

# ПРОИЗВОДИ ОД ПЛАСТИКА

Татјана Кандикјан  
Иле Мирчески

1  
издание



Универзитет „Св. Кирил и Методиј“



Машински факултет – Скопје



**Татјана Кандикјан**

**Иле Мирчески**

# **ПРОИЗВОДИ ОД ПЛАСТИКА**

Скопје, 2021

Автори:  
Проф. д-р Татјана Кандикјан  
Вон. проф. д-р Иле Мирчески

## **ПРОИЗВОДИ ОД ПЛАСТИКА**

Прво издание

Рецензенти

Проф. д-р Владимир Дуковски, Машински факултет - Скопје  
Проф. д-р Софија Сидоренко, Машински факултет - Скопје

Печатењето е одобрено од:

Наставно научниот совет при Машински факултет - Скопје  
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“

Техничко уредување и компјутерска обработка: Иле Мирчески

Лектор: Виолета Јовановска

Корица: Ѓоко Мирчевски и Димитриј Георгиевски

Тираж: online

Забрането копирање и умножување согласно Закон за авторско право

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски“, Скопје

678.5:621.7-047.82/.84(075.8)

КАНДИКЈАН, Татјана

Производи од пластика / Татјана Кандикјан, Иле Мирчески. - Скопје:  
Машински факултет, 2021

Начин на пристапување (URL): <https://www.mf.ukim.edu.mk/>. - Начин на  
пристапување (URL): <http://www.ukim.edu.mk/>. - Текст во PDF формат,  
содржи 298 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот  
на ден 02.09.2020. - Библиографија: стр. 292

ISBN 978-608-4624-30-1

1. Мирчески, Иле [автор]

а) Пластични материјали - Обработка - Моделирање - Дизајн - Пластични  
производи - Високошколски учебници

COBISS.MK-ID 51852805

## Предговор

Книгата ПРОИЗВОДИ ОД ПЛАСТИКА е наменета првенствено за студентите од насоката Индустриски дизајн, академски студии на Машинскиот факултет во Скопје, како и останатите технички факултети, но може да ја користат и средношколци од средните стручни училишта. Исто така, оваа книга може да им користи на инженерите и техничарите од индустријата при дизајн и проектирање делови од пластика, испитувања, производство и експлоатација на техничките системи.

Книгата има за цел да придонесе за стекнување со основни, но разновидни знаења од областа на дизајнирањето на современите производи со примена на пластиката како практичен материјал за градба, но и како формативно флексибилен и естетски материјал, кој е погоден за индустриско производство.

Книгата има дванаесет одвоени тематски целини и тоа: Примена на пластиката, Општо за пластиката, Термопластика и термосетови, Својства на пластиката, Процеси за обработка на пластиката, Посебни процеси за обработка на пластиката, Пресвлеки кај пластиката, Конструктивно обликување делови од пластика, Елементи за врска кај пластиката, Заварување делови од пластика, Лепење делови од пластика, Дизајн на производи од пластика со практични примери; во коишто детално се обработени општи и специфични задачи поврзани со производите од пластика.

Обликувањето на деловите од пластика не е можно без примена на соодветен софтвер кој овозможува естетско обликување на закривените површини на делот, но и детална доработка на деталите, како што се елементите за врска, ребрата за зајакнување и подготовката за изработка во калап. Дополнително, можно е да се направи пресметка на јакоста на оптоварени делови, симулација на полнењето на калапот, како и предвидување на можните деформации на делот поради собирањето во калапот и ладењето.

Авторите имаат повеќегодишно искуство во практична работа со студентите при изработка на проектни задачи од областа на дизајнирањето на производите од пластика, при што се реализирани низа значајни проекти кои освоиле домашни и меѓународни награди.

Со посебно задоволство изразувам благодарност на рецензентите проф. д-р Владимир Дуковски и проф. д-р Софија Сидоренко, редовни професори на Машинскиот факултет во Скопје, кои го прочитаа ракописот со посебно внимание и кои придонесоа со корисни совети оваа книга да биде квалитетна.

Забелешки и сугестии, кои може да придонесат за повисок квалитет на следните изданија, се добредојдени.

Скопје, јануари 2020 година

Татјана Кандиќјан  
Иле Мирчески



Содржина:

ГЛАВА 1.....	- 9 -
Примена на пластиката .....	- 9 -
1.1. Вовед.....	- 9 -
1.2. Примери на примена на пластиката.....	- 15 -
1.3. Пластиката и индустрискиот дизајн .....	- 21 -
ГЛАВА 2.....	- 24 -
Општо за пластиката .....	- 24 -
2.1. Поделба на пластиката .....	- 24 -
2.2. Хемиска структура на пластиката.....	- 24 -
2.3. Хомополимеризација и кополимеризација .....	- 26 -
2.4. Молекуларна структура на пластиката.....	- 26 -
2.5. Полуфабрикати на пластиката .....	- 28 -
2.6. Додатоци на пластиката .....	- 29 -
2.7. Пополнувачи на пластиката .....	- 30 -
2.8. Армирање на пластиката .....	- 31 -
2.9. Означување на пластиката.....	- 31 -
ГЛАВА 3.....	- 33 -
Термопластика и термосетови.....	- 33 -
3.1. Термопластика .....	- 33 -
3.1.1. Полиетилен со ниска густина (LDPE) .....	- 34 -
3.1.2. Полиетилен со висока густина (HDPE) .....	- 35 -
3.1.3. Полиетилен терефталат (PET) .....	- 36 -
3.1.4. Полистирен (PS) .....	- 37 -
3.1.5. Полипропилен (PP).....	- 38 -
3.1.6. Акрилонитрил-бутадин-стирен – (ABS).....	- 40 -
3.1.7. Акрилно стакло (PMMA) .....	- 42 -
3.1.8. Ацетал (Polyoxymethylene - POM) .....	- 44 -
3.1.9. Најлон (PA) .....	- 45 -
3.1.10. Поликарбонат (PC) .....	- 47 -
3.1.11. Поливинил хлорид (PVC) .....	- 49 -
3.2. Термосетови .....	- 50 -
3.2.1. Епоксиди.....	- 51 -
3.2.2. Полиестери .....	- 52 -
3.2.3. Меламин .....	- 53 -
3.2.4. Полиуретан.....	- 53 -
3.2.5. Силикони .....	- 55 -
ГЛАВА 4.....	- 57 -
Својства на пластиката.....	- 57 -
4.1. Физички својства на пластиката .....	- 57 -
4.1.1. Густина .....	- 57 -
4.1.2. Собирање во калап .....	- 57 -
4.1.3. Впивање вода .....	- 58 -
4.1.4. Еластичност.....	- 58 -

4.1.5. Матност и транспарентност.....	- 58 -
4.1.6. Самоподмачкување .....	- 58 -
4.1.7. Термички и електрични својства.....	- 59 -
4.1.8. Отпорност на запалување .....	- 59 -
4.1.9. Отпорност на хемикалии и влага .....	- 59 -
4.2. Механички карактеристики на пластиката .....	- 60 -
4.2.1. $\sigma$ - $\epsilon$ карактеристика.....	- 61 -
4.2.2. Крутост .....	- 65 -
4.2.3. Вискоеластичност.....	- 66 -
4.2.4. Зависност на деформацијата од траењето на оптоварувањето.....	- 68 -
4.2.5. Ползење .....	- 69 -
4.2.6. Избор на пластика .....	- 70 -
ГЛАВА 5.....	- 72 -
Процеси за обработка на пластиката .....	- 72 -
5.1. Вовед: Пластика и процеси.....	- 72 -
5.2. Инјекционо пресување.....	- 72 -
5.2.1. Инјекциона преса.....	- 73 -
5.2.2. Чекори на инјекционото пресување.....	- 74 -
5.2.3. Калапи за инјекционо пресување.....	- 76 -
5.2.4. Проблеми кои може да се јават при инјекционо пресување .....	- 77 -
5.2.5. Обликување на деловите за инјекционо пресување во калапната шуплина.....	- 78 -
5.2.6. Детално обликување делови од пластика со SolidWorks.....	- 79 -
5.2.7. Симулација на инјекционото пресување.....	- 81 -
5.2.8. Примери на производи добиени со инјекционо пресување .....	- 82 -
5.3. Екструдирање.....	- 88 -
5.3.1. Екструдери .....	- 88 -
5.4. Коекстудирање.....	- 90 -
5.5. Пресување пластика .....	- 91 -
5.6. Трансфер-пресување .....	- 93 -
5.7. Термообликување .....	- 94 -
5.7.1. Термообликување со вакуум .....	- 94 -
5.7.2. Термообликување со притисок .....	- 95 -
5.8. Свиткување со загревање.....	- 97 -
5.9. Екстудирање - дување.....	- 97 -
5.10. Инјекционо развлекување - дување.....	- 100 -
5.11. Ротационо леење.....	- 104 -
ГЛАВА 6.....	- 106 -
Посебни процеси за обработка на пластиката .....	- 106 -
6.1. Просекување и втиснување .....	- 106 -
6.2. Сечење со ласер .....	- 107 -
6.3. Обликување со потопување.....	- 109 -
6.4. Обликување пена.....	- 110 -
6.5. Изработка на прототипови со прецизно леење и глодање.....	- 111 -
6.6. Вбризгање со вметок и одгоре .....	- 112 -
6.7. Стереолитографија (SLA) .....	- 114 -

ГЛАВА 7.....	- 117 -
Пресвлеку кај пластиката .....	- 117 -
7.1. Боење и пресвлекување.....	- 117 -
7.2. Боење .....	- 117 -
7.3. Подготовка на површините за боење.....	- 117 -
7.4. Нанесување боја.....	- 119 -
7.5. Тестирање атхезија .....	- 120 -
7.6. Видови боја .....	- 120 -
7.7. Метализација.....	- 121 -
7.8. Вакуум-метализација .....	- 122 -
7.9. Обложување без електрична струја .....	- 123 -
7.10. Прскање со спреј со пламеник .....	- 124 -
7.11. Налепници .....	- 126 -
7.12. Лепење налепници со топлина .....	- 126 -
7.13. Декорирање со филм во калап.....	- 127 -
7.14. Натповршинско декорирање .....	- 129 -
7.15. Воден трансфер.....	- 130 -
7.16. Ласерско печатење .....	- 131 -
7.17. Полирање со пареа .....	- 132 -
7.18. Чистење на површините .....	- 132 -
ГЛАВА 8.....	- 134 -
Конструктивно обликување делови од пластика .....	- 134 -
8.1. Конструктивни карактеристики.....	- 134 -
8.2. Дебелина на сидовите.....	- 135 -
8.3. Жлебови.....	- 138 -
8.4. Ребра .....	- 138 -
8.5. Потпорни ребра .....	- 140 -
8.6. Длабоки отвори.....	- 141 -
8.7. Испакнати цилиндри .....	- 142 -
8.8. Закосеност .....	- 145 -
8.9. Отвори .....	- 147 -
8.10. Странични отвори.....	- 147 -
8.11. Јадра.....	- 149 -
8.12. Надворешен изглед.....	- 149 -
8.13. Прецизност .....	- 150 -
8.14. Текстури и натписи .....	- 153 -
8.15. Метални влошки .....	- 153 -
ГЛАВА 9.....	- 154 -
Елементи за врска кај пластиката .....	- 154 -
9.1. Механички врски кај деловите од пластика.....	- 154 -
9.2. Споevi со завртки.....	- 154 -
9.2.1. Самонарезни завртки.....	- 154 -
9.2.2. Влошки со внатрешен навој .....	- 156 -
9.2.3. Спој со завртка и навртка .....	- 157 -
9.2.4. Интегрален навој .....	- 158 -
9.2.5. Изработка на внатрешен навој во калап.....	- 159 -
9.3. Споevi со заковки .....	- 160 -

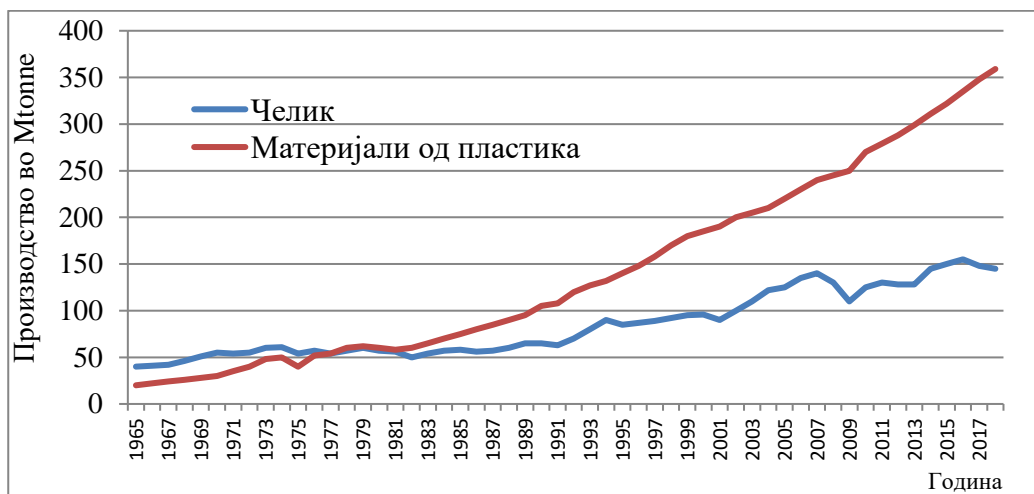
9.4. Пресувани споеви .....	160 -
9.5. Спој со кукички .....	161 -
9.6. Споеви со ускокнување.....	161 -
9.6.1. Спој кука-гнездо .....	162 -
9.6.2. Цилиндричен спој со ускокнување .....	167 -
9.7. Интегрална шарка.....	168 -
ГЛАВА 10.....	171 -
Заварување делови од пластика .....	171 -
10.1. Заварување и лепење делови од пластика.....	171 -
10.2. Заварување со ултразвук.....	173 -
10.2.1. Дизајн на челен спој .....	176 -
10.2.2. Дизајн на спој со сечење .....	177 -
10.2.3. Прицврстување со ултразвук.....	178 -
10.3. Заварување со ротација.....	181 -
10.4. Заварување со вибрации .....	185 -
10.5. Заварување со врел алат.....	188 -
10.6. Електромагнетно заварување .....	192 -
10.7. Заварување со топол воздух .....	192 -
10.8. Заварување со ласер .....	194 -
ГЛАВА 11.....	197 -
Лепење делови од пластика .....	197 -
11.1. Лепење со хемикалии .....	197 -
ГЛАВА 12.....	204 -
Дизајн на производи од пластика, практични примери.....	204 -
12.1. Пример 1: Моделирање дел од пластика, калапна шуплина и анализа на делот со резултати добиени од симулирање на процесот на вбригување на пластиката .....	204 -
12.2. Пример 2: Моделирање пластично капаче, изработка на калапна шуплина и анализа на пластичниот дел.....	227 -
12.3. Пример 3: Моделирање дел со сложена форма, изработка на калапна шуплина и анализа на пластичниот дел .....	255 -
Користена литература .....	297 -

## Примена на пластиката

## 1.1. Вовед

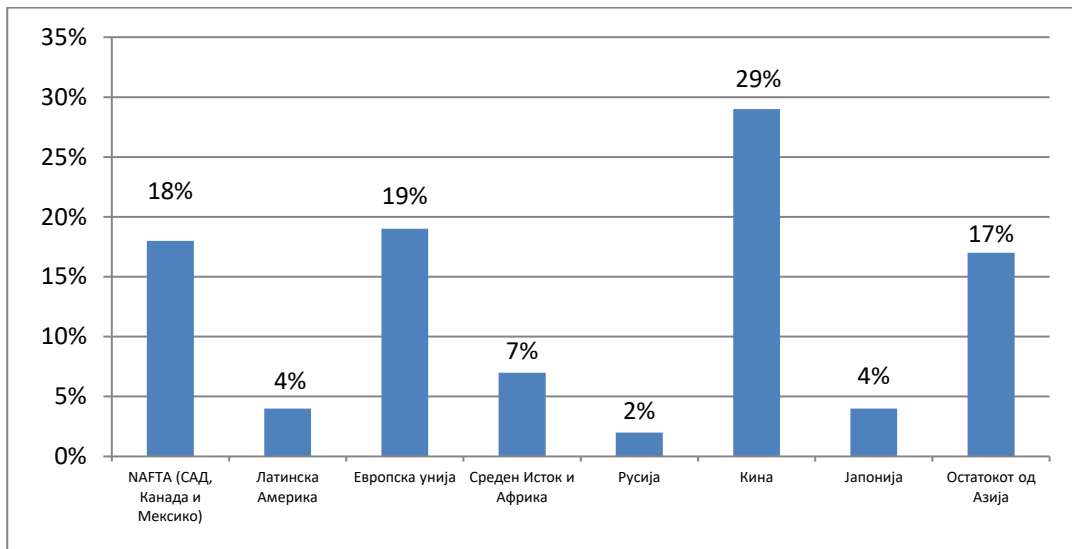
Производството на пластиката е клучната гранка во хемиската индустрија. Првата пластика е добиена по хемиски пат во 1855 година од страна на пронаоѓачот Александар Паркес. Пластиката добива голема популарност во Америка во периодот по Втората светска војна. Најголем пораст на примената на пластиката се јавува во периодот од 1950 до 1973 година и овој пораст е толкав што не може да се споредува со кој било друг сектор од хемиската индустрија. Некои од причините за порастот и наглиот развој на пластиката се: падот на цените на суровините и намалувањето на трошоците за производство, што пак се должи на зголемување на капацитетот на машините за производство и развојот на нови поефикасни технологии за производство и обработка на овие материјали, како и на нивните особини. Сепак, растот на индустријата за материјали од пластика во голем дел се должи на разновидноста на овие материјали (т.е., на нивниот широк спектар на поволни својства).

Во 1973 година, цената на суровата нафта, која е основна суровина за производство на полимерни материјали, за првпат драстично се зголемила. Тоа имало влијание врз цената и обемот на понатамошното производство на пластиката, иако само приближно 6 % од нафтата се користи за производство на пластика. Како што е прикажано на дијаграмот на слика 1.1, оваа нафтена криза којашто влијаела на сите индустриски гранки, исто така резултирала со намалување на производството на челик. Во периодот 1978 - 1979 година, кривата на производство на материјали од пластика ја надминала онаа на производство на челик.



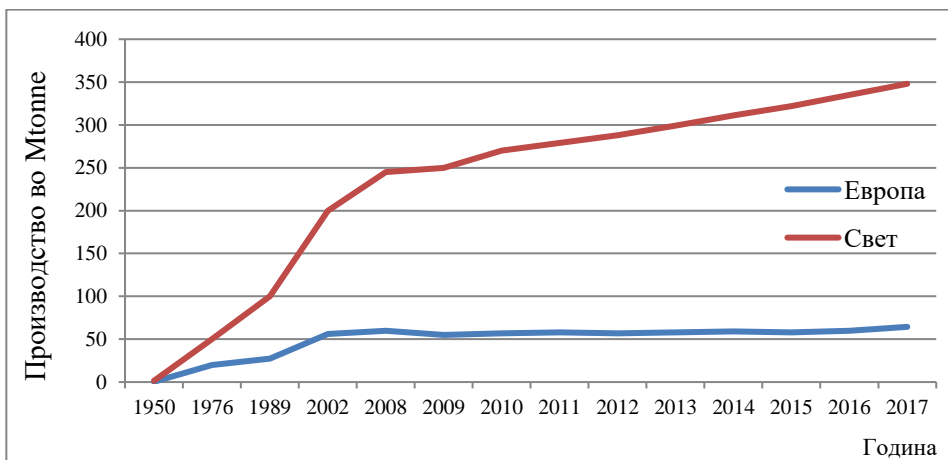
Слика 1.1 Производство на челик и синтетички материјали од пластика на Западот и од 1991 година во светот [1].

На сликата 1.2 е прикажана распределба на производството на пластика низ региони во светот за 2016 година, при што на светско ниво се произведени 280 милиони тони на пластика. Јасно се гледа дека Кина е најголемиот производител на пластика во светот со рекордни 29 % или 81,2 милиони тони на пластика, додека Рускиот Регион е најмал производител на пластика со вкупно учество од 2 % или 81,2 милиони тони пластика.



**Слика 1.2** Производство на материјали од пластика во светот за 2016 година [2].

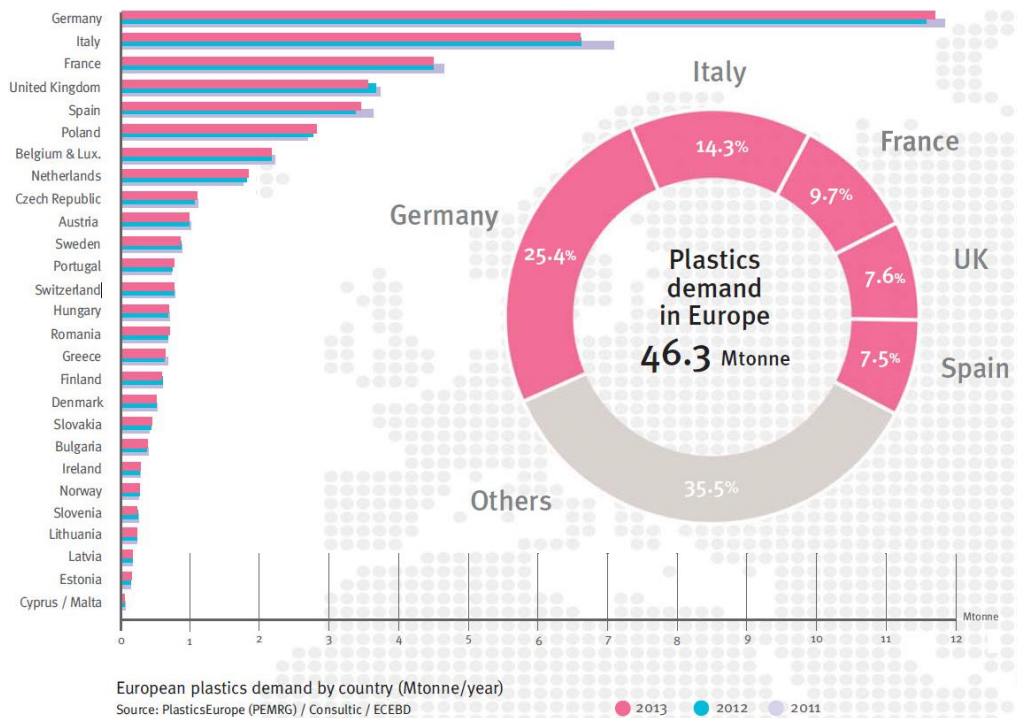
Производството на пластика во светот и во Европа за периодот 1950 - 2017 година е прикажано на слика 1.3. Со постојаниот раст, за 67 години, глобалното производство достигна 348 милиони тони во 2017 година [3]. Од 2002 година производството на пластика во Европа е на исто ниво поради воведување стандарди и директиви за третирање на електричниот и електронскиот отпад.



**Слика 1.3** Производство на материјали од пластика во светот и во Европа во периодот од 1950 до 2017 година, во милиони тони (Мtonne) [3].

Во Европа, производството на пластика се стабилизира во периодот од 2002 до 2017 година. Моменталното ниво на производство на пластични материјали е помеѓу 55 и 60 милиони тони.

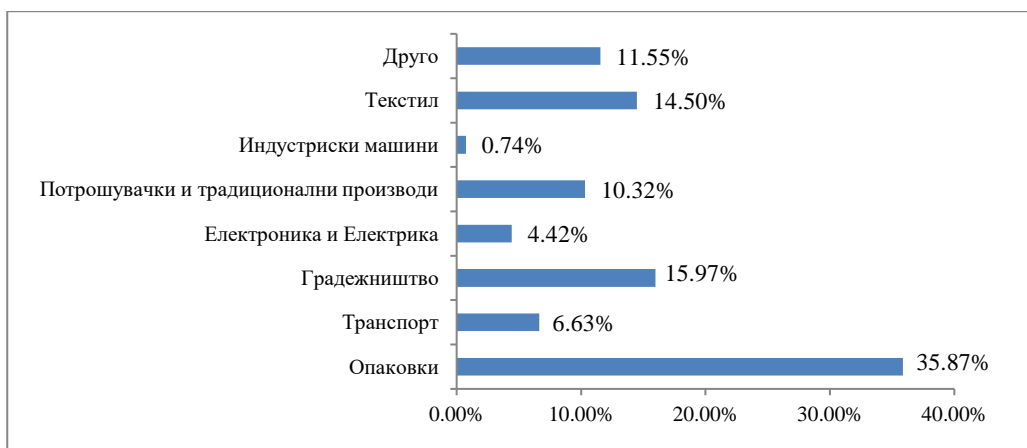
Побарувачката на пластика во Европа во милиони тони е дадена на слика 1.4, при што две третини од побарувачката е концентрирана во пет земји.



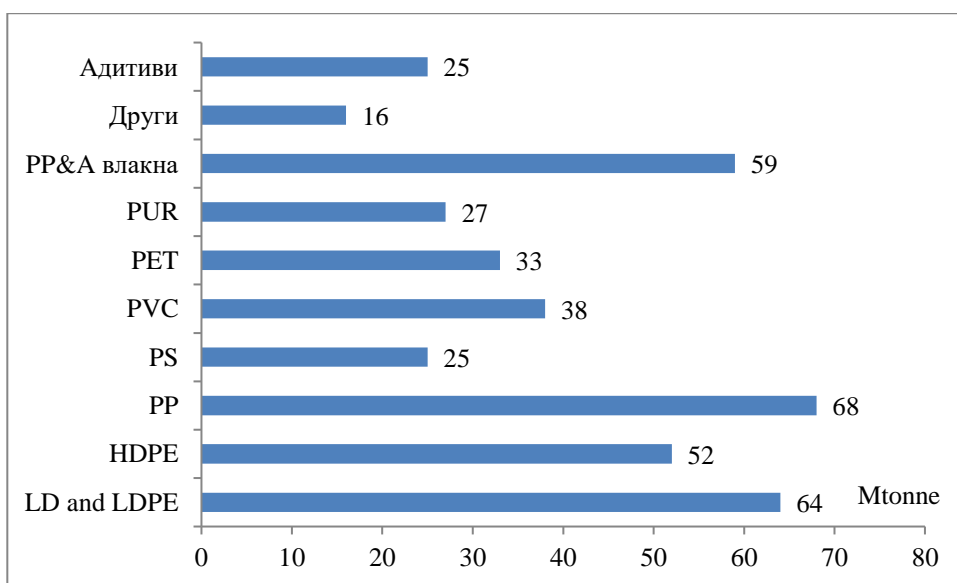
**Слика 1.4** Побарувачката на материјали од пластика во Европа по земји (милиони тони/година) [2].

Најголемата примена на материјалите од пластика во светот се во секторот опаковки и претставува 35,87 % од вкупната побарувачка на пластиката. Секторот градежништвото е втората најголема гранка која има побарувачка од 15,97 % од вкупната побарувачка на пластиката во светот. Текстилната индустрија е третиот сектор со 14,5 % од вкупната побарувачка. Електричните и електронските апарати претставуваат 4,42 % од побарувачката на пластика во светот и се многу блиску со секторот за транспорт кој има побарувачка од 6,63 %. Другите сектори учествуваат со 11,55 % од побарувачката на пластика во светот. На слика 1.5 е претставена побарувачката на пластика во светот по сектори за 2015 година.

Различна пластика се употребува за различни потреби. На слика 1.6 е прикажана побарувачката на пластика во светот во согласност со типот за 2015 година.



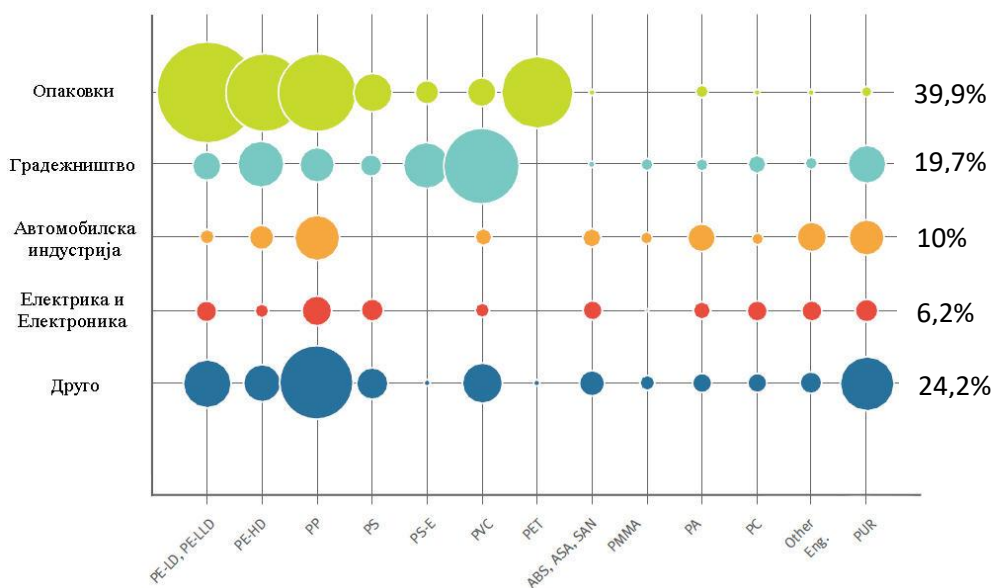
**Слика 1.5** Побарувачката на пластика во Европа по сектори за 2015 година [4].



**Слика 1.6** Побарувачката на пластика во светот по тип за 2015 година [4].

Опаковките, градежништвото и автомобилската индустрија трите најголеми побарувачки на пластика. На слика 1.7 е прикажана побарувачката на пластика во Европа за 2016 година по сегмент и тип на пластика.





**Слика 1.7** Побарувачката на пластика во Европа по сегмент и тип на пластика за 2016 година [2].

Во последните пет декади материјалите од пластика беа клучниот елемент во овозможување на развојот на иновациите и имаат голем придонес во прогресот на општеството.

Индустијата за пластика во Европската Унија вклучува производители на суровински материјали од пластика, преработувачи на пластика и производители на машини за пластика во сите членки од Европската Унија. Индустијата за пластика во Европската Унија директно овозможува работа за преку 1,45 милиони работници, работа на повеќе од 60.000 компании, при што повеќето од нив се мали и средни претпријатија и има голем промет (пример: над 320 билиони евра во 2013 година). Индустијата за пластика во ЕУ е помеѓу петте најиновативни сектори во Унијата и 1 од 25 патенти кои се поднесени во Европската патентна организација во периодот помеѓу 2003 и 2012 се во секторот за пластика. Во 2012 година се рециклирани повеќе од 6,6 милиони тони пластика.

Пластиката е извор на работа, раст, иновации и одржливост. Растот на индустијата за пластика има повеќекратни ефекти на бројни и важни сектори во европската економија. Индустијата за пластика е клучниот фактор во иновациите на многу производи и технологии во други сектори на економијата како што се: здравствената заштита, генерирањето на енергија, авионската, автомобилската и бродоградбената индустрија, градежништвото, електрониката, пакувањето и текстилот. Ниеден од овие сектори не би можел да биде развиен на денешно ниво без учество на материјалите од пластика.

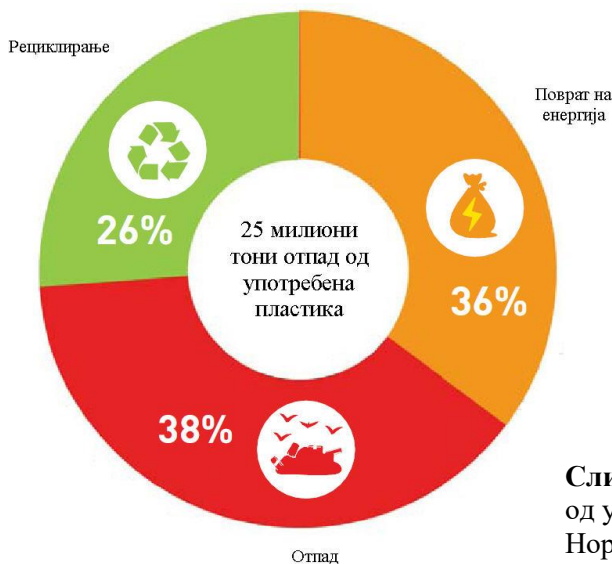
Иновациите и растот во ЕУ зависат особено од индустијата за пластика. Една студија направена во 2013 година од италијански истражувачи посочила кон повеќекратни ефекти на индустијата за пластика, односно дека:

- тоа е еден од секторите кои даваат најголем придонес во производството во ЕУ,
- 10 % зголемување на вкупната додадена вредност во секторот за пластика во ЕУ би можело да доведе до 4,4 % зголемување на додадената вредност во целокупниот производствен сектор во ЕУ.

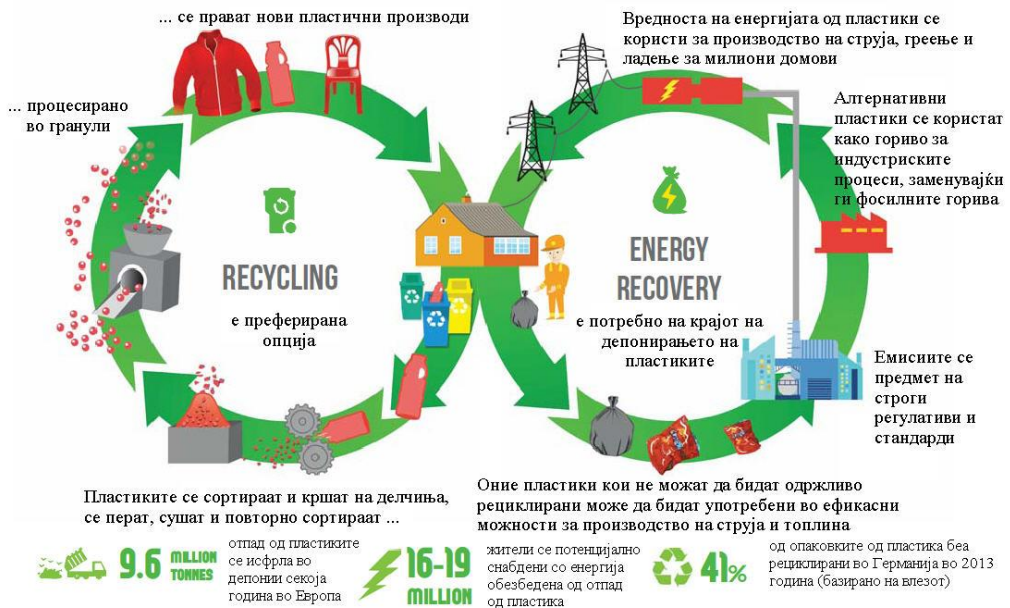
На национално ниво, за Италија:

- за секое работно место креирано во секторот за пластика, се креираат 3 работни места во пошироката економија,
- 100 € зголемување на БДП во националниот синџир за пластика генерира 238 € во БДП во националната економија.

Покрај тоа, уникатните карактеристики на пластиката дозволуваат да се направи силен придонес кон одржливоста на животната средина и ефикасното искористување на ресурсите во Европа. Лесните, разновидни и издржливи видови пластика придонесуваат за заштедување на енергијата и други заштеди во стратешките сектори како што се: здравството, градежништвото, автомобилската индустрија или обновливите енергии. Покрај тоа, значителен напредок е направен во подобрувањето на еколошките перформанси на пластиката и процесите за производство, како и во фазите на крај од животниот век на производите, со цел да се придонесе кон одржливоста на европската индустрија и општество. Во 2012 година, 25,2 милиони тони од употребената пластика завршила како отпад. Во 2012 година 62 % од употребената пластика била реупотребена благодарение на процесот на рециклирање и процесите на поврат на енергија, додека 38 % завршила на отпад. На сликата 1.8 е прикажан третманот на отпадот од употребената пластика во ЕУ, Норвешка, и Швајцарија заедно, и на слика 1.9 е прикажан отпадот од пластика како ресурс.



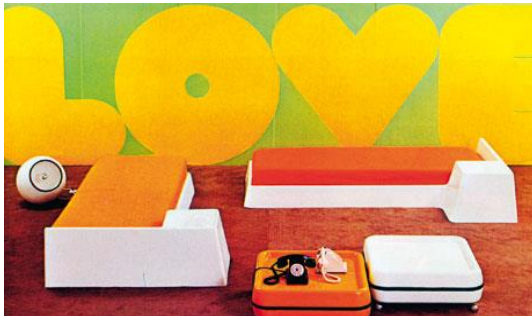
**Слика 1.8** Третман на отпадот од употребена пластика во ЕУ, Норвешка и Швајцарија заедно во 2012 година [2].



Слика 1.9 Отпадот од пластика како ресурс [2].

## 1.2. Примери на примена на пластиката

Пластиката е популарен материјал во дизајнот и се применува во различните дизајнерски стилови од производи за мебел, автомобилски делови, електрични апарати, итн. Футуристичкиот стил (слики 1.10 до 1.12) ја применува пластиката на најразлични начини: во ентериерите, мебелот, покуќнината, облеката, итн.



Слика 1.10 Дизајн на мебел од пластика  
<https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2010/oct/16/postwar-french-furniture-design>



Слика 1.11 Дизајн на удобно столче со пластична конструкција  
<http://www.microeggs.com/>



**Слика 1.12** Дизајн на мебел од пластика  
<http://interiordesigntips2009.blogspot.mk/2011/08/retro-70s-interior-design.html>

Пластиката како материјал нуди низа предности во дизајнот на производите, како:

- широк спектар на бои на материјалот, како и интензитет на боите,
- транспарентност и пропустливост на светлина (види слика 1.13),
- површината може да биде од мат до сјајна (види слика 1.14 и 1.15),
- широк спектар на механички особини, од флексибилност до цврстина (види слика 1.16),
- едноставна за изработка во најразлични сложени форми (види слика 1.15 и 1.16),
- мала тежина.



**Слика 1.13** Дизајн на детски очила  
<https://www.aliexpress.com/item/Hot-Candy-Color-Fashion-Korea-Womens-Mens-Sport-Sunglasses-Eyewear-Eyeglasses-Brand-Designer-Goggles-2015-Freeshipping/32324474190.html?spm=2114.40010208.4.134.dzCJIT>



**Слика 1.14** Дизајн на масичка и столче за деца  
<https://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/B00025EIQK/gemotrack1-20/ref=nosim>



**Слика 1.15** Дизајн на футуристичка столица  
 - 1 <http://plasticinjectionmouldingdesign.blogspot.mk/2010/12/plastic-design.html>



**Слика 1.16** Дизајн на женски чевел  
<http://fashionablybroke.com/2010/06/jean-paul-gaultier-goes-eco-chic-with-melissa/>

Области на примена на пластиките се (види слика 1.17 - 1.21):

- **опаковки:** кеси, шишиња, пени,
- **текстил:** облека, теписи, синтетички влакна, трикотажа, латекс,
- **компјутери,** електронски апарати,
- **трговија,** транспорт на стоки.



Слика 1.17 Пластично шише  
<http://www.tradekey.com/company/Partnerplus-packaging-international-Co-Ltd-1823232.html>



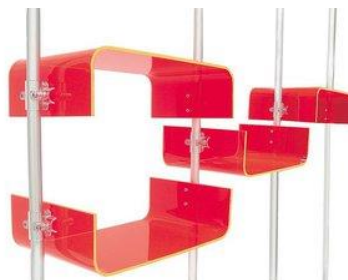
Слика 1.18 Опаковка за далечинско  
[http://www.remotecentral.com/reviews/elite\\_screens\\_zr800d/photo09.htm](http://www.remotecentral.com/reviews/elite_screens_zr800d/photo09.htm)



Слика 1.19 Опаковки за играчки  
<http://www.giftpaperbox.com/sale-6122386-color-printing-transparent-packaging-boxes-plastic-box-for-dolls-toys-christmas-gift.html>



Слика 1.20 Пренослива кујна-лаптоп  
Дизајнер: Драган Тренчевски  
<http://dornob.com/laptop-kitchen-portable-notebook-computer-that-cooks-food>



Слика 1.21 Дизајн на полици од пластика  
<http://www.archiexpo.com/prod/paxton/original-design-plastic-bookcases-58536-161328.html>

- **градежништво:** изградба на згради (цевки, прозорци, подови, изолации, бои, облоги) (види слика 1.22 - 1.27),
- **дом:** мебел и уреди за домаќинство (телефони, витрини, микробранови печки, делови од домашни апарати, внатрешност на фрижидери) (види слика 1.22 - 1.27),
- **канцеларии:** папки, регистри, полици, принтери, фотокопири, пенкала...





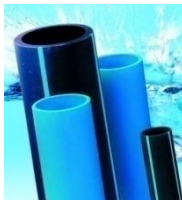
**Слика 1.22** Green Street Cooking Tools Изработено од рециклирана пластика од шишиња  
 Дизајнер: Diane Pham  
<http://inhabitat.com/green-street-cooking-tools-made-from-recycled-plastic-bottles/>



**Слика 1.23** Столче од дизајнерот Herman Miller  
<http://theofficemaster.com/office-furniture/herman-miller-embody-desk-chair/>



**Слика 1.24** Електричен бокал



**Слика 1.25** Пластични цевки и шлем како материјали за во градежништвото



**Слика 1.26** Маса со ногарки од човечки нозе  
 Дизајнер: Samal design (Франција)  
<http://www.designspotter.com/product/2009/06/Human-table.html>



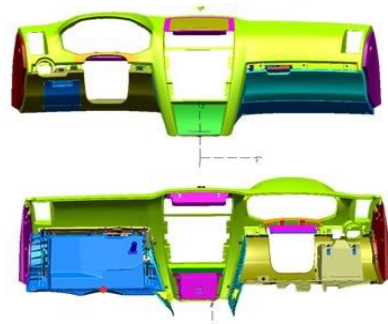
**Слика 1.27** Дизајн на пластично столче  
<http://www.beinteriordecorator.com/interior-juicy-hued-plastic-chairs-from-kartell-a-colorful-transformation/>

#### Пластика и композити во возилата:

- **надворешност:** браници, подвижни кровови, спојлери, светла, декорација на тркалата (види слика 1.28)
- **внатрешност:** панел со инструменти, облоги за врати, средишна конзола, седишта, сигурносни појаси (види слика 1.29)
- **мотор:** капи за вентили, резервоар и уреди за дотур на гориво.



Слика 1.28 Надворешност на возило  
<http://www.bmwblog.com/2011/09/01/bmw-develops-laser-light-for-the-car/>



Слика 1.29 Внатрешност на возило  
<https://www.pinterest.com/pin/479914904019077385/>

Примена на пластика и композити во опремата за спорт и рекреација:

- **спортови на снег:** скии, штици за снег, возила за снег, кациги, очила (види слика 1.34),
- **спортови на вода:** скии за на вода, чамци, опрема за риболов (види слика 1.33),
- **спортови на земја:** тенис, ролерки, спортски обувки, јажиња, кациги за велосипедисти (види слика 1.30-1.32).



Слика 1.30 Кацига за мотоциклести (AGV T-2 Barry Sheene Replica Full Face Motorcycle Helmet)



Слика 1.31 Тенисерски рекет (Fisher M Motion 112 Tennis Racket)



Слика 1.32 Очила за сонце



Слика 1.33 Мотор на вода



Слика 1.34 Сноуборд

Примена на пластика во медицината за:

- импланти (види слика 1.37),
- дотур на лекови (види слика 1.35 и 1.36),
- инструменти (види слика 1.38),
- шишиња, кеси, кутии (види слика 1.35).

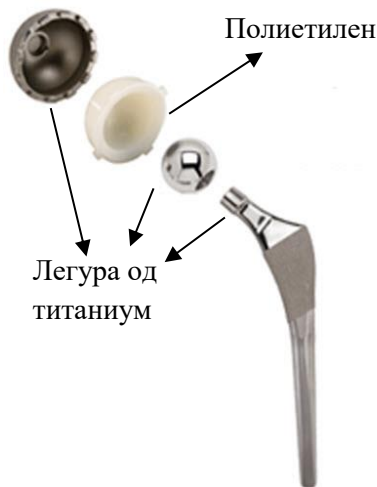


Слика 1.35 Пластика во медицината  
<http://www.pleasantengineering.com/medical.html>



Слика 1.36 Шприцеви од пластика <http://www.sino-moldtooling.com/products/medical%20equipment%20products/Custom%20Medical%20Plastic%20Syringe.html>





Слика 1.37 Импланти од пластика  
<http://www.surreyorthopaedicclinic.com/procedures/hip/>



Слика 1.38 Мерач на шеќер во крвта  
<http://www.boomers-with-elderly-parents.com/diabetes-supplies-medicare.html>

### 1.3 Пластиката и индустрискиот дизајн

Индустриските дизајнери ја користат пластиката од повеќе причини (види слика 1.39 – 1.48):

- пластиката овозможува многу поголема слобода на формата за разлика од другите материјали,
- производството на деловите во поголеми серии е побрзо, значително поевтино, со поуниформни карактеристики и со повеќе детали,
- пластиката е материјал што во целина лесно се бои, така што и при абење и подолга употреба, не се познаваат гребаници,
- ефективност на боењето е скоро неограничена: провидна, полупровидна, пропустлива за светлина, флуоресцентна, имитација на други материјали и др.,
- пластиката може површински да се декорира,
- текстуриите се прават со релјефна обработка на калапот или валање,
- декорациите може да се отпечатаат со компатибилна пластика или да се залепат како компатибилна етикета или да се внесат претходно во калапот,
- при моделирање на дел од пластика, производот може да се изработи по мерка на човекот, односно може да се примени детална ергономија,
- пластиката е лесен материјал што овозможува производите да бидат лесни и прикладни на човековите физички способности,
- пластиката е материјал кој е топол и пријатен на допир, итн.



**Слика 1.39** Карим Рашид - ентериери  
<http://www.home-designing.com/2010/08/karim-rashid-apartment-interiors>



**Слика 1.40** Лево завиена коцка  
 Дизајнирани од Frank Gehry за Heller  
<http://www.dwr.com/product/frank-gehry-left-twist-cube.do?sortBy=ourPicks>



**Слика 1.41** Персонализирани кујни од Logoscoop  
<http://www.home-designing.com/2011/04/personalized-kitchens-from-logoscoop>



**Слика 1.42** Нов модуларен дизајн на пластични полици за чевли  
[http://www.quicksales.com.au/buy/auction\\_arc.aspx?itemid=9406747](http://www.quicksales.com.au/buy/auction_arc.aspx?itemid=9406747)



**Слика 1.43** Jewel Lords  
[http://www.collectiondx.com/toy\\_review/1986/flamestone](http://www.collectiondx.com/toy_review/1986/flamestone)



**Слика 1.44** Масичка за кафе Royal  
 Дизајнер: Luciano Santelli  
<http://blog.2modern.com/2009/12/07>



**Слика 1.45** Текстура  
<http://www.uniquetextures.com/00998.htm>



**Слика 1.46** Мебел од винил пластика  
<http://www.feniture.com/vinyl-furniture-for-wall-stiker-by-domestik/>



**Слика 1.47** Декорирана корпа за алишта  
<http://www.stacksandstacks.com/blumz-x3-nesting-basket-grass-medium?id=815&sku=17599&AID=10273848&PID=3743372>

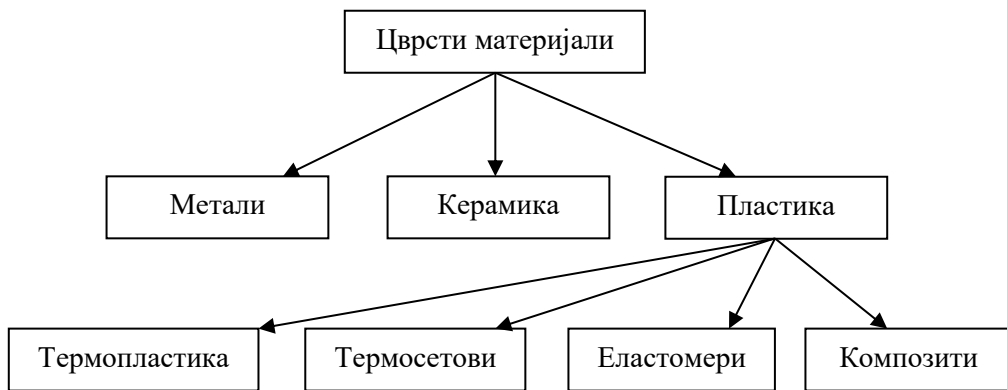


**Слика 1.48** Различни производи од пластика со уникатни форми

### 2.1. Поделба на пластиката

Пластиката има помала јакост во однос на повеќето метали, но има **многу голема деформација во еластичното подрачје**. На грчки јазик „пластикос“ значи „она што го менува обликот, што се обликува“.

Во основа, цврстите индустриски материјали се делат на метали, керамика и пластика. Пластиката може да се подели на: термопластика, термосетови, еластомери и композити. На слика 2.1 е прикажана поделбата на цврстите материјали и пластиката.

