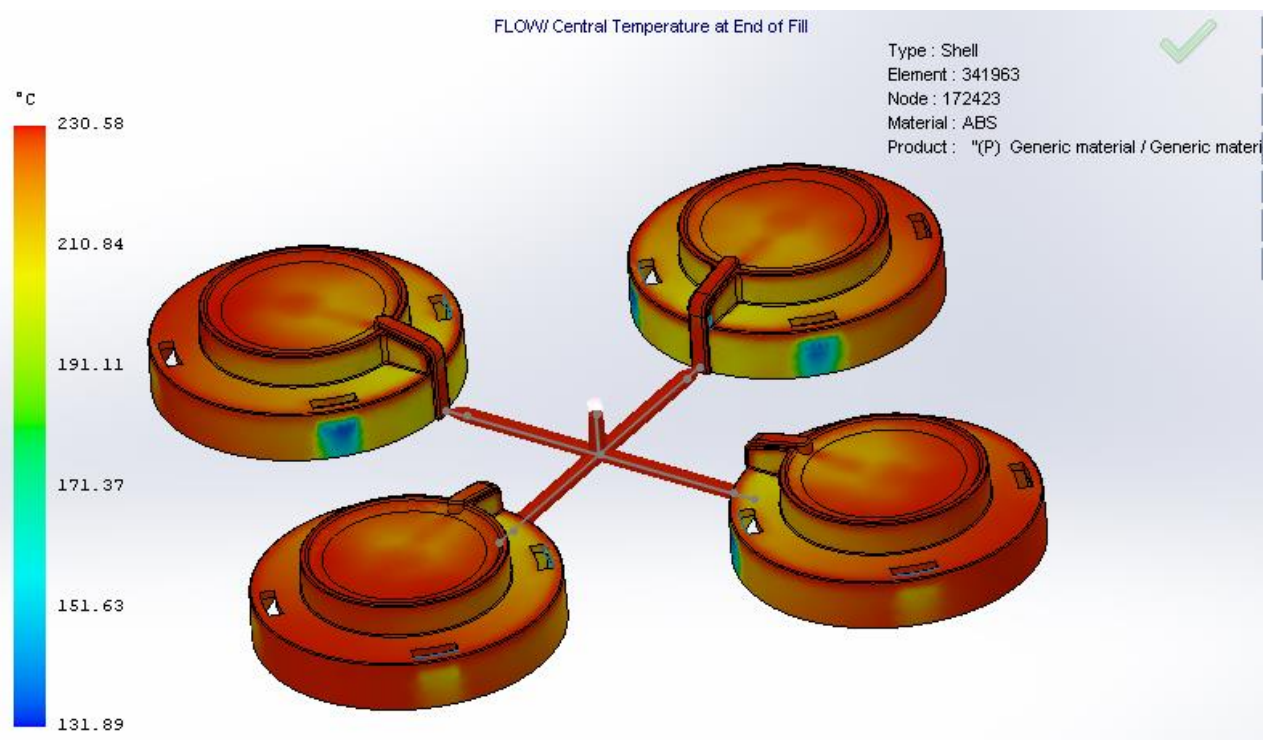
Резултати симулације за **полукружни пресек** разводних канала су приказани на следећим сликама.



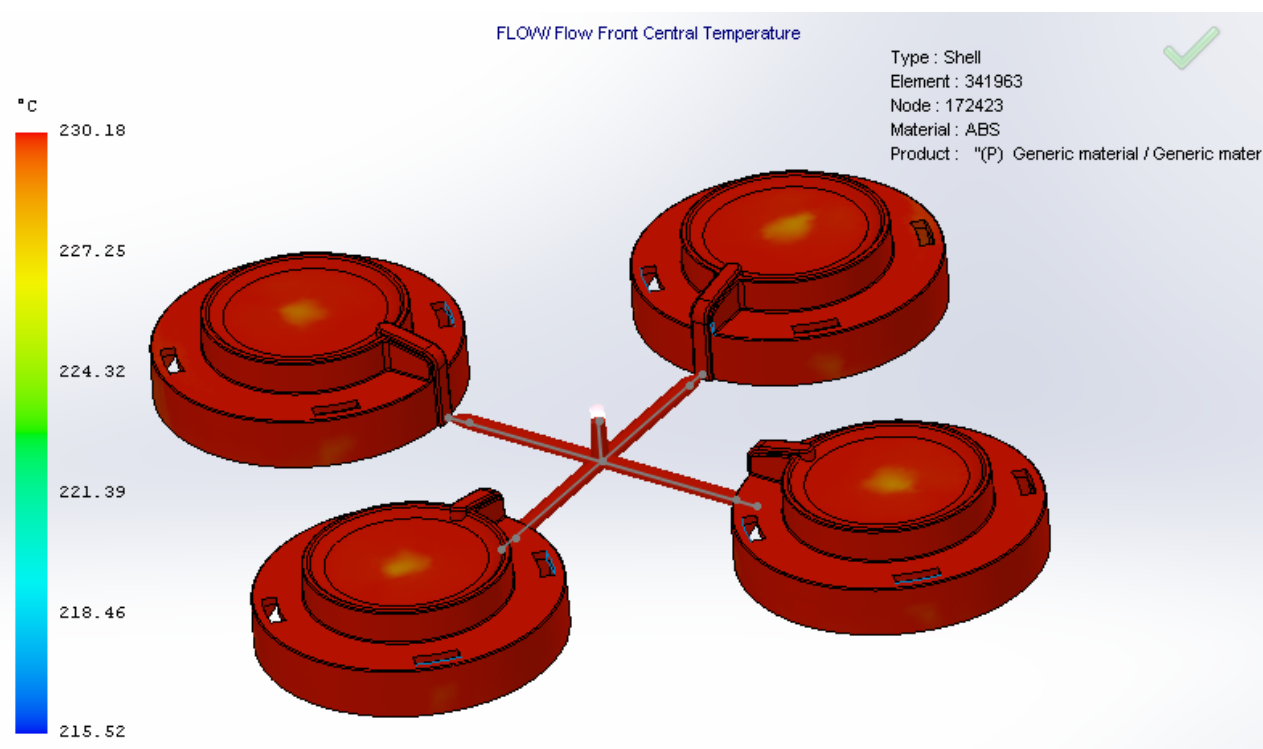
Слика 6.32 Време бризгања



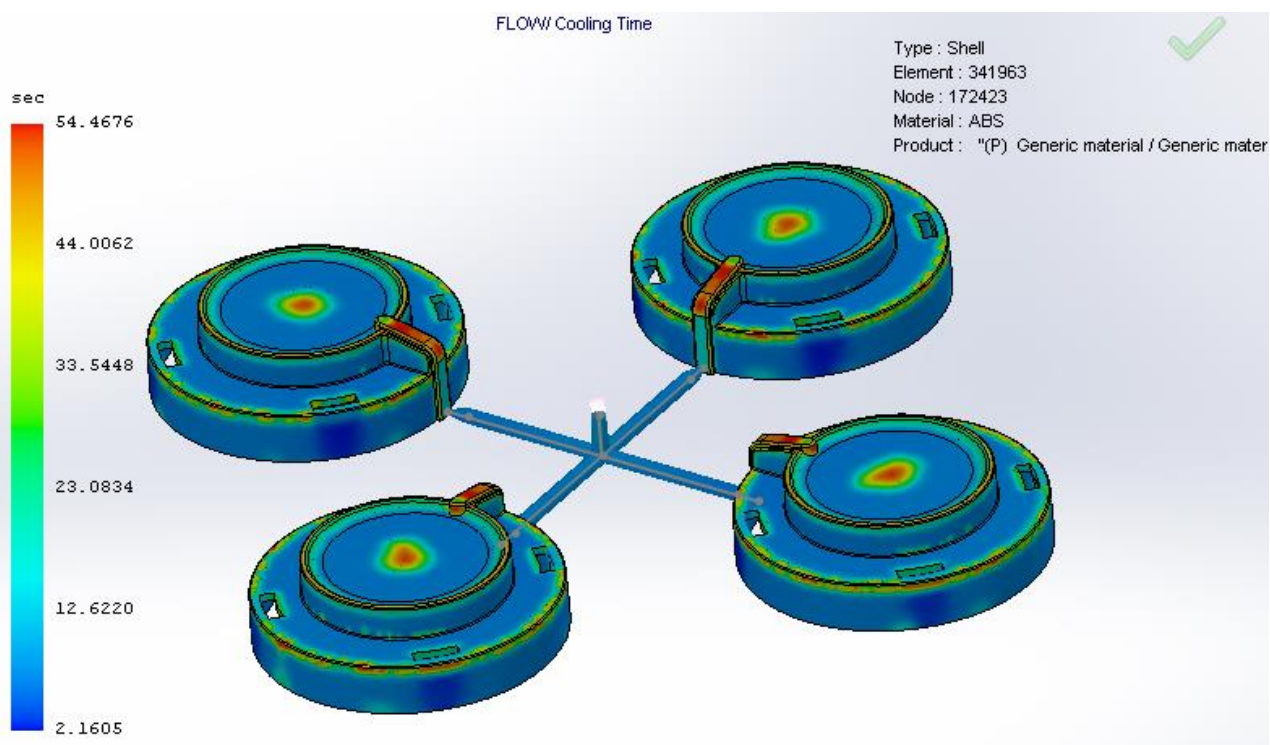
Слика 6.33 Притисак бризгања



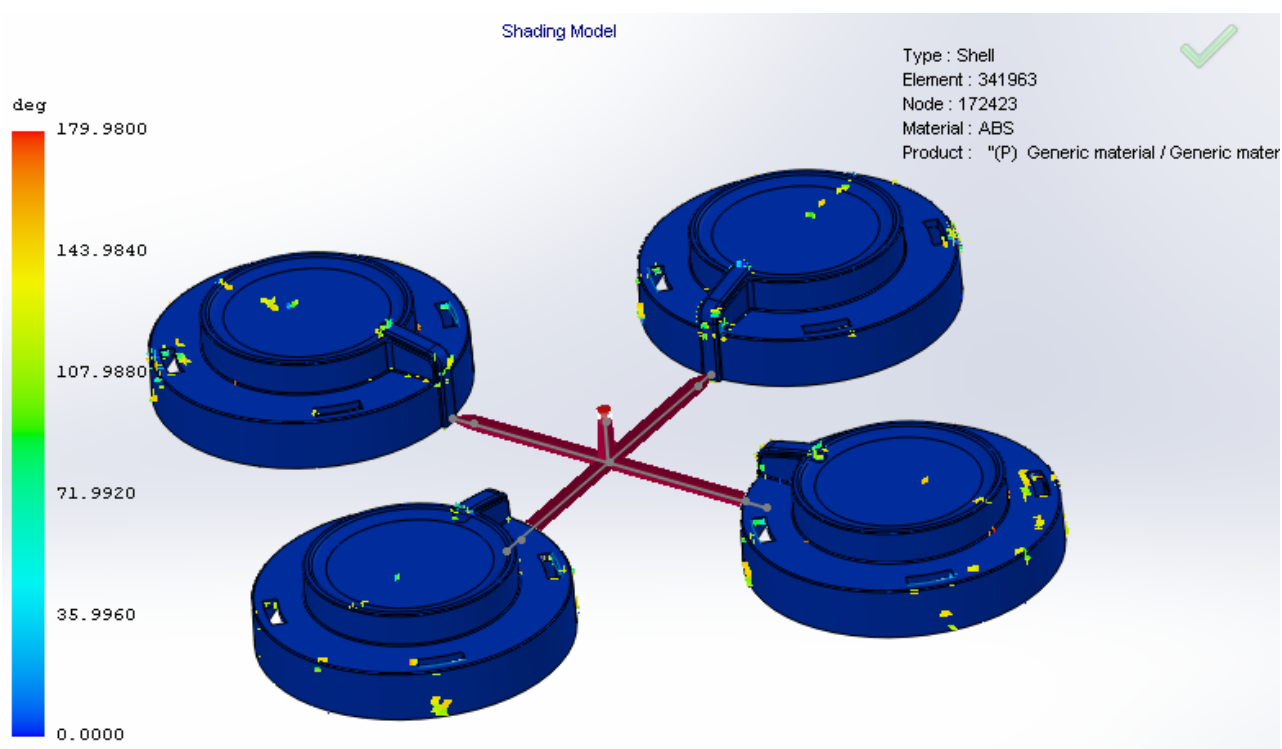
Слика 6.34 Расподела температуре након бризања



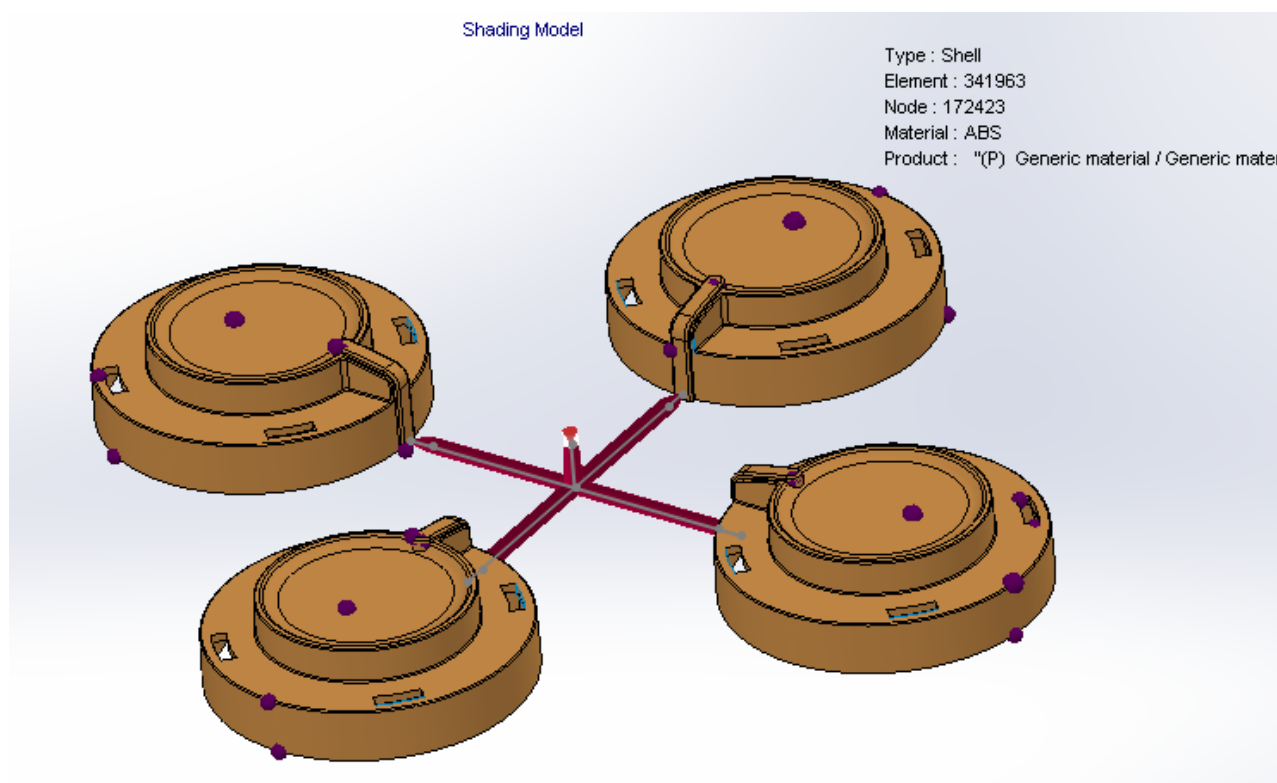
Слика 6.35 Дистрибуција температуре у алату