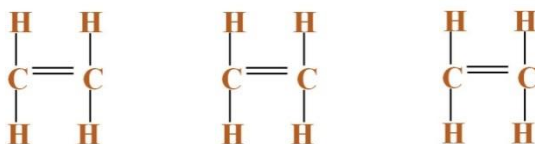


Слика 2.1 Поделбата на цврстите материјали и пластиката

### 2.2. Хемиска структура на пластиката

Материјалите од пластика во денешно време се произведуваат исклучиво синтетички од органски соединенија (мономери) со помош на различни процеси, како што се полимеризација, поликондензација и полиадитирање. Мономерите се поврзуваат меѓу себе и заедно формираат макромолекули, што претставува карактеристична особина на микроструктурата на пластиката. Хемискиот состав, структурата и морфологијата се параметри кои се поврзани со макроскопските особини на овие материјали.

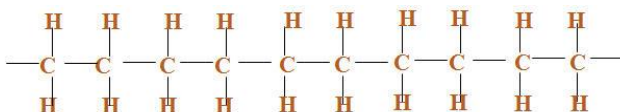
Пластиката е изградена од „многу“ (поли) „градбени единки“ (мери). На слика 2.2 е прикажана хемиската равенка на молекула од етилен со хемиска формула  $C_2H_4$ .



Слика 2.2 Молекули на етилен со хемиска формула  $C_2H_4$ .

Долгите молекули на полиетиленот се добиваат со поврзување на атомите на етиленот во долга низа по пат на **полимеризација**. Основата на структурата на макромолекулата може да биде илустрирана како линеарна која се добива под специфични услови на полимеризација (види на слика 2.3).

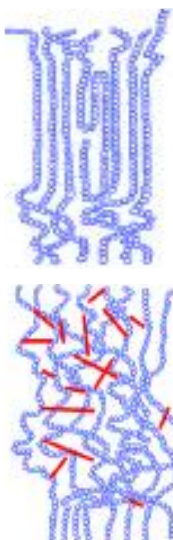
Полиетилен, формула -  $[C_2H_4]_n$  - се добива со распаѓање на двојните врски на етиленот и поврзување на молекулите во верига.



Слика 2.3 Полиетилен, формула -  $[C_2H_4]_n$

Пластиката се добива од деривати на нафта, а може да се создаде и синтетички. Полимерите се органски соединенија, јаглеводороди кои се состојат од **јаглерод** и **водород**. Некои видови пластика содржат и кислород, азот, силициум, флуор, хлор и сулфур.

Според видот на хемиските врски, пластиката се дели на термопластика и термосетови.



**Термопластиката** се состои од мноштво поединечни молекуларни низи кои имаат линеарна структура.

Помеѓу поединечните молекули нема хемиски врски.

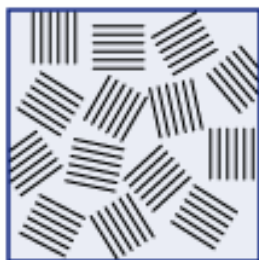
**Термосетовите** имаат исто така долги молекули, но тие се меѓусобно хемиски поврзани со напречни врски и формираат еден вид мрежа.



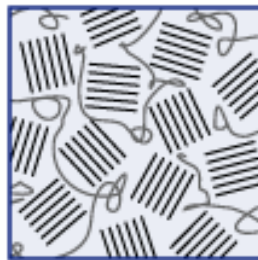
**кристални полимери** (види слика 2.4а). Кристалните полимери се препознаваат по тоа што при загревање нагло преминуваат од цврста во течна состојба на нивната температура на топење. Карактеристики на кристалните полимери се изразено собирање, висока отпорност на хемикалии, поголема тенденција кон свиткување, прецизна точка на топење и брз циклус на обработка. Примери на кристални полимери се: ацетал, полиамид (најлон) - РА, полиетилен - РЕ, полипропилен - РР и полибутилен - РВ.

Често се среќаваат **полукристалните полимери** (види слика 2.4б), како на пример, полиетиленот - РЕ. При процесот на кристализација не може да се добие целосно кристална структура. Карактеристично за полукристалните полимери е дека нагло преминуваат од цврста во течна агрегатна состојба на точно дефинирана температура (види слика 2.5б).

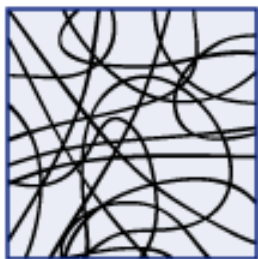
Кај **аморфните полимери** молекулите се хаотично поставени (види слика 2.4в). Карактеристиките на овие видови пластика директно зависат од флексибилноста на молекулите. Овие видови пластика постепено преминуваат од цврста во течна состојба при зголемувањето на температурата (види слика 2.5а). Карактеристики на аморфната пластика се: мало собирање, послаба отпорност на хемикалии, физичка стабилност, поголема флексибилност, поголема јачина на удар, поспоро ладење и постепено омекнување. Примери на аморфни полимери се: акрилонитрил-бутадиен-стирен, поливинил хлорид, поликарбонат, полистирен.



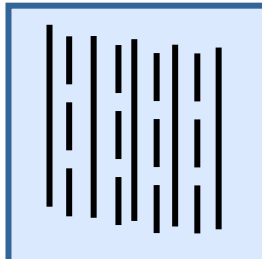
а) Кристални



б) Полукристални



в) Аморфни

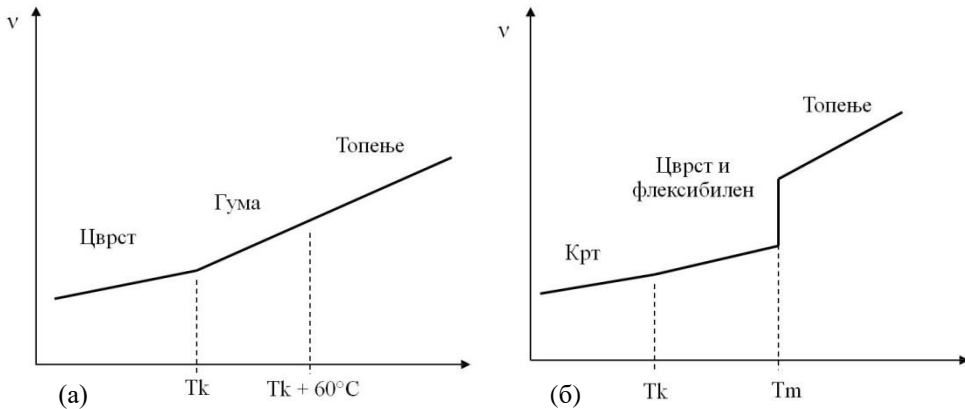


г) Течен кристал

**Слика 2.4** Молекуларна структура на пластиката

**Течните кристали** се посебна класа на кристални полимери кај кои молекулите се цврсти и стапчести и се организирани во паралелни редови и во

течна и во цврста состојба (види слика 2.4г). Течните кристали имаат карактеристики и на кристалните и на аморфните полимери.



$T_k$  – температура на кристализација,  $T_m$  – температура на топење,  $v$  - вискозност

**Слика 2.5** Премин на пластиката од цврста во течна агрегатна состојба при зголемување на температурата (а) за аморфни и (б) за полукристална термопластика

Во табела 2.1 се групирани некои видови пластика во зависност од структурата.

Кристални	Аморфни	Полукристални
LCP (Liquid Crystal Polymer) Течен кристален полимер	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) Акрилонитрил/бутадиен/стирен	HDPE (High Density Polyethylene) Полиетилен, висока густина
PA (Polyamide - nylon) Полиамид - најлон	ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) Акрилонитрил/Стирен/Акрилат	LDPE (Low Density Polyethylene) Полиетилен, ниска густина
PB (Polybutylene Terephthalate) Полибутан	GPPS (General Purpose Polystyrene) Полистирен за општа намена	PE (Polyethylene) Полиетилен
PEEK (Polyether Ether Ketone) Полиетер етер кетон	HIPS (High Impact Polystyrene) Полистирен со големо влијание	PP (Polypropylene) Полипропилен
PET (Polyethylene Terephthalate) Полиетилен терефталат	PC (Polycarbonate) Поликарбонат	
POM (Polyacetal) Поиацетал	PPE (Polyphenylene Ether) Полифенилен етер	
PPS (Polyethylene Sulfide) Полиетилен сулфид	PVC (Polyvinyl Chloride) Поливинил хлорид	
	SAN (Styrene Acrylonitrile) Стирен Акрилонитрил	
	TPU (Thermoplastic Polyurethane) Термопластичен полиуретан	

**Табела 2.1** Видови пластика според структурата

## 2.5. Полуфабрикати на пластиката

Постојат околу 50 основни видови на пластика од кои понатаму се изработуваат над 30000 различни видови на пластика и други материјали.

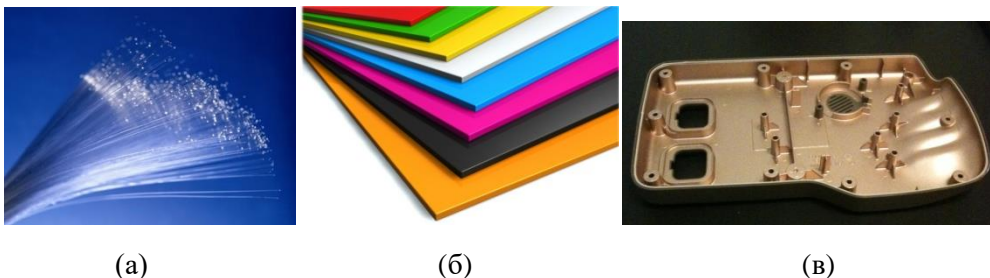


Основната форма во која се изработува пластиката е во гранули со различни геометриски форми и бои (види слика 2.6).



Слика 2.6 Гранули од пластика

Пластиката може да биде **многу отпорна на различни хемикалии** и може да биде **одличен термички и електричен изолатор**. Пластиката е многу **лесен материјал**. Пластиката може да се преработи во: тенки влакна, листови, плочи, цевки, делови со многу сложен облик, делови со големи димензии и друго (види слика 2.7).



(a)

(б)

(в)

Слика 2.7 Полуфабрикати во вид на: (а) тенки влакна, (б) листови, плочи и (в) готов дел

## 2.6. Додатоци на пластиката

Сите видови пластика содржат додатоци кои се додаваат за да се зголеми опсегот на примената и да се подобрат физичките својства.

Примери на додатоци се:

- **Пополнувачи** - ја намалуваат цената и ја зголемуваат цврстината,
- **Пластификатори** - ја зголемуваат флексибилноста,
- **Пигменти** - го бојат полимерот,
- **Стабилизатори и антиоксиданси** - овозможуваат да се спречи разградувањето под дејство на топлина, ултравиолетови зраци и оксидација,
- **Успорувачи на палење** – го успоруваат горењето на пластиката.

## 2.7. Пополнувачи на пластиката

Пополнувачите ги менуваат физичките својства на пластиката без позначајно менување на механичките својства. Примери на материјали кои се користат како пополнувачи се: лискун, стаклени перли, силициум и калциум карбонат. Во табела 2.2 се дадени типични пополнувачи на пластиката и нивниот придонес.

Придонес на пополнувачот	Пример на пополнувач
Пониска цена	Талк
Еластичност	Лискун
Висока температура на свиткување	Калциум силикат (песок)
Јачина на кинење	Каолин
Отпорност на влага/хемикалии	Диатимит (вид фина земја)
Голема густина	Кристален силициум
Мала густина	Издвоен силициум
Успорување на горење	Алуминиум трихидрат
Мала пропустливост на течности/гасови	Калциум сулфат дихидрат
Отпорност на абеење	Калциум карбонат
Униформност на површината	Барит (бариум сулфат)
Голема вискозност при топење	Стаклени топчиња
Мала вискозност при топење	Шупливи стаклени топчиња
Тврдост	Метали
Сјај	Органски влакна
Електрична изолација	Молибден дисулфид
Електрична спроводливост	Јаглен
Термичка спроводливост	Нефелин
Пропустливост на светлина	Фелдспар
Термичка стабилност	Хлорит
Униформни пори	Антимон оксид

**Табела 2.2** Типични пополнувачи на пластиката

## 2.8. Армирање на пластиката

Арматурните влакна значително ги зголемуваат механичките карактеристики на полимерите (обично 2 до 3 пати). Типични арматури за пластиката се: стаклени влакна, јаглородни влакна и араמיד влакна.

Стаклените влакна се тенки нишки со дијаметар (0.002 до 0.02 мм). Овие влакна обично уште при изработката се прекриваат со фолија од полимер. Јачината на кинење на стаклените влакна е помеѓу 3000 и 5000 МПа. Арматурите се изработуваат како континуиран конец, таласеста коса, волнести и сечкани. Континуираните конци најмногу се користат при изработката на плочи. Дробените влакна се применуваат за армирање полимери кои се обликуваат со вбризување во калап под притисок, и при леење под притисок.

## 2.9. Означување на пластиката

Материјалот од пластика се означува според ISO 1043, доколку делот е потежок од 25 грама. Ознаката се состои од кратенка на името на пластиката, како на пример >ABS<. За пластиката со успорувачи на горење се означува и видот на успорувачот, како на пример >FR40<.

Кратенката сугерира на почетните букви од целокупното име на пластиката. Во табела 2.3 се дадени некои од најчесто користените кратенки на пластиката. Пластичните шишиња, други садови и кеси се означуваат со триаголник за полесно сортирање. Во табела 2.4 е дадено означување на пластичните шишиња со помош на триаголник, името на пластиката и нејзината можна примена.

Кратенка	Цело име на пластиката
ABS	Акрилонитрил/бутадиен/стирен
EP	Епоксид
EC	Етил целулоза
PA6	6 Полиамид (Најлон 6)
PA11	11 Полиамид (Најлон 11)
PB	Полибутан-1
PC	Поликарбонат
PET	Полиетилен терефталат
UP	Полиестер, термосет (незаситен)
PE	Полиетилен
LDPE	Полиетилен, ниска густина
HDPE	Полиетилен, висока густина
UHMWPE	Полиетилен, ултра висока молекуларна густина
PP	Полипропилен
PS	Полистирен
PTFE	Политетрафлуоретилен
PU	Полиуретан, термосет (незаситен)
PVAC	Поли (винил ацетат)
SI	Силикон
TPU	Полиуретан (термопластичен еластомер)

Табела 2.3 Означување на пластиката

Ознака	Име на пластиката	Примена
	Полиетилен терефталат	Полиестерски влакна, термоформабилни фолии, шишиња за безалкохолни пијалаци, пластични торби, мебел, теписи, итн.
	Полиетилен, висока густина	Шишиња, торби, бокали за млеко, канти за рециклирање, земјоделски цевки, играчки, итн.
	Поливинилхлорид или Винил Полиетилен, ниска густина	Цевки, туш-завеси, столци за на трева, шишиња (не за храна), детски играчки, итн.
	Полиетилен, ниска густина	Пластични кеси, разни садови, шишиња, цевки, различни делови од лабораториска опрема, итн.
	Полипропилен	Делови за автомобили, индустриски влакна, контејнери за храна, садови, итн.
	Полистирен	Канцелариска опрема, пепелници за кафетерија, пластичен прибор, играчки, производи од екструдирани полистирен, итн.
	Друга пластика	...

Табела 2.4 Систем за означување пластични контејнери

## Термопластика и термосетови

### 3.1. Термопластика

Термопластиката е пластика изградена од линеарни или разгранети макромолекули. Молекулите се држат меѓусебно само со меѓумолекуларни **Вандервалсови сили**. При загревање, меѓумолекуларните сили слабеат, така што молекулите слободно се движат меѓусебно. При ладење, меѓумолекуларните сили повторно се зголемуваат и полимерот се зацврстува. Термопластиката може повеќепати да се омекне со загревање и повторно да се зацврсти при ладење, без значителна промена на својствата. Термопластиката претставува 80 - 90 % од сета произведена пластика. Производството на деловите во поголеми серии е побрзо, значително поевтино и со поуниформни карактеристики. Вообичаено, термопластиката не може да се користи на температура многу поголема од 100°C зашто почнуваат да омекнуваат.

Термопластиката може да се **рециклира** затоа што може да се омекне и зацврсти повеќепати. Бројот на можни рециклирања зависи од видот на термопластиката.

Термопластиката може да се **бои со пигменти**. Нејзините **својства се менуваат со пополнувачи** со што се добиваат различни физички, визуелни и тактилни ефекти. **Чувствителноста** на термопластиката на УВ зраци **се намалува со УВ-стабилизатори**. **Запаливоста се намалува со додавање успорувачи на горење**.

Термопластиката при ладење се собира во калапот, што се намалува со додавање ребра и испакнати отвори. Собирањето се зголемува со зголемување на дебелината на сидовите, а се намалува со зголемување на притисокот при леење во калапот.

Најчесто кристални видови термопластика се: полиолефините (полиетилен, полипропилен), поливинил хлорид, полистирен, акрилицы и полиестери (полиетилен терефталат).

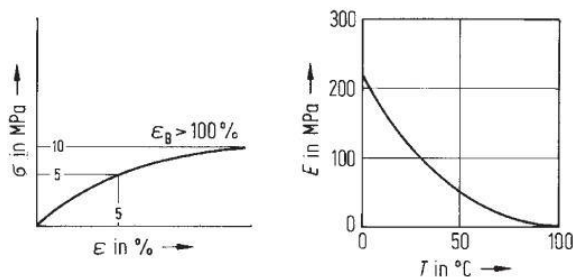
Најтранспарентни полимери се: акрилик, поликарбонат, полистирен и полиетилен терефталат.

Во продолжение ќе се претстават и образложат некои од најприменуваните видови пластика преку нивните физички, и други карактеристики, нивната примена, итн. Ќе бидат прикажани и бројни слики и дизајни за типични производи направени од соодветната термопластика. Исто така, прикажани се слики кои содржат дијаграм за напон - деформација, односно  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм, кои го опишуваат однесувањето на деформацијата за краткотрајно временско оптоварување направено при собна температура. На истите слики, прикажана е карактеристиката помеѓу модулот на еластичност и температурата  $T = f(T)$ , со што се опишува

ефектот на температурата врз однесувањето на деформацијата (види слики 3.1, 3.3, 3.12, 3.18, 3.23, 3.31, 3.38, 3.41, 3.44, 3.49).

### 3.1.1. Полиетилен со ниска густина (LDPE)

- Лесен (густина 0.91 - 0.925 g/cm<sup>3</sup>).
- Има широка примена.
- Се обликува со екструдирање и со инјекционо пресување.
- Микроструктурата е полукристална.
- Степен на кристализација 45 - 55 %.
- Молекуларната структура е разгранета.
- Отпорен на хемикалии.
- Висока точка на топење.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 100°C и за долготрајно оптоварување до 80°C.
- Провиден.
- Свитлив, не се тутка и има добра отпорност на концентрација на напони при кинење.
- Се користи за: ракавици за една употреба, опаковки кои се стиснуваат, црева за правосмукалки, други црева, шишиња, термофолија која се стиснува, кеси за ѓубре, облека и друго (слика 3.2).



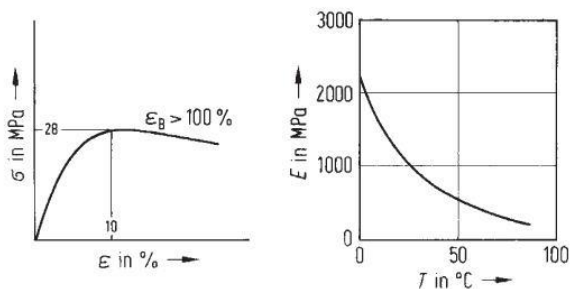
Слика 3.1  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



Слика 3.2 Примена на полиетиленот со ниска густина (LDPE)

### 3.1.2. Полиетилен со висока густина (HDPE)

- Лесен (густина 0.941 - 0.959 g/cm<sup>3</sup>) а јак.
- Има широка примена.
- Се обликува со екструдирање и со инјекционо пресување.
- Микроструктурата е полукристална.
- Степен на кристализација 70 - 80 %.
- Отпорен на хемикалии.
- Не апсорбира вода и е добра бариера.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 110°C и за долготрајно оптоварување до 90°C.
- Висока точка на топење.
- Отпорен на удар, отпорен на абење.
- Се користи за: торби за пазар, индустриски црева, резервоари за гориво, контејнери за транспорт, столчиња, табли и друго (слики 3.4-3.7).
- Може да биде и со многу висока густина (UHDPE).



Слика 3.3  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



Слика 3.4 Примена на полиетиленот со висока густина (HDPE)



**Слика 3.5 Wavy Chair**  
 Дизајнер: Ron Arad, 2007,  
 челични профили,  
 полиетилен, Изработена во  
 Италија од Moroso  
<http://hivemodern.com/>



**Слика 3.6 Dodo Rocking Bird**  
 Дизајнер: Oiva Toikka, 2009,  
 полиетилен обликуван со  
 ротационо леање, произведено во  
 Италија од Magis  
<http://www.dwell.com/>



**Слика 3.7 O-Nest armchair**  
 Дизајнер: Tord Boontje, 2006,  
 Ротационо леање полиетилен,  
 произведено во Италија од  
 Moroso <http://hivemodern.com/>

### 3.1.3. Полиетилен терефталат (PET)

- Просирен и јак.
- Не пропушта влага и гасови.
- Најмногу се користи за изработка на шишиња за безалкохолни пијалаци, кои се изработуваат во калап со дување (слика 3.8).
- Се произведува и во вид на листови (слика 3.8).
- Се користи и за изработка на ленти, леени делови, за кутии (слика 3.8).
- Низа нови материјали кои потекнуваат од искористени шишиња за безалкохолни пијалаци.
- PET е начесто рециклираната пластика која се сретнува и како rPET односно рециклиран PET.
- Рециклирани и исчистени гранули на rPET се користат за изработка на предиво за теписи и други ткаенини (3.9, 3.10, 3.11).



**Слика 3.8** Примена на полиетилен терефталат (PET)





**Слика 3.9** 111 Navy Chair, 2010, Секое столче е изработено од 111 шише кока-кола. Производител Emeco. <http://emecowithcoke.com/>



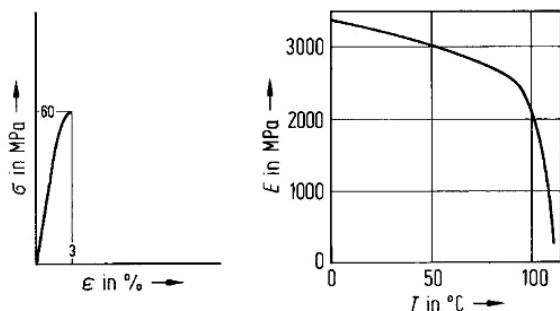
**Слика 3.10** MadTom Eco Messenger Bag, Материјалот за торбата потекнува од шишиња за вода Repreve® RPET. <http://www.ethicalcommunity.com/eco-shop/bags/madtom-eco-messenger-bag-12554>



**Слика 3.11** Poly Seating, 2007, Целата носечка конструкција, текстилот и лепакот на столчето се изработени од рециклиран PET. Производител Metro. <http://greensource.construction.com/products/0704-1.asp>

### 3.1.4. Полистирен (PS)

- Лесна обработка - достапен е во повеќе видови, кои се обликуваат со инјекционо пресување во капа и со дување во капа.
- Микроструктурата е аморфна.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 90°C и за долготрајно оптоварување до 60°C.
- Безбоен е, провиден и со одлични оптички карактеристики.
- Стандардниот полистирен е кршлив.
- Со додаток на еластомери, се зголемува неговата отпорност на удар.
- Кополимери се: SAN (полистирен-акрилонитрил - сличен на PS но термички поотпорен), SBS (кретон - кополимер на PS со бутадин - отпорен на удари), ABS (акрилонитрил бутадин стирен).
- Безбеден е за употреба за тацни и садови за храна.
- Неговата екстремна бистрина дава изглед како да светка, но е слаб и кршлив (пример: постари опаковки за CD -а).
- Има и полистирен кој е отпорен на удари и тој се користи за внатрешните облоги на фрижидерите и замрзнувачите.
- Експандираниот полистирен (EPS) се користи за чаши за топли пијалаци, тацни и за изолациона пена.
- Полистиренските пени се многу лесни и имаат ниска термичка спроводливост, па се користат за изолации.
- Примена на полистирен може да се види на сликите 3.13-3.17.



**Слика 3.12**  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



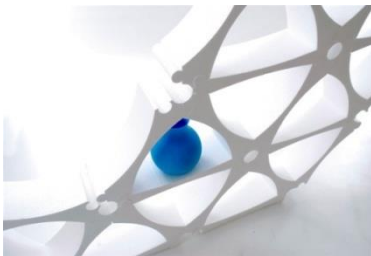
**Слика 3.13** Примена на полистирен (PS)



**Слика 3.14** Partyware Fiestaware,  
<http://www.onehundred.com/wholesale-logo-imprinted/p/partyware/index.htm>



**Слика 3.15** Wip Chair / NL-Lounge, 2006, е излеана во едно парче полистиренска пена.  
 Дизајнер Khodi Feiz.  
<http://www.seatingzine.com/search/foam+cube+chair>



**Слика 3.16** U\*Shelf , концепт полица,  
 Benjamin Peter Design  
<http://pod.puremodern.com/index.php/site/C5/P15/-bag-12554>

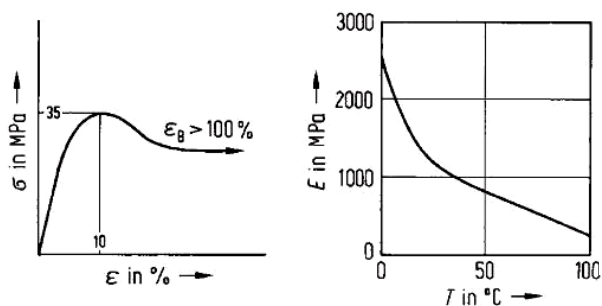


**Слика 3.17** Melted Collection, Дизајнери: Pieke Bergmans и Peter van der Jagt , 2008, сите елементи се изработени од син полистирен, а со дополнително печење и топење се формирани декоративни рабови.  
<http://www.dezeen.com/2008/05/04/melted-collection-by-pieke-bergmans/>

### 3.1.5. Полипропилен (PP)

- Микроструктурата е полукристална.
- Степен на кристализација 70 – 80 %.
- Има висока отпорност на хемикалии, лесен е и цврст.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 140°C и за долготрајно оптоварување до 90°C.
- Има повисока точка на топење и е погоден за чаши за топли пијалаци.

- Има широка примена, од меки или цврсти опаковки (целофан), до влакна (за јажиња), и големи леени делови (столчиња), автомобилски делови, куфери, кутии и др. (слики 3.19-3.22).



**Слика 3.18**  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност - температура) [1].



**Слика 3.19** Примена на полипропилен (PP)



**Слика 3.20** Дизајниран од Verner Panton, 1960. Полипропилен зајакнат со стаклени влакна. Произведена е од германската фирма Vitra во раните 60-ти. Главен предизвик бил да се изработи наеднаш во еден калап. Масовно се произведува од 1967 и освоила многу награди. Оваа столица е еден од првите експонати на Музејот за современа уметност во Њујорк.



**Слика 3.21** Meltdown chair  
 Дизајнер Tom Price, полипропиленски  
 цевки, секое столче е уникатно. Седиштето  
 е ергономски обликувано во метал и потоа  
 втиснато врз цевките.  
<http://minimalexposition.blogspot.com/2011/10/tom-price-meltdown.html>



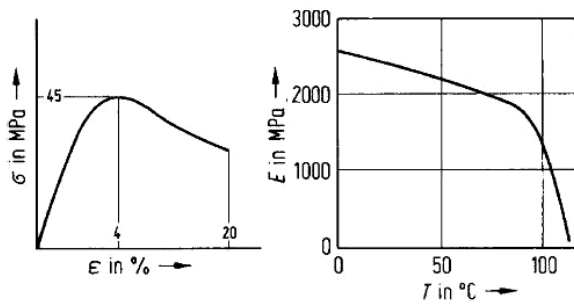
**Слика 3.22** Spoon stool. Дизајнер Antonio Citterio, 2002. Полипропилен, производител Kartell, Италија. Обликот на столчето е како свиткана лажица и дава еластичност и удобност при седење. Формата е префинета и делува лесно и флексибилно. За подесување на висината, е вграден пневматски цилиндар, прицврстен за металниот столб. <http://hivemodern.com/pages/product380/spoon-stool-kartell>

### 3.1.6. Акрилонитрил-бутадин-стирен – (ABS)

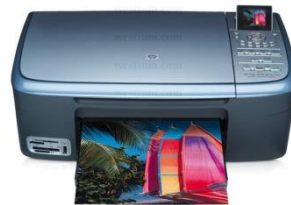
ABS е кополимер кој:

- се состои од акрилонитрил (отпорен на хемикалии), бутадин (отпорен на удари) и стирен (цврст и лесен за обработка),
- микроструктурата е аморфна,
- оваа фамилија материјали може да има од сјајна, па до рапава површина,
- цврстината варира од мала до голема отпорност на удари,
- се постигнува добра точност на мерките и деталите, па затоа се смета и за инженерска пластика,
- температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 95°C и за долготрајно оптоварување до 85°C,
- додатоците ги менуваат својствата на ABS-от така што се постигнува отпорност на горење, транспарентност, голема отпорност на топлина, пенливост или отпорност на UV-зраци,
- најмногу се користи кај канцелариските машини, правосмукалки и сл.,

- примена на ABS може да се види на сликите 3.24-3.30.



**Слика 3.23**  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



**Слика 3.24** Примена на ABS



**Слика 3.25** National „Toot-a-Loop“ модел на радио R-72 S, од 1969, дизајнирано од J.M. Willmin  
Радиото однадвор е изработено од ABS-пластика





**Слика 3.26** KD 27 столна лампа од Joe Colombo за Kartell 1967.  
<http://cencity.nl/lighting/joe-colombo-kartell-1967-kd27-italian-design-abs-plastic-synthetic-material-orange-organic-shaped-lamp-table-lamp-desk-lamp-futuristic-pen-tray.html>



**Слика 3.27** nesso лампа  
 Дизајнер Giancarlo Mattioli,  
 1967 инјекционо пресуван ABS.  
 Произведено во Италија од Artemide  
<http://www.design7.be/catalog/ligths-objects/giancarlo-mattioli-artemide/49>



**Слика 3.28** binic  
 Дизајн на Ionna Vautrin, 2010  
 поликарбонат, ABS  
 произведена во Италија од Foscarini  
<http://homefurniturecatalogs.com/sma11-and-fun-binic-lamp-by-ionna-vautrin-for-foscarini.html>



**Слика 3.29** uten.silo  
 Дизајн на Doroti Maurer-Beker, 1969. ABS  
 пластика. Произведено во Германија од Vitra.  
<http://www.apartmenttherapy.com/vitra-collectio-9115>



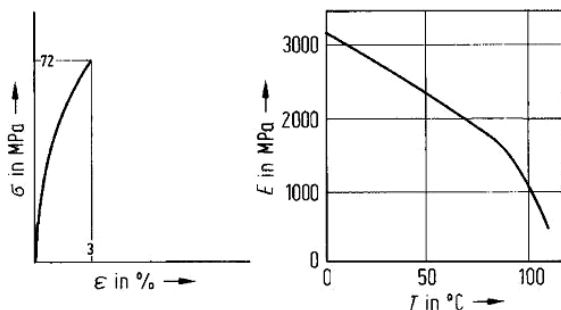
**Слика 3.30** butterfly chair  
 Дизајн на Karim Rashid, 2003, Производител: Magis  
 Предниот и задниот дел се изработени од ABS  
 инјекционо пресуван, а рамката е од хромиран челик.  
 Се одликува со мека елегантна линија и блескави бои.  
 Едноставно се ставаат една врз друга.  
<http://hivemodern.com/pages/products.php?sid=605>

### 3.1.7. Акрилно стакло (PMMA)

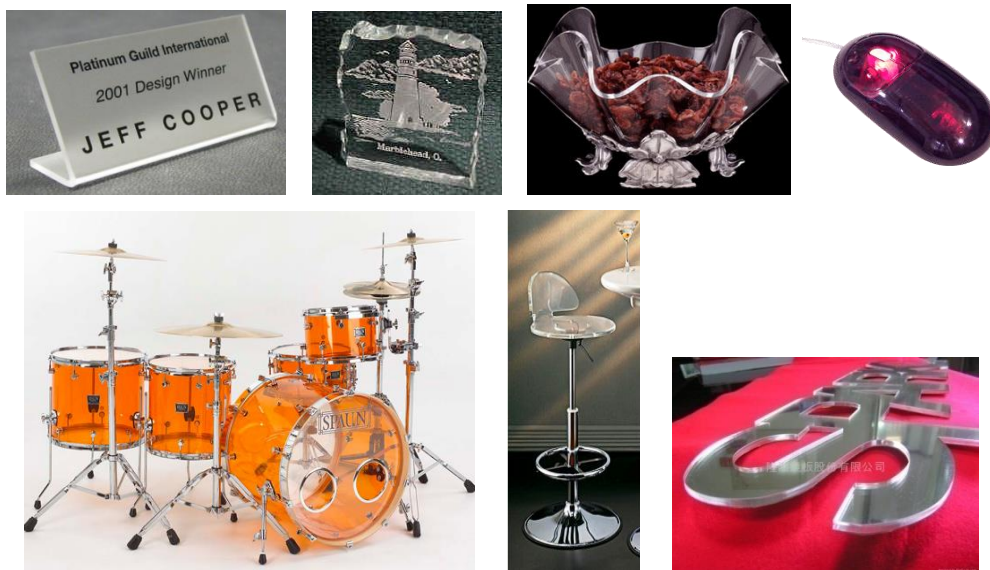
Акрилното стакло (Polymethyl methacrylate), Plexiglas:

- микроструктурата е аморфна,
- се изработуваат во најразлични бои, може да бидат матни, полупровидни и провидни,

- се набавува во облик на листови, прачки и цевки и може да се обликува со инјекционо пресување во калап, екструдирање и обликување со вакуум, ласерско сечење и гравирање и друго,
- акрилиците се отпорни на атмосферски влијанија и на сончева светлина,
- имаат слаба отпорност на раствори,
- осетлив е на концентрација на напони при оптоварување,
- лесно согорува,
- провидниот акрилик може да биде фин како најфиното оптичко стакло, што овозможува да се користи во оптичката опрема, како камерите.
- акриликот може при обработка да стане многу цврст и се користи за стакла за авиони,
- температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 90°C и за долготрајно оптоварување до 65°C,
- примена на акрилно стакло може да се види на сликите 3.32-3.37.



Слика 3.31  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



Слика 3.32 Примена на акрилното стакло (PMMA)



**Слика 3.33** Product Design  
Inspiration: Acrylic  
<http://abduzeedo.com/product-design-inspiration-acrylic>



**Слика 3.34** Green=Tech  
Дизајнер е Andrej Statskij. Мебелот е комбинација од технологија и растенија. Витрината е од акрилно стакло, а во неа се сместува вистинско или вештачко растение.  
<http://andrejstatskij.jimdo.com/green-tech/>



**Слика 3.35** Акрилен мебел  
дизајниран од Emmanuelle Moureaux Мебелот се состои од акрилни парчиња во најразлични бои <http://design-milk.com/acrylic-furniture-by-emmanuelle-moureaux/>



**Слика 3.36** Collage Pendant 450  
Колаж-висечка лампа дизајн на Louise Campbell.  
Ласерски сечен сјаен екструдирани акрил.  
Произведена во Данска од Louis Poulsen  
<http://www.designcraft.net.au/product.asp?pid=1476>

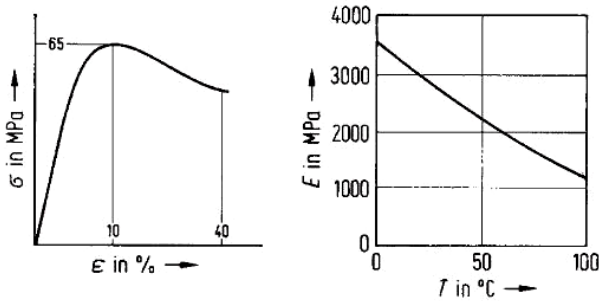
**Слика 3.37** eero aarnio.  
Столче лулашка-меур, дизајн на Eero Aarnio, 1968. Акрилно стакло, челик и скај.  
Произведена во Финска од Adelta.  
<http://www.stylepark.com/en/adelta/bubble-chair>

### 3.1.8. Ацетал (Polyoxymethylene - POM)

- Микроструктурата е полукристална.
- Степен на кристализација 70 – 80 %.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 150°C и за долготрајно оптоварување до 100°C.
- Цврст, јак и има добра отпорност на динамички оптоварувања, влага, топлина и растворувачи.
- Ацеталот има слаба отпорност на киселини и бази и тешко се лепи, а при деградација ослободува токсични пареи.
- Ако се користи за делови изложени на атмосферски влијанија, потребно е да се додадат стабилизатори.
- Се користи за различни намени, од рачки за туш, до запченици и пружини и друго (слика 3.39-3.40).
- **Дерлин** е марка на полиацетал со висока јакост (го викаат „синтетички камен“) кој е отпорен на хемикалии и е со добра стабилност на мерките. Дерлинот се користи како замена за обоени метали, лежишта (без



подмачкување), запченици и др. Дерлинот може да се лее во калапи или да се обработува машински.



**Слика 3.38**  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



**Слика 3.39** Примена на ацетал (Polyoxymethylene - POM)

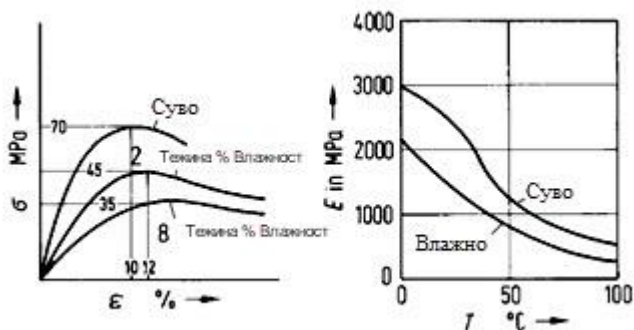


**Слика 3.40** Gense Folke De Luxe Serving Set  
 Дизајн на Folke Arström, 1955. Нерѓосувачки  
 челик и ацетал. Произведена од Gense.  
<http://www.angelucci.net.au/gense-folke-de-luxe-serving-set/>

### 3.1.9. Најлон (PA)

Најлон - полиамид (PA) ги има следниве карактеристики:

- Микроструктурата е полукристална.
- Степен на кристализација 35 – 40 %.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 180°C и за долготрајно оптоварување до 80°C.
- Јак, еластичен, отпорен на абење и хемикалии, мала апсорпција на влага, мек на допир и способен трајно да се сетира со помош на топлина.
- Најпрво се користел за производство на текстилни влакна, но денес го има во различни видови за други намени.
- Најлонот лесно се обработува и има добра отпорност на микроорганизми.
- Незгодна страна на најлонот е што може да деградира при јака сончева светлина (ултравиолетови зраци) освен ако се додадат стабилизатори при изработката.
- Лесно се обликува во калапи.
- Има природно ‘мрсна’ површина која го помага подмачкувањето.
- Се произведува во облик на листови, пресвлеки, и како леена пластика и се користи за најразлични производи како текстил, хируршки шевови, јажиња, изолации за жици, мрежи за комарци, завеси за када, лежишта и запченици, арматура за автомобилски гуми.
- Примена на најлон стакло може да се види на сликите 3.42-3.43.



**Слика 3.41**  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



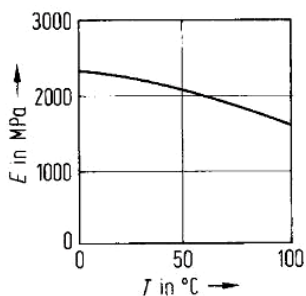
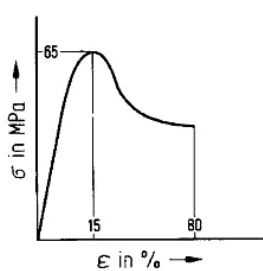
Слика 3.42 Примена на најлон - полиамид (РА)



Слика 3.43 Nylon bike  
Велосипедот е изработен целосно од најлон, но е цврст како челик. Дизајниран е од Andy Hawkins и Chris Turner во Bristol, UK. Изработен е со додавање материјал во слоеви, односно брзо прототипирање.

### 3.1.10. Поликарбонат (PC)

- Микроструктурата е аморфна.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 135°C и за долготрајно оптоварување до 100°C.
- Има одлична провидност, цврстина, отпорност на повисоки температури и отпорност на удари, но не е хемиски отпорен на бази.
- Има широка примена, обично како замена за стакло, како на пример за стакла за оранжерии, натстрешници, светилки, панели за инструменти кај возилата, кај домашните апарати, за CD-а, како имитација на кристални садови, за леќи, за очила, заштитни маски, фенови, рачки за загреани садови, и друго (види на сликите 3.45-3.48).



Слика 3.44  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и Е-Т дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].



Слика 3.45 Примена на поликарбонат (PC)



Слика 3.46 Eros  
Дизајн на Philippe Starck, 2001.  
Поликарбонат и полиран  
алуминиум. Произведено во  
Италија од Kartell.  
<http://hivemodern.com/pages/products.php?sid=8>



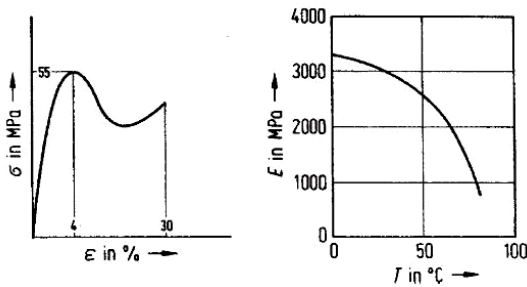
Слика 3.47 Ring, a reflection of a chair  
Дизајн на Philippe Starck, 2009. Сив  
поликарбонат. Произведено во Италија  
од Driade.  
<http://www.minimalismi.com/2009/05/ring-a-reflection-of-a-chair-by-philippe-starck/>



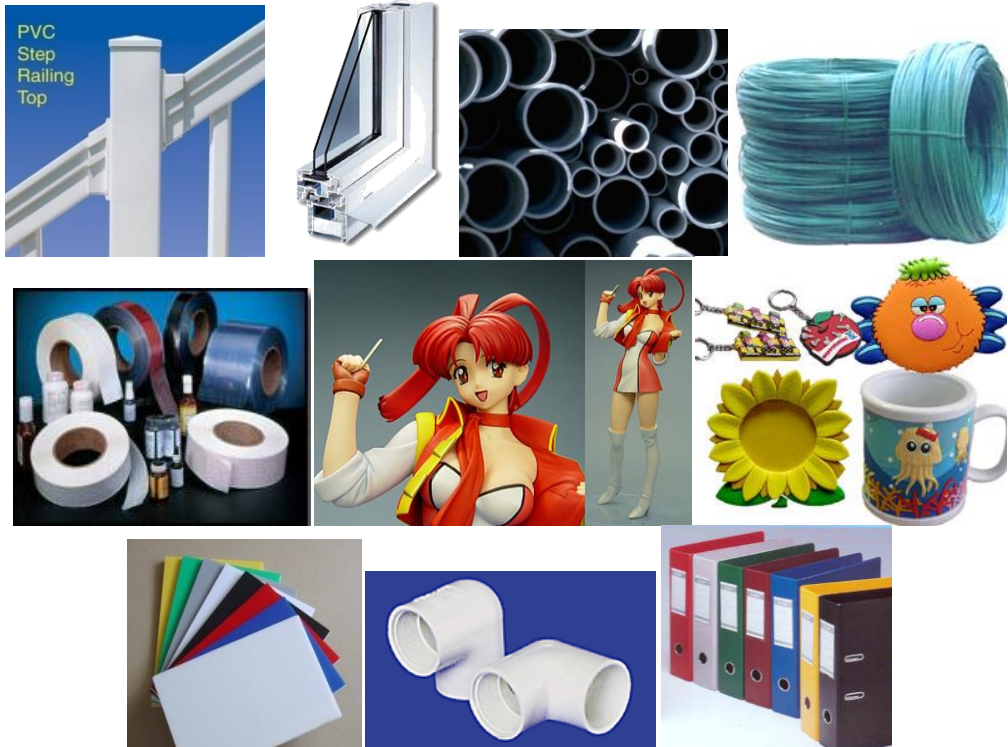
Слика 3.48 Louis Ghost.  
Дизајн на Philippe Starck, 2002.  
Инјекционо пресуван  
поликарбонат. Произведена во  
Италија од Kartell.  
<http://hivemodern.com/pages/products.php?sid=18>

### 3.1.11. Поливинил хлорид (PVC)

- Микроструктурата е аморфна.
- Температурна граница на примена: за краткотрајно оптоварување се препорачува до 70°C и за долготрајно оптоварување до 60°C.
- Се изработува од натриум хидроксид (сол) и етан (природен гас).
- Не е токсичен, нема мирис, отпорен е на горење, отпорен е на абеле, флексибилен, хемиски отпорен.
- Со додаток на адитиви се добиваат различни видови PVC.
- Се применува за изработка на подни облоги, прозорци, кукли, сандали за плажа, чизми, цевки, црева, сјаен текстил, импрегнирање платна, селотејп и друго (види на сликите 3.50-3.52).



Слика 3.49  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграм (напон-деформација) и E-T дијаграм (модул на еластичност-температура) [1].

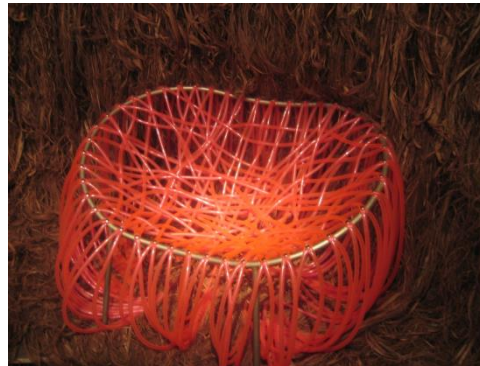


Слика 3.50 Примена на поливинил хлорид (PVC)





**Слика 3.51** DIY PVC: вазни во различни бои изработени од канализациски цевки  
<http://dornob.com/diy-pvc-colorful-modern-vases-from-plastic-plumbing-pipe/>



**Слика 3.52** Столица од црева, 2005, дизајн на браќата Fernando и Humberto Campana од Бразил.  
[http://www.pvc.dk/t2w\\_283.asp?id=651](http://www.pvc.dk/t2w_283.asp?id=651)

### 3.2. Термосетови

Термосет-пластиката има ковалентни врски кои ги поврзуваат полимерните низи во простор. Овие врски оневозможуваат меѓусебно лизгање на молекулите, како резултат на што термосетовите имаат поголема јакост и подобра отпорност на ползење.

Термосетовите се цврста пластика и се отпорни на повисоки температури од термопластиката (до 300° C).

За време на леењето, термосет-материјалот се грее и се создаваат напречни врски помеѓу молекулите. Ако се загрее повеќе отколку што треба, термосетот почнува да деградира.

Затоа, кога еднаш ќе се зацврснат, термосетовите не може повторно да се стопат и да се обликуваат или рециклираат.

Некои видови од термосет-пластиката може да се познат и по тоа што пред употреба се состојат од две компоненти: смола и зацврстувач. Кога ќе се помешаат и загреат двете компоненти, се добива цврст и јак полимер кој се лепи на сè на коешто ќе го нанесете.

Бакелитот е првиот комерцијално користен термосет.

Од термосетовите најмногу се произведуваат полиуретаните, на второ место се полиестерите, потоа се епоксидите, фенолите и силиконите.

Термосетовите имаат подобра стабилност на мерките од термопластиката. Се користат таму каде што е потребна подобра стабилност при повисоки температури, каде што е потребна отпорност на ползење и абење.

Повеќето термосетови се јаки и тврди, но може да бидат и меки и флексибилни како гума (еластомери).

Фенолите се користат таму каде што се потребни прецизни толеранции, а полиестерите (често армирани со стаклени влакна) каде што се бара голема

цврстина. Фенолите може да бидат само кафени и црни, додека уретаните, меламинат, алкидот и полиестерот може да бидат во различни бои.

Епоксидите армирани со стаклени или јаглеродни влакна даваат најголема цврстина од сите термосетови. Овие материјали денес се користат за каросерии на авиони и автомобили, спортска опрема, садови под притисок и др. Примена на термосет-пластика во градба на производи е прикажана на слика 3.53.



Слика 3.53 Примена на термосет-пластиката

### 3.2.1. Епоксиди

Епоксидите се термосет-полимери кои во несетирана форма содржат една или повеќе реактивни групи кои служат како почетни точки за понатамошно вмрежување. Притоа, несетираниот епоксид реагира со агенсот за сетирање, односно зацврстувачот.

Епоксидите се набавуваат во вид смола и се сетираат по што не може да се леат. Додатокот кој се става за да се постигне сетирање (вмрежување) може многу да влијае на својствата на пластиката.