Слика 6.36 Време хлађења

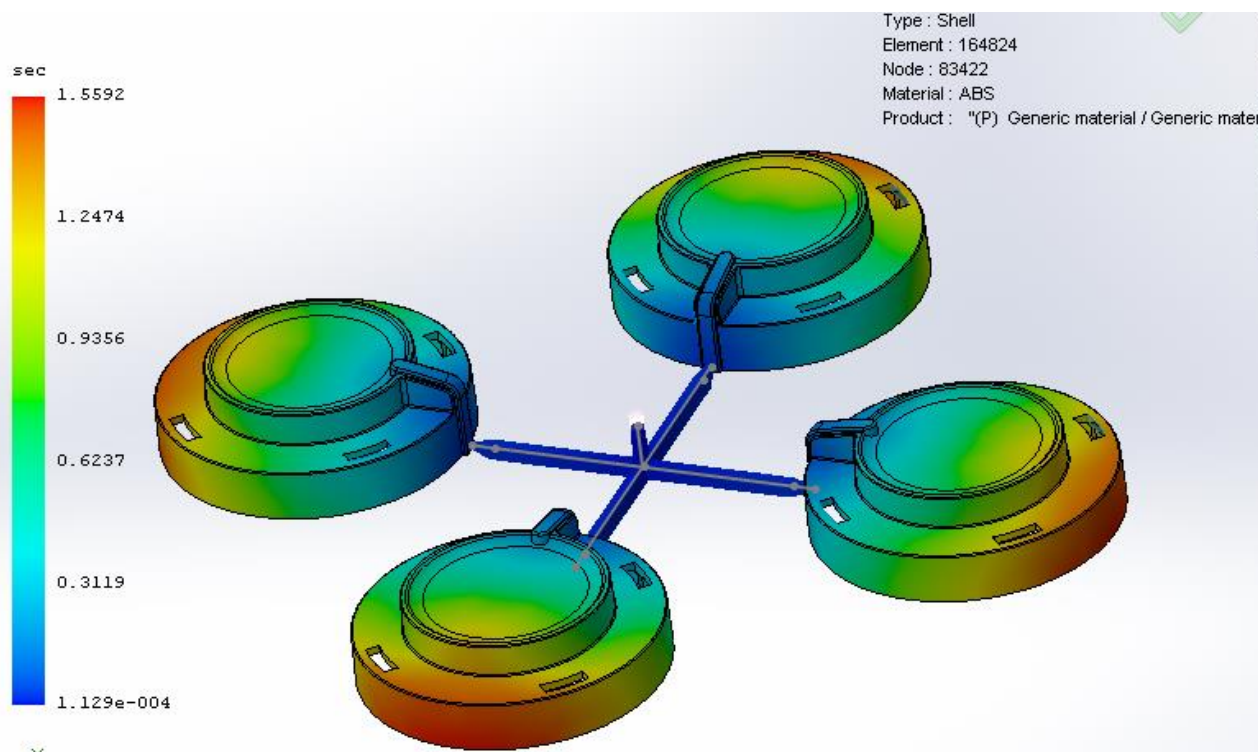


Слика 6.37 Линије спајања

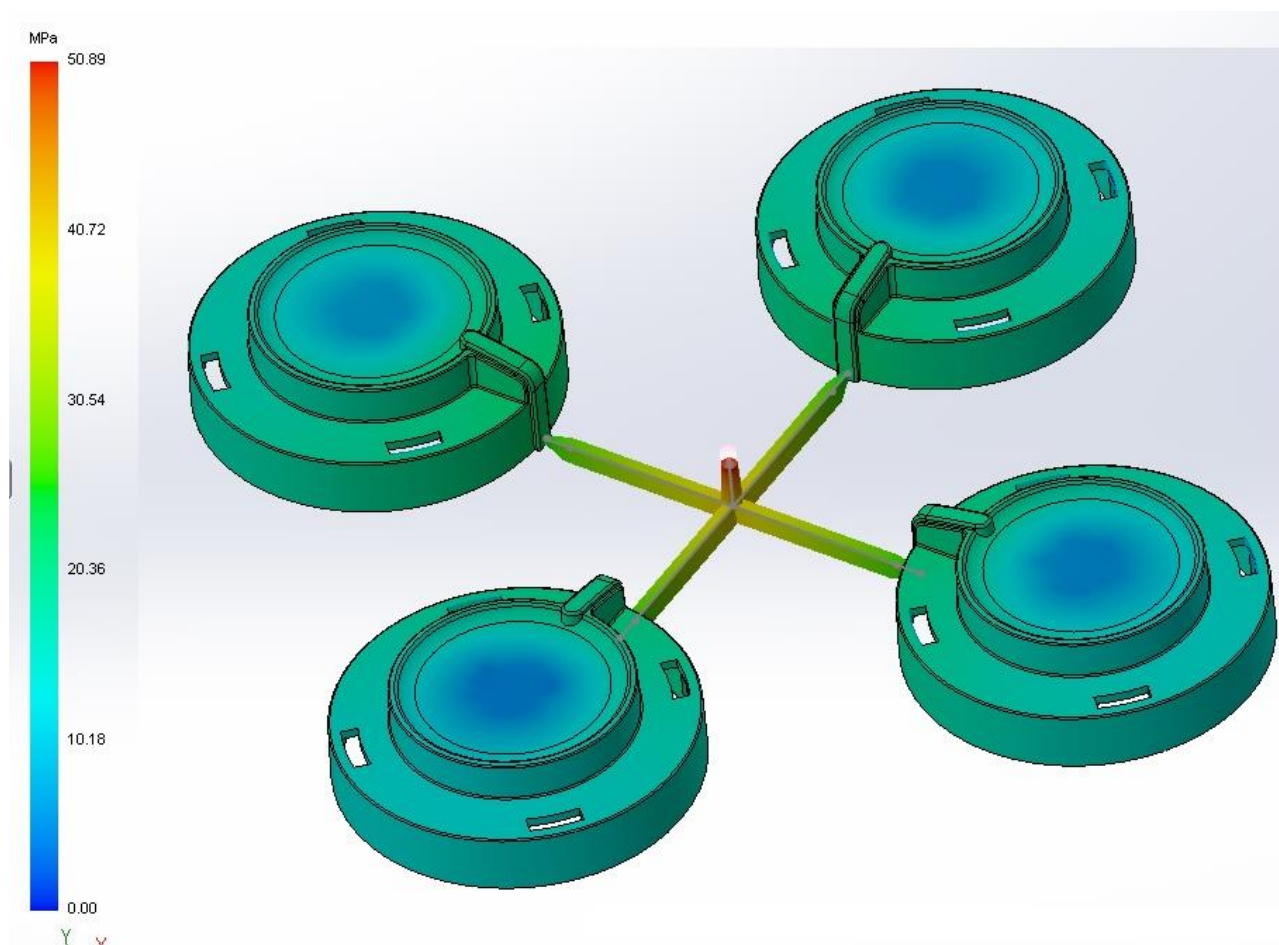


Слика 6.38 Гасни мехурови

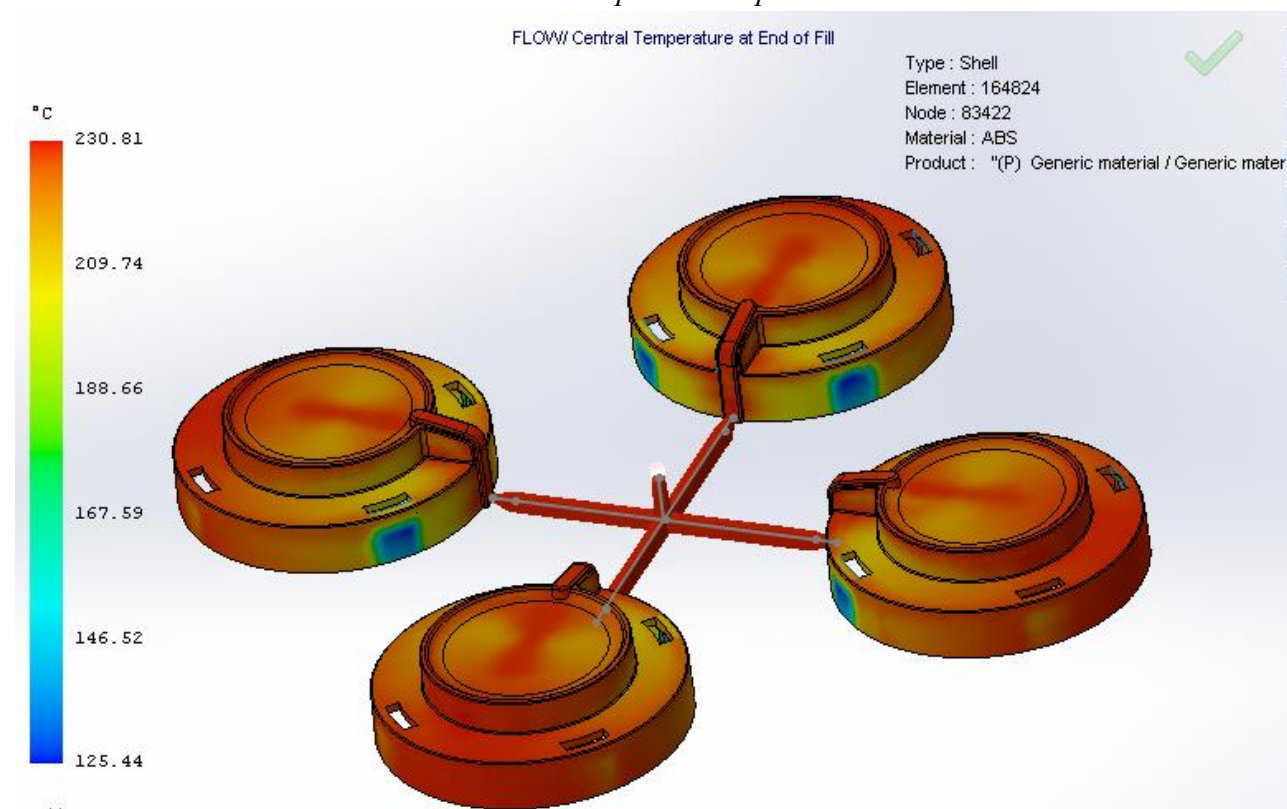
Резултати симулације за трапезни пресек разводних канала су приказани на следећим сликама.