Епоксидите имаат одлична отпорност на хемикалии и се цврсти, јаки и понекогаш кршливи.

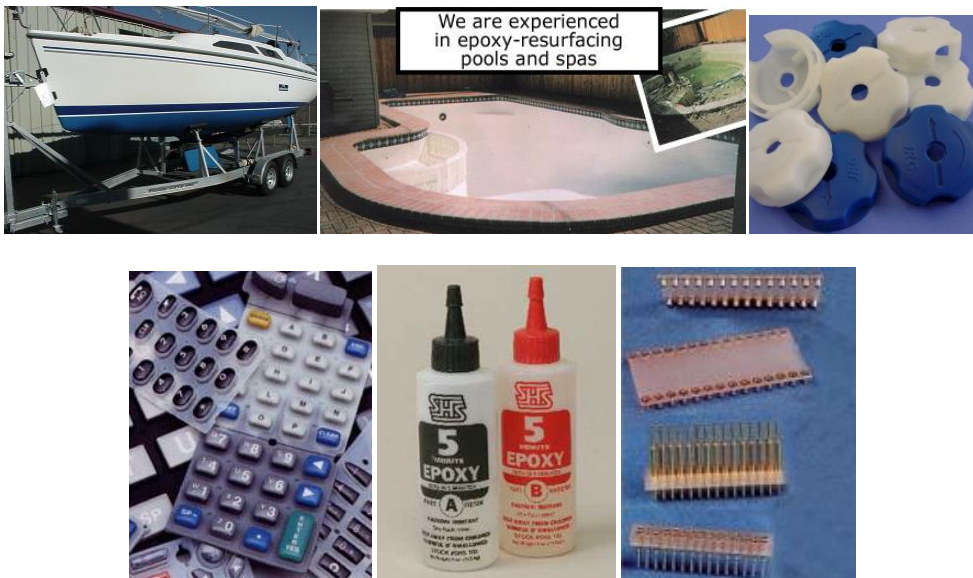
Епоксидите се користат на неколку начина во индустријата за пластика. Се користат во комбинација со стаклени влакна (влакна импрегнирани со течен епоксид) со што се добива композит со висока јакост, подобрени хемиски и диелектрични својства и отпорност на повисоки температури. Ваквите композити се користат за делови за авиони, за проектили, цевки, резервоари, садови под притисок и за помагала и калапи за други видови пластика.

Епоксидите се користат за залевање или леење на различни електрични и електронски делови и за пресвлекување на метали и други материи.

Епоксидите многу се користат за лепила, заштитни пресвлеки кај домашните апарати, индустриската опрема, подови за фискултурни сали и за заптивање.

Епоксидите може и да се леат за производство на делови, лавабоа, плочи и др.

Се користат за куќишта на домашни апарати, печатени кола, бизнис-машини, текстил, мебел и друго (слика 3.54). Имаат одлични атхезивни својства и се користат и како лепаци и пресвлеки.



Слика 3.54 Примена на епоксидите

### 3.2.2. Полиестери

Полиестерите се цврсти и кршливи, но може да се комбинираат со стаклени влакна со што се добива пластика армирана со стакло која се користи за каросерии на возила, пловни објекти, куќишта на телевизори, мебел др. Со додавање успорувачи на горење, полиестерите, слично како епоксидите, се користат за изработка на печатени кола, домашни апарати, електронски апарати и друго.



### 3.2.3. Меламин

Оваа термосет-пластика може да се изработува во многу убави бои и текстури и се користи за пластифицирање иверки, за изработка на сјајни декоративни садови за домаќинството, кај домашните апарати и како лепило. Меламинот има доста голема тврдина и термичка отпорност. Примената на меламин во градба на производи е прикажана на слика 3.55.



Слика 3.55 Примена на меламин

### 3.2.4. Полиуретан

Полиуретанот е достапен во различни облици: свитливи или цврсти пени, цврст еластомер (гума), пресвлеки, лепила и заптивачи. Иако уретаните вообичаено се термосетови, постојат и видови уретан кои се термопластика и се продаваат како зрнца за леење.

Најпознат облик на полиуретанот е пената. Пената се добива со мешање и реакција на две течни компоненти во присуство на агенс за надувување. Притоа се создава пенест материјал кој има одлични термоизолациони карактеристики и затоа често се користи во градежништвото.

Флексибилните пени може да се користат како перници, имаат одлични својства за апсорпција на енергија и се трајни. Флексибилните пени се користат и за подлога за теписи, душеци, опаковки, текстил и за автомобилски седишта.

Тврдите пени имаат одлични изолациони својства, јакост на притисок, стабилност на мерките и пловност. Освен за изолација на згради, пените се користат кај замрзнувачите, камионите, пловните објекти, и кај мебелот.

Како пресвлека, полиуретаните се цврсти декоративни и се користат за лакирање и пресвлекување дрво, метали, гума, текстил, бетон, хартија, кожа, друга пластика, како и други материјали.

Во облик на еластомери (гуми), полиуретаните имаат висока отпорност на абење, и се користат каде што е важна трајаноста, како кај ѓоновите за чевли, ролните за печатење, заптивки, изолација на кабли, ремени и транспортни ленти, цврсти гуми и друго (слика 3.56). Може да се леат со реактивно инјекционо пресување со што се произведуваат панели и браници за автомобили. Полиуретанот може да се примени како материјал за градба на футуристичките дизајни на производите прикажани на сликите 3.57-3.61.



Слика 3.56 Примена на полиуретаните



Слика 3.57 mars  
Дизјнирана од Константин Грчк, 2003.  
Челична рамка, полиуретански сунѓер  
Го произведува Klasikon, Германија



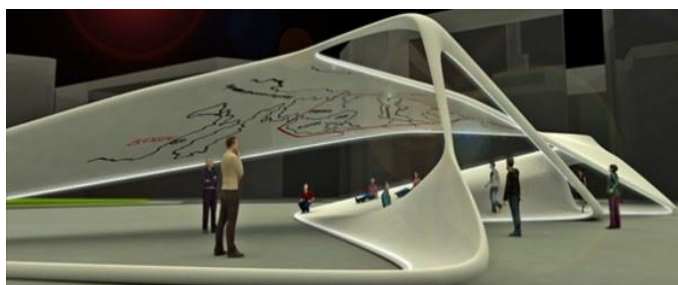
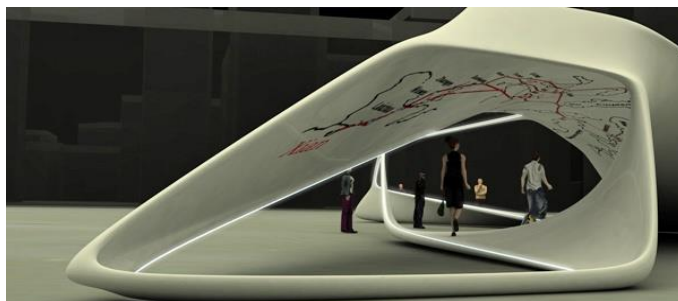
Слика 3.58 Pin Up  
Производител Infiniti Design 2010.  
Седиштето е пресвلعено со полиуретанска пена и  
од горе со текстил или кожа



**Слика 3.59** futuristic design for a desk and chair  
 Дизајнер Marco De Gregorio,  
 изработени од полиуретан во калап.  
<http://tevami.com/2009/09/25/enterprise-table-chair-by-marco-de-gregorio/>



**Слика 3.60** Bones Furniture  
 Дизајнер Marco De Gregorio,  
 изработени од полиуретан во калап.  
<http://plusmood.com/2010/03/bones-furniture-marco-de-gregorio/>



**Слика 3.61**  
<http://plusmood.com/2010/10/digital-cocoon-marco-de-gregorio/>

### 3.2.5. Силикони

Силиконот е скап, но има многу добри карактеристики. Нема голема јакост, но може да се користи во голем дијапазон на температури (-100 °C до 300°C).

Има одлична хемиска стабилност и добра еластичност. Својствата му се слични на природната гума, но хемиски е сосема различен.

Се применува најчесто таму каде што се бара еластичност и издржливост на високи температури.

Силиконот е инертен и не апсорбира вода, и затоа може да се користи во хирургијата и за садови за храна.

Силиконите може да се произведат како течности, лепаци, пресвлеки, еластомери и леени во калап.

Примена на силиконот во градбата на производи е прикажана на слика 3.62 и тоа за: шише за бебе што може да се стерилизира, тавче за печење кекси, заштитни маски за телефони, пополнувачи, флексибилна тастатура, импланти, и друго.



Слика 3.62 Примена на силиконот

## Својства на пластиката

## 4.1. Физички својства на пластиката

Својствата на пластиката се доста различни од традиционално користените метали. За да се осигура правилна примена на пластиката, конструкторите и корисниците треба освен механичките да ги разбираат нивните карактеристики како: собирање во калап, впивање вода, самоподмачкување, отпорност на удари, и др. Во продолжение се дадени неколку физички својства на пластиката.

## 4.1.1. Густина

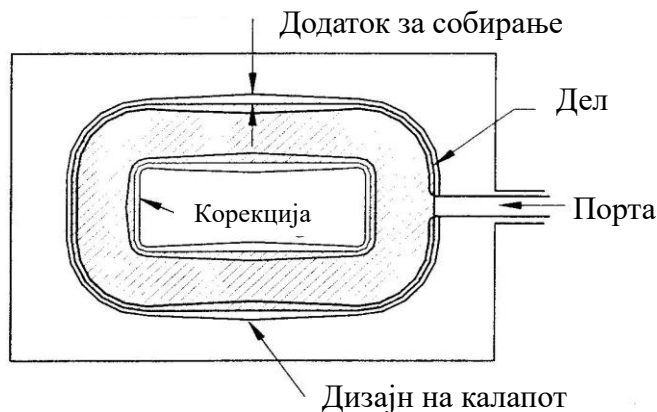
Густината на повеќето видови пластика е значително помала од густината на металите. Ова својство ја прави пластиката пожелна за примена во случај кога е потребно намалување на тежината. Пластиката обично има густина од 0,83 до 2,5  $\text{kg/dm}^3$ . Некои од пенестите видови пластика може да имаат многу мала густина до 0,01  $\text{kg/dm}^3$ . Пластиката со пополнувачи има поголема густина и до 3,5  $\text{kg/dm}^3$ .

## 4.1.2. Собирање во калап

Собирањето при отврднување во калапот се одредува според промената на димензиите на дел во однос на калапот во кој се изработува. Калапите се изработуваат со земање предвид на собирањето на пластиката (види слика 4.1). Собирањето зависи од дебелината на сидовите, насоката на течење и од други услови.

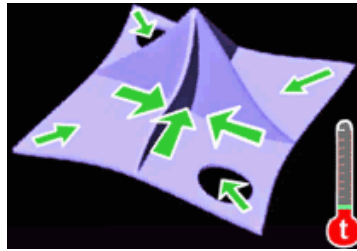
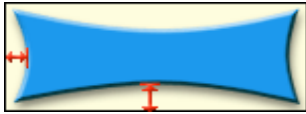
Армираните видови пластика помалку се собираат од чистата пластика.

По вадење од калап, може да се јави дополнително собирање и увивање на делот, ако има нерамномерни сидови и сложен облик (види слика 4.2).



Слика 4.1 Собирање на пластиката при ладење во калап и корекција на калапната шуплина според предвиденото собирање





**Слика 4.2** Дополнително собирање и увивање на делот после вадење од калап доколку има нерамномерни сидови и сложен облик

#### 4.1.3. Впивање вода

Впивањето на вода се мери преку промената на тежината на материјалот пред и по потопување во вода на 23°C за различно времетраење. Впивањето на вода влијае врз стабилноста на мерките и врз механичките и електричните својства.

#### 4.1.4. Еластичност

Еластичноста е својство на пластиката да се врати на своите почетни мерки по престанок на оптоварувањето. Најеластични се гумите и термопластичните еластомери.

#### 4.1.5. Матност и транспарентност

Заматеност е процент од светлината кој минува низ парчето и се растура под агол поголем од 2,5 степени од правецот на основниот зрак. Пропуштањето на светлина (транспарентност) е однос на пропуштеното светло спрема влезното светло.

#### 4.1.6. Самоподмачкување

Степенот на самоподмачкување како својство на пластиката се оценува според карактеристиките на лежиштата при релативно движење. Доброто самоподмачкување дава мал коефициент на триење и помало абење. На слика 4.3 се прикажани чаури за лизгачки лежишта и пластично тркалачко лежиште.



**Слика 4.3** Чаури за лизгачки лежишта и пластично тркалачко лежиште

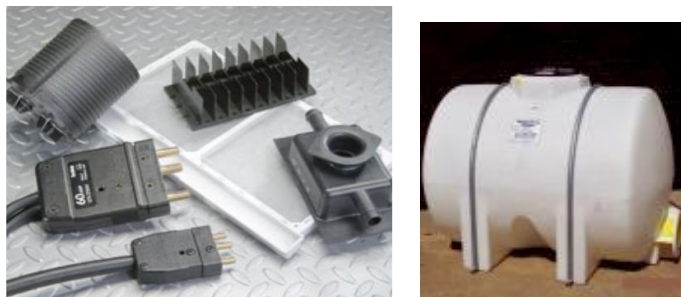
#### 4.1.7. Термички и електрични својства

Како органски материјал, пластиката има (со неколку исклучока) многу помала отпорност на топлина отколку металите, особено во присуство на кислород. Од вообичаените полимери, исклучок е тетрафлуоретиленот кој има висока отпорност на топлина. Пластиката има коефициент на топлинско ширење  $4 - 20 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  што е значително поголем од металите ( $1 - 2,5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ). Полимерите и од нив произведената пластика се добри изолатори, а некои се и одлични изолатори како на пример политетрафлуоретиленот.

#### 4.1.8. Отпорност на запалување

Пластиката се однесува различно во случај на оган, некои може да започнат оган, некои горат, некои тешко се запалуваат. Запаливоста зависи од видот на полимерот и други состојки, како што се пополнувачи, арматури, пластификатори или адитиви за успорување на горење. Пластиката којашто содржи халогени материи како PVC споро се запалува.

Отпорноста на запалување кај пластиката може да се подобри со соодветни адитиви. Кога пластиката согорува во присуство на кислород се ослободуваат материи кои не се штетни, но ако горат без доволно кислород се ослободува јаглен моноксид и чад кој е особено густ од пластиката којашто е поспоро запалива. Чадот може да содржи хлор, сулфур, флуор и други материи, зависно од составот на пластиката што согорува. На слика 4.4 се прикажани производи склони на запалување.



Слика 4.4 Производи склони на запалување

#### 4.1.9. Отпорност на хемикалии и влага

Хемиската отпорност на пластиката зависи од природата на полимерот и додатоците, така што точни информации за однесувањето на една пластика во дадена околина може да се добие од производителот. Општо, полимерите и пластиката се отпорни на слаби киселини, слаби бази, солени раствори и вода, иако некои полимери може да се растворот во киселини и бази. Јаки оксидирачки киселини може да ја оштетат пластиката, да ја обезбојат и да ја направат кршлива.

Повеќето видови пластика не се отпорни на органски соединенија, на пример горива и испарливи органски раствори, кои може да предизвикаат набрекнување, омекнување и растворање.

Повеќето видови пластика се отпорни на корозија, но треба да се внимава да се одбере најсоодветен материјал. Пластиката е различно отпорна на влага и сончева светлина. Некои полимери и пластика се многу отпорни на влага, но други не. Меѓутоа, повеќето комерцијални видови пластика денес се формулирани така што имаат добра отпорност на атмосферски влијанија. На слика 4.5 се прикажани производи отпорни на хемикалии и влага.



Слика 4.5 Производи отпорни на хемикалии и влага

## 4.2. Механички карактеристики на пластиката

Полимерите имаат голема еластичност и релативно добри механички својства во однос на нивната мала тежина. Повеќето полимери се отпорни на удари. Механичките својства на полимерите варираат зависно од видот на полимерот, од меки и еластични, до цврсти и тврди.

Основна разлика на механичките својства помеѓу металите и полимерите е што кај полимерите деформацијата и напоните не зависат само од интензитетот на оптоварувањето, туку и од времетраењето на оптоварувањето. Кај полимерите се јавува **ползење на материјалот** што може да биде значително изразено дури и на собна температура, за разлика од металите кај кои таквата појава се јавува на температури поголеми од 500°C. Освен тоа, механичките својства на пластиката во голема мера зависат од температурата и степенот на оптоварувањето. Својствата на полимерите може значително да зависат од историски фактори, односно од начинот на производство, понатамошната преработка и нехомогеноста на материјалот поради ладење.

За полимерните материјали, особено при долготрајно оптоварување не важи Хуковиот закон, туку тие покажуваат таканаречени вискозноеластични својства. „Вискозно“ означува дека материјалите покажуваат некои од карактеристиките на густы течности, односно молекулите се придвижуваат со време. Заради тоа, деформацијата која се јавува при релативно мали оптоварувања може да биде од три вида, зависно од траењето на оптоварувањето:

- **краткотрајно еластично** (еластично според Хуковиот закон),
- **одложено еластично** (висока еластичност) и
- **вискозно течење**.



Основни механички карактеристики на пластиката се:

**Издржливост** - Издржливост е својство на материјалот да апсорбира механичка енергија без да се скрши. Се мери како површина под кривата на  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграмот. Квалитетната пластика без пополнувачи обично има одлична издржливост. Тврдата пластика обично има помала издржливост. Многу материјали армирани со стакло или со пополнувачи се и тврди и издржливи.

**Јачина на истегнување** претставува најголемо напрегање на истегнување кое може да го издржи материјалот.

**Јачината на кинење** одговара на моментот на кинење на материјалот.

**Модулот на еластичноста** се одредува според почетната косина на кривата и е мерка за цврстината на пластиката.

**Границата на развлекување** ја одредува точката на почеток на поинтензивни пластични деформации на пластиката.

**Издолжувањето** претставува зголемување на должината при истегнување што се изразува во проценти од почетната должина. Најголемото издолжување што може да го издржи материјалот се регистрира при кинење.

**Јачина на свиткување** претставува најголемо оптоварување на свиткување кое може да го издржи материјалот пред да се скрши.

**Ползење** претставува трајна пластична деформација која се јавува поради дејство на товар за подолго време. Ползењето се мери по престанокот на дејството на товарот. Интензитетот на ползењето зависи од големината на оптоварувањето, температурата, траењето на оптоварувањето и видот на материјалот. Кристалните полимери обично имаат помало ползење од аморфните полимери. Армирањето на пластиката го намалува ползењето.

**Отпорноста на удари** одредува колку делот апсорбира енергија од удар и зависи од обликот, големината, дебелината и видот на материјалот. Тестовите се прават на примероци без зарез и со зарез. Кај примероците со зарез се одредува колку бргу се шири пукнатина во материјалот. Ударот може да се врши со клатно, но има тестови кај кои материјалот се удира со предмет кој паѓа од височина.

**Динамичка издржливост** се проверува со динамичко оптоварување на свиткување на делови во облик на прачка, при што се одредува оштетувањето и кршењето, зависно од интензитетот и времетраењето на оптоварувањето.

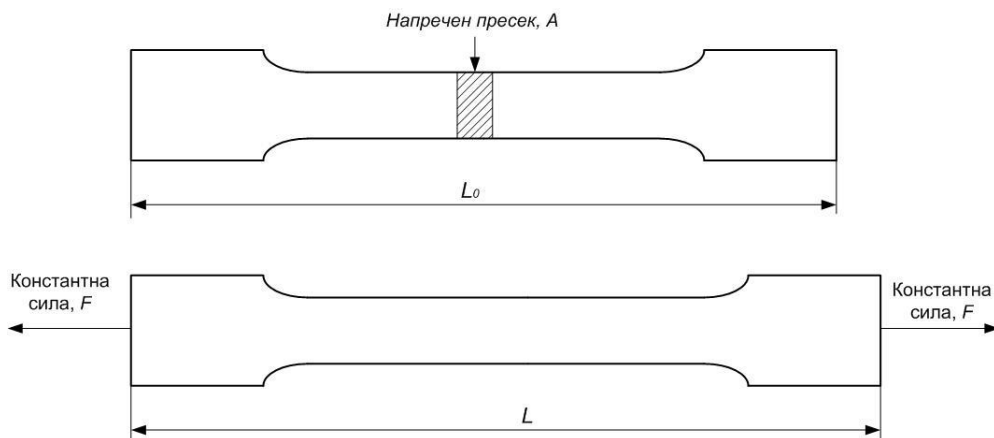
#### **4.2.1. $\sigma$ - $\epsilon$ карактеристика**

Механичките карактеристики на пластиката или  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристиката на материјалот е зависност помеѓу оптоварувањето и деформациите во пластичниот дел. Фактори кои влијаат на јакоста на пластичниот дел се геометријата на делот, оптоварувањето (краткотрајно или долготрајно), почетните и граничните услови, температурата, заостанатите напони и нивната ориентација како резултат од процесот на леење. Има различни типови на јачина како што се на: истегнување, притисок, усукување, свиткување и сечење, во зависност од условите на оптоварување и ограничување на пластичниот дел.

На сликата 4.6 е прикажана епрувета за испитување со истегање со напречен пресек  $A$  и почетна должина  $L_0$  пред оптоварувањето. Тестот е направен при константна сила на истегнување  $F$ . Напонот ( $\sigma$ ) и деформацијата ( $\epsilon$ ) се дефинирани со следниве равенки (4.1):

$$\text{Напон}(\sigma) = \frac{\text{Сила}(F)}{\text{Напречен пресек}(A)} \quad (4.1)$$

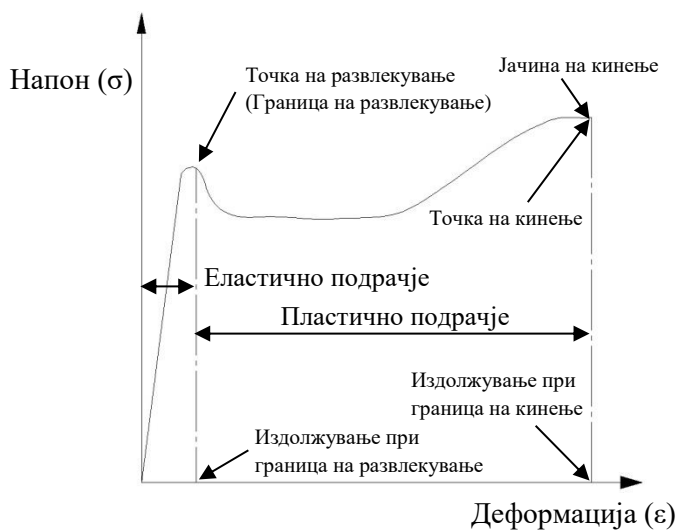
$$\text{Деформација}(\epsilon) = \frac{L - L_0}{L_0}$$



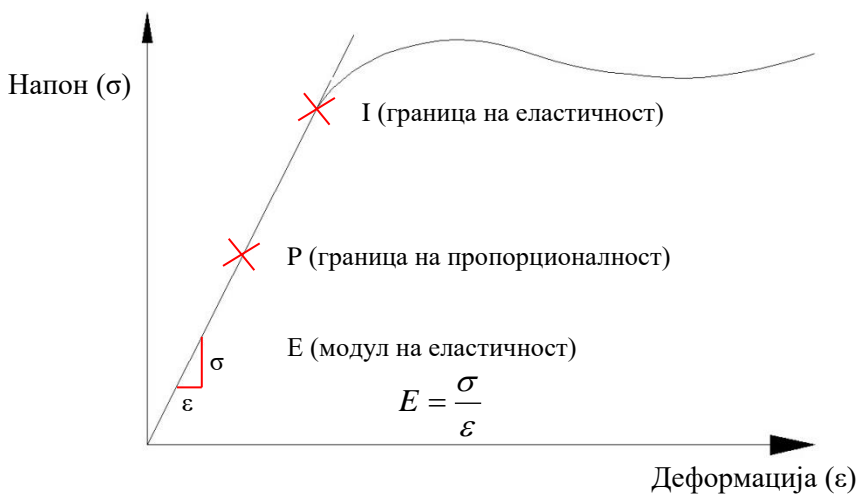
**Слика 4.6** Епрувета за испитување со истегање со напречен пресек  $A$  и почетна должина  $L_0$ . Тестот е направен при константна сила на истегнување  $F$ .

Во продолжение е даден превод од англиски на некои карактеристични термини кои се употребуваат во техниката: Loading force ( $F$ ) – сила на оптоварување; Cross-sectional area ( $A$ ) – напречен пресек; Stress ( $\sigma$ ) – напон; Strain ( $\epsilon$ ) – деформација; Constant load – константна сила; Plastic tensile specimen – примерок од пластика кој се оптоварува на истегање.

На слика 4.7 е прикажана вообичаената  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристика за краткотрајно оптоварување за вообичаените термопластични материјали. На сликата 4.8 е прикажана истата крива за карактеристиката напон – деформација при растегнатата хоризонтала со цел да се прикажат детали во рамките на еластичното подрачје. Точката Р е пропорционална граница, која најчесто се користи како ограничување и претставува границата на деформацијата во дизајнот. Точката I претставува еластична граница, над која пластичниот дел нема да се врати во неговиот првобитен облик. Од  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристиката може да се определат неколку важни особини за материјалот, како што се: модулот на еластичност, граница на пропорционалност, граница на еластичност, точката на развлекување, јачина на кинење, елонгацијата, итн.

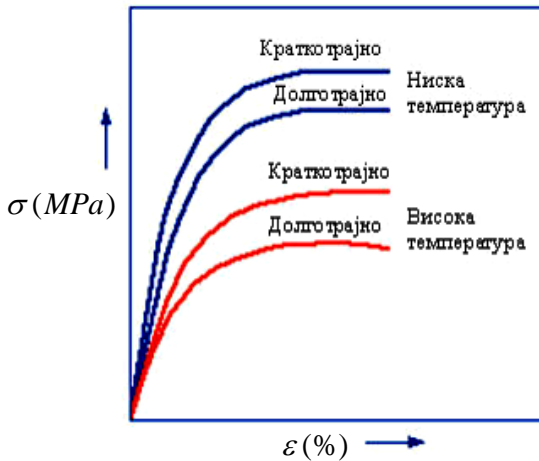


Слика 4.7  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристики за вообичаена термопластика



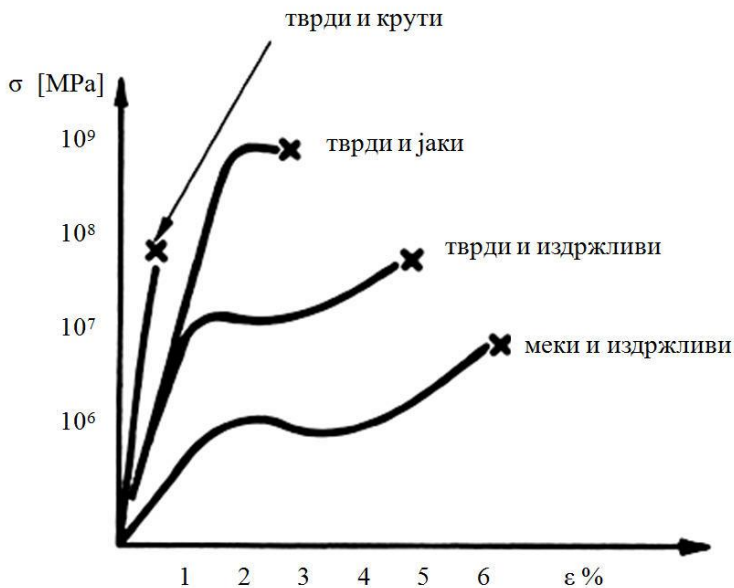
Слика 4.8 Истата  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристика како на слика 4.7 зголемена во размер во рамките на еластичното подрачје

На сликата 4.9 се прикажани карактеристиките за напон – деформација за вообичаен полимер на две тестирани температури (висока и ниска) и два тестирани видови на оптоварување (краткотрајно и долготрајно). Карактеристиката на кривата се менува во зависност од типот на оптоварување и температурата. Доколку оптоварувањето е краткотрајно тогаш се добива подобра механичка карактеристика. На висока температура се добиваат полоши механички карактеристики на пластичниот дел. Најлош случај со најмала механичка карактеристика е кога делот е оптоварен на долготрајно оптоварување и кога работи на високи температури.



**Слика 4.9**  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристика за вообичаен полимер на две тестирани температури (висока и ниска) и два тестирани вида на оптоварување (краткотрајно и долготрајно).

Според карактеристиката напон-деформација, видовите пластика може да се класифицираат на: тврди и крути, тврди и јаки, тврди и издржливи и меки и издржливи (слика 4.10). Површината под кривата одговара на енергијата потребна за кинење на пластиката. Кај повеќето видови пластика енергијата потребна за кинење е доста голема.



**Слика 4.10** Карактеристики напон – деформација за различни типови полимери

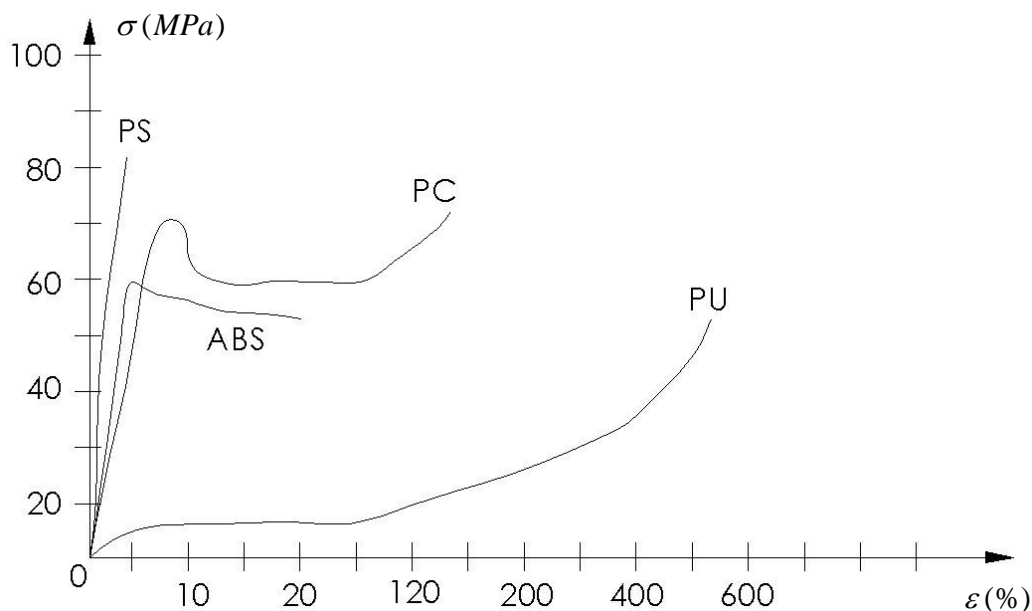
**Тврдите и крти видови пластика** имаат мало издолжување при кинење и мала површина под кривата напрегање-деформација (види слика 4.10). Ваква пластика на собна или пониска температура е: полистирен, поли (метил метакрилат) и фенолформалдеhid.

**Тврдите и јаки видови пластика** имаат околу 5 % издолжување и се кинат приближно каде што би требала да биде точката на развлекување. Овој вид на крива е карактеристичен за цврстиот PVC и за полистирен кополимерите (полиблендовите).

**Тврди и издржливи видови пластика** се: целулозен ацетат, целулозен нитрит и најлон. Овие видови пластика имаат висока точка на развлекување, висок модул на еластичноста, голема цврстина и големо издолжување.

Видовите пластика кои се **меки и издржливи** имаат мал модул на еластичноста и ниска граница на развлекување, умерена јачина на кинење и многу големо развлекување (од 20 до 1000 пати). Ваква крива е карактеристична за пластифицираниот PVC и гумите (еластомери).

На слика 4.11 се прикажани споредбено карактеристики на напон–деформација за различни типови на пластика, како Polyester, PC, ABS и PU.



Слика 4.11 Карактеристики на напон – деформација за различни полимери.

#### 4.2.2. Крутост

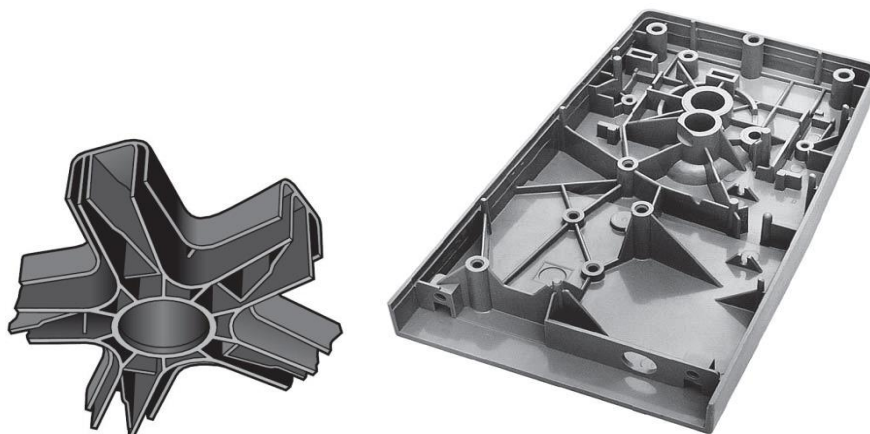
Дизајнирањето на пластични делови со одредена посакувана крутост може да биде тешко, особено ако сакаме делот да ги постигне механичките карактеристики како оригинален метален дел. Во зависност од потребите на дизајнот за делот, коишто се однесуваат на јакоста и крутоста, постои голема нееднаквост во вредноста на механичките својства помеѓу пластичните и металните делови. Во табела 4.1 можете да ги видите и споредите механичките карактеристики на повеќе материјали (метали и пластика).

Фактори кои влијаат на крутоста на делот се геометријата на делот, видот на оптоварувањето, условите на ограничување на делот, заостанатите напони и ориентации на молекулите кои произлегуваат од процесот на леење.

Материјал	Модул на еластичност (МПа)	Јачина на истегање (МПа)	Граница на развлекување (МПа)	Поасонов коефициент
Челик	196500	480	275	0.29
Бакар (жарен)	107550	220	35	0.36
Алуминиум	69000	385	235	0.33
SAN	3240	27.5	34.5	0.35
Поликарбонат	2420	69	62	0.38
ABS	2350	-	41	0.39
PA	1100	55	41	0.4
PA 30 % Glass	4960	103	-	0.34

**Табела 4.1** Механичките карактеристики на повеќе материјали (метали и пластика)

Дебелината на сидот може да ја компензира пониската вредност на крутоста за пластичните делови. Во пракса, дебелината на сидот е ограничена до 4 мм за цврста пластика, изработена со инјекционо пресување во капа. Обично голем дел од дизајнот на пластичните делови се базира на карактеристики и соодветна геометрија на делот со цел да се добие потребната крутост и јакост. На сликата 4.12 е прикажано зголемувањето на крутоста на пластичен дел со помош на ребра.



**Слика 4.12** Поставување ребра за зголемување на јакоста на делот

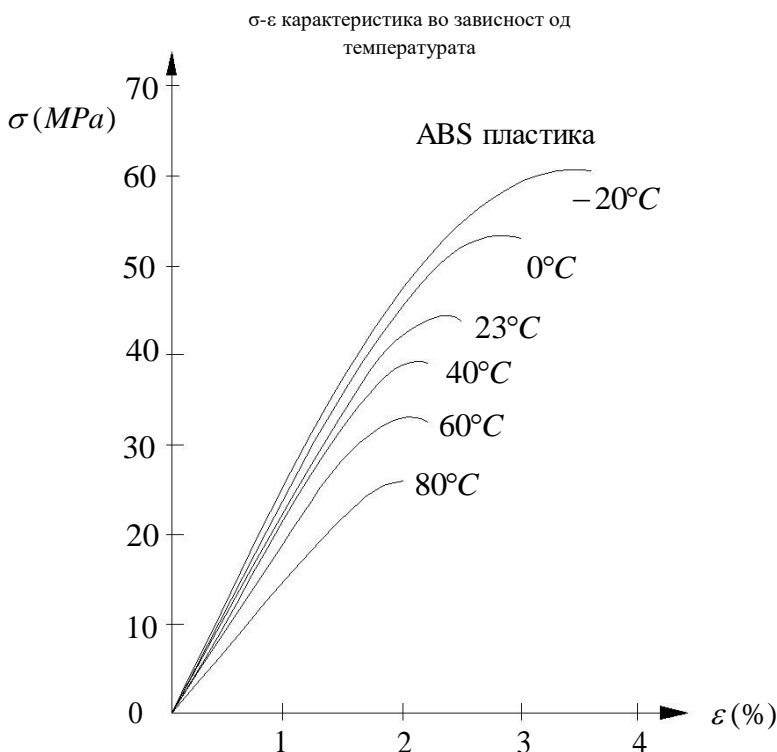
### 4.2.3. Вискоеластичност

Пластиката под дејство на оптоварување покажува **вискоеластично однесување**, односно пластиката прикажува и пластична и еластична деформација. Ова двојно однесување претставува необично механичко својство кое се наоѓа само кај пластиката. Под краткотрајно оптоварување, пластиката

обично се враќа во првобитната состојба кога товарот е отстранет, прикажувајќи еластична карактеристика. Под дејство на долготрајно оптоварување и при зголемени температури, пластиката ќе се деформира, однесувајќи се како течност со висока вискозност. Оваа појава се нарекува ползење на материјалот.

Оваа временска и температурна зависност во однесувањето на пластиката се случува поради полимерните вериги во делот кои не се враќаат во нивната првобитна состојба кога оптоварувањето ќе престане.

Вискоеластичноста кај пластиката е причина за да се изгуби особината на јакост со зголемување на температурата (види слика 4.13). Доколку пластичен дел се изложува на повисоки температури, станува повеќе свитлив: границата на развлекување се намалува и вредноста на точката на кинење се зголемува.



Слика 4.13 σ-ε карактеристика за ABS при различни температури

Механичките карактеристики на пластиката зависат од **температурата**. При зголемување на температурата обично се намалуваат карактеристиките на јакост на пластиката.

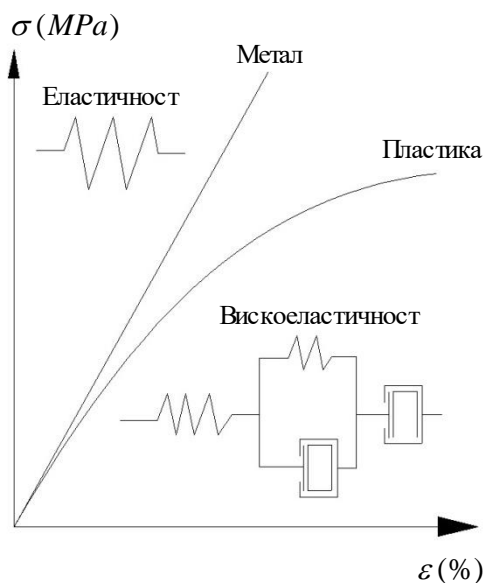
Кај пластичните делови во текот на времето се појавува **ползење** со зголемување на деформацијата со текот на времето под континуирано оптоварување и напон, како и напонско растоварување, намалување на напоните во текот на времето во делот под константна деформација. Со цел да се одговори на зададеното однесување, дизајнерите би требало да користат податоци кои се



однесуваат на соодветна температура, оптоварување и времетраење на кое ќе биде изложен делот.

На сликата 4.14 се прикажани вообичаените криви за карактеристиката напон-деформација за метал и термопластика. Металите имаат еластична карактеристика (и за нив важи Хуковиот закон) сè до границата на развлекување кога почнува пластичната деформација.

Поради вискоеластичноста пластичните материјали имаат тенденција на нелинеарното однесување, дури и на ниски вредности на напонот. Како резултат на оваа појава, модулот на еластичност (Young-модулот) се добива со паралелно поврзување на пружина и пригушувач.



Слика 4.14 Еластично подрачје од  $\sigma$ - $\epsilon$  карактеристиката за метали и термопластика

#### 4.2.4. Зависност на деформацијата од траењето на оптоварувањето

При краткотрајно оптоварување повеќето видови пластика се однесуваат како еластични материјали според Хуковиот закон, односно деформацијата е право пропорционална на оптоварувањето. Еластичноста при краткотрајно оптоварување се јавува на температури пониски од температурата на кристализација, кога молекулите се цврсто сврзани со меѓумолекуларните врски.

Еластичност при продолжено оптоварување се јавува при послопроменливи оптоварувања, а при престанување на оптоварувањата материјалот се враќа во почетната положба. Продолжената еластичност се јавува кога полимерот е во состојба на гума, односно близу и над температурата на кристализација. При оптоварување, молекулите (кои обично се извиткани) почнуваат да се одвиткуваат.

Поради непостоењето на кристализација молекулите може да се одвиткуваат сè додека не се исправат целосно. Некои од полимерите може да се растегнат и до 12 пати повеќе од нивната првобитна должина. При прекин на оптоварувањето,

молекулите се стремат повторно да се извиткаат. Растегнувањето и враќањето на материјалот се одвиваат релативно споро.

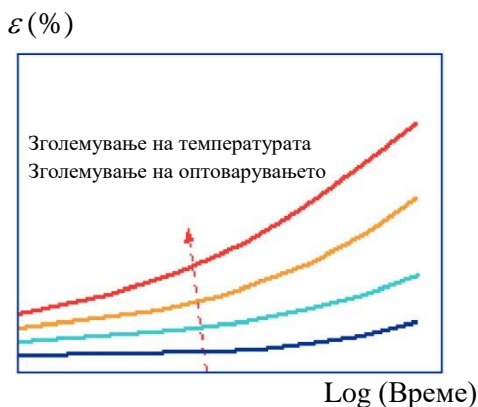
При спори промени на оптоварувањето, еден дел од деформацијата може да остане трајно, односно кај дел од материјалот се јавува вискозно течење. Вискозното течење се јавува како последица на споро меѓусебно поместување на молекулите. Кај вмрежените полимери (термосетовите) не се јавува вискозно течење поради ковалентните врски помеѓу молекулите.

### 4.2.5. Ползење

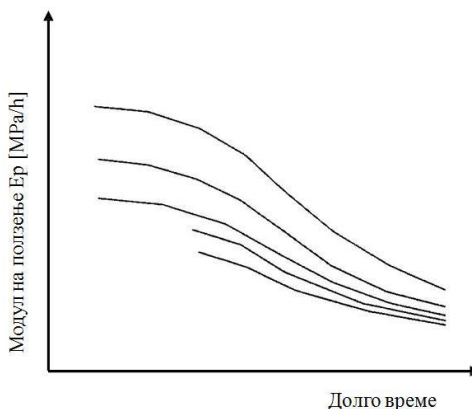
**Ползење** претставува трајна пластична деформација која се јавува поради дејство на товар за подолго време. Ползењето се мери по престанокот на дејството на товарот. Интензитетот на ползењето зависи од големината на оптоварувањето, температурата, траењето на оптоварувањето и видот на материјалот (види слика 4.15 и 4.16). Кристалните полимери обично имаат помало ползење од аморфните полимери. Армирањето на пластиката го намалува ползењето.

Модулот на ползење (види слика) се одредува за даден материјал под даден напон на дадена температура. Модулот на ползење се изразува како:

$$E_p = \frac{\text{напон } (\sigma)}{\text{вкупно издолжување во одредено време } (\epsilon=f(t,T))} \quad (4.2)$$



**Слика 4.15** Ползење во зависност од зголемување на температурата, оптоварувањето и времето



**Слика 4.16** Модулот на ползење зависи од времетраењето на оптоварувањето

Кога дел од пластика е под константно оптоварување (деформација) подолго време, силата потребна за одржување на истата деформација се намалува. Овој феномен се нарекува **релаксација** на напоните.

Деловите кои се изложени на долготрајно оптоварување со поголем товар се избегнува да се изработуваат од пластика поради појавата на ползење. Класичен пример се полиците кои не се изработуваат од пластика.

#### 4.2.6. Избор на пластика

Изборот на пластика за одредена намена може да бара доста размислување. Постојат многу различни видови пластика и многу својства со кои се карактеризираат.

Потребните карактеристики на пластиката може да се групираат според подрачјето на примена (види табела 4.2). На пример, електронските конектори се со сложен облик и тенки сидови, така што е потребно добро течење низ тенки сидови и добра прецизност на мерките. Спротивно, кај материјалите за пакување се бара цврстина, јакост и добра изолација од влага. Ваквите барања обично го водат процесот на избор на пластика.

Затоа, при избор на пластика, освен карактеристиките на јакост, битно е да се разгледаат и другите карактеристики на пластиката како што се: топлотна спроводливост, термичката експанзија, работна температура, енергија, можноста за рециклирање, осетот на допир, изглед, погодноста за боене, впивање влага, отпорност на УВ зраци, собирање во калап, и друго.

Различни карактеристики на пластиката и на други материјали може да се најдат на интернет-базата: **IdeMat Online Database**. Во оваа база може да се најдат податоци за: еластомери (гуми), пени, пластика за широка потрошувачка, инженерска пластика, армирана пластика, термосетови, и полимери базирани на аграрни материјали. Податоци за различни видови пластика може да се најдат и на **plasticsusa.com** или софтверот **CES**. Тука може да се најдат и податоци за процесите за обработка на поединечни видови пластика, хемиска отпорност и отпорност на УВ зраци.

Други богати извори на податоци се **www.matweb.com** и **www.bpf.co.uk**, каде што ќе најдете информации и за процесите за обработка на пластика, марки на пластика и многу други информации. Сепак, за конечен избор, најдобро е да се проверат точните податоци за конкретна пластика директно од производителите.

<p><b>Електрични/електронски врски</b> добро течење низ тенки сидови, отпорност на топлина, отпорност на запалување</p>	<p><b>Телекомуникации</b> добро течење низ тенки сидови, прецизност на мерките тврдина, јакост</p>	<p><b>Пакување</b> одлични својства за непропустливост цврстина, јакост</p>
<p><b>Здравство</b> добро течење низ тенки сидови, отпорност на хемикалии, издржливост при стерилизација, цврстина, јакост</p>	<p><b>Автомобили</b> добро течење низ тенки сидови, отпорност на растворувачи, отпорност на топлина, стабилност на мерките</p>	<p><b>Ладилна техника</b> одлични својства за непропустливост, добри својства при ниски температури, цврстина, јакост</p>
	<p><b>Бизнис-машини</b> добро течење низ тенки сидови, прецизност на мерките, отпорност на хемикалии</p>	<p><b>Аудио/визуелна опрема</b> добро течење низ тенки сидови, прецизност на мерките, цврстина, јакост, отпорност на топлина</p>

**Табела 4.2** Карактеристики кои се потребни за различни подрачја на примена на пластиката

## Процеси за обработка на пластиката

### 5.1. Вовед: Пластика и процеси

Постојат многу различни процеси за обработка на пластиката. Како најчесто употребувани може да се издвојат:

- инјекцино пресување,
- екструдирање,
- пресување,
- термообликување,
- екструдирање-дување,
- инјекцино развлекување-дување и
- ротацино леење.

Изборот на соодветен процес зависи од дизајнот и деталите на производот, големината на серијата, како и трошоците.

Инјекционото пресување, екстудирањето, екстудирање-дување, инјекцино развлекување-дување и ротационото леење, како суровина користат пластика во форма на гранули или прашок.

Кај термообликувањето, суровото парче е во форма на лист или плоча.

Секој од наведените процеси овозможува производство во големи серии, според количината која може да се продаде. Калапите за инјекцино пресување се најсложени и најскапи, но со нив може да се изработат и најсложени облици.

На веб-страницата <http://www.technologystudent.com/> може да се најдат основни информации за различни процеси, меѓу кои и процесите за обработка на пластика. Текот на процесите е илустриран со анимации и снимки.

Порталот **Јутјуб** има мноштво филмови за различни процеси.

**Не пропуштајте да ги посетите овие страници!**

### 5.2. Инјекцино пресување

Инјекционото пресување е процес при кој полимерот се загрева до температура на висока пластичност и се внесува во шуплината на калапот, каде што под висок притисок се лади и зацврстува. Отпресокот потоа се вади од калапот. Производниот циклус обично трае од 10 до 30 секунди, но може да трае и минута или подолго. Калапот може да содржи повеќе шуплини, така што во еден циклус може да се изработат повеќе делови.

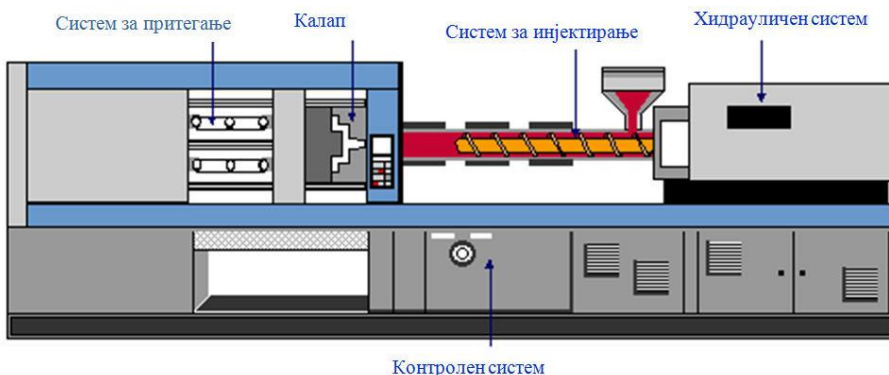
Карактеристики на процесот на инјекцино пресување се:

- скапа инвестиција во опрема,
- високи трошоци при работа,

- скап капац,
- долг век на калапот,
- големи серии од 10000 до 10000000 парчиња,
- ниски трошоци за работна рака,
- материјалот се користи скоро целосно,
- широк спектар на материјали: обично термопластика, ABS, ацетал, акрилик, најлон, поликарбонат, полиестер, полиетилен, стирен, уретан,
- широк спектар на производи: контејнери од сите видови, капаци, рачки, куќишта, столици и друго,
- квалитетна површина,
- потребата од доработка на деловите е незначителна,
- можност за изработка на делови со сложен облик,
- толеранции на мерите вообичаено околу  $\pm 0.2$  за тремоластика и  $\pm 0.05$  за термосетови,
- деловите треба да се конструираат за лесно вадење од калап,
- дебелина на сидовите: макс. 7mm, мин. 1 mm, за должини до 120 mm,
- пожелно е деловите да имаат рамномерна дебелина на сидовите и заоблени рабови,
- габаритот на деловите обично е од 0.05-200 cm<sup>3</sup>, но може и до 2000 cm<sup>3</sup> кај поголемите машини, итн.

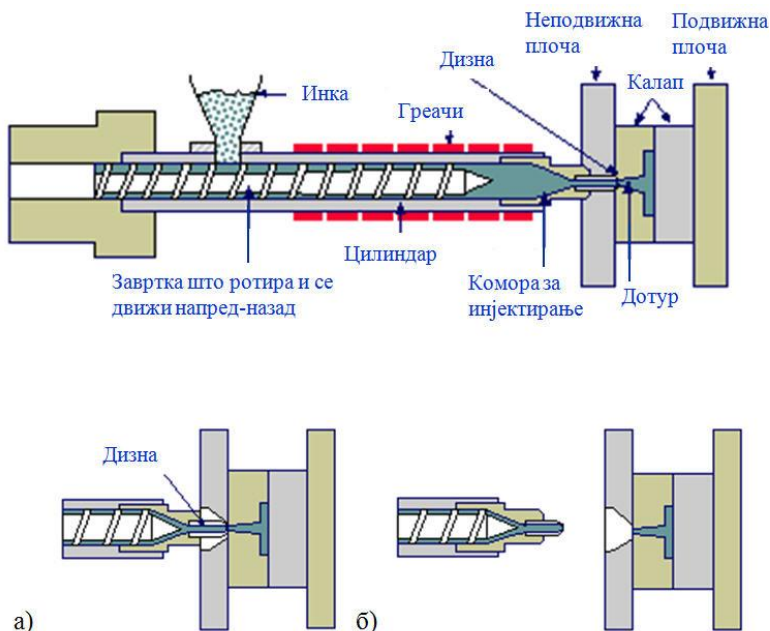
### 5.2.1. Инјекциона преса

Инјекционата преса се состои од: **инјектор** (кој ја топи и транспортира пластиката со помош на навоен транспортер - завртка) придвижуван од хидрауличен систем, **калап** (изработен според обликот на делот) и **систем за стегање** (кој го отвара и затвора калапот и ги држи притиснати двата дела од калапот при пресувањето. Шема на инјекциона преса е прикажана на сликата 5.1.



Слика 5.1 Шема на инјекциона преса

Делови од инјекционата преса се прикажани на сликата 5.2.

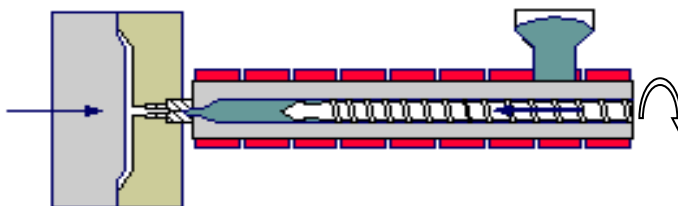


Слика 5.2 (а) Дизната при инјектирањето е отворена за да се внесе материјал во системот за дотур, (б) по престанок на инјектирањето се затвора со прстен и се повлекува назад

### 5.2.2. Чекори на инјекционото пресување

Чекори на инјекционото пресување се:

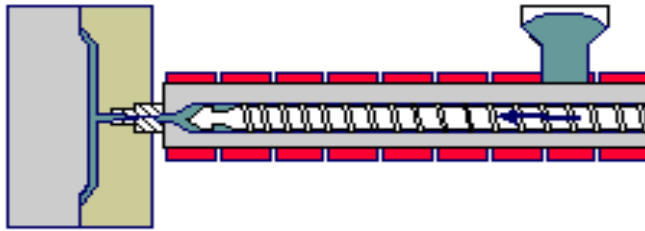
**1. Затворање.** Двата дела од калапот се затвораат и се држат заедно. Уредот за затворање ги држи деловите од калапот под притисок за време на инјектирањето и ладењето (види слика 5.3а).



Слика 5.3 (а) Затворање на калапот (чекор 1)

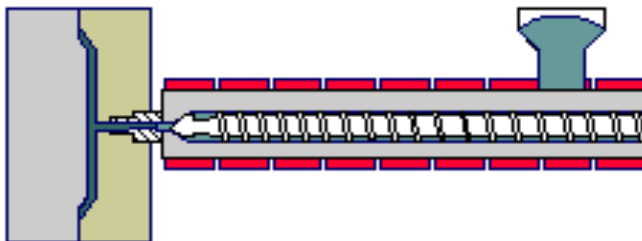
**2. Инјектирање.** Пластичниот материјал во облик на гранули (мали цилиндарчиња) или прашок се става во инката. Гранулиите се водат во цилиндарот каде се загреваат до топење. Во цилиндарот се наоѓа навоен транспортер (завртка) која ги меша растопените гранули и ги води кон излезот од цилиндарот. Кога ќе се насобере доволно растопен материјал на излезот, од цилиндарот започнува инјектирањето. Растопената пластика се внесува во калапот под притисок и брзина кои се управуваат преку завртката (види слика 5.3б).





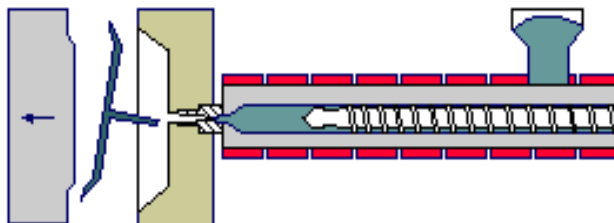
Слика 5.3 (б) Инјектирање (чекор 2)

**3. Пресување и отврднување.** При отврднувањето се прави пауза во процесот. Пластиката се држи под притисок за да се исполнат сите шуплини на калапот. Пластиката се остава да се олади и оцврсне во калапот (види слика 5.3в).



Слика 5.3 (в) Пресување и отврднување (чекор 3)

**4. Отворање на калапот и исфрлање.** Се отстранува притегањето на калапот при што се раздвојуваат двете половини. Делот се отстранува од калапот со цилиндри или прстен за исфрлање. Навојниот транспортер се враќа назад во почетна положба. Неискористениот материјал од каналите за дотур се откинува и може (издробен) повторно да се користи за други отпресоци. Калапот се чисти и подмачкува (види слика 5.3г).



Слика 5.3 (г) Отворање на калапот и исфрлање (чекор 4)

Порталот **Јутјуб** има мноштво филмови кои прилично добро го илустрираат процесот на инјекционо пресување. Погледнете ги следниве видео материјали:

- <https://youtu.be/YA8X8egacfM>

### 5.2.3. Калапи за инјекционо пресување

Калапот е наменски дел на системот за инјекционо пресување и обично служи за изработка на еден дел и повеќе одеднаш (на слика 5.4 е прикажан калап за изработка на два дела одеднаш). Калапот се состои од: систем за влевање, шуплина на калапот, систем за исфрлање на отпресокот, систем за водење на калапот, куќиште и елементи за темперирање на калапот (слика 5.5).

Обликот на калапот зависи од големината на отпресокот, капацитетот на инјекторот, бројот на калапните шуплини и од видот на полимерот.

Калапите може да се класифицираат според: бројот на калапните шуплини (гнезда), начинот на исфрлање на отпресокот, бројот на рамнини на поделба, обликот на отпресокот, положбата на водилките и др. Калапот на сликата 5.5 и 5.6 е со две калапни шуплини.

Добро дизајниран калап може да извршува повеќе функции како:

- доведување на растопената пластика преку систем на канали за дотур,
- прецизно ладење и/или загревање на отпресокот,
- одвојување и исфрлање на отпресокот од калапот и откинување и исфрлање на пластиката од системот за дотур.

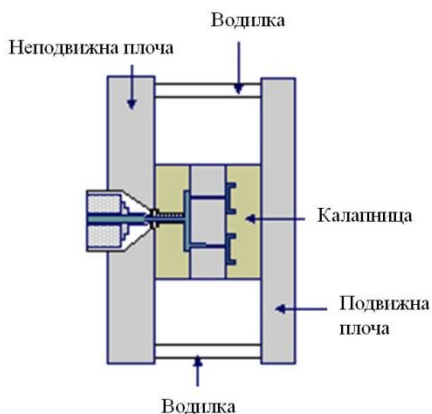
Системот за дотур се состои од: доведен канал, разводни канали и влезни порти (види слики 5.5 и 5.6).



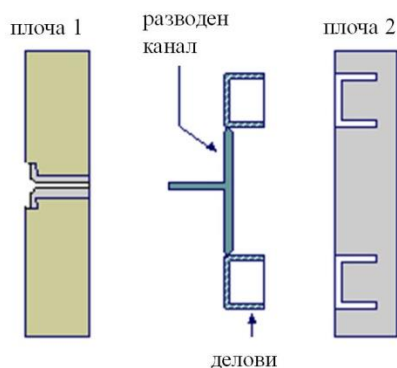
Слика 5.4 Калап за изработка на два дела одеднаш

Видови на системи за полнење: конусен централен (види слика 5.7), бочен, точкест, за филм, лепезест, во облик на диск, со тунел.

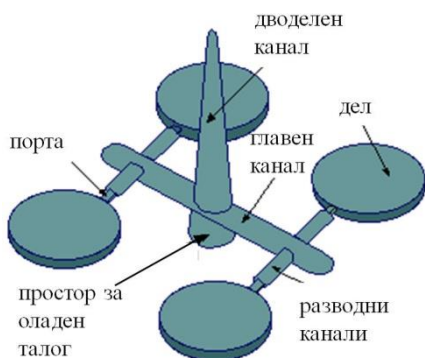
Кога материјалот може да се дотура по раб од делот близу до линијата на раздвојување, се користи дводелен алат, а кога влевањето на материјалот е централно во однос на калапната шуплина, се користи триделен калап (слика 5.8).



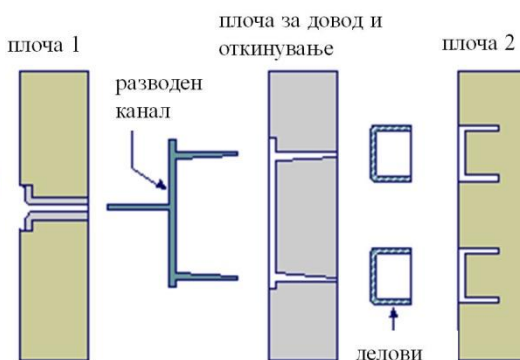
Слика 5.5 Шема на калап



Слика 5.6 Дводелен калап



Слика 5.7 Систем за дотур



Слика 5.8 Триделен калап

#### 5.2.4. Проблеми кои може да се јават при инјекционо пресување

Поради ладењето на пластиката во допир со ѕидовите од калапот може да дојде до **зацврстување пред целосно да се пополни калапот**. Деловите кои имаат наизменично дебели и тенки ѕидови може да претставуваат проблем за полнење, но кај инјекционото пресување тоа обично не е случај. Кај овој процес, до недоволно полнење на калапот обично доаѓа поради премал притисок на пресување или недоволна количина на внесен материјал.

За олеснување на полнењето, на критичните места може да се предвидат проширувања. Пополнувањето на калапот зависи и од вискозноста на пластиката. Во некои случаи проблем при пополнувањето може да се јави ако отворот за дотур е поставен на тенок ѕид, па затоа обично се поставува на подебел ѕид.

**Излегување на материјалот долж линијата на спојување** се јавува ако калапот е со послаб квалитет (постојат процепи помеѓу двата дела на калапот долж линијата на раздвојување) или ако пластиката е премногу вискозна, или ако

притисокот при инјектирањето е превисок, или ако силата за стегање на калапот е премала.

**Стеснувања долж текот на растопената пластика** може да доведат до потреба од поголеми притисоци. Освен тоа, се јавува ориентирање на молекулите што доведува до различни карактеристики во различни правци, а како последица се јавува тенденција за увивање на делот по вадењето од калапот.

**Заостанати напони** се јавуваат најчесто кај производи со тенки сидови, поради разликата во брзините на течење непосредно до сидовите од калапот и во средината.

**Расфрлање на материјал во калапот** се јавува кога нема директна пречка на течењето, туку пластиката се расфрла во релативно голем простор на калапот. Овој проблем се отстранува со поместување на отворот за дотур до сид за да го успори навлегувањето на материјалот.

**Линија на судир (завар).** При обиколка на столбови во калапот или при дотур од повеќе места, протокот се раздвојува и по обиколката повторно се спојува, при што поради ладењето на материјалот може да се јави линија на спојување која претставува слабо место на делот.

**Испуштање на заробениот воздух** низ тесни канали поставени на соодветни места е неопходно за правилно пополнување на калапот.

### **5.2.5. Обликување на деловите за инјекционо пресување во калапната шуплина**

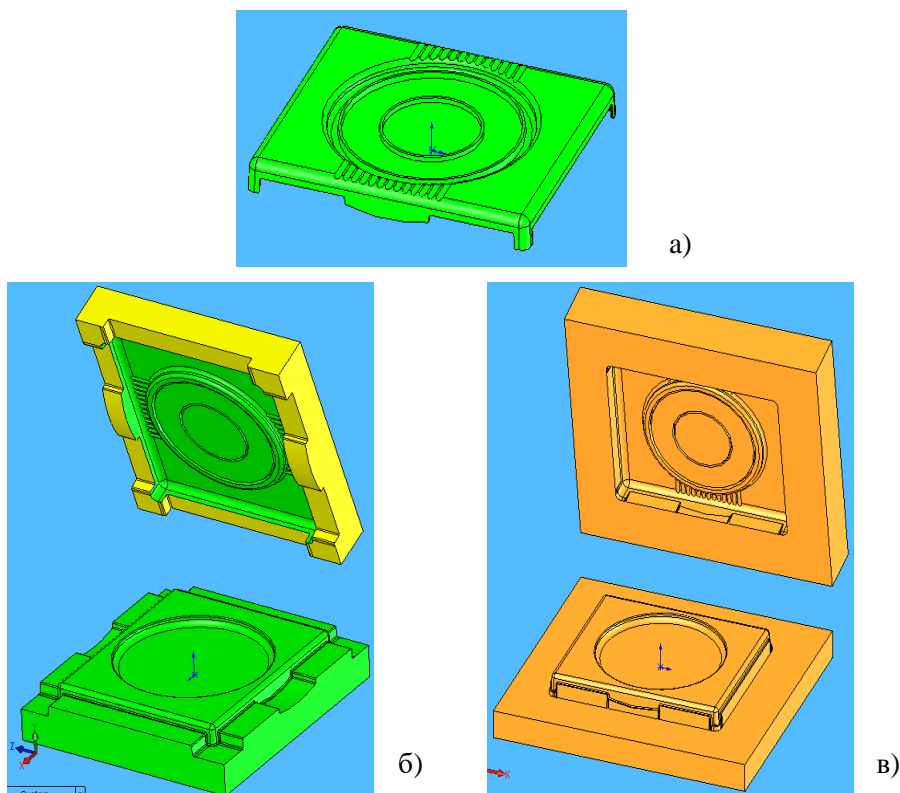
Постапката за обликување на деловите за инјекционо пресување се одвива во следниве чекори:

- Избор на поделбена рамнина.
- Закосување на страниците на делот спрема поделбената рамнина заради полесно вадење од калапот. Косината обично е поголема од  $0,5^{\circ}$ - $1,5^{\circ}$ .
- Заоблување на рабовите на делот. Рабовите кај поделбената рамнина најчесто остануваат остри. Ова е потребно заради полесно пополнување на калапот. Освен тоа, алатот (глодалото) со кое се изработува калапот има одредени радиуси.
- Корекција на големината на делот според предвиденото собирање.
- САД-системот овозможува автоматски да се формираат двата дела од калапната шуплина преку:
  - Класифицирање на површините од делот според поделбената линија на: површини од едниот и површини од другиот дел на калапот.
  - Анализа и затворање на отворите на површините за да се добие група поврзани површини без отвори.
  - Изработка на површината на раздвојување.

- Вградување на двете групи површини во соодветните плочи од калапот.
- Изработка на премин помеѓу површината на раздвојување/стегање до рамните страни на калапот (каде што има потреба).
- Кај калапите со повеќе шуплини се копираат и редат шуплините (во линија, по круг или во вид на матрица).

Површината на раздвојување обично има изводноци паралелни со површината на алатот, но не мора да е секогаш така.

За делот од пластика прикажан на слика 5.9 а) поделбената површина е премногу сложена ако се постави во продолжение на долните страни на делот, како на сл. слика 5.9 б). Поедноставни површини на калапот во овој случај се добиваат ако поделбената површина е во продолжение на бочните страни на делот како на слика 5.9 в).



Слика 5.9 Калапна шуплина изработена во SolidWorks

### 5.2.6. Детално обликување на делови од пластика со SolidWorks

Во продолжение се наведени неколку правила кои треба да се имаат предвид при конструирање делови од пластика со SolidWorks. Правилата не се сеопфатни

ниту генерални, но во повеќето случаи помагаат да се пронајде решение на проблем, доколку се појави.

Најмногу проблеми при конструирањето на делови од пластика се јавуваат поради заоблените рабови. Редоследот на заоблените рабови во однос на други примитиви може да биде важен (кај постарите верзии на CAD-системот). Обично се користи следниов редослед:

**НАДВОРЕШЕН ОБЛИК НА ДЕЛОТ → ЗАКОСУВАЊА → ГОЛЕМИ РАДИУСИ → ЛУШПА → МАЛИ РАДИУСИ**

Наредбата (Shell) овозможува да се моделира дел со еднаква дебелина на сидовите, но за некои страници од делот може да се зададе и друга дебелина. Кога се вградува лушпа (Shell), малите радиуси (помали од дебелината на лушпата) треба да се внесат отпосле. Рабовите што се заоблуваат со мал радиус, по наредбата за правење лушпа обично треба да се заоблат и од надвор и од внатре на лушпата.

Претходно заоблените рабови оневозможуваат изработка на лушпа со различни дебелини на сидовите.

Заоблените рабови со радиус поголем од дебелината на лушпата се моделираат пред лушпата.

Ако после заоблување на раб се направи закосување на страна се јавува испакнатина. Тоа претставува проблем ако рабовите се паралелни со поделбената рамнина. Заради тоа, наједноставно е да се закосат страните при наредбата за градење примитиви (Extrude), или ако тоа не одговара, тогаш треба заоблените рабови да се вградат (поместат) по закосувањето на страниците.

**Радиуси кои треба да се вградат помеѓу закосување на страните и вградување лушпа се: големите радиуси помеѓу страни кои се веќе закосени, кога страните се со еднаква дебелина.**

**Радиуси кои се вградуваат по лушпа се: радиусите кои се помали од дебелината на лушпата и радиуси помеѓу страни со различна дебелина.**

Кај деловите со сложени површини, треба да се провери минималниот радиус на закривеност. Треба да се провери и дали има куси рабови или лоша геометрија, кои може да претставуваат проблем при изработка на лушпа. Острите рабови исто така може да прават проблем при изработка на лушпа. Проверките на страниците и рабовите се прават со Tools > Check.

Заоблувања се задаваат обично за сите рабови, освен рабовите од поделбената линија.

Закосувањето на страници може да се прави пред и по вградување лушпа. Ако закосувањето се прави по вградување лушпа, тогаш може подоцна да се јави потреба од закосување и на надворешни и на внатрешни страници.

Пожелно е соседните страни да бидат еднакво закосени. При закосување треба да се внимава на промена на дебелината на сидовите.

Закоосување на страните не е потребно на оние мерки каде се јавува доволно собирање на материјалот при ладење во калап. Закоосување на заоблен раб може да резултира во заоблување со променлив радиус. Во таков случај, заоблувањето треба да се направи по закоосувањето. Закоосување може да се зададе и за страници кои се претходно закоосени. Закоосувањата не се собираат, односно доминира поголемото. Закоосување може да се примени и кај закривени површини кои завршуваат нормално на рамнината на раздвојување.

Скалирањето за да се компензира собирањето во калапот се помни како различна конфигурација на делот. Мерките во скиците и другите мерки на делот не се менуваат.

Во склоп, не треба да се задаваат допири или да се користат како референтни рабовите од незавршените пластични делови, зашто со доработка на делот може да се изгубат некои рабови и да се расипат допирите. Исто така, може да се појават проблеми со допирите ако пластичен дел вграден во склоп се доработува со закоосување страници.

### **5.2.7. Симулација на инјекционото пресување**

Со софтверски пакети може да се изврши проверка на проблемите при полнењето и ладењето на отпресокот и проверка на процесните параметри со симулација на процесот на инјекционо пресување за даден дел. Конструктот на овој начин може да ги одреди потребните промени на геометријата на делот, како и основните параметри на процесот.

Информации и примери за примената на софистицираните софтверски пакети Abaqus, SolidWorks Plastic и Moldflow може да се најдат на интернет. На пример, симулација на можните проблеми при пополнувањето на калап може да се види на:

<http://www.autodesk.com/products/moldflow/overview>

<http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/plastics.htm>

Се симулира можна појава на дефекти на отпресокот:

- проверка на целосно пополнување на калап со тенки сидови,
- проверка на појава на шуплини од заробен воздух,
- проверка на заостанати напони,
- проверка на линија на заварување и претопување,
- проверка на собирање на материјалот во калапот,
- проверка на местата на извивање по вадењето од калап,
- точно одредување места за испуштање воздух од калапот.

Се симулираат и процесните параметри и нивното влијание:

- притисокот при инјектирање и силата на стегање на калапот,
- протокот под дејство на притисокот,
- мешање со гасови за формирање пена,



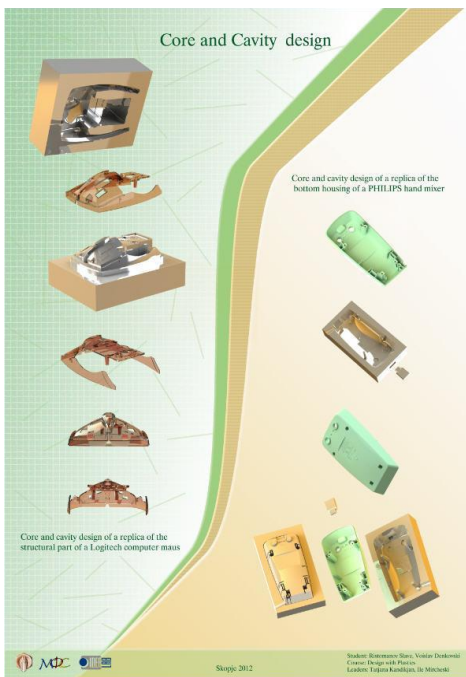
- менување на времето на вклучување на притисокот (пред, за време на и по инјектирањето на полимерот), симулација на дејството на притисокот врз материјалот,
- одредување на положбата на отворот/отворите за полнење така да се минимизира притисокот на пресување и силата за стегање на калапот,
- одредување на моментот на оладување, за да се предвиди потребното време на ладење,
- определување потребни температури во различни делови од калапот,
- симулација на затворањето на дизната за да се спречи враќање на материјалот назад.

### 5.2.8. Примери на производи добиени со инјекционо пресување



Слика 5.10 Примери на производи од пластика добиени со инјекционо пресување

На слика 5.10 се прикажани примери на производи од пластика добиени со процесот на инјекционо пресување. На слика 5.11 се прикажани проектни задачи за дизајн на производи од пластика добиени со процесот на инјекционо пресување изработени од студентите од насоката индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје.



# Core & cavity design

for injection moulding die



MTC



Skopje, 2013

Ana Velkova P901  
Miroslava Kuzmanovic P9592  
Course: Design with plastics  
Leader: prof. Tatjana Kandlikjan Ph.D

## TOY MOLD



MTC



Skopje 2013

Student: Damjan Kolevski P911  
Course: Design with Plastics  
Leader: Ph.D. Tatjana Kandlikjan

Project n1  
**Core and cavity**

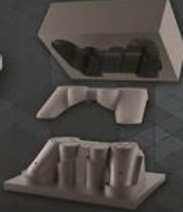
Shower head



Old phone shell



PS One controller



"St. Cyril and Methodius" University  
 Faculty of Mechanical Engineering  
 Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab

Students: Stefan Marinovskii, Bojan Bozhovski, Angel Kostovski  
 Course: Plastic products design  
 Leader: Prof. Dr. Tatjana Kandakjan  
 School Year: 2014/2015

**CORE & CAVITY DESIGN**



**Hair Dryer**



**Handle**



**TV Remote**

"St. Cyril and Methodius" University  
 Faculty of Mechanical Engineering  
 Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab



Students: Ognen Manevski, Filip Stojanovski, Angela Josifovska  
 Course: Design with Plastics  
 Leader: PH.D. Ilie Mircheski  
 School Year: 2015/2016

# Ginkgo Chair

*Delicate as the leaf*

Elegant design with a longevity as it's inspiration, bringing you close to nature.

"Ss. Cyril and Methodius" University  
Faculty of Mechanical Engineering  
Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab

Student: Andrej Pavlov  
Course: Design with Plastics  
Leader: doc. dr. Ilie Mireheski  
School Year: 2015/2016

Chair legs attachment

"Ss. Cyril and Methodius" University  
Faculty of Mechanical Engineering  
Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab

Student: Angelina Jordanoska  
Course: Design with Plastics  
Leader: Prof. Dr. Tatjana Kandikjan  
School Year: 2013/2014



# Playful Cloud Chair

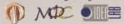
Inspired by "Love Street" Vane Kosturanov



An unassuming take on the everyday side chair—nice lines, great materials and a form that's comfortable in any space.



"Ss. Cyril and Methodius" University  
Faculty of Mechanical Engineering  
Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab



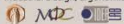
Student: Aleksandra Aleksovska  
Course: Design with Plastics  
Leader: Doc.dr. Ili Mircheski  
School Year: 2015/2016

# Pacman Chair

The pacman chair is perfect combination of metal and plastic providing comfort and great design. Makes you feel comfortable and gives you tranquility.



"Ss. Cyril and Methodius" University  
Faculty of Mechanical Engineering  
Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab



Student: Frosina Minoska  
Course: Design with Plastics  
Leader: Prof. Dr. Tatjana Kandikjan  
School Year: 2013/2014

Слика 5.11 Примери на дизајн на производи од пластика од студентите на насоката индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје

## 5.3. Екструдирање

Екструдирањето на пластика е процес при кој пластичните гранули се греат и мешаат за да се добие континуиран тек на растопена пластика која потоа се истиснува низ алат (матрица) во кој делумно се лади и го добива конечниот профил. Профилите се сечат на одредена должина и се поставуваат на транспортна лента чија брзина е блиска на брзината на процесот, каде се ладат целосно. Екструдирањето е релативно поевтина постапка од инјектирањето. Примери на производи кои се изработуваат со екструдирање се: пластични профили за опшивка на кровови (ламперија), ролетни, цевки, лајсни за опшивка на кади и кујнски работни површини, гуми за врати од автомобили, плочи, листови од пластика, фолии, рамки за прозорци и др. (види слика 5.12).



Слика 5.12 Производи добиени со процесот екструдирање

### 5.3.1. Екструдери

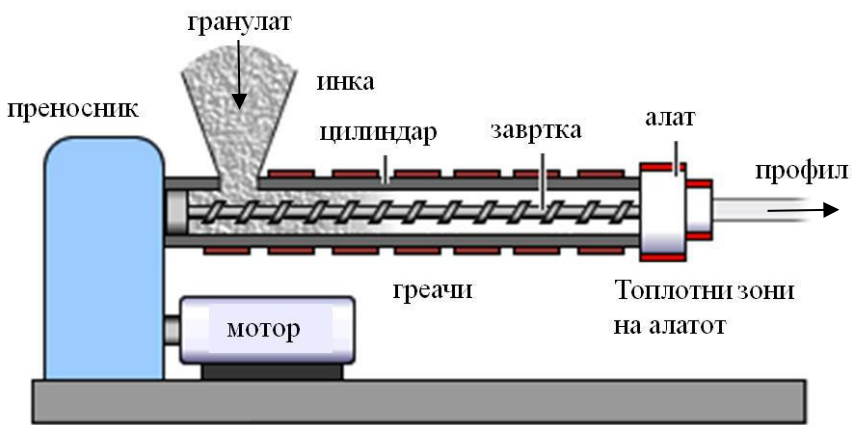
Машината за екструдирање (слика 5.13) се состои од цилиндар со навоен транспортер (инјектор) и алат во вид на матрица. При екструдирањето не е потребен висок притисок и стегање како кај инјекционото пресување, што го прави процесот поевтин.

Пластиката се внесува во цилиндарот каде што се загрева, меша и води, така што кога ќе пристигне кај алатот е сосема растопена. Растопената пластика се

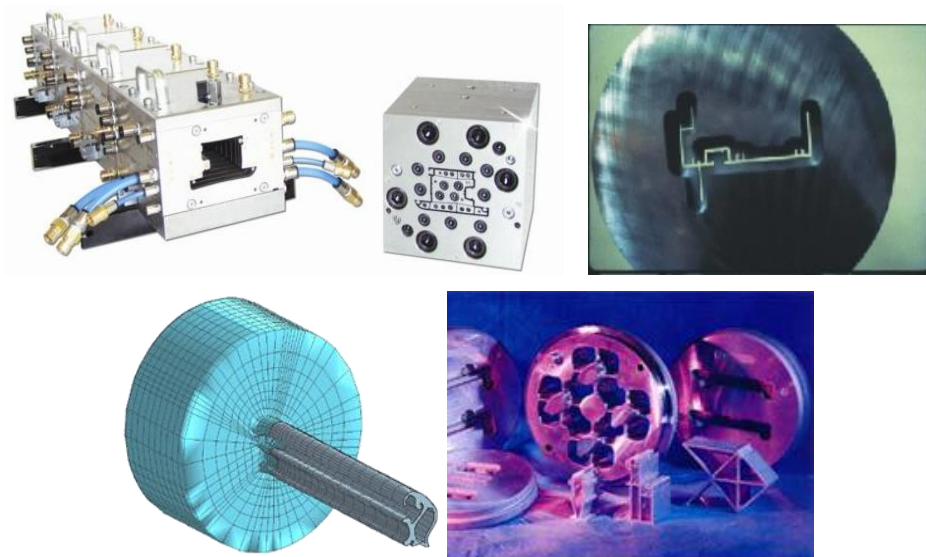


истиснува низ алат или алати кои го формираат обликот на профилот. Во задниот дел на алатот профилот се подоладува. По излегување од калапот готовиот профил се лади целосно и се сече на потребната должина. Начинот на ладењето зависи од видот на производот. Плочи се ладат и обликуваат со помош на многу мазни валчиња кои се ладат со вода. Други производи се ладат со дување воздух или прскање со воден спреј.

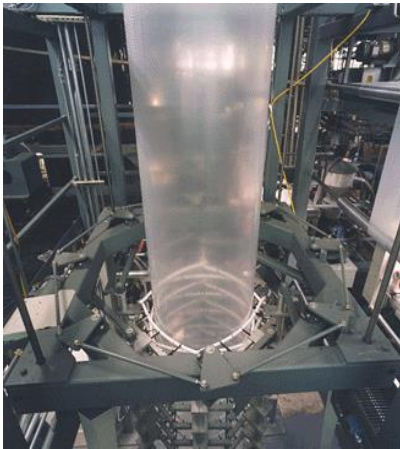
Алатот за екструдирање (матрицата) се состои од: конусен дел кој го насочува материјалот и прав дел со кој се добива потребниот облик (види слика 5.14). Во задниот дел на алатот материјалот се лади и стврдува. На слика 5.14 најдолу лево е прикажан изглед на материјалот кој минува низ алатот. Екструдерите може да се класифицираат според производот за кој се прилагодени и тоа: екструдери за профили, екструдери за цевки, екструдери за плочи, екструдери за фолија и др. (види слика 5.15).



Слика 5.13 Машина за екструдирање



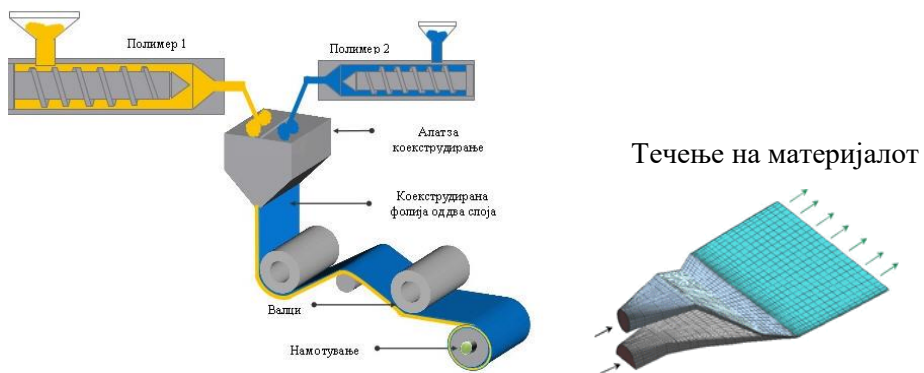
Слика 5.14 Алат за екструдирање (матрица)



Слика 5.15 Машини за екструдирање

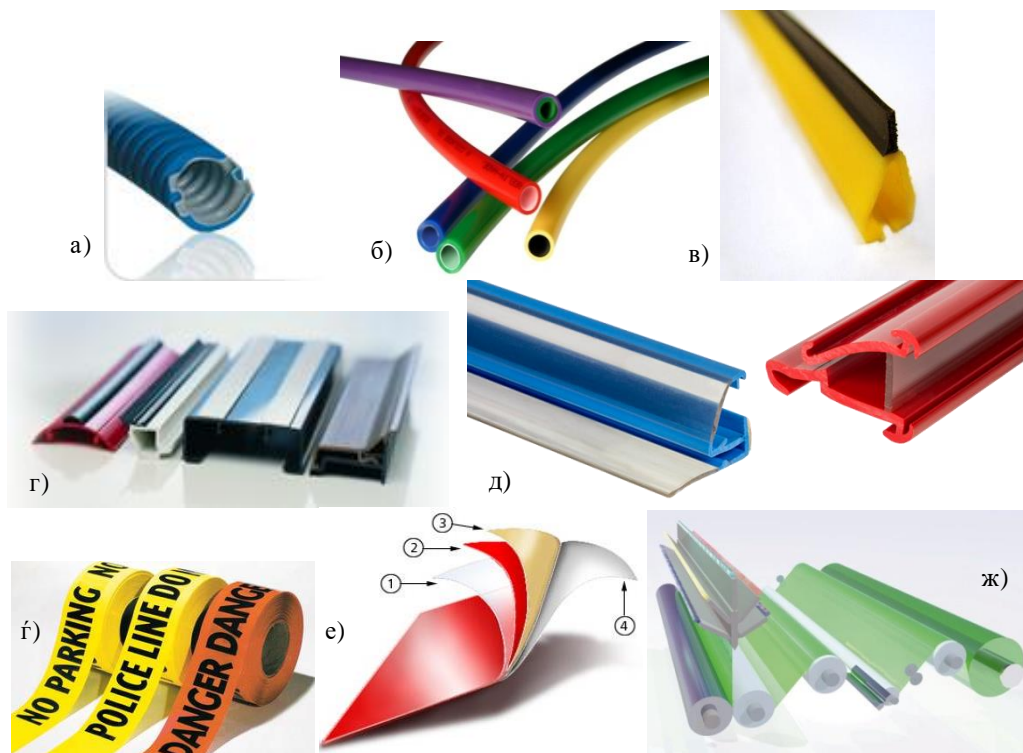
#### 5.4. Кокструдирање

Кокструдирање претставува истовремено екструдирање на различни видови пластика со цел да се постигнат комбинирани својства (види слика 5.16). На овој начин се произведуваат цврсти профили кои на рабовите имаат мека заптивка, повеќеслојни фолии, и др. На пример материјалот за кесата за чипс се формира од осум многу тенки слоеви од кои секој има соодветна функција. Кокструдирањето се врши со комбинирање повеќе екструдери кои инјектираат во ист капац за да се произведе еден дел.



Слика 5.16 Процес на кокструдирање

На слика 5.17 се прикажани производи добиени со процесот на коекструдирање.



Слика 5.17 Производи добиени со процесот на коекструдирање: а) и б) двослојни цевки, в), г), и д) лангет од тврда пластика и заптивки од еластомер, е), ж) повеќеслојни фолии.

## 5.5. Пресување пластика

Пресувањето на пластика се користи обично за обработка на термосет-пластика и еластомери. При пресувањето, пластиката се става во загреан капац, по што се затвораат двете половини од капацот и се притискаат за време колку што трае вмрежувањето на термосет-пластиката. Трошоците за алатот се умерени поради едноставноста на капаците во однос на инјекционото пресување.

Со ова пресување се изработуваат делови за автомобили, спортски обувки, штици за сурфање, палки за хокеј и друго (види слика 5.18).

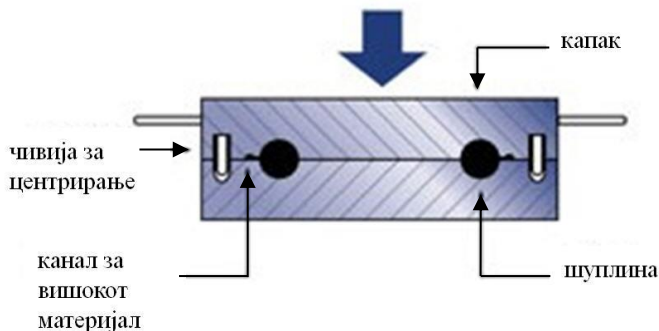
Машината за пресување на пластика се состои од две плочи од кои едната може се движи горе-долу (види слика 5.19 и 5.20). Капацот се поставува помеѓу плочите. Под дејство на топлина и висок притисок материјалот се обликува според капацот, при што материјалот содржи катализатор за вмрежување на пластиката.

Попродуктивните преси имаат и единица за инјектирање. Притоа треба да се внимава материјалот да се загрее само до температура неопходна за внесување на материјалот во капацот, инаку ќе дојде до прерано вмрежување. Високата температура и притисокот во капацот го зацврстуваат термосет-материјалот.

Двата вида пресување користат ист вид преса, а разликата е во конструкцијата на калапот.



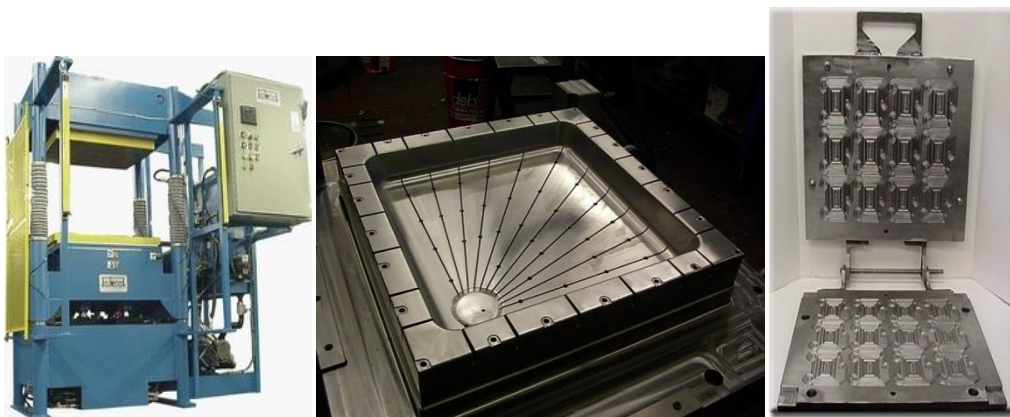
Слика 5.18 Производи добиени со процесот пресување пластика



Слика 5.19 Шематски приказ на машината за пресување пластика

Кај пресувањето материјалот се истура во долната загреана плоча на калапот. Штом материјалот ќе омекне, се затвора калапот, по што пластиката ги исполнува сите шуплини на калапот. Количината на материјал е нешто поголема од потребната, така што вишокот на материјал излегува низ за тоа предвидени отвори. Калапот се држи затворен под притисок додека трае вмрежувањето и потоа се отвора и се отстранува делот.



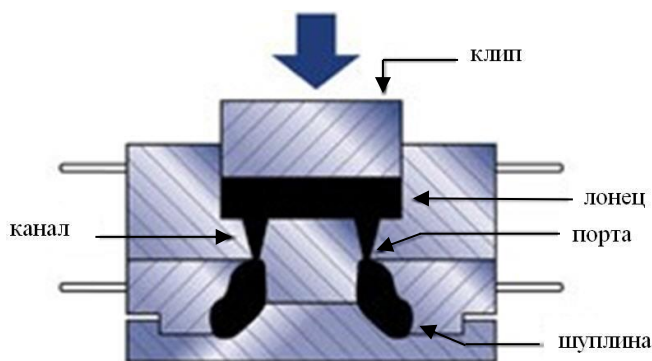


Слика 5.20 Машина и алат за пресување пластика

### 5.6. Трансфер-пресување

Трансфер-пресувањето се разликува според начинот како пластиката се донесува во шуплината на калапот. Кај трансфер-пресувањето, прво се затвора празен калап. Во горниот дел од калапот постои лонец (резервоар). Точно одредена количина на загреана пластика се става во лонецот. За да се осигура добро „полнење“, количината на материјалот што се дотура е нешто поголема отколку што треба за правење на делот. Преку канали, пластиката навлегува во калапната шуплина. Кога пластиката е загреана на доволна температура, започнува да се притиска со клип, кој ја тера пластиката да ја пополни целосно шуплината. На тој начин пластиката се пренесува (трансферира) од лонецот во калапната шуплина. Под дејство на соодветна температура и притисок термосет-пластиката се вмрежува. По завршување на пресувањето, каналите едноставно се откинуваат. Клипот се повлекува горе за да се исчисти резервоарот. На сликата 5.21 е претставен шематски приказ на машината за трансфер-пресување.

Кај трансфер-пресувањето, материјалот во лонецот може да се дотура и со инјектор.



Слика 5.21 Шематски приказ на машината за трансфер-пресување

## 5.7. Термообликување

Термообликувањето претставува менување на формата на лист, плоча или широка лента од термопластика со помош на топлина и притисок (или вакуум), при што листот го добива обликот според лицето на калапот. Ова е најекономичниот и најкористениот процес за обработка на тенка пластика и се користи претежно за опаковки. Во поново време со овој метод се изработуваат и внатрешност на фрижидери, туш-кабини и друго (види слика 5.22).

Калапот има само една страна која има облик според површината на готовиот дел. Сите варијанти на термообликувањето содржат движење (виткање, тегнење) на загреана пластична плоча со примена на притисок, вакуум или комбинација од двете.

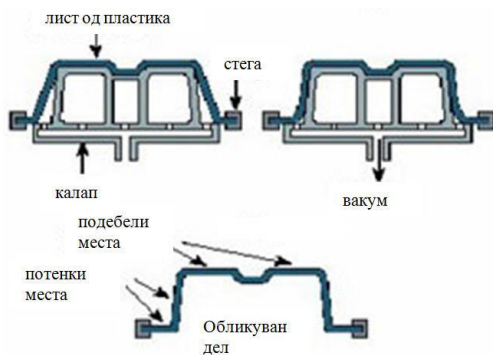


Слика 5.22 Производи добиени со процесот на термообликување

Студентите на Машинскиот факултет во Скопје изработија машина за термообликување со помош на вакуум, која служи за изработка на пластични декоративни плочки за украсување сидови (види слика 5.25).

### 5.7.1. Термообликување со вакуум

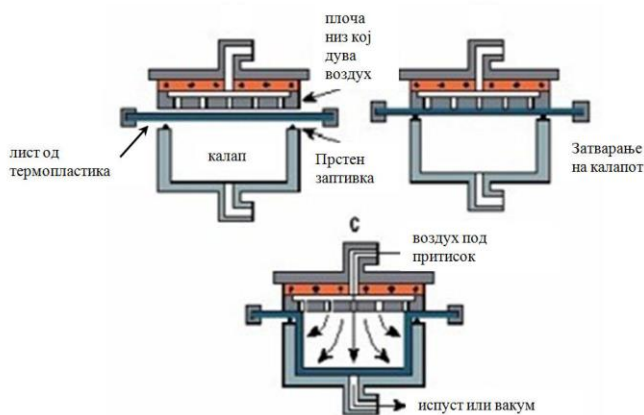
При овој процес, лист пластика со дебелина 0.025 - 6.5 mm се поставува над лицето на калапот и пластиката се загрева до омекнување. Кај поголемите дебелини греењето е од двете страни. Потоа се извлекува воздухот помеѓу листот и калапот, при што пластиката се доближува и обликува според калапот. Делот потоа се лади и отстранува од калапот. Рабовите на делот се откројуваат според потребниот облик. Според обликот, калапот може да биде вдлабнат или испакнат. Кај вдлабнатите калапи можна е нерамномерност на дебелината на сидовите. Подобра рамномерност се постигнува со испакнат калап. На сликата 5.23, процесот на термообликување е претставен шематски.



Слика 5.23 Шематски приказ на машината за термообликување со вакуум

### 5.7.2. Термообликување со притисок

Над калапот се поставува и загрева лист од пластика (види слика 5.24). Се користи притисок за да се натера пластиката да се обликува според калапот. Делот се лади и се вади од машината.



Слика 5.24 Шематски приказ на машината за термообликување со притисок

Со помош на машината за термообликување со вакуум се изработуваат пластични декоративни плочки за сид.



Слика 5.25 а) Изработка на машина за термообликување со вакуум изработена од студентите на Машински факултет во Скопје





"Ss Cyril and Methodius" University  
Faculty of Mechanical Engineering  
Industrial Design, Ergonomics and Applications Lab



Student: Andrijana Savovska  
Course: Design with Plastics  
Leader: Prof. Dr. Tatjana Karadikjan  
Assistant: Ile Mircheski  
School Year: 2014/2015



**Слика 5.25 б)** Дизајн на производи од студенти при насоката Индустриски дизајн на Машински факултет во Скопје за производи добиени со процесот термообликување со вакуум

## 5.8. Свиткување со загревање

Лист од термопластика (најчесто акрилик или други) се загрева локално и се витка до потребен агол и радиус на заоблување. При ладење делот го задржува обликот. Машината за свиткување со загревање е прикажана на слика 5.27.

Со овој процес најчесто се изработуваат украсни држачи и полици за проспекти (види слика 5.26).



Слика 5.26 Производи добиени со процесот на свиткување со загревање



Слика 5.27 Машина за свиткување на лист од термопластика со загревање

## 5.9. Екструдирање - дување

Екструдирање - дување претставува процес кој најчесто се користи за изработка на шупливи делови од термопластика како канистери, шишиња, тегли, играчки, резервоари за гориво и др.

Процесот на екструдирање - дување (слика 5.28) се одвива во следниве чекори:

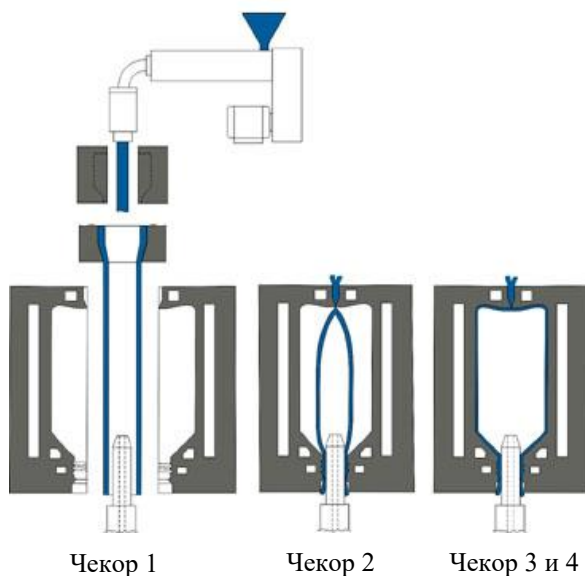
- 1) Екструдирање на шуплива цевка од пластика.