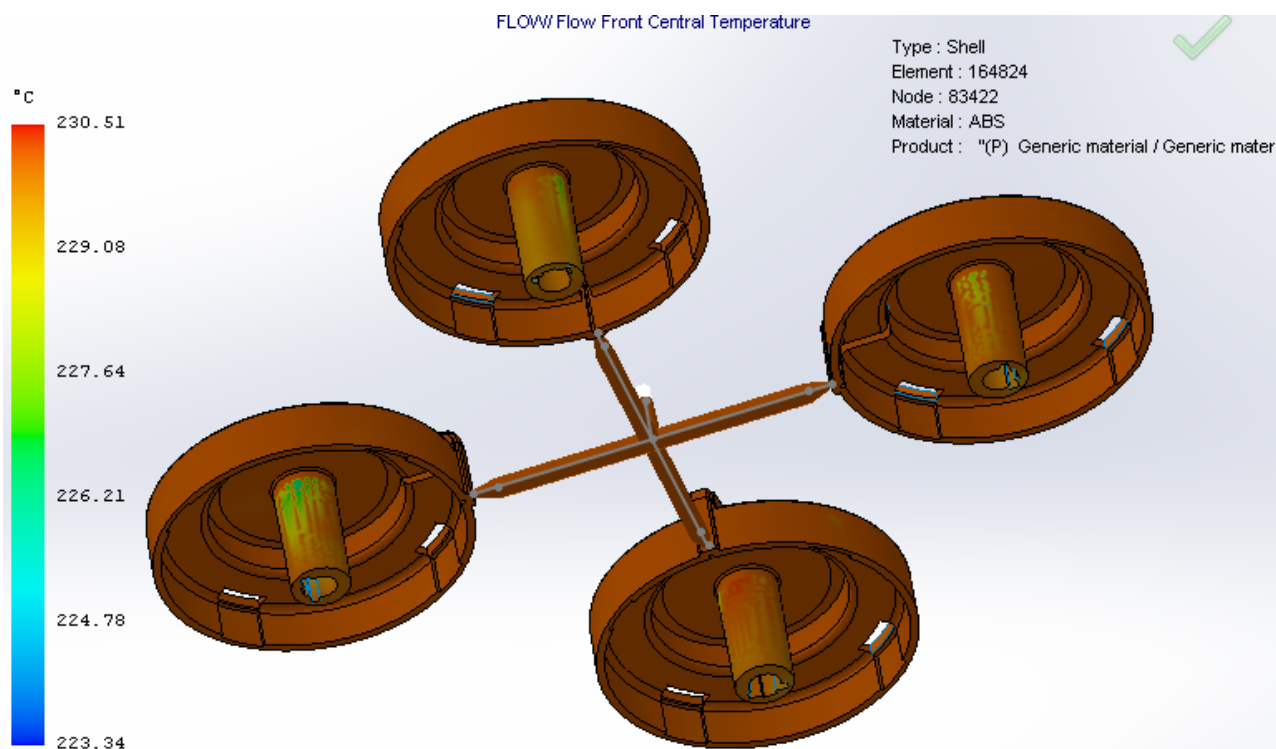
Слика 6.39 Време бризгања



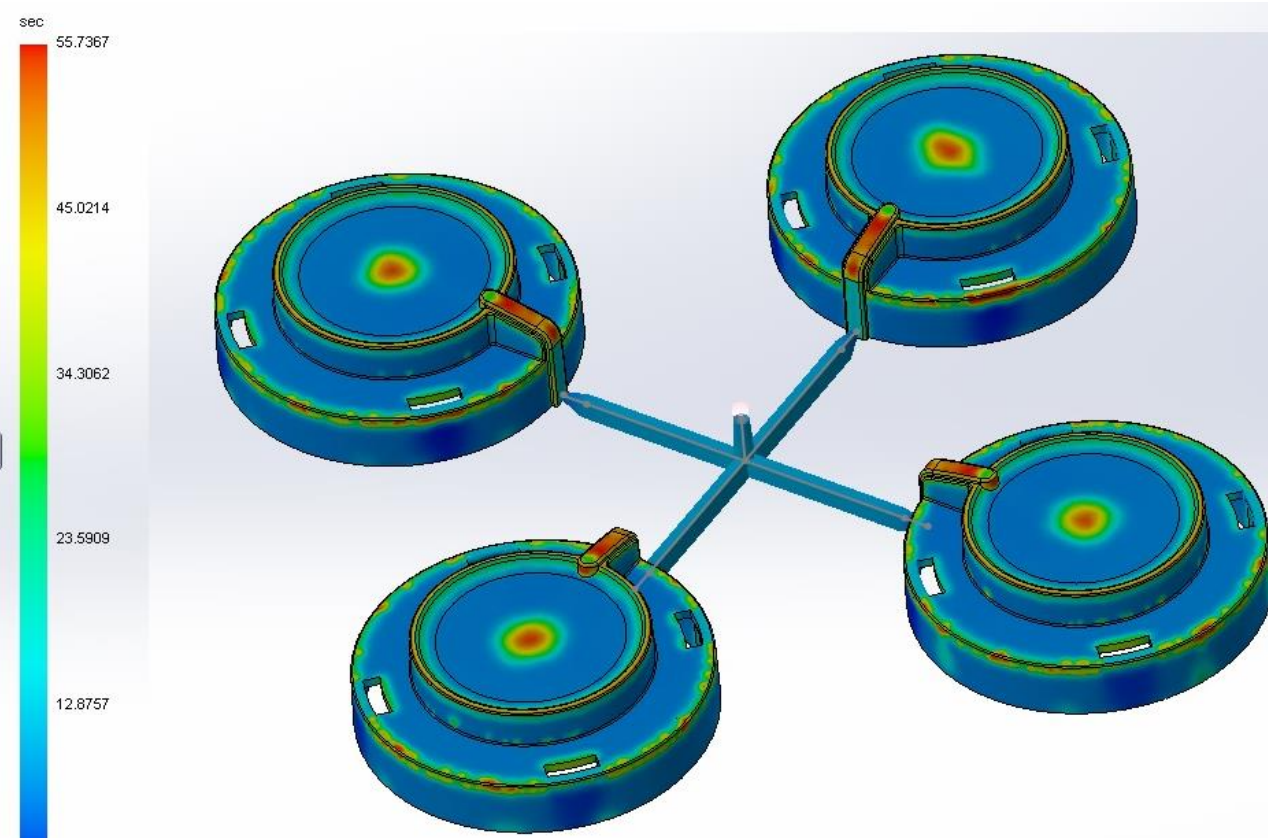
Слика 6.40 Притисак бризгања



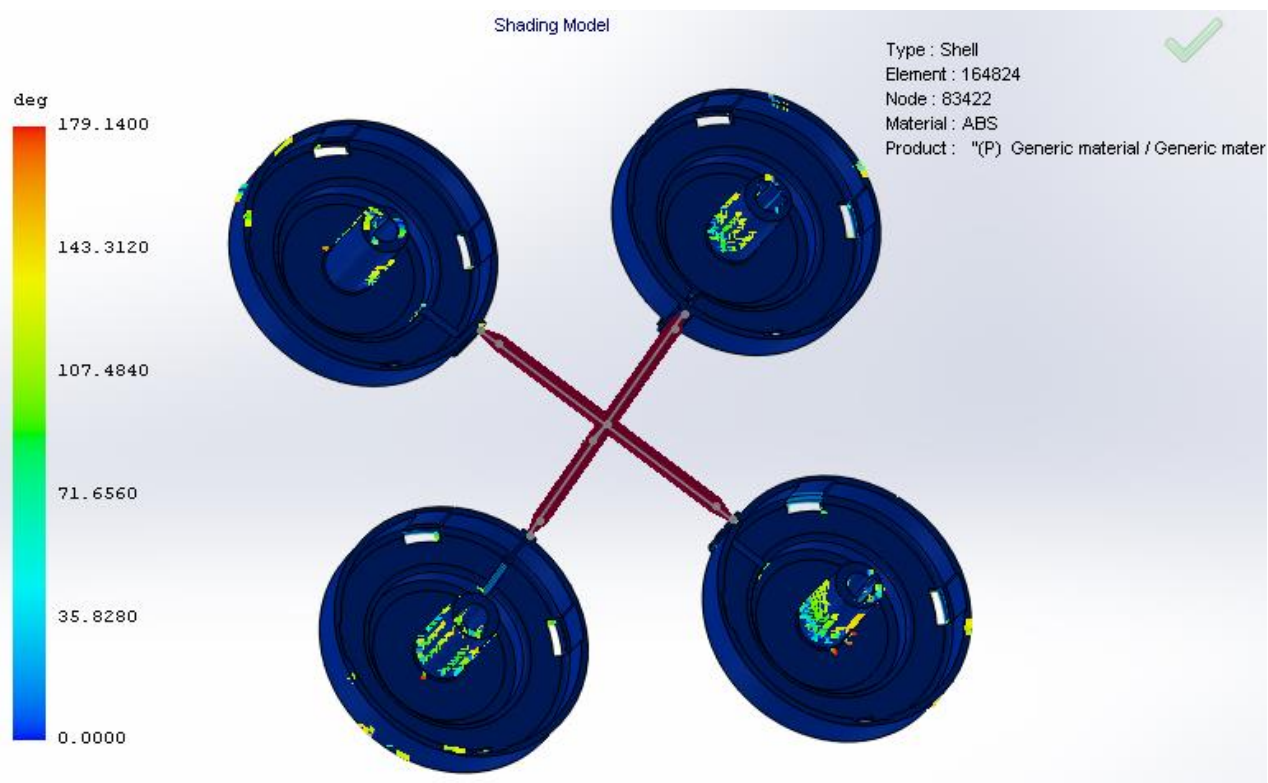
Слика 6.41 Расподела температуре након бризгања