2) Затворање на двете половици од калапот околу цевката со што се затвора калапот и се отсекува цевката и се затвора дното на цевката, при што се добива облик сличен на балон.

3) Се дува воздух така што цевката се развлекува и го добива обликот на сидовите од калапот, со што се калибрира и отворот. Се држи под притисок додека се олади.

4) Калапот се отвора и се вади делот.

5) Делот се дотерува со отсекување на пластика која евентуално се излеала помеѓу двете половици од калапот. Се отстранува згмечениот вишок од цевката при дното.



**Слика 5.28** Шематски приказ на процесот екструдирање - дување

Карактеристики на процесот се: може да се произведат шупливи садови со различна големина, облици и дебелина, цвечести делови. Калапите се евтини, процесот е интегриран и флексибилен. На слика 5.29 се прикажани производи изработени со процесот на екструдирање - дување.

Прстените за изработка на вратот на шишиња се стандардизирани.



**Слика 5.29** Производи добиени со процесот на екструдирање - дување

Машините за екструдирање - дување овозможуваат сериско производство на шишиња и играчки. Производите се со добра точност. Како материјал се користи: полиетилен, полипропилен, поливинил хлорид и др.

Машината за екструдирање - дување обично има два калапа кои се движат лево-десно и две станици за дување. Додека едниот калап ја прима екструдираниот цевка, другиот калап е затворен и во него се дува шишето. Кога ќе се извади шишето, калапите се поместуваат, така што се дува во вториот калап, а се екстудира во празниот.

Дотурот на пластиката е скоро ист како при екстудирањето и нема потреба од големи притисоци при екстудирањето. За затворање на калапите при дувањето е потребно притегање кое се остварува со механизам за стегање. Притисокот за затворање на калапот при дување е помал отколку во процесот на инјекционо пресување.

На слика 5.30 а) се прикажани калапи за екстудирање - дување. На сликата 5.30 б) се прикажани шишиња за млеко (од 3,5 литри) кои излегуваат од калапите. На долниот дел од шишињата се забележува остатокот од затворањето на дното, кој сè уште не е отстранет.



Слика 5.30 а) Калапи за екструдирање - дување и б) шишиња за млеко.

## 5.10. Инјекционо развлекување - дување

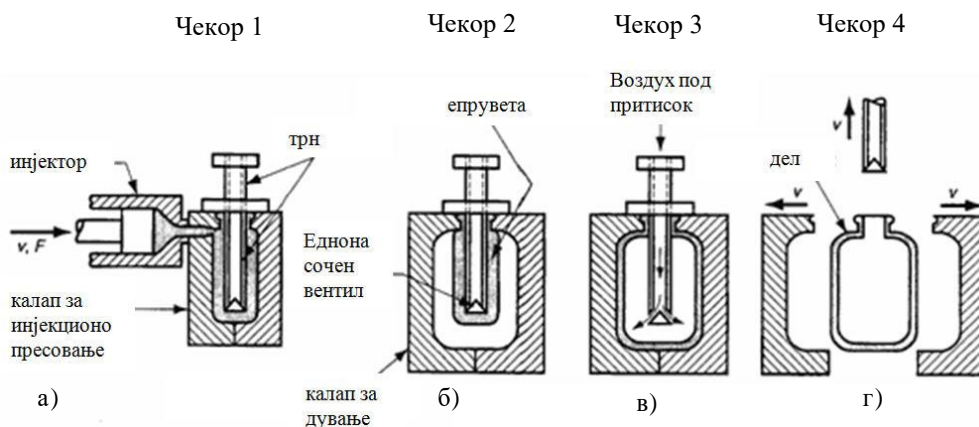
Инјекционото развлекување - дување е процес кој се одвива во три или четири фази и со него се произведуваат претежно пластични шишиња за пијалаци. Фазите за процесот на инјекционо развлекување - дување се:

1) Со инјекционо пресување се формира затворена цевка (епрувета) од пластика (слика 5.31а). Калапот за инјекционо пресување има централно јадро во облик на трн, а кај излезот има облик на вратот на шишето. При инјекционото пресување на епруветата, вратот на шишето со навојот го добива својот конечен облик.

2) Епруветата се темперира (се грее до температура потребна за развлекување и дување). Загревањето на епруветата може да се одвива веднаш по инјектирањето или подоцна.

3) Калапот се затвора околу епруветата и низ отворот навлегува трнот за развлекување, и ја развлекува епруветата скоро до дното на калапот. Истовремено се внесува воздух под притисок кој ја надувува епруветата и ја притиска кон сидовите од калапот (слика 5.31 б) и в)).

4) По кус период на ладење готовото шише се исфрла од калап (слика 5.31 г).



Слика 5.31 Шематски приказ на процесот инјектирање - дување





**Слика 5.32** Елементи од процесот инјекционо развлекување - дување: а) приказ на процесот и б) елементи од алатот

Инјекционото развлекување - дување има низа важни погодности за производство на пластични шишиња. Со овој процес се произведуваат целосно готови шишиња без рабови, со тесни толеранции и не е потребна никаква доработка.

За производство на помали контејнери (теглички и шишенца), по инјектирањето се менува калапот и пластиката се дува за да го добие конечниот облик. Овој процес се нарекува инјектирање - дување.

Со овој процес се произведуваат шишиња со еднаква тежина (со толеранција од  $\pm 0.1$  г.) Вратот на шишето може да се изработи со голема точност (толеранција  $\pm 0.0001$  mm). Тежината и димензиите на шишињата се еднакви и при големи серии.

Растегнувањето ги ориентира молекулите на пластиката во две насоки со што значително се зголемува нејзината јакост, непропустливост и просирност.

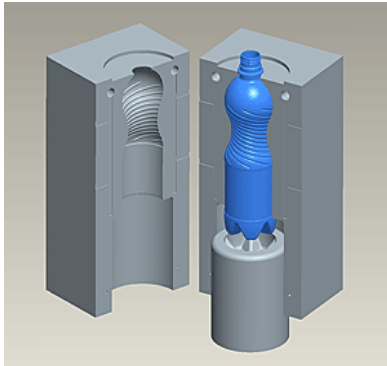
Машината која се користи за инјекционо развлекување - дување се состои од машина за инјекционо пресување опремена со систем на калапи, слично како машината за екструдирање - дување, така што епруветите изработени со инјекционо пресување се пренесуваат во калапи за дување (види слика 5.32).

Кај повисоките шишиња потребно е развлекување на епруветата надолу во калапот пред дувањето, зошто инаку материјалот побргу би стасал до горните

делови од калапот и би се оладил, а кај долниот дел би се јавило сериозно истенчување.

Калапите за инјекционо пресување на епрувети имаат повеќе гнезда за изработка на повеќе епрувети во еден циклус.

Кога дното на шишето е со сложен облик, калапот освен лев и десен има и долен дел, односно таканаречен триделен калап (види слика 5.33).



Слика 5.33 а) CAD модел на триделен калап и б) калап со две гнезда

На слика 5.34 се прикажани проектни задачи за дизајн на производи од пластика добиени со процесот на екструдирање - дување и инјекционо развлекување - дување, изработени од студентите од насоката Индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје.







Слика 5.34 Примери на дизајн на производи од пластика од студентите на насоката Индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје

## 5.11. Ротационо леење

Ротационото леење е процес за производство на шупливи делови со најразлични големини и облик. Калапите и машините за ротационо леење се обично евтини и трајни. Се произведуваат играчки, резервоари, кутии за алат, опрема за детски игралишта, куќишта, мебел, багажници за автомобил (види слика 5.35). Со овој метод може да се изработат големи и дебелосидни делови што е тешко со други процеси. Се применува и за помали серии од над 2000 парчиња.

Фазите за процесот на ротационо леење (види слика 5.36) се:

1) Пластика во облик на брашно, гранули или во течна состојба се внесува во калапот.

2) Калапот се загрева и симултано ротира полека околу две заемно нормални оски. За време на првиот дел од фазата на загревање, кога материјалот е сè уште во вид на брашно, се формира скрама на површината од калапот. Материјалот постепено се загрева до температурата на топење и поради центрифугалните сили се создава хомоген слој со униформна дебелина во целиот калап. Кога се внесува течен материјал, тој тече по површината на калапот сè додека не почне да се формира гел со што престанува течењето на пластиката.

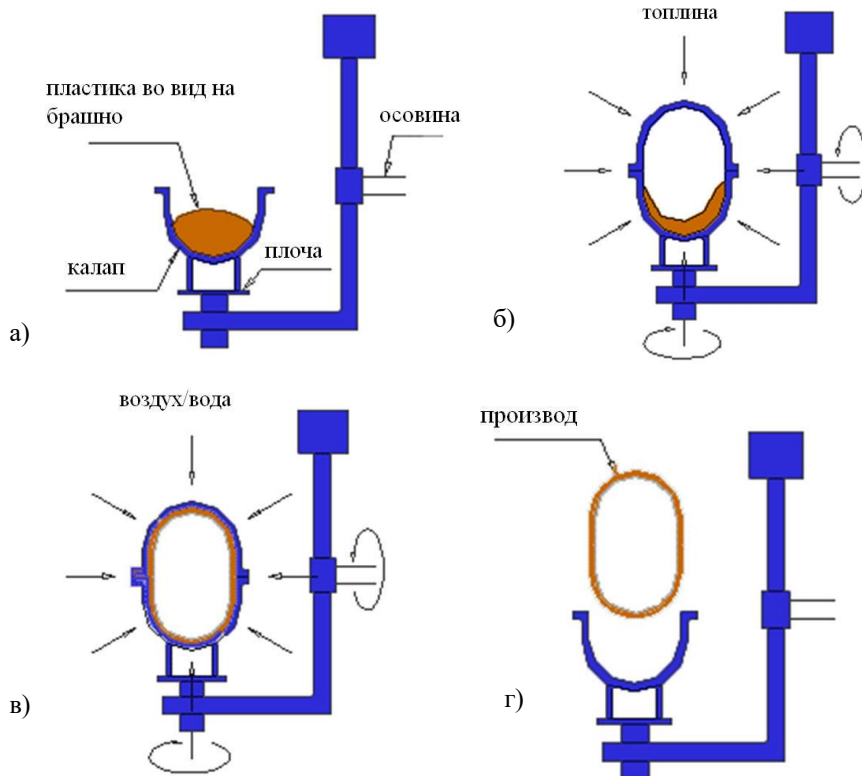
3) Калапот потоа се лади со проток на воздух или воден спреј за да се зацврсне пластиката.

4) Калапот се отвора и се отстранува одливката, а потоа се полни со материјал за следниот циклус.

Најпопуларниот систем за ротационо леење има хоризонтална оска и се нарекува карусел. Обично има три калапи кои работат наизменично и се поместуваат во соодветни положби. Калапот најчесто се загрева со топол воздух или со ставање во рерна.



Слика 5.35 Производи добиени со процесот на ротационо леење



**Слика 5.36** Фази на процесот ротационо леење: а) полнење на калапот, б) загревање, в) ладење и г) вадење од калап

Како материјал за ротационото леење најчесто се користи полиетилен со различни густини (LDPE, HDPE, IHDPE). Се користи и акрилик, полипропилен, PVC, пурпен, уретан и други.

Кај овој процес се препорачува да се користи рамна линија на раздвојување; поедноставен облик; треба да се предвиди собирањето особено кај големи делови, треба да се одбегнуваат поголеми рамни површини поради тенденцијата на полиетиленот кон закривување и поради собирањето повеќе пластика во аглите при што се добива нерамномерна дебелина и увивање, пожелни се закривени површини. Треба да се одбегнуваат остри рабови или рабови со мал радиус кои може да не се пополнат целосно (потребни се адитиви за поголема вискозност), и да се внимава сидовите од делот да не се премногу близу. Кај деловите произведени со овој процес, надворешната површина која е во допир со калапот е доста поквалитетна и попрецизна отколку внатрешната површина на делот.

## Посебни процеси за обработка на пластиката

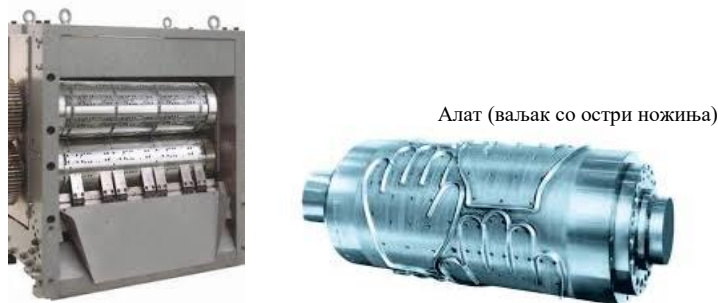
### 6.1. Просекување и втиснување

Процесот на просекување со втиснување е едноставен и се применува за сечење рамнински форми од тенок материјал како хартија, пластични плочи и фолии. Тенките рамни материјали се притискаат и се просекуваат во еден чекор со помош на остри рабови.

Алатот за просекување со втиснување има две функции: главната функција е просекување на обликот од рамниот материјал; и втората функција е формирање соодветно втиснување или перфорирање со цел да се овозможи точно свиткување. Втиснувањата се потребни за лесно да се свитка материјалот по раб и да се формираат тридимензионални форми (кутии) и интегрални шарки на рамниот материјал. На слика 6.1 е прикажана машина и алат за просекување и втиснување со рамна плоча и на слика 6.2 машина и алат со валци.



Слика 6.1 Машина и алат за просекување и втиснување со рамни плочи



Слика 6.2 Машина и алат за просекување и втиснување со валци

Обработката просекување со втиснување може да се користи за мали и големи серии. Исечениот раб е чист и прецизен. Сложеноста на обликот зависи од големината на просекувањата. Тешко може да се сечат процепи потесни од 1 mm.

Едно од дизајнерските правила кое треба да се има на ум е дека отстранувањето на вишокот пластика околу делот и чистењето на пластиката од отворите може да биде многу тешко, особено кај тесни процепи со сложена форма.

Материјали кои се користат при оваа обработка се: хартија, полипропилен поради неговата можност да се формираат јаки интегрални шарки, PVC, PET, и сите видови на картони. Сечењето со втиснување широко се употребува при изработката на опаковки, кутии од пластика и картон и друго (види слика 6.3).

Предности: мали подготвителни трошоци и рентабилност за големи серии, може лесно да се комбинира со печатење, многу облици може да се исечат со едно втиснување. Недостатоци: за формирање тридимензионални производи (кутии) е потребна рачна монтажа и облиците се ограничени на множество на стандардни конструкции.



Слика 6.3 Производи добиени со процесот на просекување и втиснување

## 6.2. Сечење со ласер

Процесот на ласерско сечење е наменат за сечење и декорирање на материјали. Процесот има висока точност на обработка зашто користи CAD-датотека. Принципот на работа се базира на високо фокусирање на ласерски зраци кои генерираат соодветна енергија на квадратен сантиметар доволна за да се оствари сечењето на материјалот по зададена патека. Патеката на сечење се дефинира на база на CAD-датотеката на делот што се обработува.

Постојат ласерски машини со две (слика 6.4) и повеќе оски (слика 6.5). Ласерските машини со две оски служат за сечење на рамни форми, додека ласерските машини со повеќе оски на движење на ласерската глава се користат за сечење тридимензионални објекти.





**Слика 6.4** Ласерска машина за сечење со две оски (за рамни материјали)

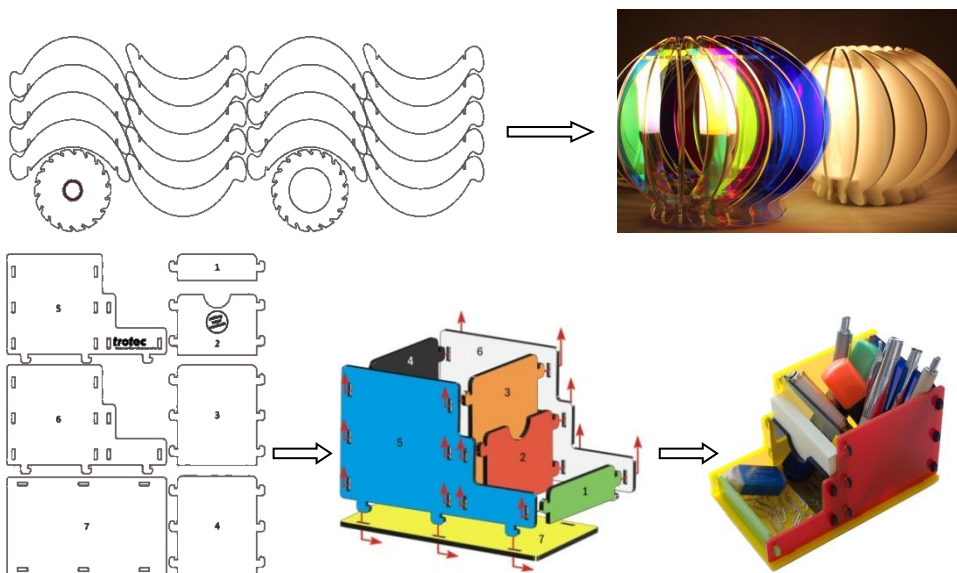


**Слика 6.5** Ласерска машина за сечење со повеќе оски (за тридимензионални форми)



Ласерските машини за сечење се употребуваат на места каде треба да се постигне голема прецизност на обработка. Толеранциите се екстремно високи. Може да се изработат и отвори помали од 0,025 mm во дијаметар. Со помош на ласерските машини може да се гравираат натписи и разни дизајни. Обработката со ласер може да се примени за мали и големи серии.

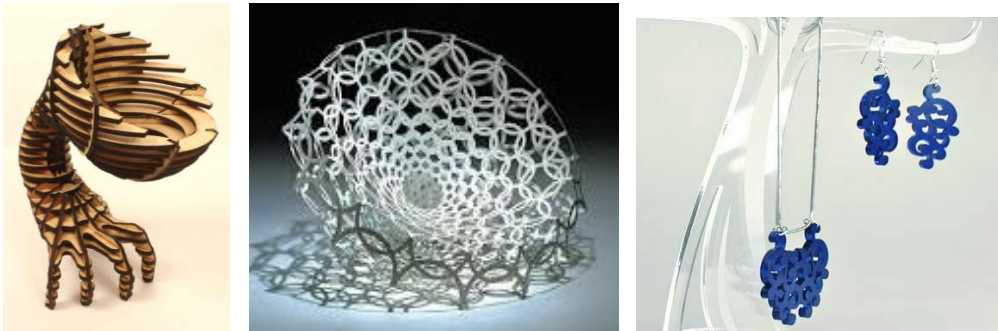
На слика 6.6 е претставена кројната шема и производот изработен со процесот на ласерско сечење. Кројната шема во CAD-датотека се внесува во процесорот на ласерската машина и врз база на кројната шема се генерира патеката на движење на ласерската глава.



**Слика 6.6** Кројна шема и производ изработен со процесот на ласерско сечење

Може да се обработуваат следниве материјали: челик, дрво, хартија, пластика, стакло и керамика. Бакар, алуминиум, злато и сребро се материјали кои тешко се обработуваат поради нивната способност да спроведуваат топлина.

Предности: минимално прицврстување на парчето, висока точност на сечење, голем дијапазон на материјали кои се обработуваат, нема дополнителен третман на рабовите после обработката. Недостатоци: постои оптимална дебелина во зависност од материјалот кој се обработува.



а)



б)

**Слика 6.7** Производи добиени со процесот на ласерско сечење: а) производи од интернет и б) производи дизајнирани од студенти на Индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје

### 6.3. Обликување со потопување

Потопувањето на дел со одреден облик во материјал кој е растопен (или е пак е во течна состојба) е веројатно еден од најстарите методи на формирање облици. Тоа е и една од наједноставните техники за разбирање во однос на алатите и калапите. Исто така е еден од најевтините методи за производство на производи од пластика.

Со помош на обликување со потопување може да се изработуваат украсни балони, гумени ракавици, итн. (слика 6.9). Прво се изработува калапот кој, може да биде од керамика (за големи серии) или други материјали. Понатаму, калапот се потопува во када со течен полимер и по одреден временски интервал се вади и се суши. Исушениот производ се свлекува од калапот и постапката завршува (види слика 6.8).





**Слика 6.8** Приказ на процесот и алатот за обликување со потопување

Обработката со потопување може да се примени за малосериско и големосериско производство. Изработката на алатот е многу евтина. Производите мора да бидат меки, да имаат однесување како гума, флексибилни. Производите мора да бидат обликувани така што може да се извадат (свлечат) од калапот. Материјалите кои се употребуваат при обработката со потопување се PVC, латекс, полиуретани, еластомери и силикони. Производите треба да бидат меки, односно доволно флексибилни.

Предности: високо рентабилно производство дури и за мали производни серии, обликот на прототипот и едноставниот калап може да се произведат за помалку од еден ден. Недостатоци: ограниченост на едноставни облици.

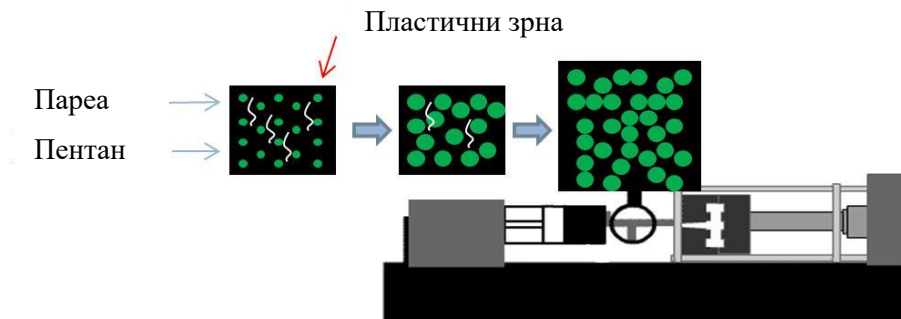


**Слика 6.9** Производи добиени со процесот на обликување со натопување

#### **6.4. Обликување пена**

Производството на експандирана полимерна пена бара материјалот да помине низ претходни претпроцеси пред да биде направен производот. Влезната суровина се состои од мали зрна (гранулати), кои експандираат до 40 пати во однос на нивната почетна состојба со употреба на гасот пентан и пареа. Ова предизвикува зрната да набабрат и потоа да се изладат и стабилизираат. Внатре во секое зрно се формира делумно вакуум, и потоа зрната се чуваат приближно 12 часа на определена температура што дозволува притисокот да се изедначи со надворешната околина. Во крајната фаза, зрната се внесуваат во калапната шуплина и повторно се загреваат со пареа внатре во алуминиумскиот калап. По ладењето, формируваниот дел се отстранува од калапот. На слика 6.10 е прикажан процесот на обликување на производи од пена.

Процесот на обликување производи од пена може да се употреби за производство во големи серии. Калапот може да биде многу скап во зависност од обликот на деловите, но е исплатлив поради големите серии.



**Слика 6.10** Процес на обликување производи од пена

Вообичаени материјали кои се употребуваат се: експандиран полистирен (EPS), експандиран полипропилен (EPP) и експандиран полиетилен (EPE). Може да се изработуваат кациги за сурфање и велосипедизам, да се користат за изработка на амбалажа за пакување, може да се изработат делови кои ќе штитат од влијание на температура, итн. (види слика 6.11).

Предности: голема разновидност во однос на обемот и примената, подобрани структурни особини и намалена тежина на производите.

Недостатоци: Скап алат.

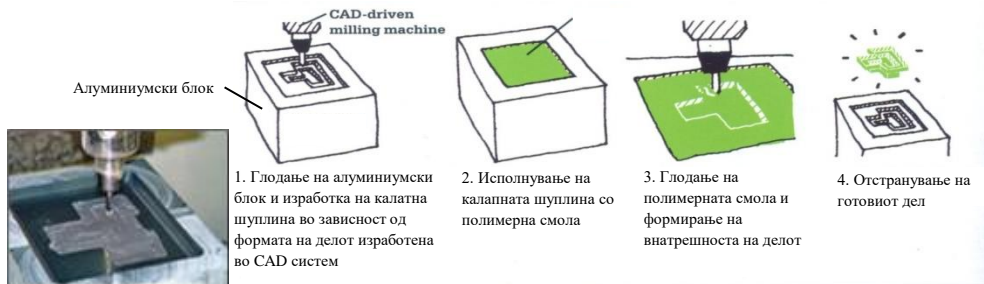


**Слика 6.11** Производи добиени со процесот на обликување пена

### 6.5. Изработка на прототипови со прецизно леење и глодање

На Институтот Фраунхофер, Германија, е развиен метод за производство на пластични делови со прецизно леење и глодање (види слика 6.12). Во овој метод на изработка се комбинираат два типа на обработки и тоа леење и глодање на иста

машина. Во првата фаза се изработува калапната шуплина со глодање во парче алуминиум. Понатаму калапната шуплина се пополнува со полимерна смола. Кога смолата ќе се стврдне, на истата машина за глодање се обликува прецизно горната страна од делот. Суштината на овој процес е во тоа што едната страна на производот (леената страна) се добива со исполнување на калапна шуплина, а горната страна од делот се обработува со глодање.



**Слика 6.12** Процес на изработка на прототипови со прецизно леење и глодање

Овој начин на изработка на прототипови се применува за делови како што се куќишта за разни електрични производи (види слика 6.13), кај кои обликот од едната страна е фин и прецизен, а од другата страна не се бара голема финост на површината (тоа се обично внатрешните површини на куќиштата од електричните уреди).



**Слика 6.13** Производи добиени со процесот на прецизно леење и глодање

Материјали кои се применуваат за деловите се најчесто двокомпонентни полимерни смоли. Предности: временска ефективност и мали трошоци, високо квалитетна обработка. Недостаток: ограничен број на производи кои може да се изработат со овој метод.

## 6.6. Вбригање со вметок и одгоре

Вбригање со вметок (insertmolding) и вбригување одгоре (overmolding) се процеси на повеќефазно вбригување и се користат за комбинирање на различни видови пластика и други материјали во текот на еден производен процес.

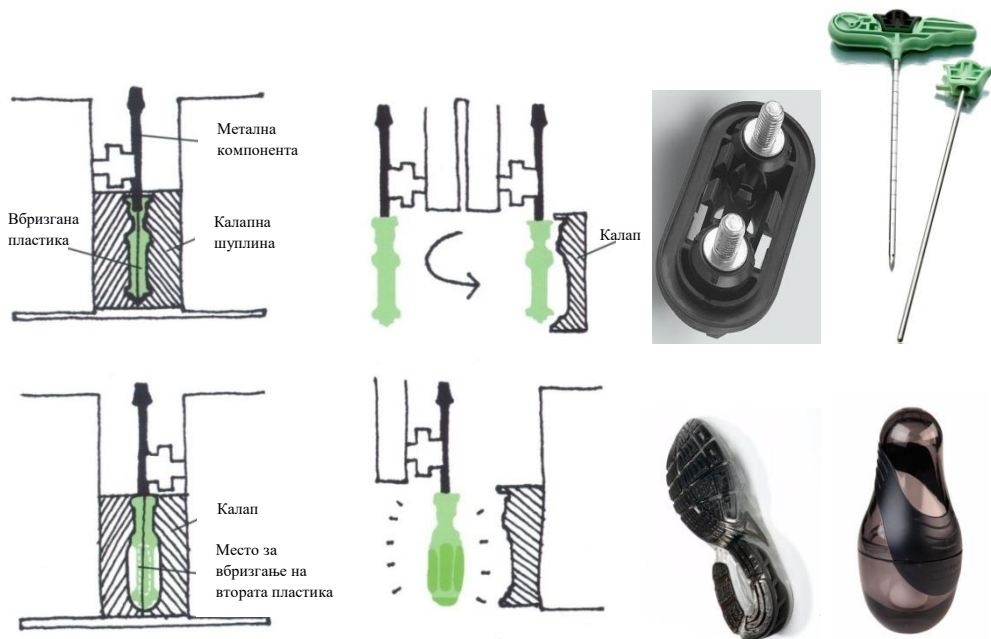
При вбригување со вметок, во калапот се внесува дел направен од различен материјал (метал, керамика или пластика). Потоа, со помош на инјекционо пресување, пластиката се внесува во калапот (види слика 6.14).

При вбризување одгоре, делот се изработува од два материјала, обично цврста пластика и врз неа еластомер. По првото вбризување во калап, делот се носи во нова позиција, каде што околу него се затвора поголем калап во кој се вбризува друг материјал.

Овој процес се користи за големосериски производни процеси со над 100000 парчиња. Процесот е економичен во споредба со рачната монтажа на различни материјали. Материјали кои се користат при обработката се термопластика и термосет-полимери.

Предности: со овој процес на изработка се дозволува во една компонента да бидат вградени голем опсег на различни физички и тактилни својства, се намалуваат трошоците за работна сила при монтажа (нема монтажа), и може да се додаде цел опсег на зголемени функционалности.

Недостатоци: високи трошоци за изработка на алатот, се бара висок степен на знаење како да се комбинираат различните материјали, и земање предвид при дизајнирањето на различни фактори, како што се собирањето на материјалот при ладење и напоните кои се јавуваат на спојот на двата материјала.



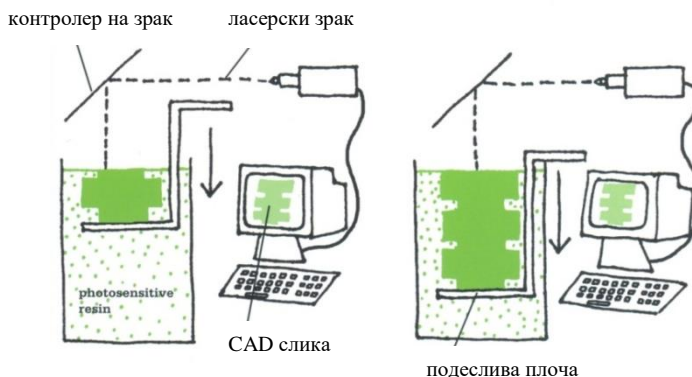
**Слика 6.14** Процес на изработка на производ со вбризување со вметок и вбризување одгоре



Слика 6.15 Производи добиени со процесот на вбризување со вметок и вбризување одгоре

## 6.7. Стереолитографија (SLA)

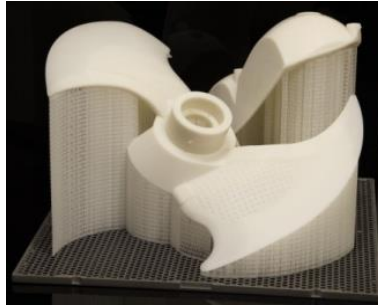
SLA е процес кој овозможува да се формира дел со додавање материјал, слој по слој. Процесот започнува со сад со течен фоточувствителен неполимеризиран материјал во кој има вертикално подвижна маса врз која се гради делот. Врз база на CAD-датотеката на делот, се пресметуваат слоеви со мала дебелина. Ласерскиот зрак изработува еден слој од делот со полимеризирање на фоточувствителната смола. Потоа масата се спушта надолу за растојание колку дебелината на слојот. Се намачкува нов слој од течната смола врз кој повторно преминува ласерскиот зрак. Тоа се повторува сè додека не се изработат сите слоеви од делот. Потоа делот се вади, суши и се остава во специјална комора за да се досврши фотополимеризацијата (види слика 6.16).



Слика 6.16 Процес на изработка на производ со стереолитографија (SLA)



Поради времето потребно за да се изгради производот, SLA се применува исклучиво за мали серии. Не е потребно да се прави алат, со што спаѓа во групата на обработки за производство на прототипови со мали трошоци. Сложеноста на обликот зависи исклучиво од тоа дали делот може да биде нацртан на компјутер. Може да се изработи скоро сè што ќе се нацрта на компјутер. За делови со сложена форма софтверот генерира потпори со чија помош ќе се изработи пластичниот дел (види слика 6.17). После изработката потпорите се отстрануваат од пластичниот дел едноставно со кршење.



**Слика 6.17** Софтверски модел на производ од пластика кој ќе се изработува со стереолитографија (SLA) на кој се прикажани потпорите.

Толеранциите што може да се постигнат се  $\pm 0,1$  % плус 0,1 mm. Материјали кои може да се користат се: керамика, пластика или гума. Се употребуваат инженерски фоточувствителни верзии на полимери како што се акрилонитрил бутадин стирен (ABS), полипропилен и акрилик мимикс.

Предности: неограничена слобода на обликот, добар квалитет на површините, нема дополнителни чекори помеѓу CAD моделот и изработка на крајниот објект.

Недостатоци: Висока цена на чинење, може да се користат само фоточувствителни смоли, различна точност во двете насоки, често е потребна потпора за структурите, процесот не е брз како останатите процеси за прототипирање.

На слика 6.18 се прикажани сложени производи добиени со процесот на стереолитографија (SLA).



**Слика 6.18** Производи добиени со процесот на стереолитографија (SLA)



## **Пресвлеку кај пластиката**

### **7.1. Боење и пресвлекување**

Иако деловите од пластика може да бидат направени во боја, боењето и пресвлеките сепак се применуваат од повеќе причини, и тоа:

- естетски причини: да се покријат некои нерегуларности на делот; како и слободен избор на сјајноста, интензитетот на бојата или пак соодносот со останатите делови,
- зголемена хемиска и абразивна отпорност и УВ-заштита,
- електрична спроводливост,
- електромагнетна заштита,
- стилска разновидност и
- погодност за производство.

### **7.2. Боење**

Употребата на боја има многу важна негативна карактеристика. Честопати бојата или прајмерот нанесен на свитлива пластика доведува до пукнатини при оптоварување или при удари, додека необоените делови тестирани под истите услови нема да напукнат. Обоениот слој може да резултира во 40-кратно намалување на енергијата потребна за кршење, посебно во случаи кога се користи премногу крта боја.

Исто така, при склопувањето на деловите, може да се јави пукнатина на обоениот слој која постепено ќе продолжи и во делот.

Дополнително, растворувачите кои ги содржи бојата може да предизвикаат локални пукнатини под дејство на притисок. На заварените места, на премините од потенки кон подебели ѕидови и блиску до вливните порти се јавуваат заостанати внатрешни напони. На овие места, поради надворешните товари и агресивните растворувачи, може лесно да дојде до пукање на пресвлеката.

На сликите 7.1, 7.2 и 7.3 се прикажани естетски обоени производи од пластика.

### **7.3. Подготовка на површините за боење**

Површината којашто се бои мора да биде чиста и без присуство на масла, подмачкувачи и спрејови за отстранување на деловите од калапната шуплина, со цел да се обезбеди добра адхезија помеѓу бојата што треба да се нанесе и делот којшто се бои. Боењето мора да се изврши во простории без присуство на прашина.



**Слика 7.1**

<http://mikemonaco.wordpress.com/2012/04/07/turd-polishing-i-dollar-tree-dragons/>



**Слика 7.2**

<http://www.angieslist.com/articles/water-based-auto-paint-makes-every-color-green.htm>



**Слика 7.3**

<http://best.healthlives.info/health/personalized-xbox-360-controllers>

Покрај чистењето, деловите претходно се третираат и со други постапки за зголемување на адхезијата помеѓу бојата и предметот:

- Гореењето е едноставен и најраспространет метод, каде што се користи пламен којшто се движи на неколку сантиметри од површината на делот. Брзината со којашто треба да се движи пламенот по површината е од околу 0.1 m/sek. Како гориво за пламенот може да се користи пропан, бутан или природен гас.
- Третирањето со плазма под низок притисок е специјална постапка за третирање на сложени делови, со површини коишто се потешко достапни за постапката на горење. Во овој процес, деловите се изложени на гасно празнење под многу мал притисок.
- Коронарно третирање е процес на електрично празнење. Електродата со многу висок напон и висока фреквенција се движи по површината на делот на растојание од 1 до 2 mm, и притоа делува врз површината преку оксидирање и формирање на озонски слој. Овој процес, обично се користи за делови со рамни површини.
- Полирање.
- Пескарење.

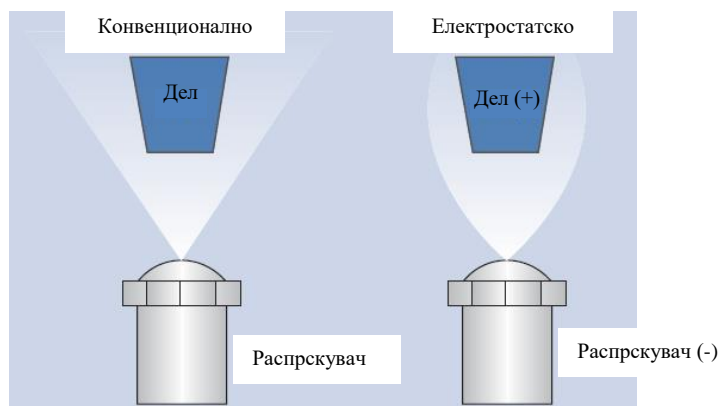
## 7.4. Нанесување боја

Добро накиснување и дистрибуција на бојата по површината на делот може да се постигне кога површинската тензија на бојата е пониска од површинската тензија на предметот. Дополнително, не треба да се користат никакви адитиви при обликувањето на делот, бидејќи постои можност да се измени структурата на површината поради состојките од тие адитиви и бојата.

**Прскањето со спреј** е највообичаена процедура за делови, и може да биде многу лесно автоматизирана со помош на роботи. Вообичаените постапки на прскање користат компримиран воздух за да ја исфрлат бојата преку прскачот, додека безвоздушните процедури користат пумпи.

Бојата може да биде нанесена и со четка, валјак, со потопување, итн. Може да се користи и маска доколку само одреден дел од елементот треба да биде покриен со боја.

**Електростатското прскање** е процес каде што капките од бојата и делот којшто треба да се обои имаат обратен електричен полнеж. Некои од предностите на оваа постапка се добра покриеност и помала потрошувачка на боја поради ефикасното слепување на бојата врз предметот (види слика 7.4).



Слика 7.4 Нанесување боја со спреј и електростатски

Капките боја мора да се измешаат заемно на површината на делот и да формираат мазен слој со постојана дебелина. Предвременото испарување на растворувачот при прскањето мора да биде превентивно избегнато, во спротивно може да се појави ефектот наречен „сув спреј“.

Климатските услови како температурата и влажноста мора да бидат добро контролирани за квалитетно нанесување на бојата. Непожелното покачување на температурата за време на потоплите денови може да доведе до појава на ефектот на сув спреј.

Деловите кои се оформени од пенести материјали, не може да се бојат веднаш по оформувањето. Гасовите коишто се ослободуваат од меурите, мора да се изедначат со амбиенталниот воздух. Ова може да трае од 24 до 48 часа, зависно од

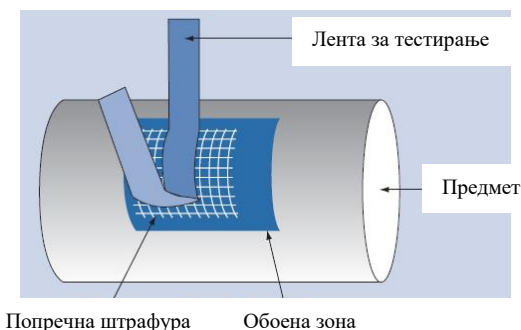
температурата и влажноста. Ако се бои пред да се постигне овој услов, тоа ќе предизвика појава на меурчиња.

## 7.5. Тестирање атхезија

Атхезијата помеѓу слојот боја/мастило врз предметот може да биде тестирана на повеќе начини.

При употреба на тестот со гребене, обоениот/печатениот дел или препарат за тестирање е изложен на гребене. Доколку слојот на боја остане на површината на делот кој што се тестира, тогаш атхезијата е добра.

Постои тестирање кое претставува комбинација од гребене и лупење (види слика 7.5).



Слика 7.5 Тестирање на атхезија

## 7.6. Видови боја

Боите најчесто се состојат од четири компоненти:

- смола, која ги сврзува обоените честички после сушењето,
- пигменти кои се користат за нијансирање,
- растворувач кој го овозможува нанесувањето на бојата во течна состојба,
- адитиви за зголемување на атхезијата и подобар изглед на бојата.

Изборот на бојата е според саканиот декоративен ефект, функционалните побарувања, техниката на нанесување и локалните законски ограничувања. Досега се развиени широк спектар на бои, базирани на најразлични хемиски супстанции и полимери. Се разликуваат следниве типови на боја:

- акрилна боја – отпорна на гребене и отпорна на повеќето масла. Може да се нанесе и транспарентен акрилен слој (кај компакт-дискотите) за дополнителна УВ-заштита,
- епоксидните бои типично даваат прилично јака, тврда и сјајна површина,
- формалдехидни/алкидни бои,
- полиестерски бои,
- полисилоксални бои коишто даваат одлична хемиска и отпорност при гребене,
- полиуретански бои коишто се доста флексибилни,
- винил бои коишто даваат мека, гумена површина.

Боите може да бидат поделени во две главни групи: обични бои со органски растворувачи и бои на база на вода. Боите со органски растворувачи обично имаат подобра адхезија од боите на база на вода, но исто така може да се агресивни на предметот и да предизвикаат напукнување. Боите на база на вода имаат далеку подобри карактеристики во однос на еколошките, здравствените и сигурносните фактори.

Сушење на бојата може да се изведе на најразлични начини:

- боите коишто се сушат сами по себе, се стврднуваат при испарување на растворувачот, додека смолата полимеризира,
- боите коишто се сушат со топлина, се стврднуваат на повисоки температури. Оваа постапка е ограничена поради високата температура што треба да ја издржи пластиката од која е изработен делот,
- двокомпонентните бои имаат голема предност поради фактот што ниедна отровна супстанца не испарува при сушењето. Времетраењето на бојата после отворањето на капакот е ограничено,
- сушење со УВ зраци,
- сушење со кислород,
- системите за боење треба секогаш да се тестираат на прототипови за одреден временски период, за да се утврди точната компатибилност на бојата.

## 7.7. Метализација

Пластичните делови може да бидат метални од декоративни или функционални причини. Тенката метална облога може да им даде на деловите сјаен изглед, зголемена рефлективност, зголемена абразивна отпорност, висока спроводливост на електрична струја или пак заштита од електромагнетни зрачења.

Метализираните пластични делови имаат неколку предности пред металните делови, како на пример, ниската тежина, отпорност на корозија, можности за дизајнирање, едноставно склопување, контролирана електрична спроводност и помали трошоци.

Метализацијата може да се изврши:

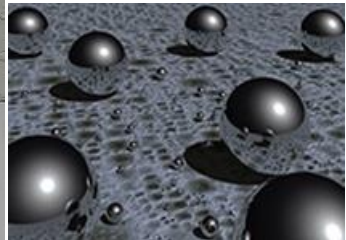
- **директно**, како на пример со вакуум-метализација, со нанесување на тенок филм од одреден метал врз површината, прскање на стопени метали при висока температура, како и со фарбање, или
- **индиректно**, при што се користи претходно метализиран филм кој се нанесува врз површината со топло лепење.

На слика 7.6 се прикажани метални производи. Процесот на метализација често се применува во индустрискиот дизајн.



### **Tom Dixon Mirror Ball Silver Pendant Light.**

Изработен од поликарбонат при што топката е метализирана со хром со што се добива огледална површина.



Слика 7.6 Метализирани производи

## **7.8. Вакуум-метализација**

Вакуум-метализацијата (Physical Vapour Deposition - PVD) е широко распространета техника со која се нанесува тенок слој од алуминиум врз пластични делови. Се користи во автомобилската индустрија за декорирање на внатрешноста на автомобилите, внатрешноста на светлосните елементи, некои делови од водовод, накит, фолии и сл.

Металот се загрева до точка на испарување. Пареата кондензира на ладниот пластичен дел. Целиот процес се случува во вакуум за да може пареата да стигне до пластичниот дел без да оксидира.

Металната облога може да биде нанесена на надворешноста од некој дел, или во внатрешноста на некој транспарентен дел. Во вториот случај, металната облога е заштитена со слој од пластика.



Ултра тенкиот слој од метал на надворешноста од вакуум-метализиран дел мора повторно да се обложи со транспарентен површински слој за да се заштити од влага како и да се подобрат абразивните својства.

Високо отпорната термопластика, која се користи во светлосните уреди за автомобили може да ги издржи високите температури внатре во светлосниот уред, но може да испушта отровни гасови кои кондензираат во поладните делови од рефлекторот, што би довело до замаглен изглед и значително намалување на оптичките својства. За да се добие високосјаен и високорефлектирачки алуминиумски слој на мат или сјајна пластична површина, истата треба претходно да се излакира. Металната облога обично е од алуминиум, но може да се користат и други метали. На слика 7.7 се прикажани производи изработени со вакуум-метализација.



Слика 7.7 Производи обложени со вакуум-метализација

## 7.9. Обложување без електрична струја

Во овој процес, металната облога се наноси на електрично неспроводлива пластика. Некои од металите коишто најчесто се никел, хром и бакар се употребуваат при овој процес. Површината којашто се галванизира, претходно се гравира со јак оксидирачки раствор, кој делумно ја еродира површината на

пластиката, создавајќи микроскопски дупчиња, со што се подобрува врската помеѓу пластиката со нанесениот метал. После еродирањето, пластичниот дел се импрегнира во раствор и се формира металната облога преку хемиска реакција со металните јони.

После еродирањето, деловите се мијат со вода и се ставаат во неутрализатор, како натриум бисулфид. Потоа се внесува катализатор (или активатор) со потопување на делот во паладиум-калај колоидна течност. Паладиумот служи како катализатор за нанесувањето на никел или бакар.

После фазата на катализација, следува повторно миење при што паладиумот е опкружен со хидролизиран водород, кој мора да биде отстранет со потопување во органска или минерална киселина.

На крај, брзо леплив метален филм обично од бакар или никел се нанесува на пластичната површина преку реакција на редукција. Ова се постигнува така што се користи полустабилен раствор. На слика 7.8 се прикажани производи обложени без електрична струја.



Слика 7.8 Производи обложени без електрична струја

### 7.10. Прскање со спреј со пламеник

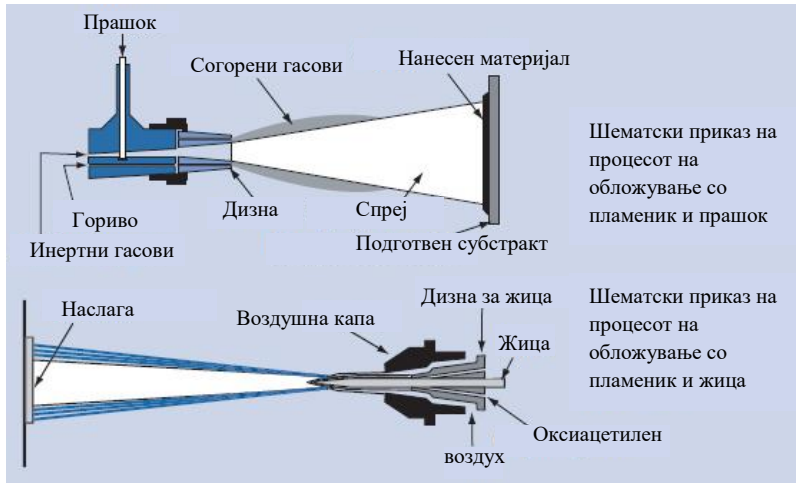
Прскањето со спреј со пламеник и лакирање е едноставен и економски исплатлив процес на металзирање, каде што се користи рачен или автоматизиран пиштол за прскање на растопен метален прав врз пластичен дел.

Нанесениот метален слој е подебел за разлика од другите техники и стапката на нанесување е доста поголема. Облогите што се создаваат со оваа постапка се доста порозни, адхезијата е мала и завршниот метален слој е груб.

Двете постапки се доста погодни за заштита од електромагнетни зрачења и металниот слој може да биде нанесен селективно само врз одредени делови од површината. Содржината на оксиди во металниот слој е прилично висока, поради присуството на амбиенталниот воздух при нанесувањето.

При процесот на прскање со спреј (слика 7.9), прво се загрева метална прашина или жичка и така загреаниот материјал се нанесува врз пластичниот предмет со помош на снап од врели гасови. Пиштолот за прскање е на гас кој е обично ацетилен или пропан, кој поминува низ централната млазница и го снабдува пиштолот со потребната енергија за да се стопи металот. Се користи и

второстепена млазница којашто додава сноп од воздух или инертен гас кој го забрзува снопот од растопени метални честички. На слика 7.10 се прикажани бандажи обложени со спреј со пламеник.