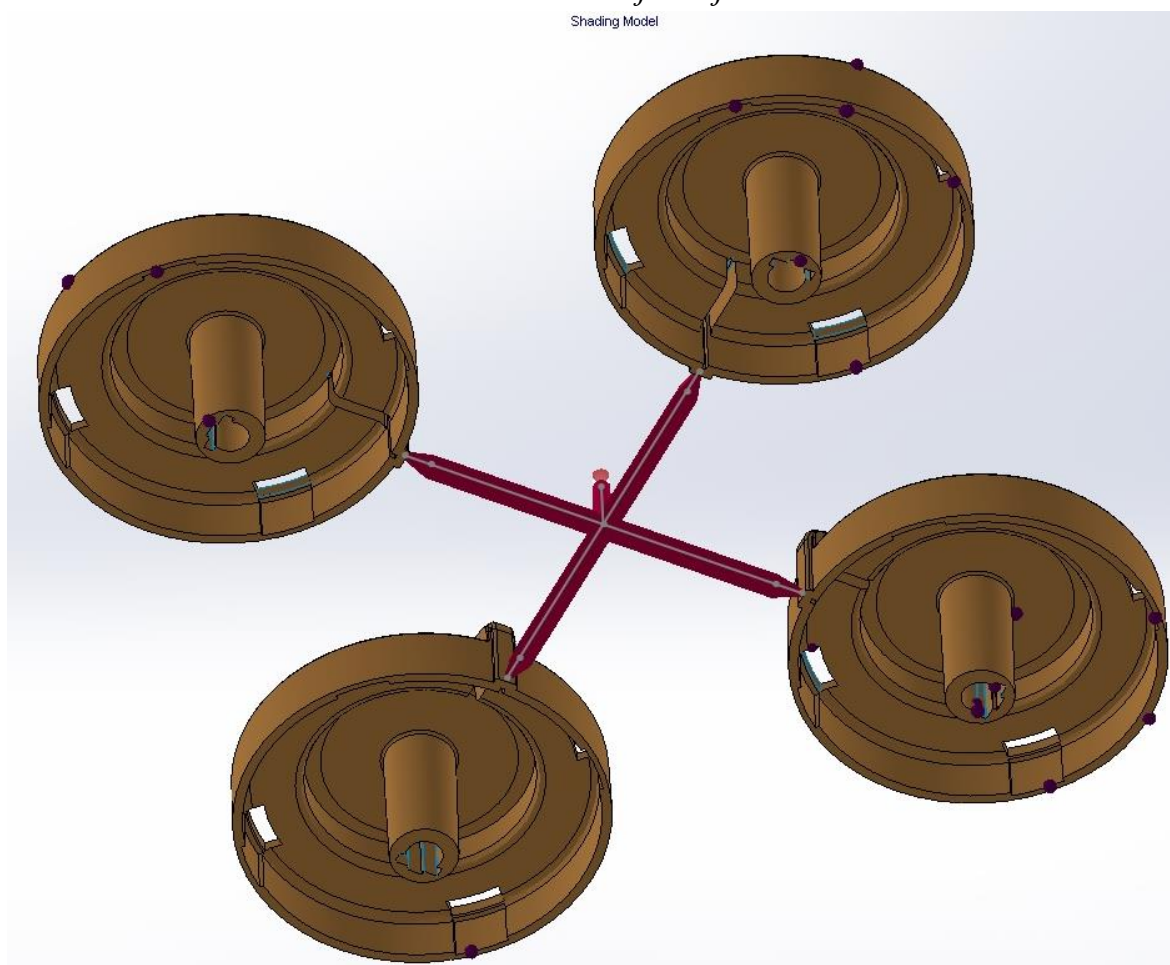
Слика 6.42 Дистрибуција температуре у алату



Слика 6.43 Време хлађења



Слика 6.44 Линије спајања



Слика 6.45 Гасни мехурови

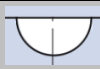
Разматрање добијених резултата

Параметри који су коришћени за упоређивање резултата симулације су:

- Време бризгања
- Притисак бризгања
- Температура бризгања
- Дистрибуција температуре у алату
- Време хлађења
- Линија спајања
- Гасни мехурови

Бројне вредности симулације приказане су у табlici 6.2.

Таблица 6.2 Бројне вредности симулације

	Јед.			
Време бризгања	s	1,5856	1,4882	1,5592
Притисак бризгања	МПа	43,54	47,30	50,89
Температура бризгања	°C	230,46	230,58	230,52
Дистрибуција температуре у алату	°C	212,2	230,18	236,63
Време хлађења	s	55,1599	54,4676	55,7376
Линија спајања	deg	179,7	179,98	179,27

На основу добијених резултата може се закључити да код већине разматраних параметара (време бризгања, температура бризгања, време хлађења и линије спајања), за изабране канале, не постоји значајна разлика у бројним вредностима (таблица 6.2). Већа разлика се појављује код два параметра, притисак и дистрибуција температуре у алату. У оба случаја најмање вредности су добијене за кружни попречни пресек канала, док трапезни пресек има највеће вредности притиска и температуре алата. Добијени резултати ова два параметра за полукружни пресек представљају приближно средњу вредност у односу на кружни и трапезни пресек разводних канала. То доводи до закључка да би за трапезни облик канала, била потребна машина највећег капацитета, што има за последицу веће трошкове производње. Најмања дистрибуција температуре у алату, за кружни пресек, омогућава брже хлађење алата него у друга два случаја.

Горе наведени резултати јасно указују да је најпогоднији пресек разводних канала кружни. Овај пресек има још једну предност, мањи отпор течења растопљене масе у односу на друге пресеке. Такође је и број гасних мехурова који настају у процесу бризгања мањи него код друга два пресека.

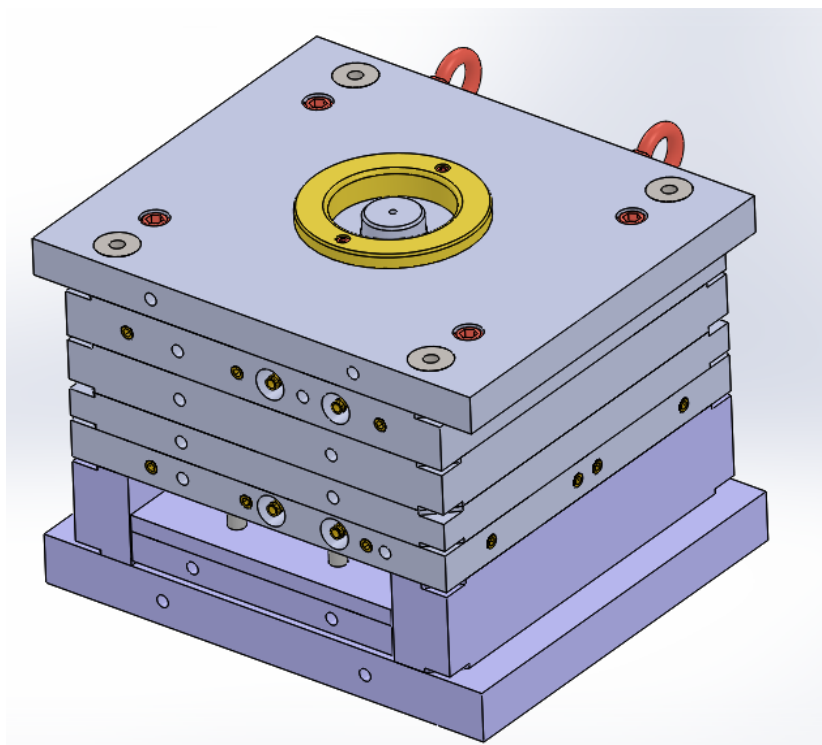
7. Пројектовање алата

На основу урађене симулације, пројектант има битне податке, а то је позиција уливања. На основу позиције уливања, дефинише се подеона раван која раздваја горњи и доњи део алата, односно покретни и непокретни. За задати део битно је одредити који део дела ће припадати покретном делу алата а који непокретном, односно са које ће се стране избацивати део из гравуре. При томе конструктор мора имати у виду да су избацивачи у покретном делу, а да се бризгачка прикључује на непокретни део алата. Ово нису стриктна правила, али знатно поједностављује алат и избацивачки механизам а тиме и смањује цену алата односно самог производа.