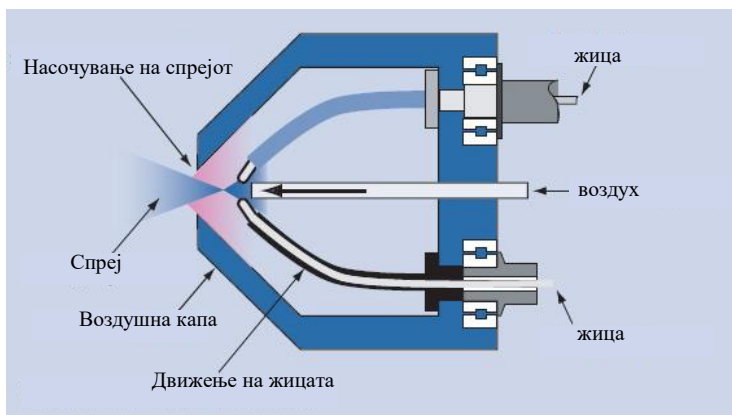


Слика 7.9 Обложување со прскање на спреј со пламеник



Слика 7.10 Производ обложен со спреј со пламеник

Слична е и постапката на прскање спреј со лак (слика 7.11). Во оваа постапка се користи еднонасочна струја и две непрекинати електроди во облик на жици коишто формираат лак и се примарен извор на материјалот за распрскување.



Слика 7.11 Обложување со прскање спреј со лак

## 7.11. Налепници

Налепниците може да бидат декоративни или пак да содржат инструкции и информации. Налепниците се изработуваат и печатат со одредени димензии врз полимерен филм или хартија со атхезивна позадина чувствителна на притисок заштитена со хартија. Заштитната хартија се вади непосредно пред поставувањето на налепницата, а потоа налепницата се притиска врз површината на пластиката.

За налепницата може да се испита: отпорноста на абразија, УВ-зраци, хемиката отпорност и отпорноста на гребење. Треба да се провери и компатибилноста на атхезивните својства на полимерниот филм со пластиката. Така на пример, некои атхезиви и пластификатори кај PVC-налепниците може да предизвикаат напрегања и напукнувања кај поликарбонатот и неговите смеси. На слика 7.12 се прикажани пластични шишиња со налепници.



Слика 7.12 Производ со налепница

## 7.12. Лепење налепници со топлина

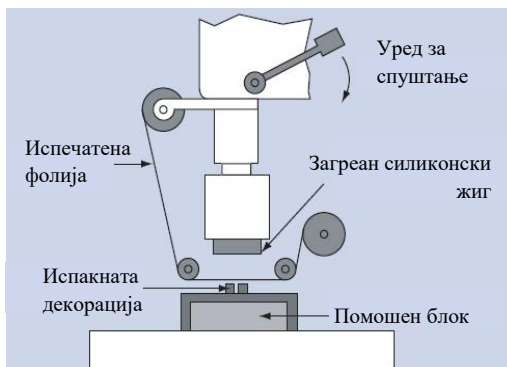
Лепењето на налепници со топлина овозможува декорација или натпис, кои се претходно испечатени на трансфер-филм, да се нанесат на површината на пластиката со помош на загреана плоча под притисок.

При лепењето со топлина, трансфер-филмот го содржи целокупниот дизајн, пред да биде нанесен на површината. Печатењето на филм и неговото лепење со топлина е многу скапо во споредба со обичното печатење, но се добиваат квалитетни слики во повеќе нијанси (види слика 7.13).

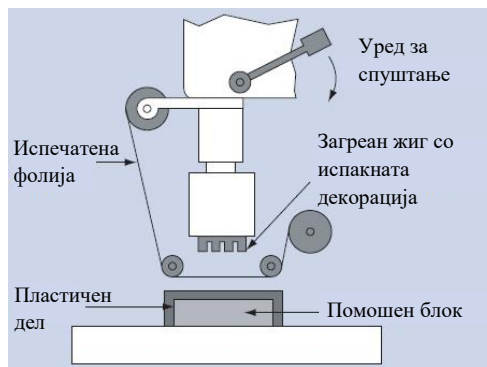


Слика 7.13 Производ со налепница со трансфер-филм

На сликата 7.14 е прикажано стандардно печатење на топло со загреан жиг со испакната декорација. Испечатената фолија претставува налепница која доаѓа од претходно спремена ролна која во процесот се одмотува и со помош на загреан силиконски жиг и уред за спуштање се нанесува на пластичниот дел. На сликата 7.15 е прикажано печатење со загреан жиг со испакната декорација на делот.



Слика 7.14 Стандардно печатење на топло, со загреан жиг со испакната декорација



Слика 7.15 Печатење со загреан жиг со испакната декорација на делот

### 7.13. Декорирање со филм во калап

Примена на површинска декорација директно во калапот (in-mold decoration – IMD) е најекономичен начин на внесување декоративни површини на деловите од пластика изработени со вбризување во калап. На овој начин се елиминира потребата да се печати директно на пластиката, како посебен процес. Со растот на пазарот на електронски производи, ова техника сè повеќе се применува, при што предизвикува и пораст на користењето на графички, брендирање производи и персонализирање на производите за широка потрошувачка.

Процесот започнува со печатење на графиката на поликарбонатна или полиестерна филмска лента, позната како „фолија“. Фолијата се внесува на лента во калапната шуплина, што може да се автоматизира. Овој процес е погоден и за производи со сложени облици (слика 7.16), но во тој случај фолијата првин треба да биде измоделирана во потребната форма со термообликување во самиот калап или претходно.

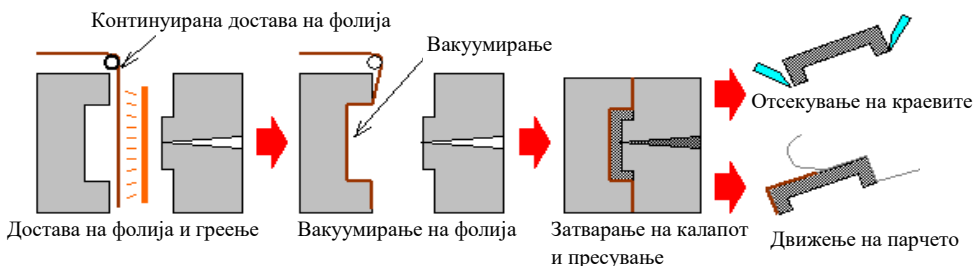


Слика 7.16

[http://www.aliexpress.com/store/product/Wholesale-Free-shipping-new-fashion-Butterfly-IMD-painted-Design-case-for-iphone-4-4s-high-quality/723153\\_855649744.html](http://www.aliexpress.com/store/product/Wholesale-Free-shipping-new-fashion-Butterfly-IMD-painted-Design-case-for-iphone-4-4s-high-quality/723153_855649744.html)

Процесот е погоден за масивно производство и е поевтин во споредба со другите процеси за ваква изработка. Како што и може да се претпостави, вметнувањето на филмот (фолијата) во калапот малку го усложнува целокупниот производствен процес.

Различни филмови (фолии) може да дадат различни завршни површини. Тие може да бидат од функционален и од декоративен карактер. Користени материјали се: поликарбонат, полиметил метакрилат (акрилик-PMMA), полиетилен и полипропилен.



**Слика 7.17** Декорирање со филм во калап

[http://technology.moriroku.co.jp/english/research/techinfo/images/film\\_03.gif](http://technology.moriroku.co.jp/english/research/techinfo/images/film_03.gif)

Испечатениот филм се вметнува во калапот за време на фазата на отворен калап, и на тој начин станува интегрален дел од производот добиен со вбризување во калап на крајот од процесот (види слика 7.17). Филмот може да биде мазен или пак претходно термообликуван.

Мазниот филм се сече на парчиња во форма која одговара на дупката на калапот и се држи електростатски во калапот, или пак се нанесува во калапот со помош на бесконечна лента.

Филмот може да биде и тридимензионално обликуван со претходно загревање на филмот и понатамошно вакуумско формирање или формирање под висок притисок.

Филмот може да биде еднослоен или двослоен. Декорираниот слој е изложен на абразија, гребење и УВ деградација ако декорацијата е испечатена на надворешноста од еднослоен филм. Ако декоративниот слој е испечатен во внатрешноста, таа е во контакт со топлиот полимер кој се топи за време на процесот на вбризување, и ова може да води до изобличување на декорацијата. Понекогаш, се користи двослоен систем, со обоениот слој помеѓу два слоја од филм. Ваквата постапка е поскапа.

Вишокот филм се отстранува по вадењето на делот од калапот.

Една од примените на површинските декорации е како замена за фарбање или изработка на делови во одредени бои. Со оваа постапка се осигурува постојаноста на интензитетот на бојата кај делови од различни материјали, каде е тешко да се постигне целосно иста нијанса на боја. На сликите 7.18, 7.19 и 7.20 се прикажани производи декорирани со филм во калап.





**Слика 7.18** Декорирани играчки  
<http://blog.specialtygraphics.serigraph.com/ig-blog/bid/137925/In-Mold-Decorating-Time-to-Market-for-IMD-Products>



**Слика 7.19** Декорирана пластика за автомобил  
<http://www.serigraph.com/Decorative-Graphics/Products-Services/In-Mold-Labeling.htm>



**Слика 7.20** Декорирани пластични делови  
<http://www.duratech.com/capabilities/in-mold-decorating/>

## 7.14. Натповршинско декорирање

Оваа технологија овозможува комбинирање на пластиката со други материјали за време на самиот производствен процес. Придобивките од овој вид на производство се во тоа што им обезбедува на дизајнерите примена на најразлични материјали, површини и финиши.

Како прекривки може да се користат широк дијапазон на материјали, како што се алуминиумски листови, кожа, ткаенини и тенки дрвени фурнири, што им овозможува на дизајнерите да креираат производи со топли површини на допир, кои се поблиску до текстил или рачно обработено дрво.

Процесот нуди можност за проширување на нашите моментални видови подалеку од сегашните граници на идентичната, масивно произведена пластика, овозможувајќи „шминкање“ на производите, што придонесува производите да може да одговараат со нашата облека, мебел и накит.

Слично како леењето одгоре, овој процес се состои од две фази, така што во првата фаза се внесува материјалот за површинска декорација како претходно обликуван вметок, а во втората фаза се внесува пластика во калапот по пат на

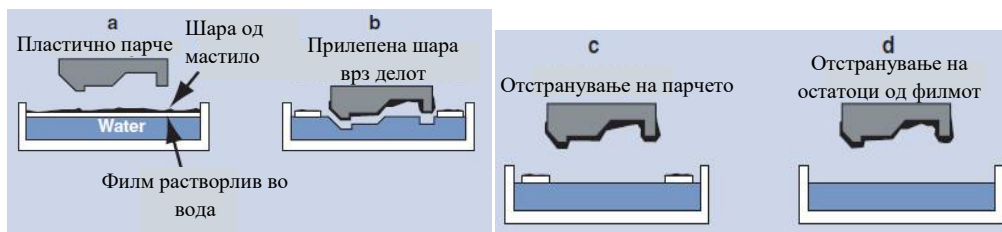
инјекционо пресување. На слика 7.21 се прикажани производи обложени со натповршинско декорирање.



Слика 7.21 Производи обложени со натповршинско декорирање

### 7.15. Воден трансфер

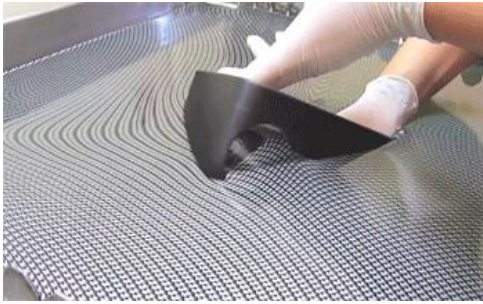
Воден трансфер (Water Transfer) е процес на декорирање на тридимензионални производи, при што се нанесува шара од бои врз пластика со помош на филм растворлив во вода. Филмот со шарата се нанесува врз површината на водата, така што маслото останува на горната страна. Кога делот се потопува во водата, шарата се прилепува врз делот. Потоа делот се вади од течноста и се отстрануваат остатоците од филмот во водата (види на слика 7.22).



Слика 7.22 Процес на воден трансфер

Постојат филмови, со изглед на мермер, крзно, кожа, камуфлажа, карбон фибер и друго (види на слика 7.23). Процесот се користи за делови со тридимензионална форма, со заоблени површини и обли краеве, како делови од внатрешноста на автомобилот, куќен инвентар, телефони и сл. Острите краеве треба да се избегнуваат, бидејќи може да го скинат филмот. Деловите се прекриваат со шара преку целата површина, така што не е возможно нејзино прецизно поставување.

Види видеа на <http://giphy.com/search/water-transfer-printing>



**Слика 7.23** Обложување со воден трансфер

Понекогаш се користи и прајмер во боја. Производите со изглед на карбон фибер се премачкуваат со црн прајмер, а оние со дрвен изглед со кафеав прајмер. Додатно, се нанесува горна транспарентна облога за УВ заштита и отпорност на гребнење.

Треба да се провери компатибилноста на облогата со пластичниот дел и препорачливо е тестирање прототип.

Деловите морат да бидат чисти пред да се декорираат со овој процес, што значи да бидат ослободени од масла и премачкувачи и мора да се третираат со чистење доколку е тоа потребно. На слика 7.24 се прикажани производи обложени со воден трансфер.



**Слика 7.24** Производи обложени со воден трансфер

## **7.16. Ласерско печатење**

Традиционален метод на пишување врз пластика е со директно печатење со мастило, при што се нанесува слика врз површината на пластиката.

Ласерското печатење остава неизбришлив, висококонтрастен белег по површината. При ласерското печатење нема директен контакт со пластиката освен преку ласерскиот зрак.

Ласерското печатење е најфлексибилен начин на печатење врз пластика и дава читливи и остри слики. Ласерите може да отпечатаат најразлични геометриски форми во целосно контролиран компјутерски процес со висока репродуктивност и веродостојност. Ласерите може и да сечат и гравираат делови од пластика. На слика 7.25 се прикажани производи декорирани со ласерско печатење.



Слика 7.25 Производи декорирани со ласерско печатење

### 7.17. Полирање со пареа

Малите гребаници и други површински нерегуларности може да се отстранат од пластичните делови со полирање со пареа. Процесот се извршува со хемиска пареа, која ја напаѓа површината од пластиката и ја замазнува.

Метилено-хлоридната пареа обично се користи во процеси поврзани со поликарбонати. Пареата се создава со загревање контејнер со метилен хлорид до точка на вриење. Пластичните делови се изложуваат на метилено хлоридната пареа помалку од 3 секунди. Целиот процес се изведува во затворена комора и во добро вентилирана просторија, што го заштитува работникот од можен допир со штетните гасови.

Откако ќе се заврши процесот, деловите мора да се исушат, за да се овозможи целосно испарување на метилен хлоридот. На крај, деловите се загреваат во печка во која циркулира воздух и се држат еден час на температура од 120° за да се отпуштат површинските напрегања и заостанатите молекули на метилен хлорид.

Поради ризиците, овој процес мора да биде изведен од квалификуван работник кој користи специјална опрема.

### 7.18. Чистење на површините

Површините на деловите коишто треба да бидат обоени или споени едни со други со процес на лепење (со растворувач или атхезивно средство), мора да бидат чисти од надворешни материи, како прашина, масла, подмачкувачи и средства за ослободување од калапи, за да се постигне јака врска (види на слика 7.26).



Ако пластичните пелети не содржат средства за ослободување од калапи или пак калапот не е прскан со такви средства за време на вбригувањето и доколку деловите не се допрени со голи раце, доволно е чистење само со чист воздух.

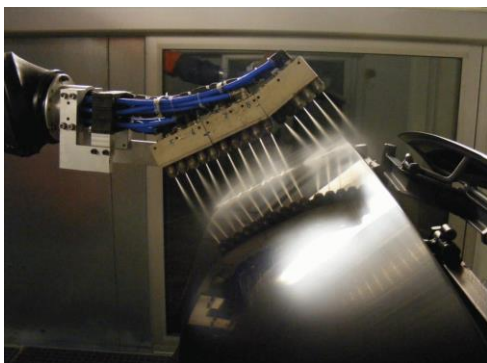
Потребата да се користи средство за ослободување од калапот може да се избегне со дизајнирање на деловите со благо закосени страници (минимален наклон од  $1 \div 1,5^\circ$ ).

Ако е потребно, отпорните загадувачи може да бидат отстранети со миеење во соодветен растворувач. Се препорачува деловите да не бидат изложени на растворувачи за чистење повеќе од 10 минути.

Некои растворувачи може да предизвикаат напрегања и напукнување кај поликарбонатот и неговите смеси, кои се подложни на внатрешни и површински напони.

Многу е важно да се провери MSDS (Material Safety Data Sheet) од растворувачот што се користи, за да се добие информација за здравствените и безбедносните фактори и соодветно да се примени заштитна опрема.

Автоматизирана линија за чистење може да биде доста корисна за забрзување на процесите на чистење и зголемување на квалитетот на контролата.



**Слика 7.26** Чистење на површините на пластичните делови

## Конструктивно обликување делови од пластика

### 8.1. Конструктивни карактеристики

Крутоста претставува однос помеѓу оптоварувањата и деформацијата на делот. **Крутоста многу зависи од геометријата на делот.**

Термопластиката е послаб материјал од металите и од дрвото. При димензионирање на делови од термопластика треба да се внимава **напоните во ниедна точка од делот да не ја надминат границата на развлекување**. Тоа значи дека пресметаните напони треба да спаѓаат во границите на еластичното подрачје од  $\sigma$ - $\epsilon$  дијаграмот за материјалот.

Кај термопластиката е важно да се земе предвид и температурата при која се врши оптоварувањето. Механичките карактеристики на пластиката значително се намалуваат при зголемување на температурата (особено над 100°C).

Времетраењето на оптоварувањето е исто така значаен фактор. Притоа, треба да се разликуваат три вида на опасни оптоварувања:

- а) долготрајно оптоварување,
- б) наизменично променливо оптоварување и
- в) краткотрајно ударно оптоварување.

Во првиот и вториот случај треба да се земе предвид појавата на ползење на материјалот, а во третиот случај треба да се земе предвид отпорноста на удари.

Сложеноста на пресметката на напоните и деформациите зависи од сложеноста на обликот на делот. Кај деловите со едноставен облик и при мали деформации, пресметката може да се изврши рачно. Кај деловите со сложен облик и при мали деформации, се применува линеарна анализа по методот на конечни елементи. Кај делови со сложен облик и при големи деформации мора да се примени нелинеарна анализа по методот на конечни елементи.

Кај делови оптоварени со **наизменично променливо оптоварување** потребно е да се знае **фреквенцијата на сопствените осцилации**. Ако делот трпи осцилации со фреквенција блиска до фреквенцијата на сопствените осцилации, веројатноста од лом на делот е голема. Деловите за автомобили мора да се обликувани така што нивната фреквенција на сопствени осцилации да биде значително пониска од вообичаената фреквенција на осцилации кои се јавуваат кај возилото.

**Фреквенцијата на сопствените осцилации се намалува со зголемување на крутоста на делот.** Фреквенциите на сопствени осцилации и начинот на деформирање на делот, може да се одредат со примена на методот на конечни елементи, што се нарекува **модална анализа**. Резултатите од модалната анализа се многу чувствителни на промена на видот на оптоварувањата и положбата на



потпорите на делот. Честопати, осцилаторните карактеристики на делот може значително да се променат со промена на местата на потпирање на делот.

При димензионирањето на деловите од пластика треба да се користи **степен на сигурност** поради можноста од послаби карактеристики од пресметковните поради: дејство на хемикалии, аномалии при леењето (прегревање, влага, подладување), примена на високи температури од очекуваните, непредвидени преоптоварувања, заостанати внатрешни напони (поради стеснувања во калапот) и др.

**За зголемување на јакоста** на пластиката се користат пополнувачи од видот на стаклени или јаглородни влакна. Важно е да се знае насоката на простирањето на влакната на критичните места на делот. Делот треба да се конструира така што влакната правилно да се ориентираат при леењето и да придонесат за зголемување на јакоста на делот.

**Ориентацијата на стаклените влакна** зависи од насоката на течење на пластиката во одредени зони на калапот и од дебелината на сидовите. Поради тоа, неопходно е правилно поставување на портите за да се обезбеди проток во соодветен правец во најнапрегнатите зони од делот, со што се постигнува максимален ефект на зголемување на јакоста на материјалот поради додатокот на стаклените влакна.

## 8.2. Дебелина на сидовите

Дебелината на сидот има големо влијание врз многу клучни карактеристики на делот, вклучувајќи ги механичките перформанси, изгледот, способноста за леење во калапна шуплина и економичноста.

Оптималната дебелина на сидот често е рамнотежа помеѓу спротивставени тенденции, како што е јакоста наспроти намалувањето на тежината на делот или издржливоста наспроти трошоците.

Дебелината на сидот на пластичниот дел се определува во фазата на дизајнирање. За да се избегнат скапите модификации на калапот, како и проблеми при леењето, и проблеми во производството, потребно е правилно да се определи дебелината на сидот на делот во фазата на дизајнирање.

На пример, разгледуваме пластичен дел со рамен сид. Со секое зголемување на дебелината на сидот за 10 % се добива приближно 33 % зголемување на јакоста на делот. Зголемувањето на дебелината на сидот исто така придонесува за зголемување на тежина на делот и материјалните трошоци. Секогаш разгледајте ја можноста за употреба на геометриски елементи што ја зголемуваат крутоста, како што се ребра, закривени површини и жлебови, со цел да се зголеми носивоста (издржливоста). Со помош на овие геометриски особини може да се зголеми носивоста (издржливоста) на делот со многу мало зголемување на тежината на делот или трошоците.

Кај делови кои се произведуваат со инјекционо пресување дебелината на сидовите обично изнесува од 0.5 до 4 mm. Зависно од големината на делот, може да се произведат и делови со потенки или подебели сидови. Општа препорака е

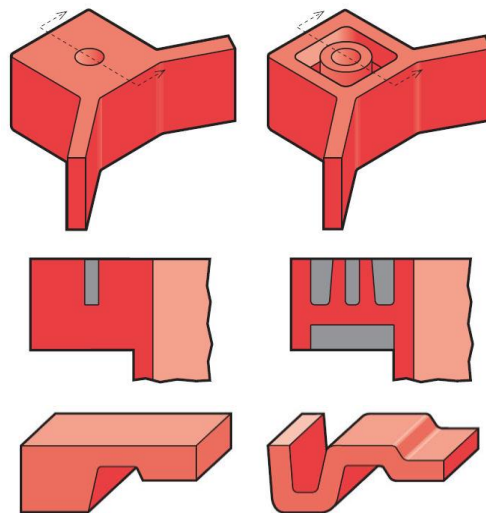
дека дебелината на сидовите треба да биде колку што е можно помала и порамномерна. На овој начин се намалуваат внатрешните заостанати напони. Намалувањето на дебелината на сидовите овозможува помало време за полнење, помала тежина и оптимално користење на материјалот.

Минималната дебелина на сидовите зависи од оптоварувањето, големината и геометријата на делот и можноста на материјалот за пополнување тенки сидови. Ориентациони вредности за максималната должина на протокот зависно од дебелината на сидот и во зависност од притисокот при инјектирање, може да се добијат од дијаграми кои ги даваат производителите.

Ако делот е оптоварен со значителни сили, треба да се направи анализа на напоните и деформациите. Издржливоста на делот може да се зголеми на повеќе начини, како на пример со:

- зголемување на дебелината на сидовите (ако сидовите не се веќе предебели),
- примена на друг материјал со поголема јакост или издржливост,
- вградување на ребра или жлебови за да се зголеми моментот на инерција на пресекот, односно крутоста на обликот на делот.

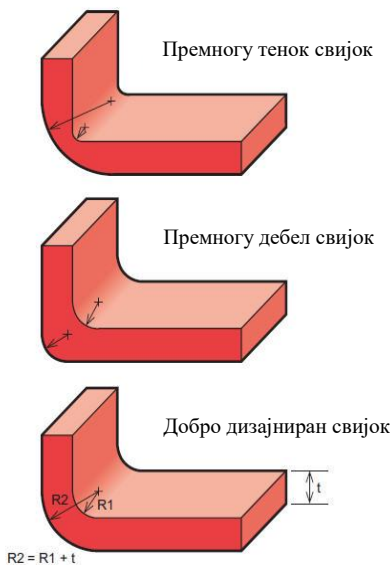
Нерамномерната дебелина на сидовите може да доведе до разлики во брзината на ладење поради што ќе се јават внатрешни шуплини и заостанати напони и деформации на местата со повеќе материјал. Внатрешноста на материјалот кај дебелиите сидови е со многу шуплини и значително ги намалува неговите карактеристики. Затоа деловите треба да се дизајнирани така што да се креира униформна дебелина на сидот на пластичниот дел (види на слика 8.1).



**Слика 8.1** Униформна дебелина на сидот на пластичниот дел

На свијокот се употребува различен внатрешен и надворешен радиус со цел да се овозможи постојана дебелина на сидот на пластичниот дел (види на слика 8.2). На првиот пример на сликата, се добива многу мала дебелина на сидот, додека на вториот пример на сликата, се добива поголема дебелина од дебелината на сидот.

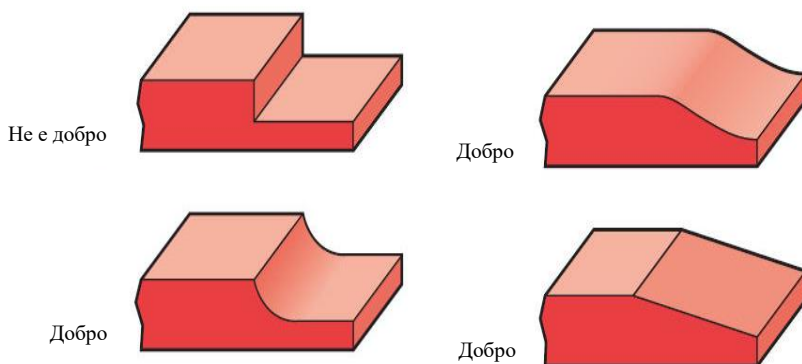
И двата случаја треба да се одбегнуваат. Треба да се користи третиот случај при што се добива рамномерна дебелина во свијокот.



**Слика 8.2** Постојана дебелина на сидот на пластичниот дел

При промена на дебелината на сидот на пластичниот дел се употребува премин (види на слика 8.3).

Треба да се употребува премин во вид на радиус на заоблување или континуиран премин, поради можноста да се појави зголемена концентрација на напони при оптоварување или заостанати напони од леењето на местото на премин и кршење на делот на ова место.



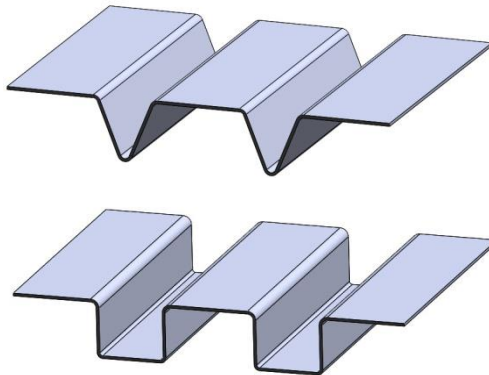
**Слика 8.3** Премин при промена на дебелината на сидот на пластичниот дел

### 8.3. Жлебови

За зголемување на крутоста и носивоста на делови од пластика најчесто се применуваат V жлебови, правоаголните жлебови и ребра. Зголемување на крутоста се постигнува со поставување поголем дел од материјалот подалеку од неутралната оска на делот, со што се зголемува моментот на инерција на пресекот. На слика 8.4 се прикажани V-жлебови и правоаголните жлебови.

V-жлебовите се користат кај делови кај кои е потребно значително зголемување на крутоста и каде примената на ребра не е ограничена поради други барања. V-жлебовите прилично ефикасно ја зголемуваат крутоста и за нив не се користи многу дополнителен материјал, но поради нив се добива нерамна површина на делот и внатре и надвор. V-жлебовите треба да се протегаат во насока нормална на моментот на свиткување, инаку во друга насока имаат негативно дејство.

Правоаголните жлебови имаат слично дејство како V-жлебовите. V-жлебовите и правоаголните жлебови може да се засилат со ребра за да се спречи нивното отворање при поголеми оптоварувања. Жлебовите може да имаат и други облици како: обли, трапезни и др.

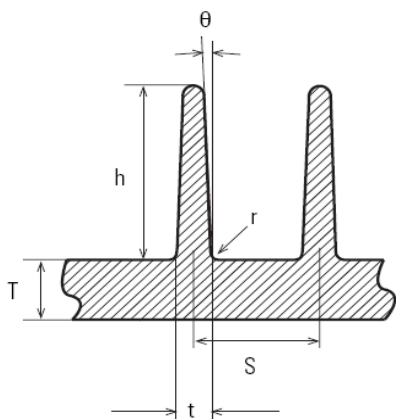


Слика 8.4 V жлебови и правоаголните жлебови

### 8.4. Ребра

За зголемување на крутоста на деловите од пластика најчесто се користат ребра. Дебелината на ребрата е ограничена според видот на процесот на производство на деловите и алатите. За делови изложени на свиткување, ребрата треба да се постават нормално на моментот на свиткување. За делови изложени на торзија, најдобро е ребрата да се постават дијагонално (обично под агол од 45°). Високите ребра придонесуваат повеќе за зголемување на крутоста отколку дебелините ребра. На слика 8.5 се прикажани високи ребра и нивните димензии.

За да се избегнат проблеми при пополнување на ребрата при леење и проблеми со цврстината на ребрата, висината на ребрата обично изнесува до 3 пати од дебелината на сидовите. Ако е потребна поголема крутост, тогаш е подобро да се постават повеќе ребра отколку да се зголемува висината на ребрата.



Дебелина на ребро  $t \leq 0.5 T$   
 Висина  $h \leq 3T$   
 Радиус во аголот  $r \geq 0.25 - 0.4T$   
 Косина  $\theta \geq 0.5^\circ$  (обично  $1.5^\circ$ )  
 Растојание меѓу ребра  $S \geq 2T$

**Слика 8.5** Високи ребра и нивните димензии

На дното на ребрата треба да се предвиди радиус кој е најмалку 25 % од дебелината на сидовите, бидејќи острите агли дејствуваат како концентратори на напоните. Радиуси поголеми од 50 % од дебелината на сидот даваат само незначително подобрување на напоните, но може да доведат до вдлабнувања од спротивната страна. Растојанието помеѓу ребрата треба да биде најмалку два пати од дебелината на сидовите. На двете страни на ребрата треба да се предвиди закосување од најмалку  $0.5^\circ$  со цел да се олесни вадењето од калапот.

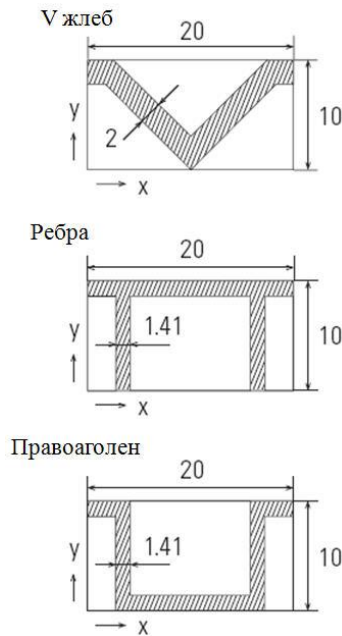
Ребрата треба да се постават во правец на течењето на материјалот, инаку постои можност за појава на повеќе струи, заробен воздух и други проблеми при производство.

Треба да се има предвид дека со примена на ребра може да се јави вдлабнатина на спротивната страна со што се нарушува рамноста на површината (види на сликата 8.24). Имајќи го тоа предвид, дизајнерот треба да направи соодветен редизајн со цел да се прикријат евентуалните вдлабнатини и да не се наруши естетскиот изглед на површината на производот.

На сликата 8.6 се прикажани напречни пресеци на греда кои имаат еднаква површина (иста количина на материјал), но се со различен облик: V-жлеб, правоаголен жлеб и со ребра. Во табелата 8.1 се дадени вредностите на моментот на инерција за свиткување, координатите на тежиштето и површината за секој од овие профили.

	V-жлеб	Редра	Правоаголен
I (mm <sup>4</sup> )	348,6	480,6	668
X-координата	10	10	10
Y-координата	5,896	6,983	4,403
A (mm <sup>2</sup> )	52,57	52,57	52,57

**Табела 8.1** Вредностите на моментот на инерција за свиткување, координатите на тежиштето и површината за V-жлеб, ребра и правоаголен жлеб



**Слика 8.6** Напечрни пресеци на греда кои имаат еднаква површина (иста количина на материјал), но се со различен облик: V-жлеб, правоаголен жлеб и со ребра

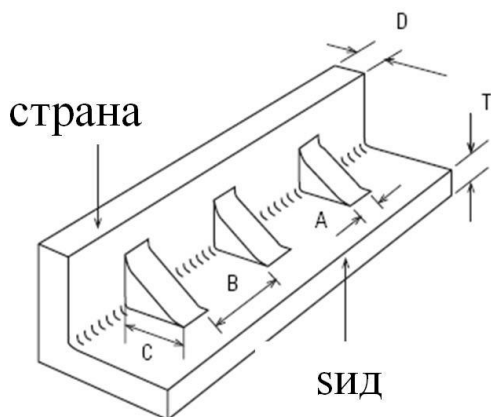
## 8.5. Потпорни ребра

Потпорните ребра се користат за зголемување на крутоста на кошиња, сидови и испакнати цилиндри. За правилна употреба на потпорните ребра се користат следниве препораки:

- Дебелината на реброто треба да изнесува 50 % до 70 % од дебелината на сидовите. Висината на потпорните ребра може да биде до 95 % од висината на елементот кој се потпира.
- Минималното растојание помеѓу страните од соседни ребра треба да биде двапати поголемо од дебелината на сидовите.
- Минималната должина на страна на потпорното ребро треба да изнесува двапати од дебелината на сидовите.
- На краевите на ребрата треба да се предвиди голем радиус.
- Страните на ребрата треба да се под агол од најмалку  $0.5^\circ$  во однос на поделбената рамнина.
- Минималната должина на страната на ребро која е прикрепена на испакнат цилиндар треба да биде четирипати од дебелината на сидовите.

На сликата 8.7 се прикажани потпорни ребра помеѓу два sida. Дадени се и соодветните димензии на потпорното ребро.

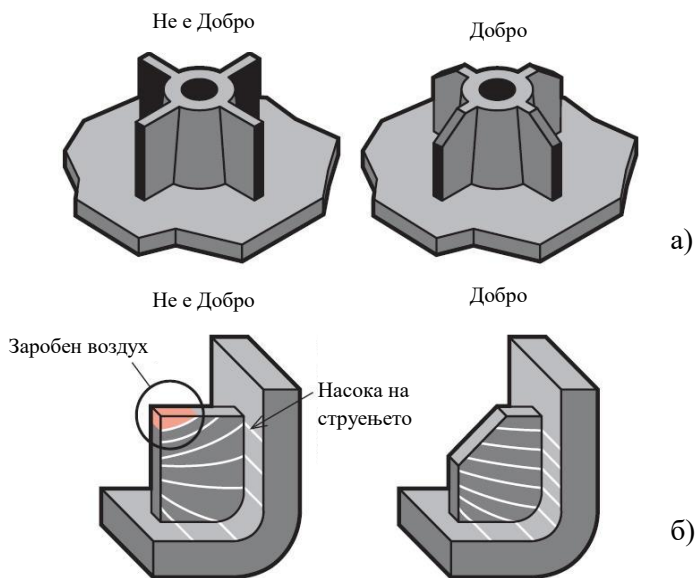




Дебелина на ребро  $0.5 T \leq A \leq 0.7 T$   
 Радиус во аголот  $r \geq 0.5 T$   
 Косина  $\theta \geq 0.5^\circ$   
 Растојание меѓу ребра  $B \geq 2T$   
 Должина на страна од ребро  $C \geq 2T$

**Слика 8.7** Потпорни ребра и нивните димензии

Потпорните ребра се употребуваат за зацврстување на испакнатите цилиндри, две страници и др. На сликата 8.8 може да се види дека во кошовите потпорните ребра се порабуваат, бидејќи при инјекционо пресување се јавува заробен воздух во тој дел.



**Слика 8.8** Закосување на потпорни ребра за зацврстување на испакнатите цилиндри (а) и две страници (б)

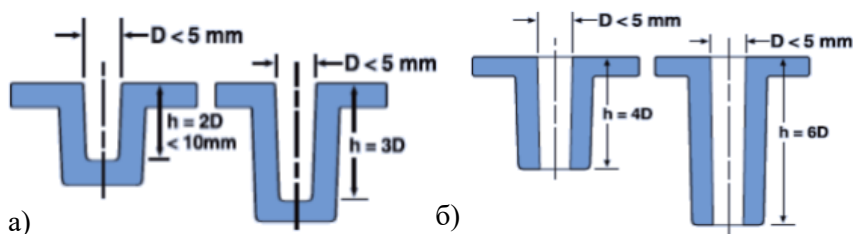
## 8.6. Длабоки отвори

Отворите се изработуваат со вградување чепови во калапот. Проодните отвори полесно се изработуваат отколку слепите отвори, бидејќи чеповите може да се придржуваат од двете страни.

Кај слепите отвори, чепот се држи само од едната страна и неговата максимална должина е ограничена поради наклонот кој се јавува поради притисок при течењето на пластиката и од другите сили во калапот. Општа препорака е длабочината на слеп отвор да не биде поголема од трипати од неговиот дијаметар.

За отвори со дијаметар помал од 5 mm, овој однос треба да биде помал, односно околу два.

Кај проодните отвори, чеповите може да бидат двапати подолги отколку кај слепите отвори поради можноста за придржување на чепот во другата половина од калапот (слика 8.9а). Освен тоа, проодните отвори може да се изработуваат со два чепа од двете страни на калапот кои се судираат при затворањето (слика 8.9б).



Слика 8.9 Длабоки отвори и нивни димензии: слеп отвор (а) и прооден отвор (б)

## 8.7. Испакнати цилиндри

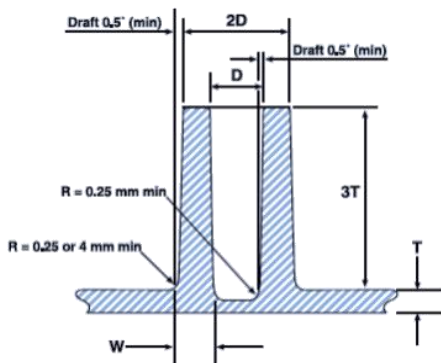
Испакнатите цилиндри (слика 8.10) служат за монтажа на деловите од пластика. Во шупливите испакнати цилиндри обично се поставуваат самонарезни завртки, чепови за ултразвучно лепење, пресувани споеви или залеани метални гнезда за завртки. Испакнатите цилиндри се користат и за вметнување гумички кои го спречуваат лизгањето на производот при поставување на мазна површина. Во испакнатите цилиндри обично се јавуваат поголеми напони отколку на други места на делот.

Вообичаена дебелина на сидот кај испакнатите цилиндри е од 50 % до 70 % од дебелината на сидовите. Оваа дебелина може да не биде доволна за да ги издржи напоните. Зголемувањето на дебелината на сидовите доведува до појава на вдлабнатини на површината и до високи заостанати напони. Во основата на цилиндарот треба да се предвиди радиус кој е најмалку 25 % од дебелината на сидовите.

За да не се појави вдлабнување од спротивната страна, отворот во испакнатиот цилиндар треба делумно да навлегува во дебелината на долниот сид. Отворот во испакнатиот цилиндар се изработува со трн во калапот. Врвот на трнот треба да има голем радиус.

Дополнителна крутост на испакнатите цилиндри се постигнува со потпорни ребра (види на слика 8.11 б) и в)).

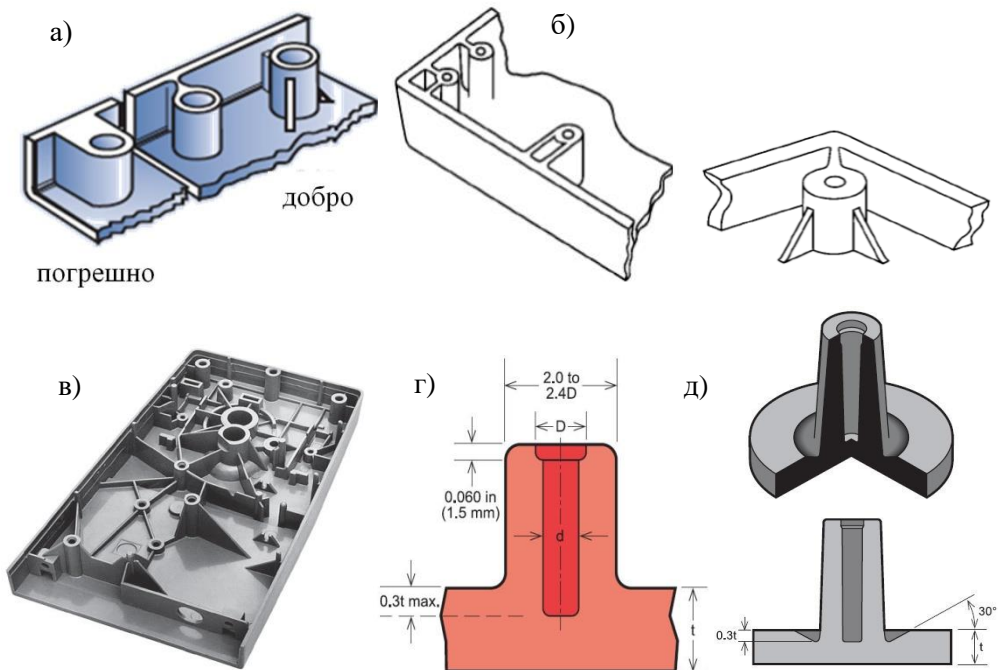
При поставување испакнат цилиндар близу до страничен сид или во ќоше, тој се прикрепува со ребра (види на слика 8.11 а) и б)). Не е добро испакнатиот цилиндар да се постави на самата страна или директно во ќоше. На слика 8.11 се прикажани начини на прикрепување на испакнати цилиндри.



Дебелина на цилиндар  $0.5 T \leq W \leq 0.7 T$   
 Радиус во коренот  $r \geq 0.5 T$   
 Косина  $\theta \geq 0.5^\circ$   
 Должина на страна од потпорно ребро  $E \geq 4T$   
 При  $W$  поголемо од  $0.6T$  можна е појава на вдлабнатини на спротивната страна.

**Слика 8.10** Испакнат цилиндар и негови димензии

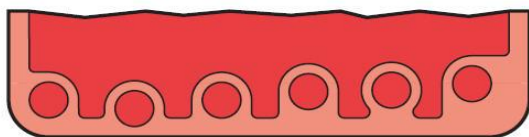
На дното на испакнатиот цилиндар се остава вдлабнатина со димензии како на сликата 8.11 д). Оваа вдлабнатина се прави со цел да се избегне концентрацијата на напони или заостанати напони од леањето.



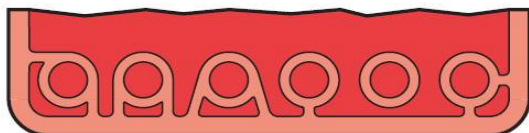
**Слика 8.11** Испакнат цилиндар и негови димензии

На слика 8.12 е прикажан начинот на поставување испакнат цилиндар до ѕид или коше.

не е добро

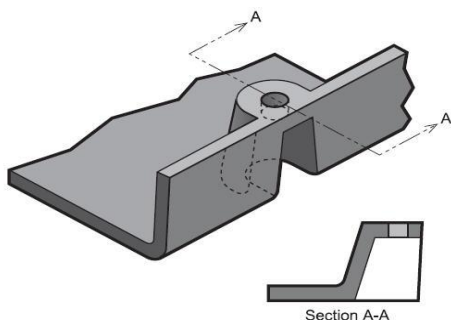


добро

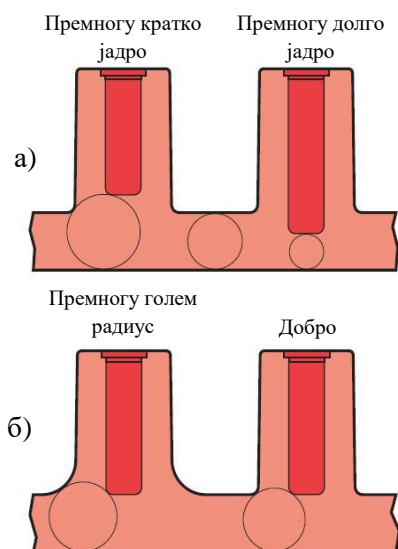


**Слика 8.12** Начинот на поставување испакнат цилиндар до сид или коше

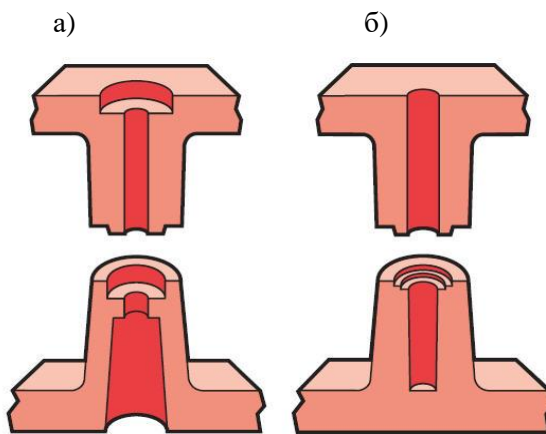
На слика 8.13 е прикажан отворен испакнат цилиндар со униформна дебелина прикачен на сидот.



**Слика 8.13** Отворен испакнат цилиндар со униформна дебелина прикачен на сидот



**Слика 8.14** Влијание на длабочината на испакнат цилиндар (а) и големината на радиусот во коренот на цилиндарот (б)

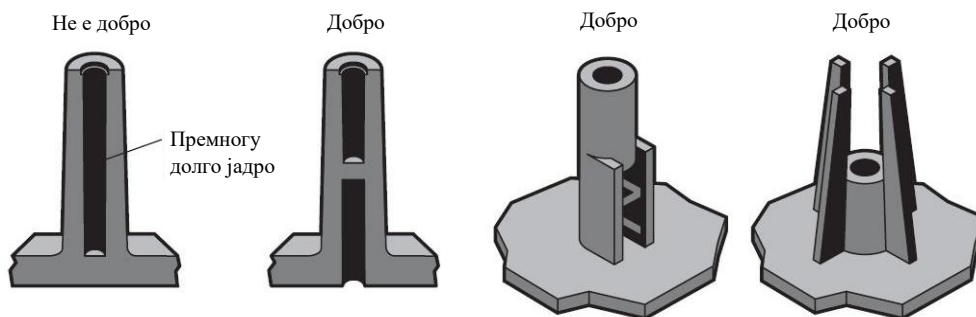


**Слика 8.15** Спојување два дела со помош на испакнат цилиндар: со пристап од две страни (а) и со пристап од една страна (б)

На сликата 8.14а е прикажана длабочина на испакнат цилиндар. Отворот кај испакнатиот цилиндар треба да се протега до ниво на дебелината на сидот.

На сликата 8.15 е прикажано спојување на два дела со помош на испакнат цилиндар и тоа: слика 8.15а прикажува спојување на двата дела со пристап од две страни и слика 8.15б со пристап од една страна.

Ако должината на испакнатиот цилиндар е премногу голема, тогаш треба да се примени конструктивно решение слично како на сликата 8.16.



Слика 8.16 Конструктивно решение на висок испакнат цилиндар

## 8.8. Закосеност

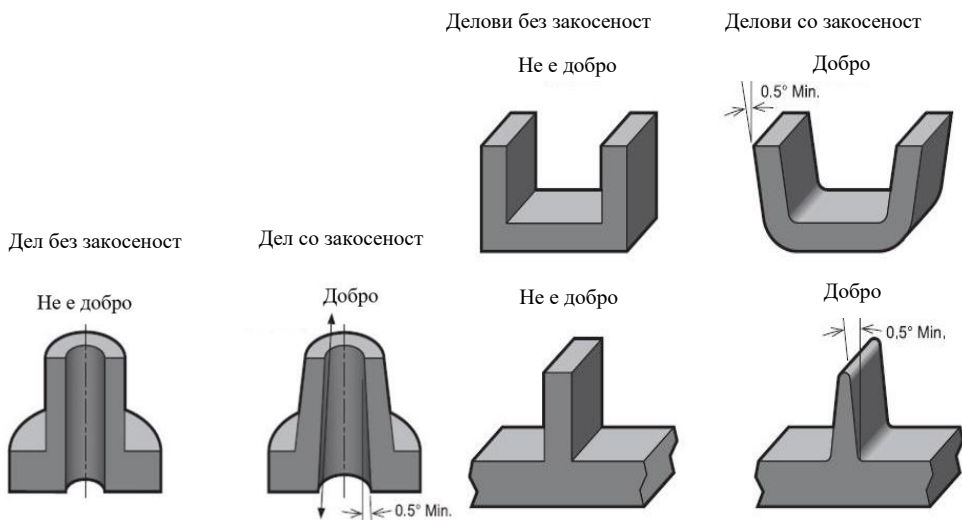
За да се олесни вадењето на деловите од калапот, а со тоа да се скрати циклусот, страните на делот што се нормални на поделбената рамнина треба да бидат закосени. За површини без текстура обично е доволно да се закосат страните од  $0.25^\circ$  до  $2^\circ$  степен (обично над  $0.5^\circ$ ) и од надворешна и од внатрешна страна. Закосувањето овозможува слободно испаѓање на делот по отворање на калапот. Бидејќи термопластиката се собира при ладењето, делот обично се прилепува за јадрата (машкиот дел од калапот), што го отежнува вадењето на делот ако нема закосување.

Ако се користи искршена поделбена линија, косината на скалилото мора да биде најмалку  $5^\circ$  до  $7^\circ$ .

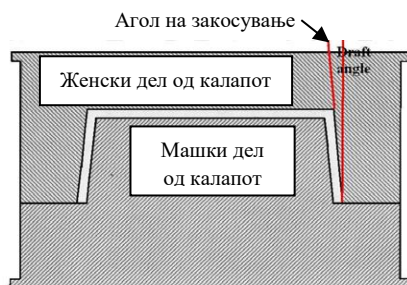
Положбата на поделбената рамнина на делот може да се менува со цел порамномерно да се распредели косината на двата дела од калапот. Ако не е дозволено никакво закосување на страните, тогаш може да се јави потреба за вградување на хидрауличен систем за исфрлање на деловите од калапот.

На сликата 8.17 десно е прикажан погрешен и правилен начин на дизајнирање на геометриски елементи од пластичен дел.

Во табелата 8.2 се дадени препорачани закосувања на страниците за даден тип на пластика.



Слика 8.17 Закосеност на делови од пластика



Тип на пластика	Агол на закосување
Поликарбонат PC	1-2°
Полистирен PS	> 0,5°
Полиарилсулфон PSU	1-2°
Полиарилетерсулфон PES	1-2°
Течен кристален полимер LCP	> 0,5°
Полибутилентерефрелат PBT	1-1,5°
Полиетилентерефтелат PET	1-1,5°
Акрилонитрил/Полибутилен/Стирен ABS	> 0,5°
Полиметилметакристал PMMA	1-2°
Полиетилен PE	> 0,7-0,8°
Полипропилен PP	> 0,7°

Табела 8.2 Препорачани закосувања на страниците за даден тип на пластика

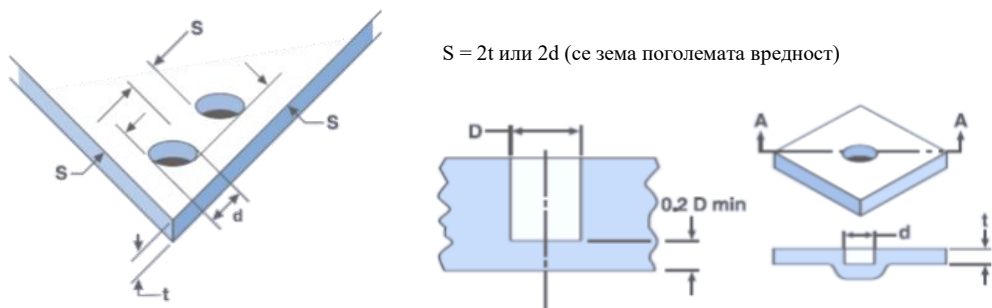


## 8.9. Отвори

Отворите се изработуваат со вградување чивии во калапот. Отворите предизвикуваат разделување на текот на материјалот при полнењето на калапот што може да предизвика појава на линии на заварување по отворите. Ако ваквата појава влијае на изгледот или јакоста, отворите може да се изработат делумно (како слепи отвори) и да се доработат со машинска обработка.

Растојанието помеѓу два отвора или отвор и раб на делот треба да биде најмалку двапати поголемо од дебелината на делот или двапати поголемо од дијаметарот на отворите, при што се зема поголемото од двете (види слика 8.18).

Кај слепите отвори дебелината на дното треба да е поголема од 20 % од дебелината на сидовите за да се избегнат дефекти на површината од спротивната страна. Подобрo решение е да се запази еднаква дебелина на сидовите и да се предвидат заоблувања за да се избегне појава на концентрација на напоните.



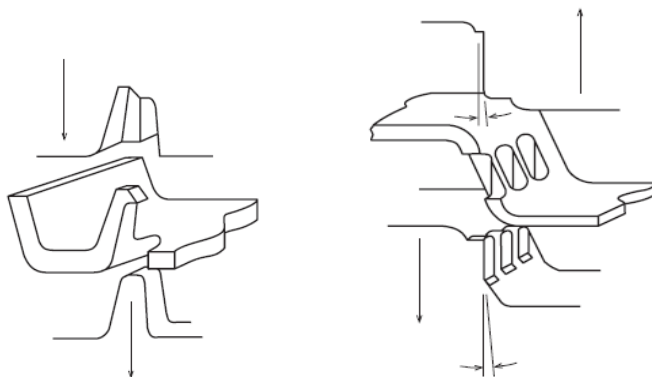
Слика 8.18 Отвори во пластичните делови и нивни димензии

## 8.10. Странични отвори

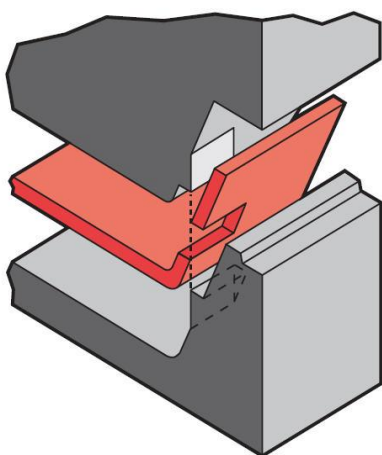
Засенчени делови на геометријата (кои не се отворени спрема поделбената рамнина) треба да се одбегнуваат при конструкцијата на делови од пластика. Калапот е најевтин кога за вадење на дел е потребно само едно движење. Меѓутоа, кај некои сложени делови, не е можно да се избегнат засенчени места и потребно е да се предвиди некој вид дополнително движење во калапот.

За изработка на странични отвори во делот потребно е вградување на странични јадра со механизми во калапот што значително ја зголемува цената. Во некои случаи, страничните отвори може да се изведат со промена на конструкцијата. На примерот прикажан на слика 8.19, косите отвори се изработени така што поделбената рамнина поминува долж нивната дијагонала.

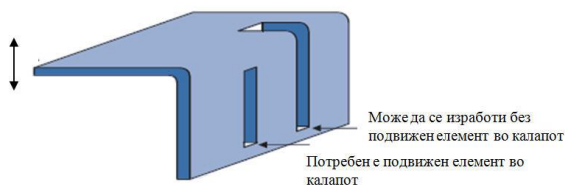
Во примерот прикажан на слика 8.20, отворот е направен пристапен со продолжување до поделбената рамнина. Слично, кај примерот на сликата 8.21 се користи посложена поделбена рамнина за да може калапот да се изведе од два дела.



**Слика 8.19** Изведба на калапот без употреба на дополнителни подвижни елементи во калапот



**Слика 8.20** Изведба на отворот со продолжување до поделбената рамнина



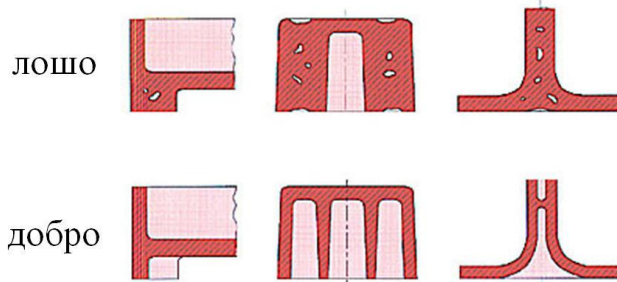
**Слика 8.21** Модификација на обликот на страничен отвор за да може да се изработи со горниот дел од калапот

За изработка на подлабоки странични отвори се користат воглавно три техники:

- примена на хидраулични цилиндри кои задвижуваат делови од калапот,
- примена на коси клинови кои при вадење на делот од калапот се тргаат со движење по коса рамнина,
- метални влошки кои се вадат од калапот заедно со делот и потоа се одвојуваат од делот и се враќаат повторно на соодветно место во калапот. Ова решение се користи само за прототипови,
- мали странични испакнувања во калапот (за отвори) кои може да се прескокнат со деформација на делот при вадење од калапот.

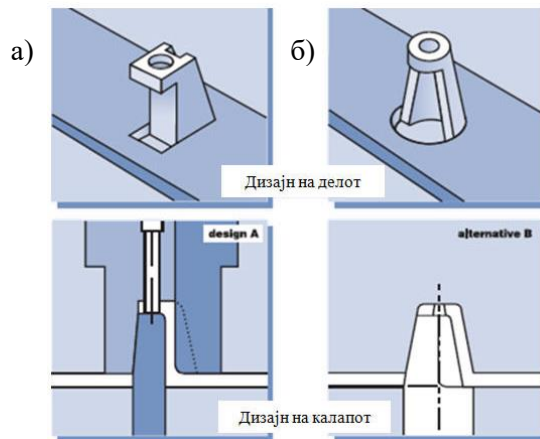
## 8.11. Јадра

На местата каде што се јавува поголема количина материјал, треба да се предвидат метални јадра во калапот со што се прави џеб во делот и се добива порамномерна дебелина на сидовите (како на сликата 8.22). Јадрата треба да се поставуваат во иста насока со движењето потребно за отворање на калапот, инаку треба да се внесуваат и тргаат со помош на помагало или хидраулика.



Слика 8.22 Правилна изведба на пластичен дел со употреба на јадра во калапот заради рамномерна дебелина на сидовите

Конструктивното решение на калапот на слика 8.23 во втората колона е поевтино од конструктивното решение во првата колона, зашто обликот на отворот во едниот калап (потсечен конус) и јадрото во другиот калап се поедноставни и поевтини за машинска обработка. Освен тоа, сидовите на отворот се покроти.



Слика 8.23 Две конструктивни решенија за дел со отвор и калапите за нивна изработка (а, б)

## 8.12. Надворешен изглед

За да се добијат естетски убави површини кај деловите од термопластика изработени со инјекционо пресување треба да се познава природата на

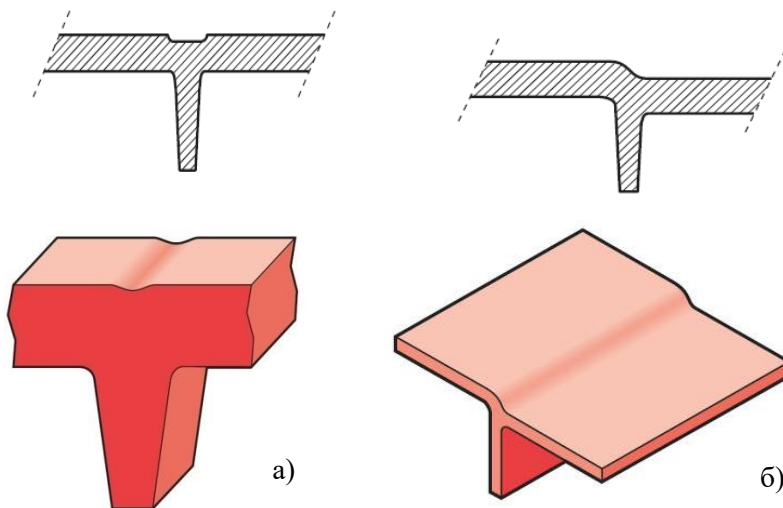
материјалот. Пластиката армирана со стаклени влакна обично има послаб квалитет на површината во однос на пластиката без пополнувачи.

Голема улога на квалитетот на површината на деловите од пластика има квалитетот на површините на калапот.

**Вдлабнатини на површината** се јавуваат од спротивната страна на ребро, особено во зоните кои се подалеку од портата за влевање. Овие вдлабнатини се резултат на локално поголемата количина на материјал на тоа место и поголемото собирање. За да се одбегне овој ефект, дебелината на реброто се зема да биде 50 % помала од дебелината на основниот сид.

За прикривање на вдлабнатини може да се користат и естетски елементи, како плиток жлеб и премин, како што е прикажано на сликата 8.24. Лош изглед и вдлабнатини треба да се очекуваат на местата кои се далеку од портата за влевање, како и на места со тенки сидови и при тесна порта за влевање.

Влажноста на пластиката може да предизвика внатрешни меурчиња и шари на површината. Во ваков случај потребно е претходно сушење на пластичните гранули пред топењето.



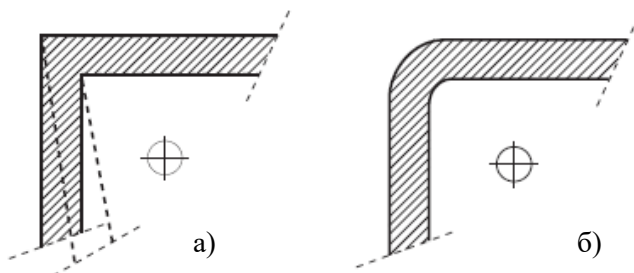
Слика 8.24 Плиток жлеб (а) и премин (б) за сокривање на нерамноста на површината

### 8.13. Прецизност

Собирањето на пластиката во калапот се изразува во проценти и може да се компензира со соодветни димензии на калапот. Поголем проблем претставува увивањето на пластичните делови при ладењето. На увивањето најмногу влијаат три фактора: брзината на ладењето, притисокот при леење и ориентацијата на молекулите. Подобрување на точноста на деловите се постигнува со порамномерна температура на делот во калапот. Местата кои поспоро се ладат треба да се одбегнат со правилно обликување на делот или пак во зоните со

поспоро ладење треба да се вградат елементи во калапот направени од метал кој е подобар проводник.

Аглите се ладат нерамномерно и секогаш надворешната страна се лади побргу од внатрешната, што предизвикува свиткување на краевите навнатре (види на слика 8.25). Оваа појава може значително да се ублажи со заоблување на аглите со поголем радиус (25 до 60 % од дебелината на сидот или повеќе) како на сликата долу.



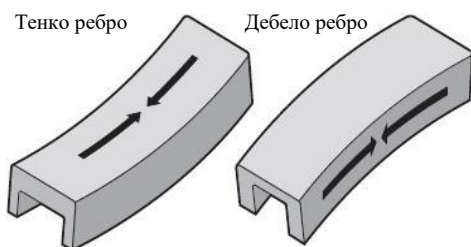
**Слика 8.25** Поголем радиус на аголот (б) заради помала деформација (а) на пластичните делови

Острите внатрешни агли го отежнуваат вадењето на делот од машиниот дел на калапот поради тенденцијата делот да се стегне кон него. Острите агли предизвикуваат концентрација на напоните кај деловите од пластика. Острите агли го отежнуваат протокот и предизвикуваат турбуленции, прескок на материјалот и заробен воздух. Сечењето на молекулите кое се јавува при проток околу острите агли ги намалува механичките карактеристики на материјалот.

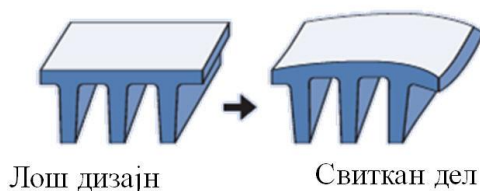
Пакувањето, односно држењето на калапот под притисок извесно време има значително влијание на намалување на увивањето. Поголемиот притисок во калапот и подолгото пакување значително го намалуваат увивањето.

Ориентацијата на молекулите доведува до различни својства во различни насоки и значително влијае на рамноста на делот. Ориентацијата на молекулите се јавува при стеснувања кај портите или при проток на пластиката во калапот.

Кога собирањето во калапот е рамномерно, веројатноста од увивање е мала. Увивањето претставува отстапување на површините на излеаниот дел од нивниот облик кое може да биде значително и се јавува по вадење на деловите од калап. Увивањето се јавува поради заостанати напони кои се јавуваат при пополнувањето на калапот заради: ориентација на молекулите, варијација на температурите во калапот, разликите во притисокот при оцврстувањето на пластиката, разликите во пакувањето кај портите и подалеку од нив и др.



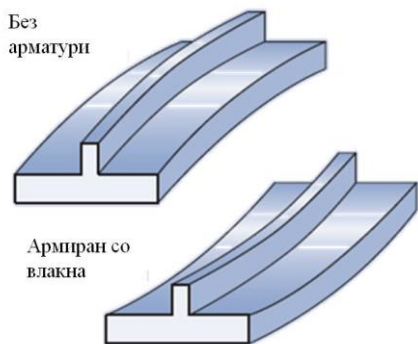
**Слика 8.26** Влијание на дебелината на реброто на увивањето кај неармирана пластика



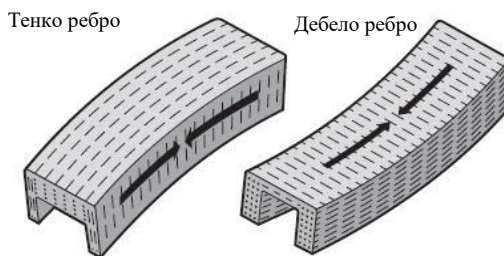
**Слика 8.27** Насоката и несоодветната дебелина на ребрата може да придонесе за увивање на делот

Ребрата кои обично се со дебелина 50 % од главните сидови, се ладат многу побрзо од подебелите сидови, што може да доведе до увивање кај делови со дебели и долги ребра (слики 8.26 и 8.27).

Пластиката зајакната со стаклени влакна се собираат помалку во насоката долж влакната отколку нормално на таа насока. Кај неармираните видови пластика увивањето се јавува заради нерамномерната дебелина на сидовите и температурата, односно подебелите сидови повеќе се собираат. Затоа можно е да се појави увивање во различна насока зависно од видот на материјалот при ист облик на делот (слики 8.28 и 8.29).



**Слика 8.28** Влијание на стаклените влакна на увивањето



**Слика 8.29** Влијание на дебелината на реброто и ориентацијата на стаклените влакна на увивањето кај армирана пластика

Со аморфните видови термопластика може да се постигне поголема точност на геометријата отколку со полукристалните видови термопластика. Кај аморфната пластика и пластиката пополнета со минерали, собирањето е рамномерно во сите насоки.

Кај пластиката армирана со стаклени влакна се јавува нерамномерно собирање и увивање поради ориентацијата на влакната. Најтешко се постигнува точност кај



полукристалните материјали армирани со стаклени влакна. Пополнувачите го намалуваат увивањето, но и јакоста на пластиката.

Кај полукристалната термопластика потребно е загревање на калапот на повисока температура за да се постигне поголема точност, но потребно е и подолго ладење со што се успорува процесот.

Големината, обликот и положбата на портите има важна улога за постигнување на потребната точност. Портата треба да има големина најмалку 60 % од дебелината на главните сидови на делот, но пожелно е да е поголема. Положбата на портата влијае на ориентацијата на молекулите во делот и значително влијае на увивањето.

#### **8.14. Текстури и натписи**

Текстури и натписи може да се изгравираат на површините од калапот, со што се постигнуваат естетски ефекти и се одбегнува понатамошна доработка. Со ваквите детали може визуелно да се прикријат и неправилности на површините.

Страниците со текстура треба да имаат од  $0.5^\circ$  до  $10^\circ$  поголем агол на закосеност од мазните површини, зависно од конфигурацијата и видот на текстурата.

#### **8.15. Метални влошки**

При леењето, течната пластика го загрева калапот и металните влошки во калапот. При ладењето, влошката се лади поспоро и ја одржува топла околната пластика. Со тоа се јавува дополнително собирање на пластиката околу влошката, при што се јавуваат заостанати напони кои може да доведат до пукнатини. Затоа, треба да се овозможи засилено одведување на топлината од ваквите места во калапот.

## Елементи за врска кај пластиката

### 9.1. Механички врски кај деловите од пластика

Механичките врски се користат воглавно кога е потребно лесно спојување и раздвојување на деловите или кога треба да се постигне цврст спој во многу кратко време. Главни видови на механички врски кај пластиката се:

- 1) врски што може често да се отвораат и затвораат: споеви со завртки, метални влошки со навој, спој со боцки
- 2) врски кои поретко се раздвојуваат: ускочници
- 3) врски кои многу ретко се раздвојуваат: заковки, пресувани споеви
- 4) интегрални врски: шарки.

### 9.2. Споеви со завртки

Споевите со елементи за врска овозможуваат монтажа и демонтажа на деловите неограничен број пати. Ова е важно кога уредот направен од пластика треба да се модифицира или поправа и кога треба да се обезбеди пристап кон други делови од склопот.

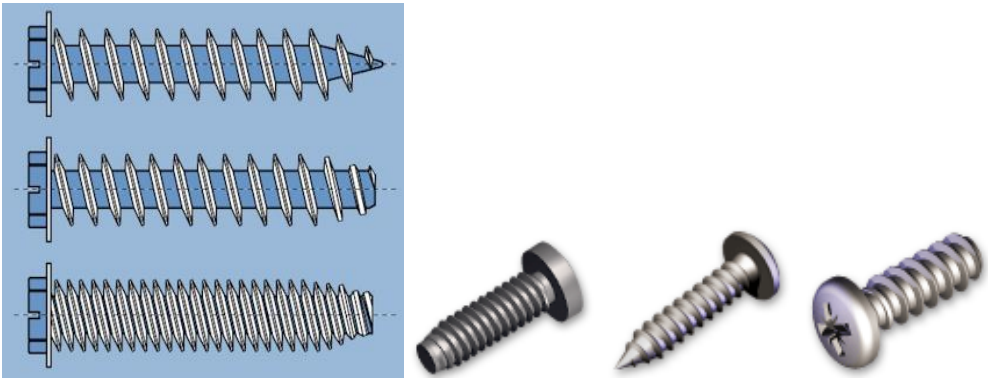
Кај термопластиката може да се применат повеќе видови на врски со завртки. Четирите основни вида се со:

- завртување на самонарезна завртка директно во дел од пластика,
- примена на метални влошки кои се вградени во дел од пластика,
- завртка која минува низ отвори на деловите и навртка, и
- излеан навој во или на самиот дел од термопластика.

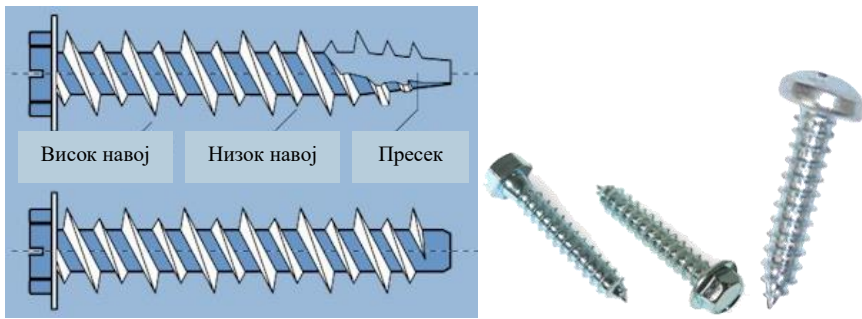
#### 9.2.1. Самонарезни завртки

Има два вида на самонарезни завртки: што го обликуваат навојот и што го режат навојот. **Завртките кои го обликуваат навојот** се користат за помекни материјали (види слика 9.1 и 9.2). Не се препорачуваат кај материјали кои пукаат под подолготрајни напони, бидејќи ваквите завртки внесуваат значителни напони во материјалот при обликувањето. Кај покртите материјали, препорачливо е да се користат **завртките што режат навој**, бидејќи тие го формираат навојот со отстранување материјал, при што деформациите се минимални. Треба да се одбегнуваат завртки со вкопана глава бидејќи може да се јават покачени напони.

Ако е потребно завртката да се демонтира повеќепати, самонарезната завртка треба да се замени со обична машинска завртка, за да не дојде до режење нов навој врз претходниот, со што би се пресекол навојот. На овој начин може да се изврши ограничен број на монтажи/демонтажи, зашто навојот постепено ќе ја изгуби јакоста. За почеста монтажа/демонтажа се препорачува вградување метална влошка.

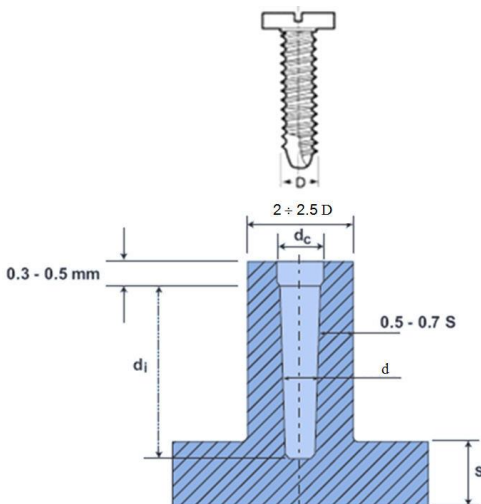


Слика 9.1 Самонарезни завртки



Слика 9.2 Самонарезни завртки со висок и низок навој

Самонарезните завртки се вградуваат во отвор. Препорачливи односи на мерките за правилен дизајн на отворот се прикажани на сликата 9.3. Влезот на отворот треба да биде со дијаметар  $d_c$  кој е приближен на надворешниот пречник на завртката ( $1 \div 1.2 D$ ) и со длабочина околу еден чекор (околу  $0.5 \text{ mm}$ ). Дијаметарот на отворот  $d$  треба да е еднаков со дијаметарот на коренот на навојот. Надворешниот дијаметар на испакнатиот цилиндар треба да е  $2 \div 2.5$  пати поголем од дијаметарот на завртката  $D$ .



Слика 9.3 Димензии на отворот за самонарезни завртки

Минимална должина на спојот треба да е  $2 \div 2.5$  од дијаметарот на навојот. Може да се користи и затворен и прооден отвор. На сликата 9.4 е прикажана скица на спој со самонарезна завртка.



Слика 9.4 Спој со самонарезна завртка

### 9.2.2. Влошки со внатрешен навој

Влошките со внатрешен навој се изработуваат од различни метали. Влошките се вградуваат во пластичниот дел на различни начини: при леењето -пресувањето, со заварување со ултразвук, со експандирање или со загревање и притисок.



За вградување со ултразвук



За вградување со експандирање



За вградување со самонарежување



а)

За вградување при леење во калап



Влошки во вид на пружина



б)



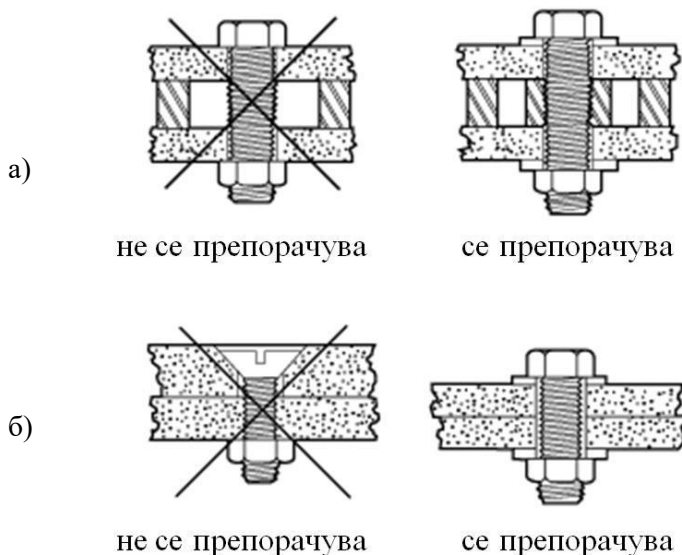
Слика 9.5 а) Видови на влошки со навој и б) Влошки со навој вградени во делови од пластика

Најпосакуван метод за вградување влошка е нејзино втиснување со помош на ултразвук, бидејќи генерираните заостанати напони се мали и процесот не е скап. Влошките во вид на пружина се користат најчесто за да се репарира спој кој претходно бил со самонарезна завртка, но навојот се оштетил. На слика 9.5 се прикажани голем број на типови на влошки со навој.

За да се добие добар спој, металната влошка не треба да има остри рабови кои може да дејствуваат како зарези и концентратори на напоните.

### 9.2.3. Спој со завртка и навртка

Завртките кои минуваат низ отвори на делови од пластика и се прицврстуваат со надворешна навртка се користат кога се потребни почести демонтажи/монтажи. Ако спојот правилно се дизајнира, торзијата на која е изложена завртката нема да ги оштети деловите од пластика. Местото каде што се поставува завртката треба да е обликувано така што скоро да нема зјај помеѓу површините што се спојуваат. Во спротивно, деловите ќе бидат изложени на напони по затегнувањето на завртката. Ако мора да има зјај, тој може да се пополни со чаура или прстен, како на сликата 9.6 горе десно.



**Слика 9.6** Спој со завртка и навртка: а) да се постави чаура на местото каде што стега завртката и б) да не се вкопува главата на завртката.

Многу е важно да се применат подлошки под навртката и под главата на завртката за да се распредели оптоварувањето на поголема површина.

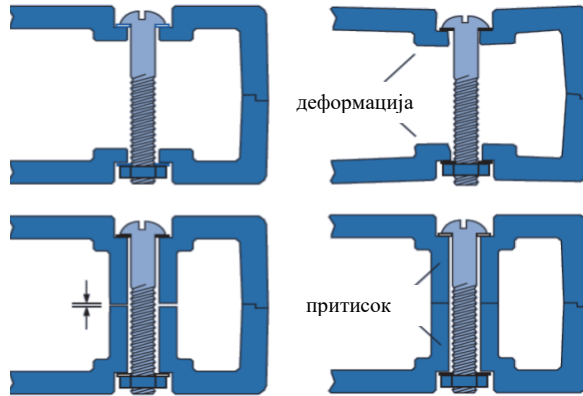
На сликата 9.7 е прикажан дизајн на спој со долга завртка и навртка. Како што може да се види на сликата, притисокот од стегањето го носат испакнатите цилиндри од двата дела во допир.

За подобрување на естетиката на челичните завртки вградени во делови од пластика, се користат пластични капи.

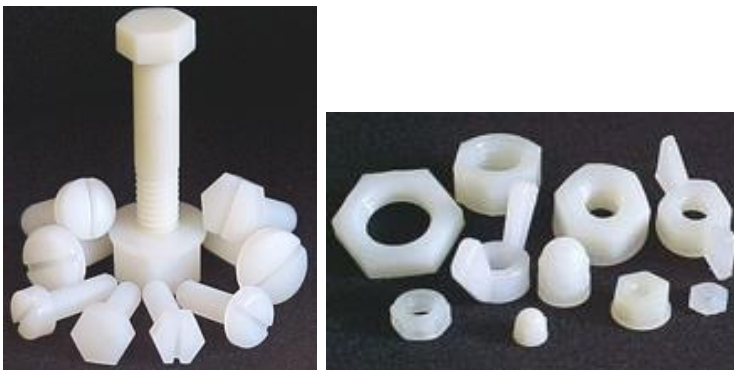
Освен стандардните завртки од челик се користат и завртки од термопластика. Завртките и навртките од термопластика се изработуваат во стандардни големини (види на слика 9.8). Овие завртки се користат каде што е потребна отпорност на хемикалии или електроизолација. Споевите со пластични завртки се користат каде што не се бара честа демонстража/монтажа.

Лош дизајн (немало локална потпора) се јавува свиткување / деформација на деловите при притегање на завртката

Подобар дизајн со локална потпора (шуплив цилиндар). Предвиден е мал зјај за да се обезбеди допир по обемот на делот пред да се допрат страните на испакнатите цилиндри. Притисокот од стегањето на завртката го трпат цилиндрите.



Слика 9.7 Спој со долга завртка и навртка



Слика 9.8 Завртки и навртки од термопластика

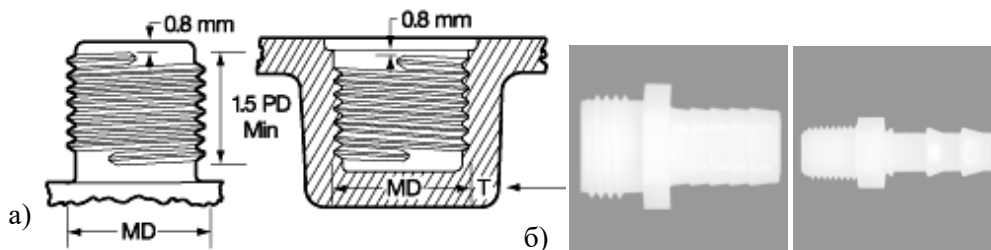
#### 9.2.4. Интегрален навој

Повеќето стандардни навои може да се излеат во деловите од термопластика. Притоа, треба:

- да се одбегнуваат екстремно мали и фини навои со чекор помал од 1 mm,
- навојот не треба да има остри агли и коренот на запците треба да е заоблен,
- да се одбегнува примена на конусен цевен навој поради промена на дебелината на сидовите, освен ако е предвидено скалило кое ќе го стопира прекумерното навлегување на делот со надворешен навој во делот со внатрешен навој.
- навојот не треба да оди до крај на стеблото односно отворот, како што е прикажано на сликата 9.9 (0.8 mm без навој).



На сликата 9.9а се дадени димензиите на навојот, при што со MD е означен средниот дијаметар на навојот и со T е означена дебелината на сидот. Минималната активна должина на навојот е 1.5 пати од дијаметарот на навојот.

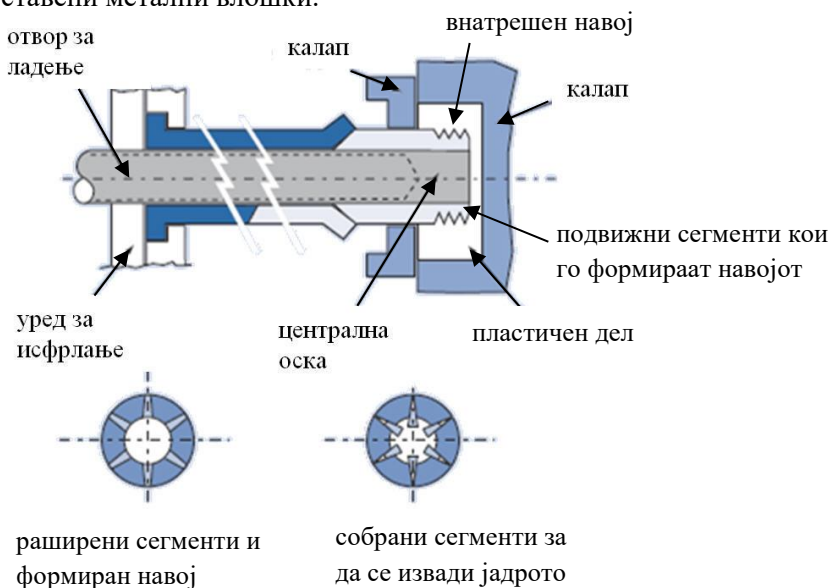


Слика 9.9 Интегрален навој: а) приказ на димензии и б) примери

### 9.2.5. Изработка на внатрешен навој во калап

Внатрешните навои во калап се обликуваат со:

- свлекување од калапот (само кај помеките видови термопластика и при плиток обол навој),
- јадра што се прибираат. На сликата 9.10 се прикажани шематски составните делови на уредот за формирање на внатрешен навој и начинот на негово создавање на пластичниот дел. Јадрото е составено од подвижни сегменти кои кога се раширени го формираат навојот. Кога ќе заврши леењето сегментите од јадрото се собираат и јадрото се вади од калапот, па потоа калапот се отвара и се исфрла готовиот дел.
- уреди за одвртување, и
- рачно поставени метални влошки.

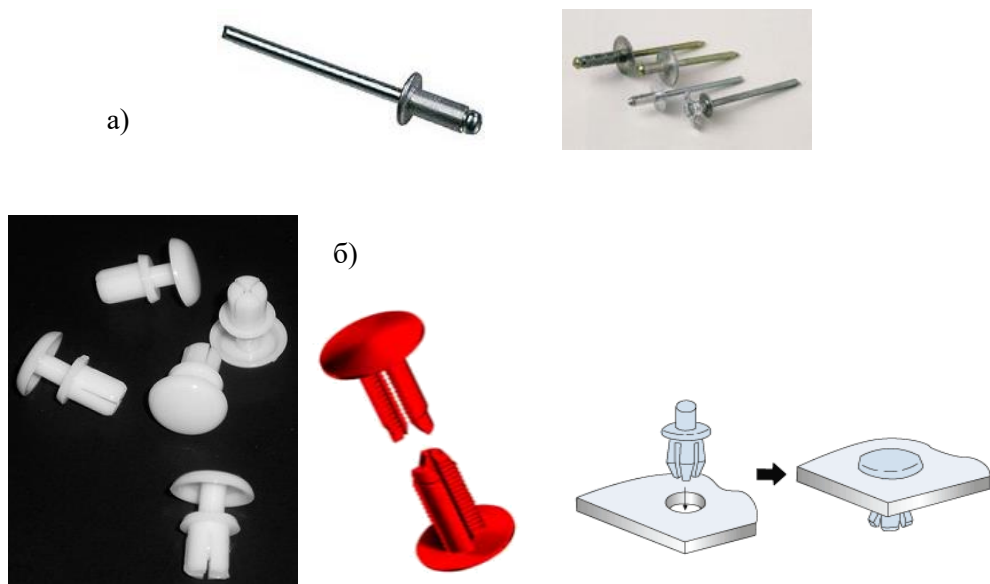


Слика 9.10 Изработка на внатрешен навој во калап

### 9.3. Споєви со заковки

Спојувањето со заковки или поп-заковки се применува поради ниската цена, едноставноста за примена и прецизноста на спојот. Заковките се користат за трајно сврзување делови од пластика или метал со пластика. Најдобро е да се користат заковки од алуминиум (слика 9.10а), бидејќи имаат добра деформација при оптоварување и имаат сличен коефициент на ширење како повеќето видови термопластика. Пожелно е да се вгради подлошка за да се распореди оптоварувањето на поголема површина.

Постојат и пластични заковки кои се прикажани на слика 9.10 б), кои се погодни за мали оптоварувања и погодни се од аспект на рециклирање доколку се изработени од истата пластика како и елементите кои се поврзуваат.



Слика 9.11 Спој со заковки: а) алуминиумски и б) пластични заковки

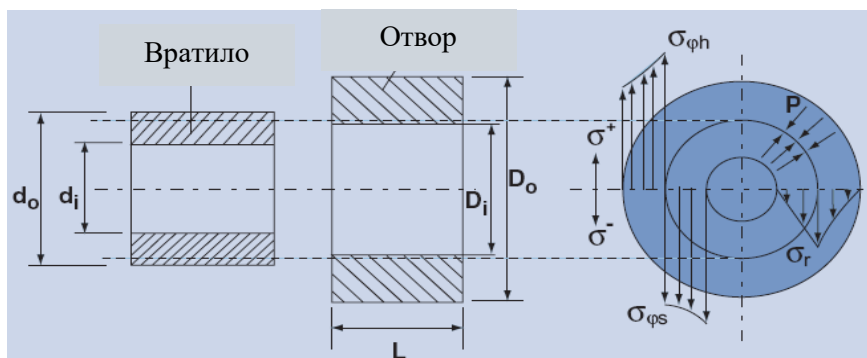
### 9.4. Пресувани споєви

Пресуваните споєви се користат за спојување на главина и вратило или постелка со кукиште (слика 9.12). Цврстиот спој помеѓу деловите се обезбедува со преклоп. Спојот може да пренесува вртежен момент и аксијална сила зависно од преднапрегањето во спојот. Двата дела се од пластика или едниот дел може да биде од метал.

Кога се користат различни материјали, мора да се внимава на разликата во термичката експанзија што може да предизвика олабавување на спојот или премногу високи напони.

Ползењето на пластиката може да предизвика релаксација на напоните и олабавување на спојот. Информации за однесувањето на материјалите во спојот по подолго време може да се одредат од дијаграм со изохрони криви на напони-

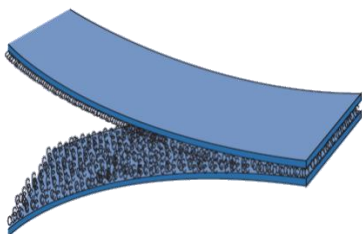
деформации. Изохроните криви може да се најдат според материјалот (на интернет или директно од производителот). Монтажата може да се изврши со загревање на главината или со ладење на вратилото со што се намалува преклопот при монтажата.



Слика 9.12 Пресуван спој и негови димензии

### 9.5. Спој со кукички

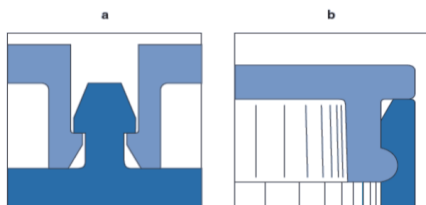
Споевите со кукички се произведуваат во различни големини и бои (слика 9.13). Овие споevi може да се отвораат и затвораат стотици пати и се користат за различни намени: прицврстување панели, прицврстување електрични кабли, оптички кабли и црева.



Слика 9.13 Спој со кукички

### 9.6. Споевите со ускокнување

Споевите со ускокнување се едноставен и ефикасен метод на спојување, кој е типичен за делови од пластика, поради големата флексибилност на материјалот. Елементите за врска се изработуваат заедно со делот. Основна карактеристика на спојот е еластичен елемент во облик на конзола, наглавка, венец или слично. Споевите со ускокнување може да се обликуваат така што спојот да биде нерасклопчив (или предвиден за кршење) или често расклопчив.



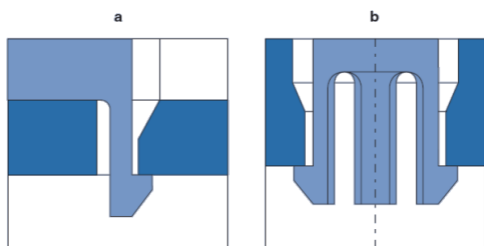
Слика 9.14 Цилиндричен спој



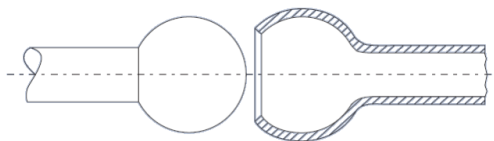
Слика 9.15 Спој со кука

Споевите со ускокнување се среќаваат во многу различни конструктивни изведби: цилиндричен (слика 9.14), спој со куки и гнезда (слики 9.15 и 9.16), сферичен (слика 9.17) и други.

Конструирањето на споевите со ускокнување е релативно сложено поради комбинација од фактори: функционалните барања на производот, потребите на монтажата, механичките карактеристики на термопластиката, конструкцијата на калапот и вадењето на делот од калапот.



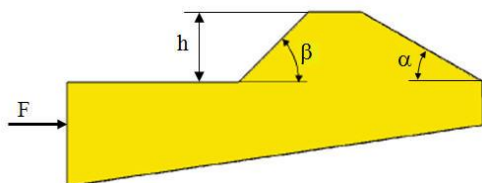
Слика 9.16 Спој со куки



Слика 9.17 Сферен спој

### 9.6.1. Спој кука-гнездо

Спојот кука-гнездо се користи често за спојување капаци со кутии и друго. Куките на врвот имаат глава во вид на забец. Испакнатиот дел на забецот со висина  $h$  одредува колкав треба да биде отклонот при вклучување на спојот. За да се олесни вклучувањето, предвиден е влезен агол  $\alpha$  кој обично изнесува  $15^\circ$  до  $30^\circ$ . Расклопливоста на спојот се одредува со излезниот агол  $\beta$ , кој е поголем од  $\alpha$  за да се спречи неочекувано раздвојување на спојот. Во случај кога спојот не треба воопшто да се раздвојува, аголот  $\beta$  е блиску до  $90^\circ$ . Силата за спојување/раздвојување  $F$  зависи од влезниот/излезниот агол и коефициентот на триење што треба да се совлада.



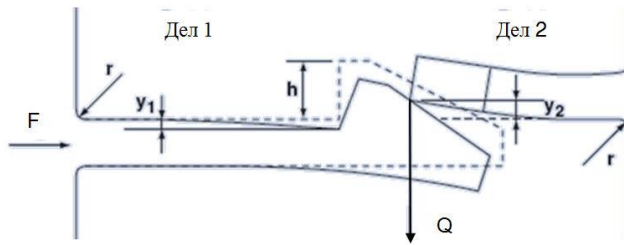
- $\beta + \rho < 90^\circ$  - раставлив спој
- $\beta + \rho > 90^\circ$  - нераставлив спој
- $\mu = \tan \rho$  - коефициент на триење

Слика 9.18 Спој со кука-гнездо

Оптоварувањето на спојот кука-гнездо е од два вида: **краткотрајно големо оптоварување при вклучување/исклучување** и **долготрајно мало статичко оптоварување кога спојот е вклучен**. Пресметката за двата случаи на оптоварување е различна. Во првиот случај, оптоварувањето и отклонот (дифлексија) се доста високи и мора да се изврши **пресметка на јакоста за случај на големи отклони по методот на конечни елементи**.

Кога спојот е вклучен, **пресметката се врши според изохроните криви за напон/деформација**, кои го земаат предвид ползењето на материјалот.

Пресметката треба да се изврши и за куката и за сидот на гнездото.

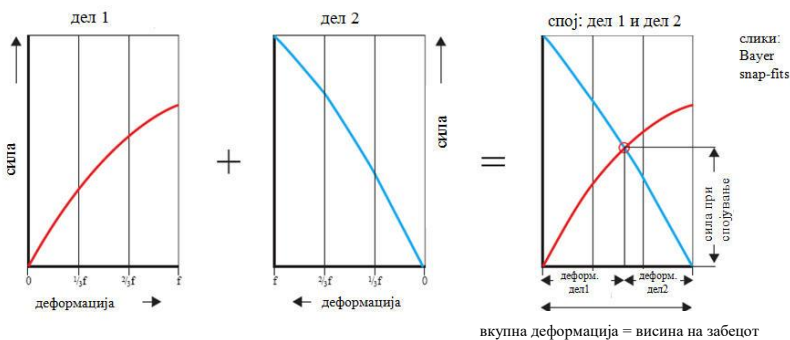


**Слика 9.19** Оптоварувања и деформации при вклучување (отворање) на спојот со кука-гнездо

Во општ случај, при монтажа се деформираат двата дела од спојот, како што е прикажано на слика 9.19. Делот 1 и делот 2 имаат свои дијаграми сила-деформација кои се добиваат со мерење на отклонот за различни вредности на силата (слика 9.20). Двата дијаграма потоа се преклопуваат и се поставуваат на заемно хоризонтално растојание колку што изнесува потребната деформација (висината на забецот од куката). Пресечната точка на двата дијаграма ја одредува максималната сила која се јавува при спојување на куката и гнездото. Според силата се одредува и распределбата на деформациите за двата дела.

Ако не се точно познати, дозволените напони за краткотрајно оптоварување кое се случува само еднаш на температура од 23° може да се земат:

- скоро колку напоните на границата на развлекување, за полукристални видови термопластика,
- скоро 70 % од напоните на границата на развлекување, за аморфни видови термопластика,
- околу 50 % од јакоста на истегнување за термопластика армирана со стаклени влакна.



**Слика 9.20** Дијаграми сила-деформација за двата дела

Во табелата 9.1 се дадени вредности на деформацијата што може да ја издржат поединечни материјали при кусо максимално оптоварување само еднаш.

При често краткотрајно вклучување/исклучување за дозволена деформација може да се усвои 60 % од вредноста за вклучување само еднаш.

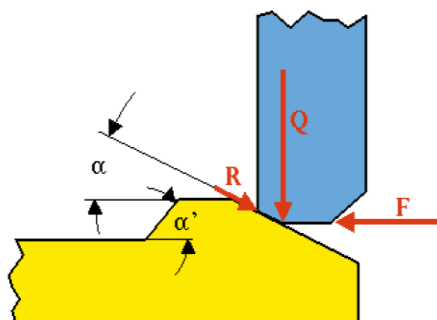
При долготраен товар постои можност да се јават пукнатини поради напоните, особено кај производите од аморфна термопластика. Експериментално е утврдено дека опасноста од појава на пукнатини е значително помала при деформации помали од 0.5 %.

Полукристаллни		Аморфни		Армирани со стаклени влакна	
PE	8 %	PC	4 %	PA-GF	2 %
PP	6 %	ABS+PC	3 %	PC-GF	1.8 %
PA	4 %	ABS	2.5 %	PBTP-GF	1.5 %
POM	6 %	PS	1.8 %	ABS-GF	1.2 %

**Табела 9.1** Деформација при истегнување што може да ја издржат поединечни материјали при кусо максимално оптоварување само еднаш

При вклучување, силата на вклучување  $F$  треба да ги совлада силата на свиткување  $Q$  и силата на триење  $R$ . Со равенката 9.1 е даден односот на силата  $F$  и  $Q$  кој зависи од аголот  $\alpha$  и коефициентот на триење  $\mu$  за материјалите.

$$F = Q \cdot \tan(\alpha + \rho) = Q \cdot \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \cdot \tan \alpha} \quad (9.1)$$



**Слика 9.21** Сили во спојот кука-гнездо

На сликата 9.21 се прикажани силите кои дејствуваат при спојување на кука со гнездо.