Основни елементи алата за бризгање пластике су:

- Уливни систем,
- Гравура,
- Систем за бризгање,
- Систем за вођење калупа,
- Тело алата и
- Елементи за хлађење.

На слици 7.1 приказан је модел пројектованог алата.



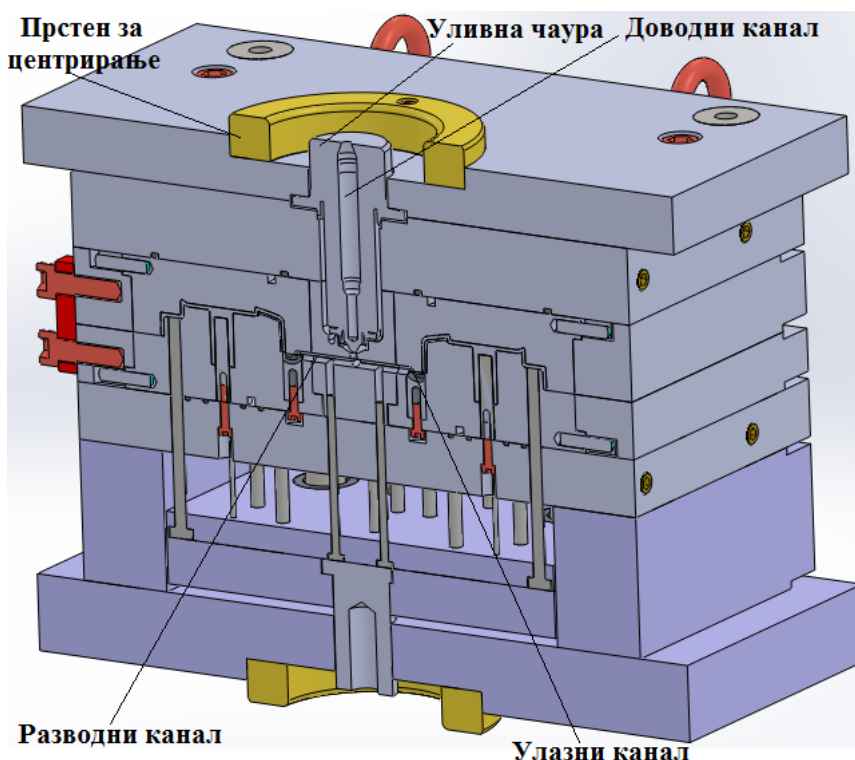
Слика 7.1 Модел пројектованог алата

7.1 Уливни систем

Под уливним системом подразумева се један или више канала повезаних у једну целину. Њихова улога је да што лакше, брже и без турбуленције дозирају растопљени пластомер до гравуре. Укратко, уливни систем повезује млазницу бризгалице са гравуром калупа. Неправилно димензионисани и постављени уливни канали отежавају рад алата, а у неким случајевима и потпуно онемогућавају. То је посебно изражено код обраде пластомера који брзо очвршћавају.

Уливни систем (слика 7.2) састоји се од:

- доводног канала,
- разводног канала и
- улазних канала.



Слика 7.2 Уливни систем

Доводни канал се поставља у непокретном делу алата. Налази се у оси канала млазнице бризгалице. При бризгању, растоп пластомера испуњава доводни канал и у њему очвршћава, тако да се мора одстранити после сваког циклуса.

Разводни канали се примењују, код калупа са једном гравуром, у случају уливања из више тачака, или као што је у овом случају, код калупа са више гравура. Разводни канал повезује улазни канал са доводним каналом [5].

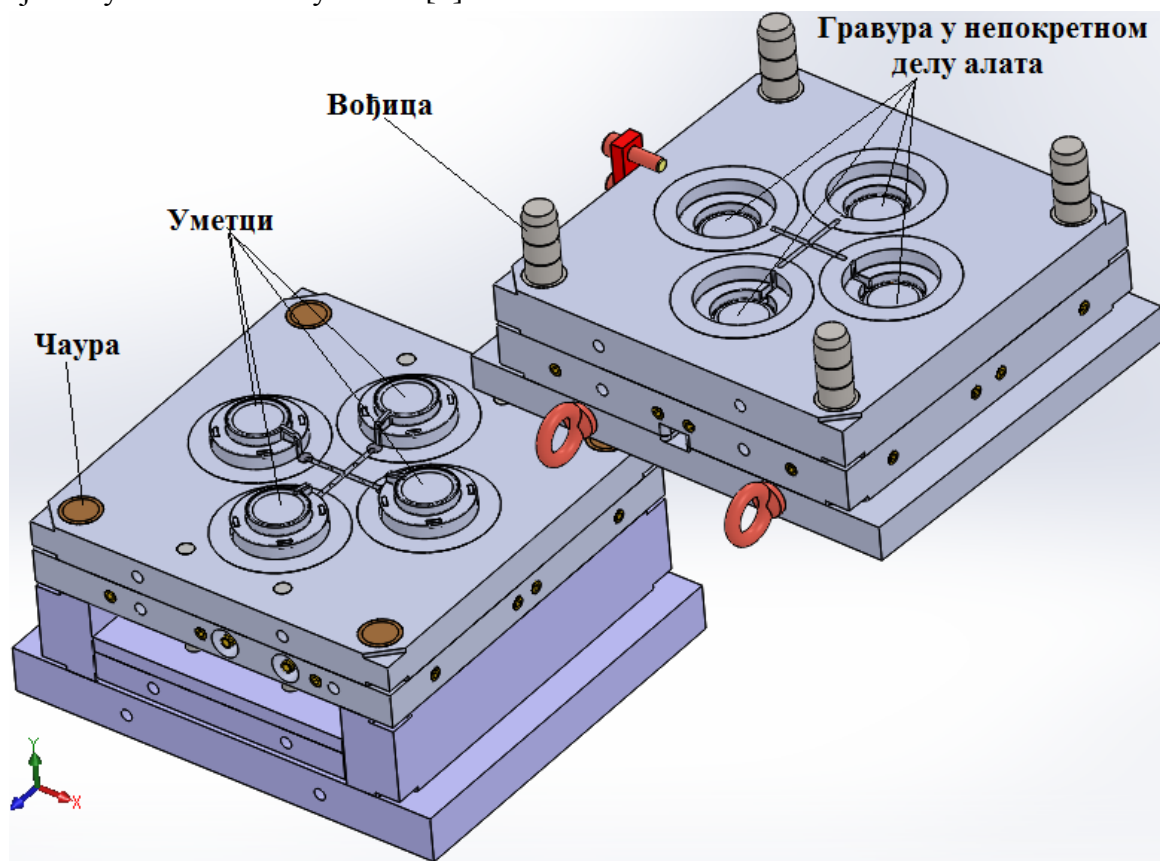
7.2 Гравура

Анализирани алат изађен је са четири језгра. Обзиром на број отпресака који се истовремено бризгају, разликују се две врсте убризгавања:

- директно убризгавање и

- индиректно убризгавање.

У овом случају примењено је индиректно убризгавање које се примењује код бризгања више отпреска из једне тачке. Директно убризгавање се примењује код калупа са једном гравуром. Гравура се налази на непокретном делу алата. На покретном делу алата, на међу плочи налазе се уметци, који чине преостали део гравуре слика 7.3. Затварањем алата, уметци улазе у гравуру непокретног дела и тако формирају шупљину у облику дела који настаје попуњавањем те шупљине [6].



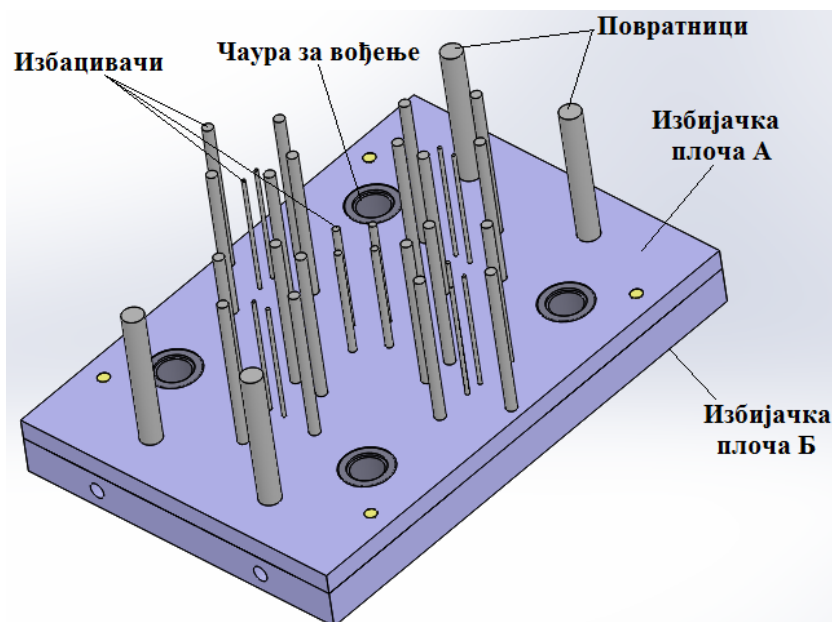
Слика 7.3 Покретни и непокретни део алата

7.3 Систем за избацивање отпреска

Раздвајањем покретног и непокретног дела алата после процеса бризгања делови остају у покретном делу и после хода који се може подешавати активирају се избацивачке игле. Делови се тако у потпуности избацују из гравуре алата.

Кроз канале којима пролазе избацивачи предвиђено је и одзрачивање калупа. У току бризгања врхови избацивачких игала попуњавају део гравуре. Вишак ваздуха, који је под притиском, одстрањује се кроз уске пролазе између врха игле и дела гравуре.

Систем за избацивање (слика 7.4) има две плоче, четири чауре за вођење и двадесет осам игала за избацивање бризганих делова и вишка материјала у разводним каналима који је остао након процеса бризгања. На избацивачкој плочи се налазе и четири повратника који служе да избацивачки систем врате у почетни положај након поновног затварања алата. Да би своју функцију обавили на прави начин, а уједно заштитили избациваче од оштећења, њихова дужина мора бити веће од избацивача.



Слика 7.4 Систем за избацивање

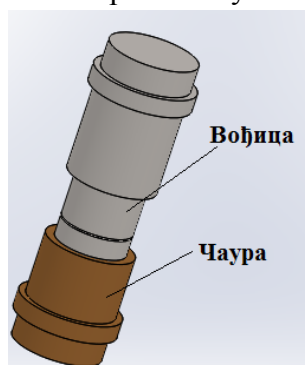
7.4 Систем за вођење калупа

Задатак система за вођење је да центрира и обезбеди паралелност хода покретног и непокретног дела калупа, као и одржавање тачног положаја плоча у равни отварања калупа. Вођење се најчешће остварује стубним вођицама, помоћу стуба и чауре. Код мањих алата користи се посредно вођење – стуб и чаура, док се код великих користи непосредно вођење – (стуб и отвор кроз основну плочу алата).

Унутрашњи пречник чауре за вођење израђује се са толеранцијом H7, а спољашњи пречник стуба са m6. Стуб и чаура се обично израђују од челика 90MnCrV8, отврднутог до 58-60 HRC за стуб, односно 56-58 HRC за чауру.

Калупи са косим вођицама се користе за инјекционо пресовање делова са испупчењима по спољашњој површини или за отпреске са спољашњим навојем. За избацивање готовог дела из калупа потребно је обезбедити отварање калупа не само у уздужном, већ и у попречном правцу. Најчешће примењивани механизми за попречно отварање калупа су механизми са косим вођицама. Ове вођице изложене су много већем хабању, па се израђују од висококвалитетних челика уз обавезну термичку обраду. [5]

У конкретном случају примењен је систем за вођење стубним вођицама (слика 7.5) чиме је обезбеђено отварање односно затварање калупа померањем покретних плоча.



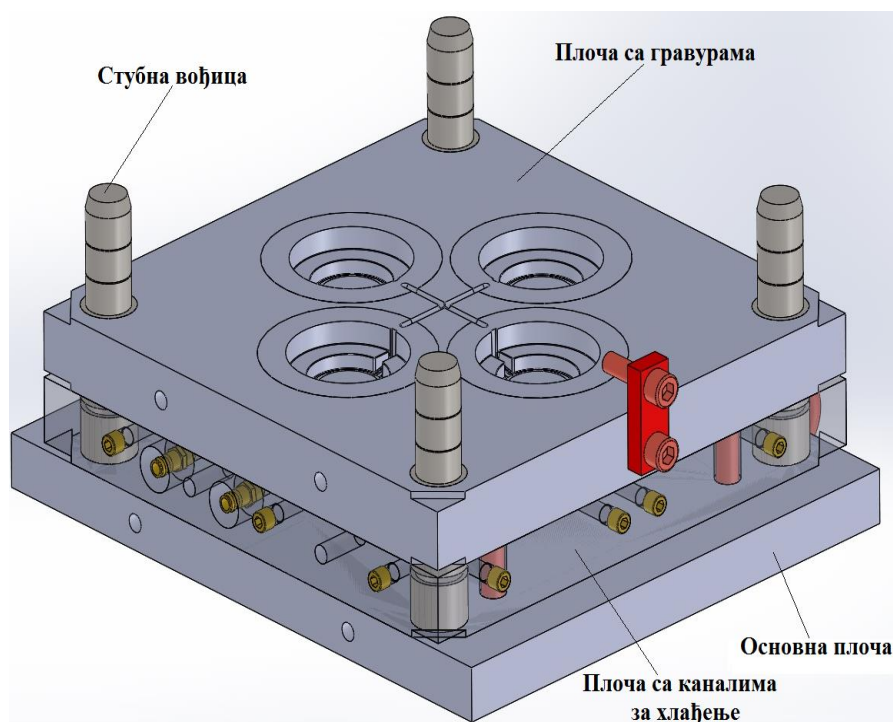
Слика 7.5 Стубна вођица са чауром

7.5 Тело алата

Тело калупа се састоји од два подсклопа:

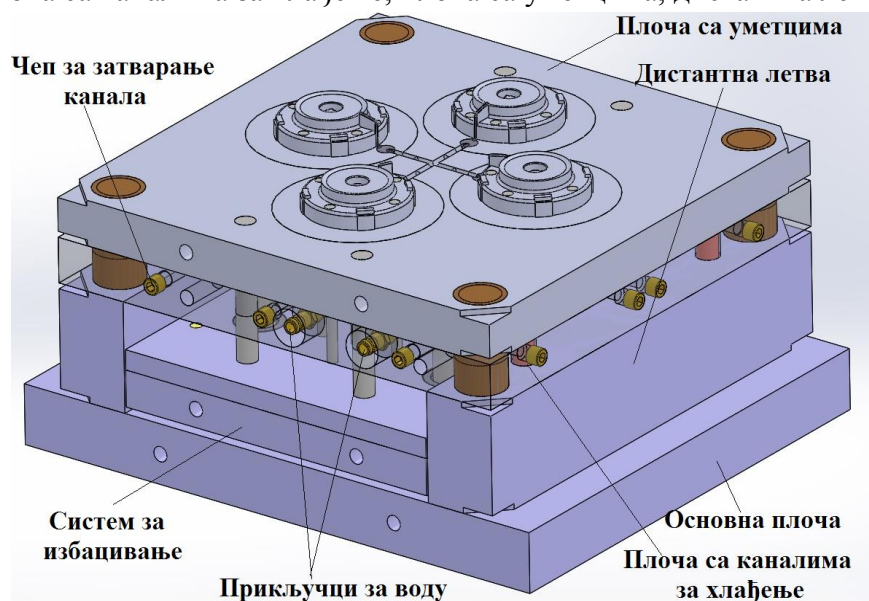
- Непокретни подсклоп и
- Покретни подсклоп.

У оквиру непокретног склопа (слика 7.6) налазе се основна плоча, плоча са каналима за хлађење, плоча са гравурама, уливна чаура.



Слика 7.6 Непокретни подсклоп алата

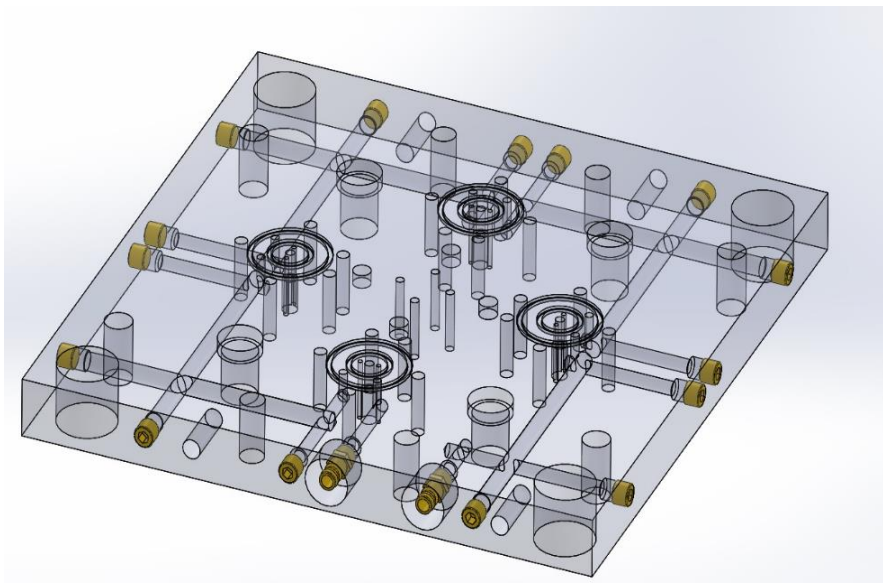
У оквиру покретног дела (слика 7.7) алата налази се основна плоча, подсклоп за избацивање, плоча са каналима за хлађење, плоча са уметцима, дистантна летва.



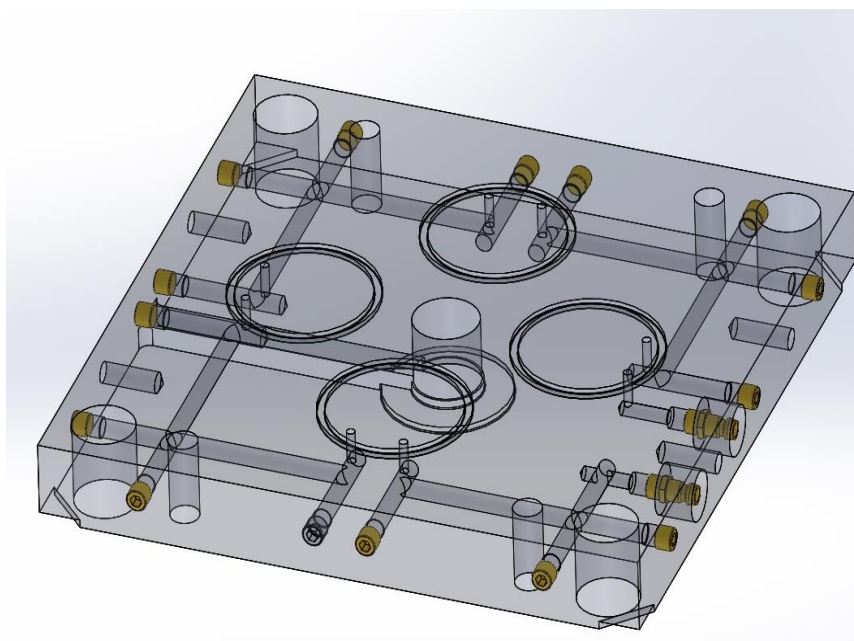
Слика 7.7 Покретни подсклоп алата

7.6 Елементи за хлађење калупа

Растопљени термопласт се, након убризгавања у гравуру, хлади преносом топлоте на зидове калупа. Узимајући у обзир да је бризгање циклични процес са релативно кратким временом трајања једног циклуса, постаје очигледно да се калуп све више загрева. Када разлика температура растопљеног термопласта и калупа значајно опадне, успорава се хлађење и очвршћавање термопласта у калупу. Због тога је неопходно калупе хладити водом, која циркулише кроз канале израђене у покретном и непокретном делу калупа. Плоче са каналима за хлађење приказане су на слици 7.8 и слици 7.9.

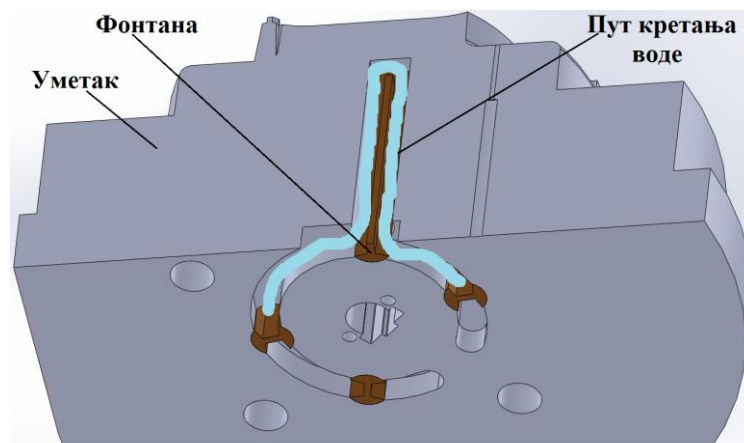


Слика 7.8 Плоча са каналима за хлађење у покретном делу алата



Слика 7.9 Плоча са каналима за хлађење у непокретном делу алата

Поред плоча хлађење уметака и калупних шупљина се врши уз помоћ посебних елемената (фонтана) приказаних на слици 7.10.



Слика 7.10 Фонтана

Вода из канала расхладне плоче улази у прстенасти канал уметка и помоћу фонтана се пење до врхова рупа за хлађење које су раније избушене. На овај начин је омогућено хлађење уметка по целој висини. Фонтане су направљене од полимерних материјала.

8. Закључак

На основу изложених разматрања у овом раду може се доћи до следећих закључака. Полимерни материјали у последњој деценији имају све већу примену, чак у неким областима у потпуности замењују металне материјале. Са развојем полимерних материјала долази и до развоја поступака њихове прераде, а посебно поступка бризгања чији је удео у преради полимерних материјала виши од 50%. Обзиром на сложеност делова који се израђују овим поступком пројектовање алата на класичан начин постаје скоро немогуће јер утрошено време на пројектовање, преправке и пробе знатно повећава цену алата и смањује конкурентност фирме на тржишту.

Применом савремених CAD/CAM/CAE програмских пакета (CATIA, SolidWorks, MoldFlow) омогућена је потпуна аутоматизација процеса пројектовања алата односно, скраћено време развоја алата, смањени трошкови, побољшан квалитет обезбеђујући тако конкурентност на тржишту.

Инжењери имају могућност креирања и анализе сложених површина, анализе мерних ланаца и других карактеристичних елемената алата, обезбеђујући технологичност конструкције још у раној фази пројектовања.

Важан елемент у процесу пројектовању алата представља симулација процеса бризгања. Симулација омогућава инжењерима брз увид у различите параметре процеса бризгања. Ова могућност поједностављује процес пројектовања алата и елиминише накнадне дораде алата, јер се на овај начин још у раној фази пројектовања могу открити и елиминисати евентуалне неправилности.

Значај примене симулације у пројектовању алата показан је на примеру бризгања тела дугмета бојлера. У овом случају било је потребно одлучити на ком месту је најбоље извршити уливање а да се при томе не наруше естетика и функционалност који се захтевају од самог производа. Најпре је вршена симулација бризгања за три различита места уливања појединачних комада. Резултати симулације показали су да већина испитиваних параметара има сличне вредности, осим притиска који је потребан за процес бризгања. Тако да је изабрано место уливања за које је притисак бризгања најмањи. За то место вршена је симулација којом је требало одредити неповољнији пресек разводног канала. Симулација је извршена за кружни, полукружни и трапезни пресек. Резултати су показали да је најповољнији кружни пресек разводног канала. Симулацијом је омогућен одабир најбољег места уливања, као и најбољег пресека разводног канала, а све без израде физичког модела алата. На овај начин постигнута је значајна уштеда у времену, новцу и материјалу.

На крају се може закључити, да примена софтвера за симулацију, поред тога што поједностављује сам процес пројектовања алата, омогућује и израду знатно сложенијих производа од пластичних маса.

9. Литература

- [1] Мирослав Нађ, Полимерни материјали, Научна књига, Загреб 1991
- [2] Богдан Недић, Технологија прераде пластичних маса, Крагујевац, 2008
- [3] Бошко Перошевић, Калупи за ињекционо пресовање пластомера, Научна књига, Београд 1995
- [4] Милош Врачевић, Прерада пластичних маса брызгањем, Поли – библиотека, Нови Сад 1997
- [5] Слободан Иветић, Дипломски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2005
- [6] Првослав Обрадовић, Дипломски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2010
- [7] <http://www.arburg.com/en/>, мај 2014
- [8] <http://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/shashutsu/index.html>, мај 2014
- [9] <http://www.ss-industrijska-strojarska-zg.skole.hr/upload/ss-industrijska-strojarska-zg/multistatic/74/10.%20Alati%20za%20preradu%20plasticnih%20masa.pdf>, мај 2014
- [10] <http://www.injectionmoldingexpertise.com/injectionmoldingequipment.html>, мај 2014
- [11] <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/plastics.htm>, мај 2014
- [12] <http://www.hasco.com/gb/Services-Downloads/Tips-Tricks/Digital-catalogue-Mould-construction-assistant>, мај 2014
- [13] <http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics-technologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>, мај 2014
- [14] <http://www.simtec-silicone.com/capabilities/lsr2-shot/>, мај 2014