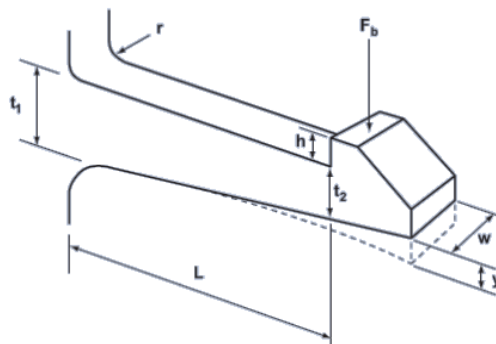
Во табелата 9.2 се дадени коефициентите на триење помеѓу пластика и челик и помеѓу истородни видови пластика.



Пластика	Коефициент на триење $\mu$ за пластика по челик	Коефициент на триење $\mu$ за исти видови пластика
PE-HD	0.20 - 0.25	0.4 - 0.5
PP	0.25 - 0.3	0.38 - 0.45
PC	0.45 - 0.55	0.54 - 0.66
POM (Acetal)	0.2 - 0.35	0.3 - 0.53
PS	0.4 - 0.5	0.48 - 0.60
PA	0.3 - 0.4	0.45 - 0.6
PTFE	0.12 - 0.22	0.12 - 0.22
ABS	0.5 - 0.65	0.6 - 0.78
PE-LD	0.55 - 0.6	0.66 - 0.72

**Табела 9.2** Коефициенти на триење

Правилната конструкција на куката е еден од основните предуслови за обезбедување безбеден спој. На сликата 9.22 се претставени основните параметри на кука. Бидејќи куката е само мало парче од делот, материјалот и основната дебелина на сидовите треба да се усвојат според делот. При конструирањето треба да се одреди должината на куката  $L$ , висината  $t$  и ширината на куката  $w$  и да се дотераат другите мерки за напоните и деформацијата на куката да не ги надминат дозволените граници. Напоните најмногу се намалуваат со зголемување на должината на куката (со квадрат од должината).



**Слика 9.22** Основни конструктивни параметри на куката

Висината на забецот  $h$  треба да биде доволна за да го обезбеди спојот и за да ги издржи евентуалните напрегања на истегнување на кои може повремено да биде изложен спојот (пример: штипката со куки за затворање на ранец треба да го држи ранецот затворен и кога е преполн). **Квалитетот на спојот најмногу зависи од висината на забецот и влезниот и излезниот агол.**

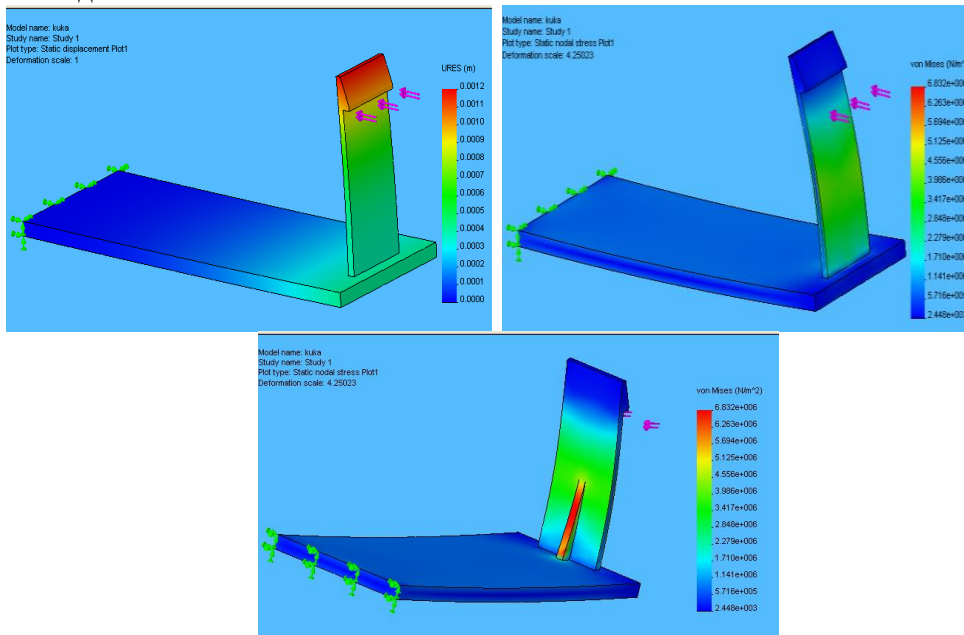
Куката при вклучување е оптоварена на свиткување, а во спој може да трпи сосема мало свиткување и повремено истегнување. Куката во основа се пресметува како конзола. Најголемото оптоварување на свиткување се јавува во

коренот на куката. За порамномерна распределба на напоните пожелно е да се предвиди поголема висина на напречниот пресек на куката во коренот отколку на врвот ( $t_1 > t_2$ ). Друг начин за постигнување порамномерни напони е поставување мало потпорно ребро од спротивната страна на куката. Кога висината на пресекот на куката  $t_1$  е ограничена од дебелината на сидовите, тогаш јакоста на куката може да се зголеми (пропорционално) со зголемување на ширината  $w$ .

Куката најчесто се крши поради концентрација на напоните во коренот. Затоа во коренот треба да се предвиди поголем радиус  $r$  (околу 0.5 мм), за да се избегне дополнително зголемување на напоните поради концентрација.

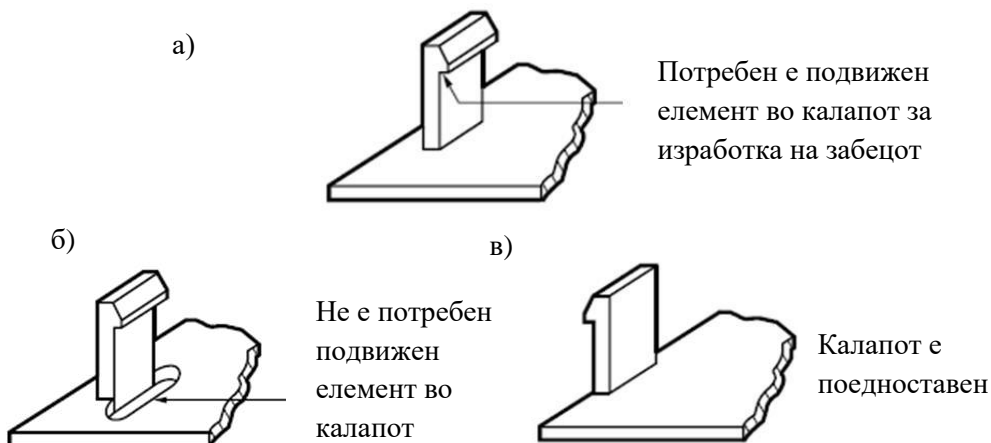
**Пример:**

Се анализира симетричен дел со две куки на краевите кој се поставува на предната страна од кукиште за компјутер. Половина од делот е прикажан на слика 9.23. При пресметка по методот на конечни елементи е анализирана само едната половина од делот, поради симетричноста на оптоварувањето. Спојот трпи незначителни сили кога е вклучен и само треба да го држи капакот во место. Материјалот на капакот е АВС-РС. Пресметката обично се одвива во повеќе интеракции, при што се менува ширината, висината или косината, со цел да се добијат напони во материјалот кои се блиски до максимално дозволените. Висината на забецот е 1 mm. Силата при која се добива таа деформација е релативно мала (околу 0.5 N). Други димензии на забецот се: висина на куката до забецот (20 mm), вкупна висина на куката (24 mm), ширина на куката (9 mm), дебелина (0.9 mm) и агол на наклон 0.5 mm. Реброто е со висина 10 mm, ширина 2 mm и дебелина 0.9 mm.



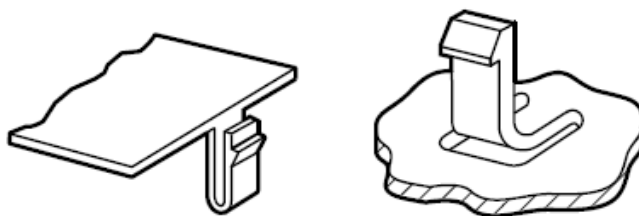
**Слика 9.23** Анализа по методот на конечни елементи за кука. Определување напони и деформации

За изработка на забецот од куката може да се јави потреба од вградување подвижен елемент во калапот, но со вешт дизајн тоа може да се избегне, како што е прикажано на слика 9.24. Во случајот прикажан на слика 9.24 б) на делот е предвиден отвор низ кој минува трн вграден во калапот со кој се изработува висината на забецот. Најчесто куката се поставува на контурата на делот и е испакната кон надвор (слика 9.24 в)).



**Слика 9.24** Избегнување од вградување подвижен елемент во калапот

Кога просторот е ограничен и потребниот поголем отклон кој не може да се постигне со дадена должина на куката, тогаш се користи U-кука или L-кука, кои се прикажани на сликата 9.25.



**Слика 9.25** U-кука и L-кука

### 9.6.2. Цилиндричен спој со ускокнување

Силата потребна за спојување на цилиндричниот спој е релативно голема и зависи од растојанието до жлебот. Кога жлебот е далеку до работ на делот, силата за спојување е 3,4 пати поголема отколку ако жлебот е блиску до работ. Жлебот се смета за далеку ако растојанието од работ до жлебот е:

$$\delta = 1,8 \cdot \sqrt{D \cdot t} \quad (9.2)$$

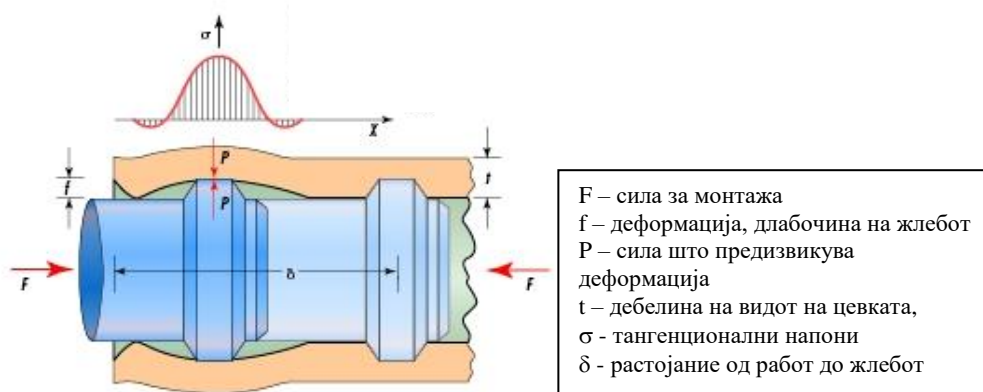
каде што:

$\delta$  е растојание до жлебот;  $D$  е среден дијаметар на цевката и  $t$  е дебелина на цевката.

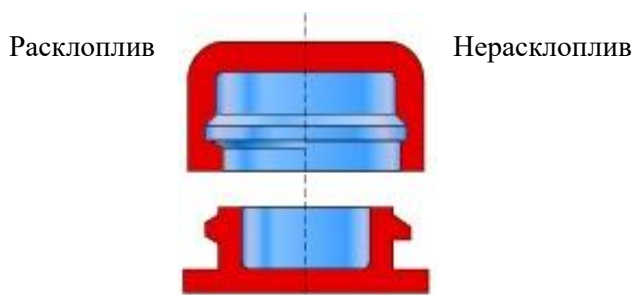
Висината  $f$  треба да е што помала за да се избегнат многу големи напони кои се јавуваат кај ваков спој.

Повеќе информации се добиваат со пребарување на: [annular snap fit www.machinedesign.com/ ASP/](http://www.machinedesign.com/ASP/)

На слика 9.26 се прикажани карактеристичните димензии на цилиндричен спој со ускокнување. На слика 9.27 се прикажани расклопчив и нерасклопчив цилиндричен спој со ускокнување.



Слика 9.26 Димензии на цилиндричен спој



Слика 9.27 Расклопчив и нерасклопчив цилиндричен спој

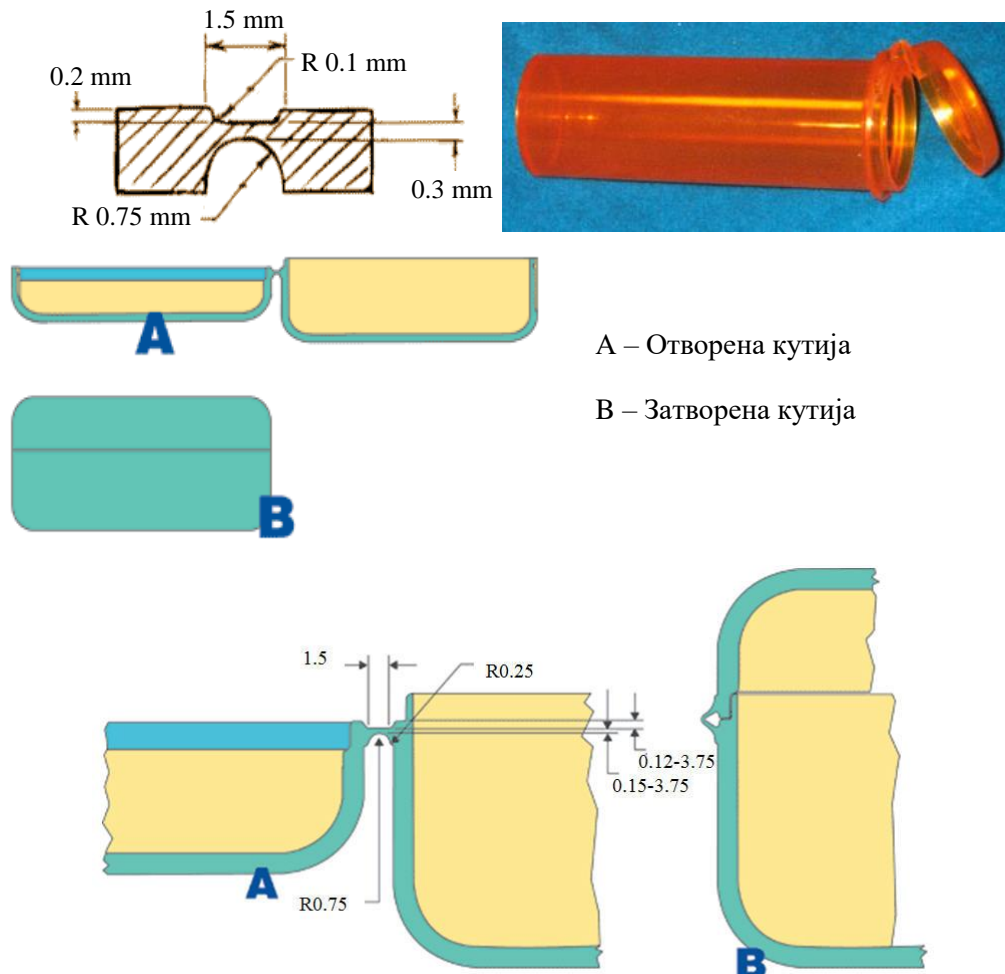
## 9.7. Интегрална шарка

Кај деловите од полипропилен може да се користи посебен вид на спој наречен интегрална шарка. Интегралните шарки претставуваат тенко место кое поврзува два сегмента од делот со цел да овозможи лесно свиткување заради отворање и затворање.

Интегралните шарки најчесто се користат кај шишиња за шампон, кутии за очила, кутии за ситници и др.

Материјалите од кои се изработуваат интегралните шарки е многу флексибилна пластика (полипропилен или полиетилен). Ваквите шарки може да се свиткуваат и до милион циклуси пред да се скршат.

Пример на конструкција на интегрална шарка е прикажан на сликата 9.28.

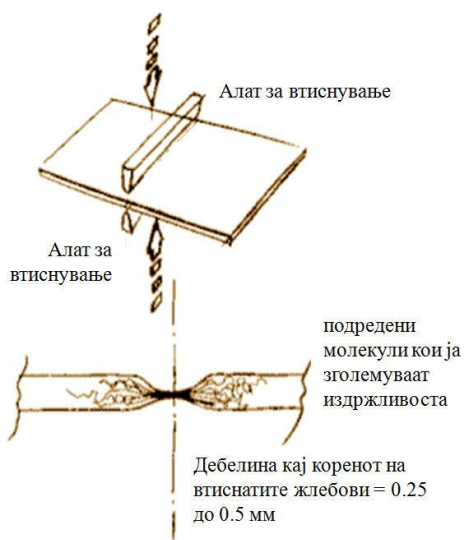


**Слика 9.28** Дизајн на интегрална шарка за кутија и капак

За правилна изработка на шарките, освен правилната конструкција, многу важен е и процесот. За да се добие трајна шарка, молекулите треба да се ориентирани долж шарката. Кај шарките подебели од 0.4 мм има поголема опасност од појава на пукнатини. За да се ориентираат молекулите на полимерот при леањето, треба да се примени една или повеќе од следниве техники:

- положбата на портата треба да биде таква да овозможи проток низ шарката за да се ориентираат молекулите, и тоа, растопената маса треба да стигне скоро едновремено долж целата шарка,
- за да се постигне добра ориентација на молекулите дебелината на шарката треба да е помала од 0.4 мм,
- кога делот се вади од калапот треба да се свитка најмалку двапати додека е топол за да се постигне оптимална јакост,

- сигурно е прво да се изработи капац за шарка со потенок пресек, па ако се покаже дека шарката е мека, може да се зголеми пресекот за да се постигне потребниот 'осет' при затворање,
- шарка се изработува и со втиснување топли призми (слика 9.29). Со втиснувањето се пресува шарката до потребната дебелина. Внесените напони се поголеми од границата на развлекување. Со тоа шарката пластично се деформира. Внесените напони треба да се помали од границата на кинење за да не дојде до кршење на шарката.



Слика 9.29 Изработка на интегрална шарка



Слика 9.30 Примери за интегрална шарка

## Заварување делови од пластика

### 10.1. Заварување и лепење делови од пластика

За спојување делови од пластика, без употреба на елементи за врска, се користи заварување и лепење. Полимерите може да се заварат со примена на мало количество енергија за растопување на допирните површини. Топењето може да се изврши со греење, триење или ултразвучни вибрации.

Постапките кои се користат за **заварување делови од пластика** се: заварување со ултразвук, прицврстување со ултразвук, заварување со врела плоча, заварување со ротација, заварување со вибрации, итн. При заварувањето не се потребни дополнителни материјали.

Методите за **лепење делови од пластика** се: лепење со раствори или лепаци, сврзување со примена на радиофреквенции, електромагнетно сврзување, итн.

Карактеристиките на различни постапки за спојување делови од полимери се дадени во табелата 10.1.

Постапка	Предности	Недостатоци
Заварување со вибрации	евтина, кратко време на циклусот, може да се користи за големи серии, растопениот полимер не се експонира на воздух, се добива цврст спој	не може да се заваруваат термопластичните еластомери, делот се изложува на вибрации за време на заварувањето, материјал се излева надвор од спојот, не може да се заваруваат 3Д контури, не може да се спојат материјали со голема разлика во температурата на топење
Заварување со ротација	ефикасен и едноставен процес, едноставна опрема, кратко време на циклусот, може да се користи за сериско производство, растопениот полимер не се изложува на свеж воздух, цврст спој	не може да се заваруваат термопластичните еластомери, може да се заваруваат само кружни контури, не може да се заваруваат 3Д контури, не може да се дотера релативната положба на деловите, не може да се спојат материјали со голема разлика во температурата на топење
Заварување со ултразвук	евтина постапка, многу кусо време на циклусот, може да се користи при големосериско производство, растопениот полимер не се изложува на свеж воздух	не може да се заваруваат термопластичните еластомери, производот е изложен на механички вибрации за време на заварувањето, се користи за мали и средно големи делови, не може да се спојат материјали со голема разлика во температурата на топење



<b>Постапка</b>	<b>Предности</b>	<b>Недостатоци</b>
Заварување со врела плоча	евтина постапка, може да се користи при големосериско производство, може да се користи и за помекни материјали (термопластични еластомери), во многу случаи може да се заварат различни материјали, нема механички вибрации, се добива цврст спој	долго време на циклусот, растопениот полимер се изложува на свеж воздух (оксидација), не одговара за најлон (PA66 и PA46)
Заварување со ласер	кучо време на циклусот, не се излева материјал надвор од спојот, може да се користи за минијатурни и за многу големи делови, мала зона на топење, мали заостанати напони, може да се заваруваат термопластични еластомери, не ги оштетува осетливите делови, нема механички вибрации, се користи за мали серии и за масовно производство, цврст спој	едниот дел мора да биде транспарентен за инфрацрвеното зрачење, а другиот дел треба да го апсорбира
Радиофреквентно заварување	се користи за високополаризирани фолии од полимер како PVC и полиуретан	може да се заварува само високополаризирана пластика со додатоци за поларизација, не се користи за делови кои содржат метални вметоци
Електромагнетно заварување	краток циклус на обработка, може да се заваруваат 3Д површини и контури, може да се заваруваат термопластични еластомери, може да се користи за високопополнети материјали, процесот на заварување е реверзибилен (поправка, рециклирање), не се потребни тесни толеранции на димензиите на деловите	потребно е да се користи електромагнетен материјал за заварување, не се користи за делови кои содржат метални вметоци
Заварување со отпорник	едноставен и брз процес, може да се заваруваат многу големи производи	жицата за загревање останува во делот по заварувањето со што се зголемуваат трошоците на процесот
Заварување со врел гас	се користи за многу големи производи, се користи за заварување на терен, поправки и прототипови, евтина и едноставна опрема	квалитетот на заварот зависи од операторот, јакоста на спојот честопати е ограничена, спор процес, заварот останува видлив

**Табела 10.1** Карактеристики во зависност од постапката на заварување

Применливоста на постапката на заварување на пластиката во зависност од поединечни својства на пластиката е прикажана во табелата 10.2. Во табелата е анализирана применливоста на пластиката во согласност со: типот на пластиката, геометриските карактеристики на деловите, итн.

	Својства	Ултразвучно заварување	Заварување со линеарни вибрации	Заварување со обитални вибрации	Заварување со жешка плоча	Заварување со ротација
Материјал	Аморфни термопластики	да	да	да	да	да
	Полукристални термопластики	ограничена	да	да	да	да
	Олефини	ограничена	да	да	да	да
	Композити	ограничена	ограничена	ограничена	ограничена	ограничена
Вид на дел	Тенки видови	да	не	ограничена	да	ограничена
	Сложена геометрија	ограничена	да	да	да	да
	Големи делови	ограничена	да	ограничена	да	ограничена
	Мали делови	да	да	да	да	да
	Внатрешни завари	да	ограничена	ограничена	да	ограничена
	Долги видови без потпори	да	не	ограничена	да	ограничена
	Ткаенини од термопластика	да	ограничена	ограничена	ограничена	ограничена
Фолџа од термопластика	да	ограничена	ограничена	ограничена	ограничена	

**Легенда:** да - се препорачува примена; ограничена - можна примена само под одредени услови; не - не се препорачува.

**Табела 10.2** Применливост на постапките за заварување пластика

## 10.2. Заварување со ултразвук

Заварувањето со ултразвук се базира на вибрации во насока нормална на површината на спојот, при што едниот од деловите вибрира, а другиот мирува. Од вибрациите се создава топлина која ги топи допирните површини и тие се спојуваат.

Типична машина за заварување со ултразвук (слика 10.1) се состои од: генератор на ултразвук, конвертор, засилувач и рог. Рогот е метална шипка која е направена така што резонира на одредена фреквенција и ги пренесува вибрациите на деловите што се заваруваат. Кога рогот ќе се доведе во резонанца, неговите краеве се издолжуваат и собираат, што претставува амплитуда на осцилациите.

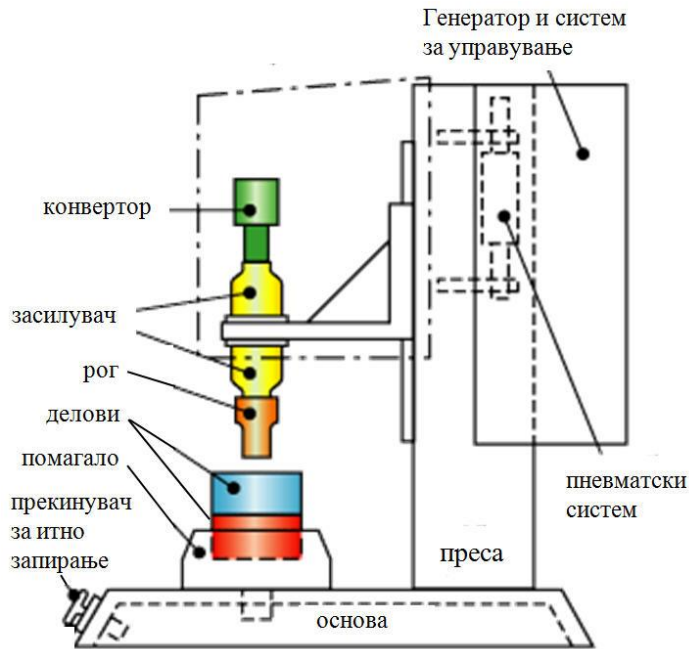
За да се добие добар завар, рогот треба да се постави колку што е можно поблиску до спојот. Долниот пластичен дел се прицврстува во помагало за да не вибрира. Во помагалото се создава вакуум кој го држи делот прицврстен за помагалото.

На слика 10.2 е прикажан шематски приказ на алатот за заварување со ултразвук.

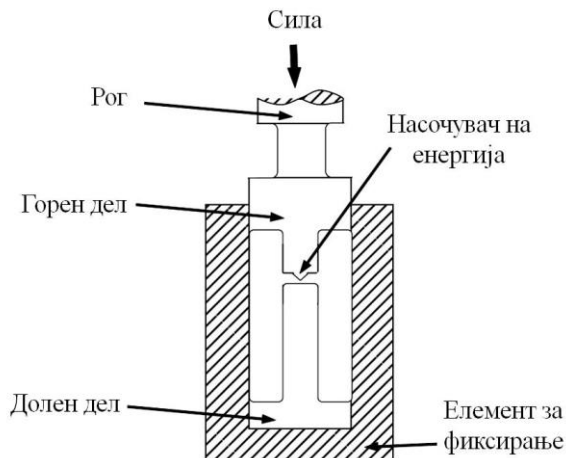
Се заваруваат делови со должина на спојот помала од 200 mm. **Параметри на процесот** се: висока фреквенција (20-40 kHz), мала амплитуда (10-50µm), кус циклус (<1 sek) и умерен притисок при заварување (1-10 MPa). Целиот процес на заварување трае од дел од секунда до неколку секунди, зависно од големината на

делот и површината која се заварува. Амплитудата се менува со промена на дизајнот на рогот.

Процесот се управува со контрола на изминатиот пат и тоа на два начина: со делумен ѓд и со целосен ѓд. При делумниот ѓд, рогот патува надолу до допир со горниот пластичен дел. При допир со делот се активира ултразвукот. Рогот патува надолу заедно со делот и процесот се деактивира кога ќе се стигне до точката на деактивирање на ултразвукот.

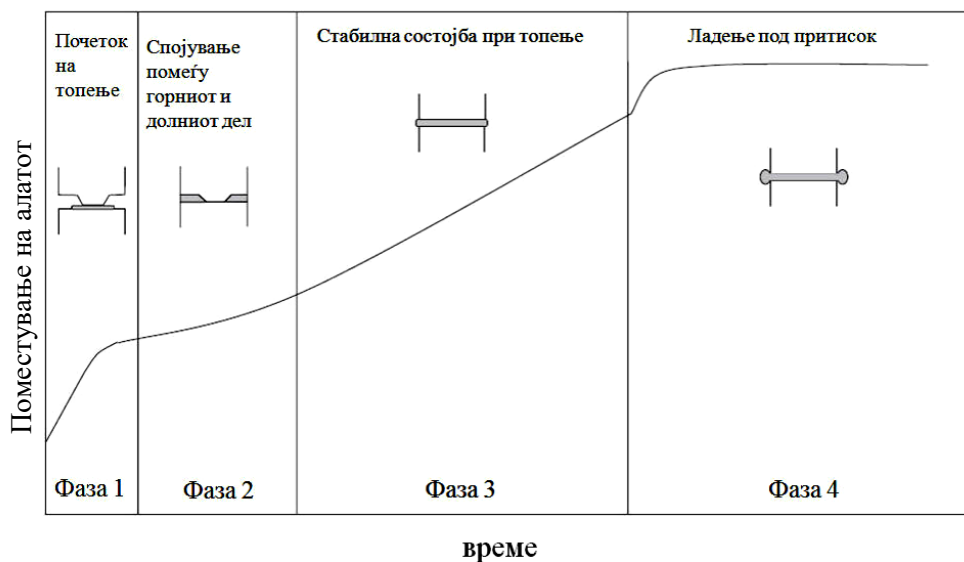


Слика 10.1 Заварување со ултразвук



Слика 10.2 Шематски приказ на алатот за заварување со ултразвук

На слика 10.3 се прикажани четирите фази на процесот заварување со ултразвук. Првата фаза претставува почеток на топење на забецот, односно носачот на енергија, при што при допирот се активира ултразвукот. Втората фаза претставува спојување помеѓу горниот и долниот дел и поместување на деловите во насока на спојување. Третата фаза е стабилна состојба при топење каде што забецот е целосно стопен и двата дела се целосно поместени и споени. Во последната четврта фаза деловите и спојот се ладат под притисок и се формира заварот.



Слика 10.3 Приказ на фазите на заварување со ултразвук

Методот со делумен ѓд не може да се примени во случаи кога деловите се флексибилни. Тогаш се применува целосен ѓд. Притоа, ултразвукот се активира со сензор пред рогот да го допре делот. Рогот потоа патува сè додека стигне до точката на деактивирање и тука стои извесно време.

Разликата помеѓу овие два метода е што при делумниот ѓд рогот патува само колку што е висок **насочувачот на енергија** (забец кој се топи при процесот, види слика на следната страна), додека кај целосниот ѓд однапред е зададено растојанието долж кое се движи рогот.

Друг начин на управување со заварувањето е со контрола на времето на траење на заварувањето.

Со заварување со ултразвук се добиваат споеви со јакост 90 % до 95 % од јачината на основниот материјал. За заварување поголеми делови и за помeki видови пластика се користат пониски фреквенции. Најдобро се заварува цврстата аморфна термопластика, бидејќи таа добро ја пренесува енергијата на вибрациите. Меките материјали ја растураат енергијата и го прават заварувањето потешко, така што за нивно заварување се користат други процеси.

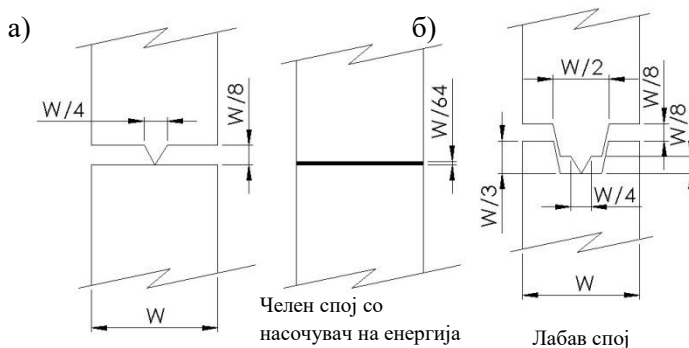
Аморфните материјали омекнуваат постепено и при растопувањето лесно течат без предвременно оцврстување. За заварување на кристални полимери е потребно повеќе енергија. Поради тоа што кристалните материјали имаат изразена точка на топење, процесот се управува во тесен интервал. За успешно заварување со ултразвук важно е правилното обликување на спојот. На слика 10.4 се прикажани машини за заварување со ултразвук.



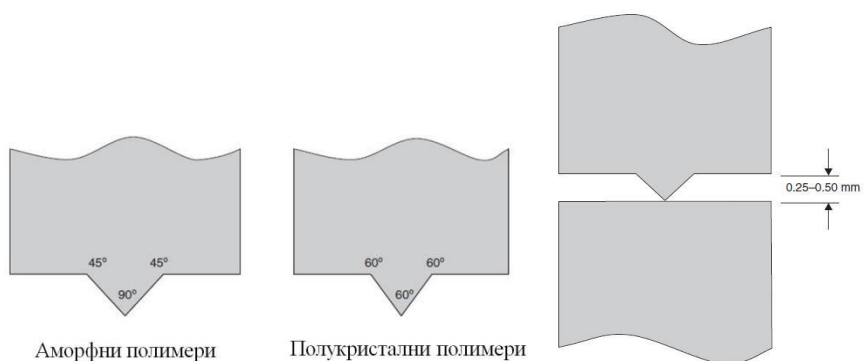
Слика 10.4 Машини за заварување со ултразвук

### 10.2.1. Дизајн на челен спој

Челниот спој најмногу одговара за заварување аморфна термопластика. Спојот треба да има **насочувач на енергијата**, кој е всушност триаголен забец (испуст) кој е изработен кај еден од деловите во средината на спојот (слика 10.5a). Забецот овозможува линиски контакт меѓу двете површини кои се заваруваат. Заварувањето започнува на врвот од забецот и завршува со топење на забецот. Заради естетски причини, односно за да се скрие излевањето на материјалот надвор од просторот на заварување, се користи спој со испуст и жлеб (слика 10.5б). Препорачаните мерки и односи за добивање цврст челен спој со средишен жлеб се прикажани на сликата 10.5. Сите мерки се дадени во однос на дебелината на сидот  $W$  на делот. Аглите на насочувачот на енергија за аморфни и полукристални видови термопластика се дадени на слика 10.6.



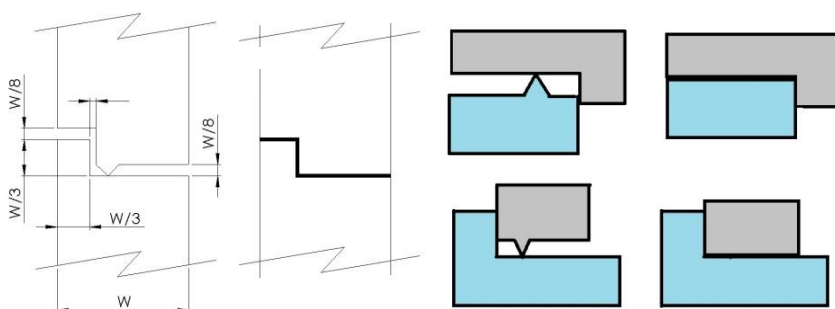
Слика 10.5 Дизајн на челен спој



**Слика 10.6** Припрема на насочувачот на енергија кај аморфните и полукристалните полимери

Пример за примена на овој процес е спојување на двата дела од куќиште на телефон. Двата дела на куќиштето прво се спојуваат со усочници, а потоа се заваруваат со ултразвук долж испрекинат челен спој. Челниот спој има насочувач на енергијата висок 0.5 mm со агол од 60°. Зјајот помеѓу надворешните странични површини на спојот има улога да ги компензира отстапувањата кои се јавуваат при заварувањето и од обликот на деловите. При заварувањето е користена фреквенција од 20 kHz на систем од 2000N и времетраење од 0.5 сек., време на држење 0.15 сек., притисок на рогот од 2 MPa и амплитуда од 0.04 mm.

Освен со средишен жлеб, челниот спој може да се изведе и со скалило, при што се добива поцврст спој. Кај овој спој материјалот при топење се разлива долж рамната површина при што се добива спој со добра јакост на истегнување и сечење. Насочувачот на енергија е во облик на рамностран триаголник. Препорачаните односи на мерките за челен спој со скалило се прикажани на сликата 10.7. Две конструктивни варијанти на овој вид на спој се прикажани на слика 10.7.



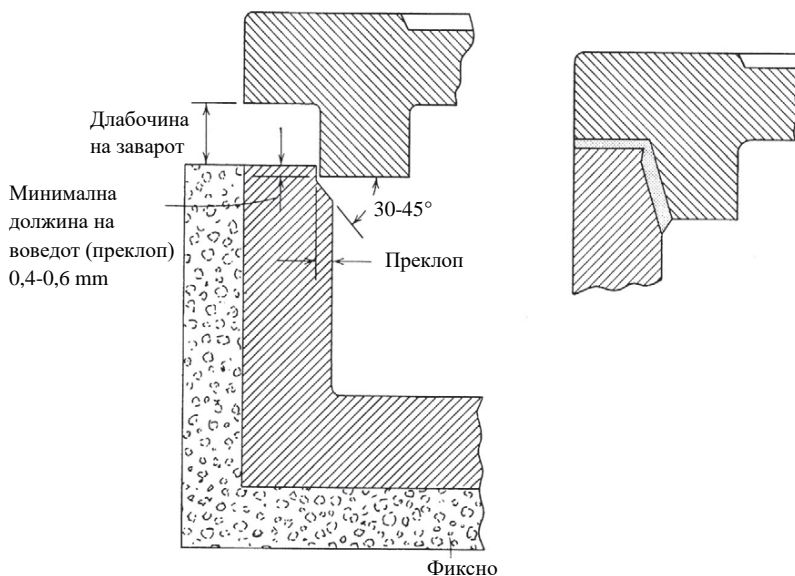
**Слика 10.7** Спој во облик на скалило

### 10.2.2. Дизајн на спој со сечење

Кај кристалните полимери, заради тесниот интервал на омекнување, потребно е да се користи дизајн на спој кој овозможува тангенцијално движење на материјалот при заварувањето. Дизајн на спој со сечење е прикажан на сликата

10.8. Големината на преклопот зависи од големината на деловите. За деловите со димензии помали од 20 mm, преклопот варира помеѓу 0.2 и 0.3 mm. За делови со димензии помеѓу 20 и 40 mm преклопот треба да биде 0.3 до 0.4 mm. За делови со димензии над 40 mm преклопот треба да биде 0.4 до 0.5 mm. Минималната должина на воведот (преклопот) се препорачува помеѓу 0.4 и 0.6 mm. Длабочината на заварот зависи од дебелината на сидовите и изнесува 1.25 до 1.5 mm од дебелината на сидот кај заварот.

Почетниот контакт е на мала површина каде започнува топењето. Топењето продолжува долж вертикалните сидови како што се лизгаат деловите меѓусебно. Како резултат се добива квалитетен спој. На сликата 10.8 е прикажано конструктивно решение на спој со сечење.



Слика 10.8 Дизајн на спој со сечење

### 10.2.3. Прицврстување со ултразвук

Заварувањето со ултразвук се користи во многу индустрии како: автомобилска, за домашни апарати, медицинска, текстилна, опаковки, играчки, електроника и др. Предности на примената на заварувањето со ултразвук е добивање цврст, чист и безбеден спој.

Во табела 10.3 е прикажана примената на заварувањето со ултразвук.

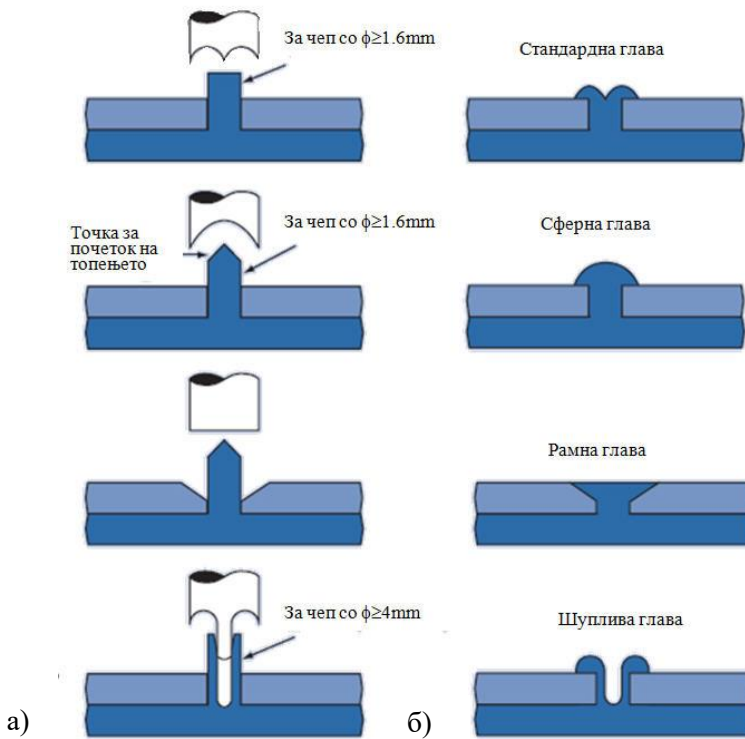
Прицврстувањето со ултразвук е метод на монтажа при кој се применува контролирано топење и обликување на главче (пупка) или осовинка за да се зацврсти друг дел во место. Испакнатината се прави од пластика, а деловите може да бидат од други материјали. Пример на прицврстување со ултразвук е монтажата на печатените плочи.



Домашни апарати	Кај овие високосериски производи, споеви со ултразвук се среќаваат кај пеглите на пареа, куќишта за пумпи, куќиштето и стапот кај правосмукалките, пропелерот за прскање кај машините за садови и кај други производи каде се бара херметичност, јакост и исто така естетски изглед.
Автомобили	Спојувањето со ултразвук се користи за добивање херметични споеви кај уреди како леќите, филтрите и вентилите. Други примени се таблата со инструменти, канали за воздух, сензорот за количина на проток и др.
Бизнис	Чисти склопови со незначителни тронки кои се користат кај видеокасети, кертрици и др.
Производи за широка потрошувачка	При производството на часовниците своч се применува прецизно заварување со ултразвук и прецизно прицврстување со ултразвук.
Електро	Се применува кај склопување термоблокови, конектори, преклопници и бобини.
Медицина	При примената во медицина важна е чистотата на процесот и јакоста на заварот. Се користи за безбедни склопови кои се вградуваат во витални органи, артериски филтри, филтер за кеси за крв, маски за лице и др.
Пакување	Освен што добро изгледа, спојот со ултразвук ги обезбедува производите од загадување, кај опаковки, кај чаши од пластифициран картон и др.

**Табела 10.3** Примена на заварување со ултразвук

Пластичната осовина или чепот се поставува во отворите на деловите. Ултразвучните вибрации се доведуваат на врвот од чепот и тој почнува да се топи и ја пополнува шуплината во рогот кој се движи надолу со што се формира главче кое ги врзува деловите во место. Дијаметарот на главчето треба да е двапати поголем од дијаметарот на чепот или (најмалку 1.5 пати), а висината на главчето е 1.5 до 1.7 од дијаметарот на чепот. На сликата 10.9 се прикажани главните мерки во двете фази: а) пред заварувањето и б) по заварувањето.



**Слика 10.9** Прицврстување со ултразвук и главните мерки во двете фази: а) пред заварувањето и б) по заварувањето

Сферна испакнатина се применува кај материјали со поизразена точка на топење, како што се кристалните полимери, како и за полимерите армирани со стаклени влакна. Висината на делот од чепот кој се топи изнесува:  $h = 1.81 d$

Кога горната површина на спојот треба да биде рамна и кога дебелината на деловите е поголема, може да се направи главче во проширувањето на отворот на горниот дел, како што е прикажано на слика 10.9. Волуменот на делот од чепот кој се топи треба да одговара на волуменот на шуплината што треба да се пополни.

За конусно проширување, висината на чепот која се топи треба да изнесува  $h = 2t - 0.87d - 0.58$

За споеви каде е потребно да се јави вдлабнатина од спротивната страна од естетски или други причини се користи шуплив чеп. Ако деловите се раздвојат, тие може повторно да се спојат со поставување завртка во отворот. Почетната висина на делот од чепот кој се топи е  $h = 1.05 d$ .

За споеви каде не е важен естетскиот изглед може да се примени обично смачкување на чепот со нарецкана површина на рогот (како со печат). Ваквиот спој се применува при масовно производство.

Во табела 10.4 е прикажана компатибилноста на пластиката за заварувањето со ултразвук.

	ABS	ABS/polycarbonate	Acetal	Acrylic	Cellulose acetate	ECTFE	LCP	Polyamide	PES	PPO	PC	PC/polyester	PBT	PET	PEEK	PEI	PE	PPS	PP	Polystyrene	Polysulfone	PVC	PTFE	PVDF	SAN
ABS	■	■																							
ABS/polycarbonate	■	■		○							■	○													
Acetal			■																						
Acrylic	■	○		■							■	○													○
Cellulose acetate					■																				
ECTFE						■																			
LCP							■																		
Polyamide								■																	
PES									■																○
PPO										■	○														
PC		■		■							○	○									■				
PC/polyester		○		○							○	■	○												
PBT												○	■												
PET														■											
PEEK															■										
PEI																■									
PE																	■								
PPS																		■							
PP																			■						
Polystyrene	○																			■					○
Polysulfone																					■				
PVC																						■			
PTFE																							■		
PVDF																								■	
SAN	○			○						○											○				■

■ Компатибилни                      ○ Постои компатибилност

Табела 10.4 Компатибилност на пластиката за заварување со ултразвук

### 10.3. Заварување со ротација

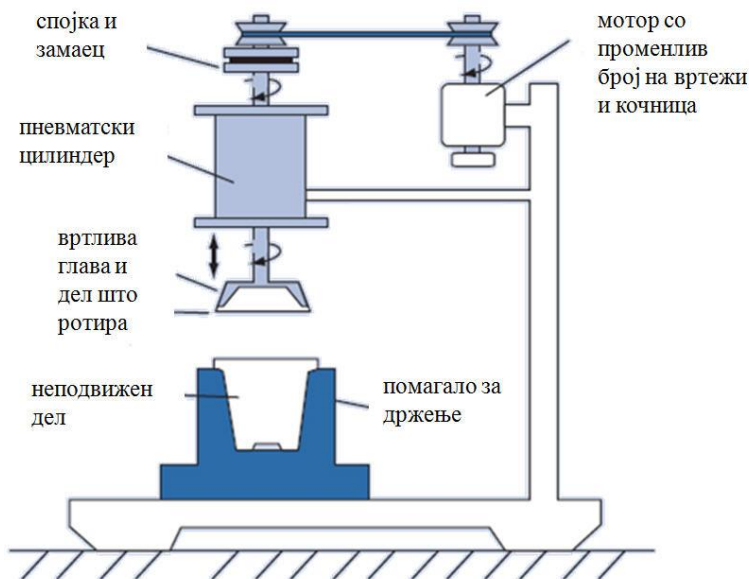
Заварувањето со ротација е метод на заварување со триење кој се користи за заварување ротациони делови од термопластика. Едниот дел стои мирно прицврстен во помагало, додека другиот дел ротира при што се јавува триење на допирните површини. Поради триењето се јавува топлина и растопен слој на пластика. Кога ротацијата ќе престане, деловите се ладат и се зацврстува спојот. Со оваа постапка се добива квалитетен спој, а постапката е брза, едноставна и евтина.

Се користи најчесто за заварување на пластични буриња или црева и прирабници или делови со навој. Спојот и едниот дел мора да се ротациони. Максимален дијаметар на спојот е околу 250 mm. Вообичаени параметри на процесот се: тангенцијална брзина (2÷15 m/s), брзина на ротација (1000÷18000 min<sup>-1</sup>, зависно од дијаметарот) време на заварување (0.25 до 1 s), време на

придржување (0.5-1 s), вкупно време на циклусот (1-2 s), притисок при заварувањето (2 до 5 МПа).

Опремата за заварување со ротација може да варира од едноставна модифицирана дупчалка или струг при изработка на прототипови, до скапи автоматизирани машини за големи серии.

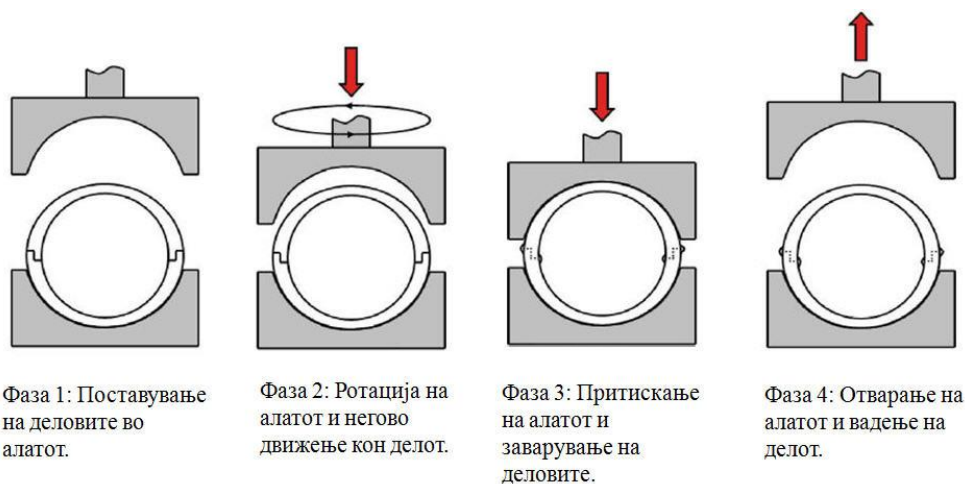
На сликата 10.10 е прикажана стандардна машина за заварување со ротација. Замаецот се забрзува до потребната брзина. Моторот се исклучува и при заварувањето се користи кинетичката енергија на замаецот. Триењето помеѓу деловите предизвикува топење. Пневматскиот цилиндар генерира притисок кој е потребен при заварувањето на деловите.



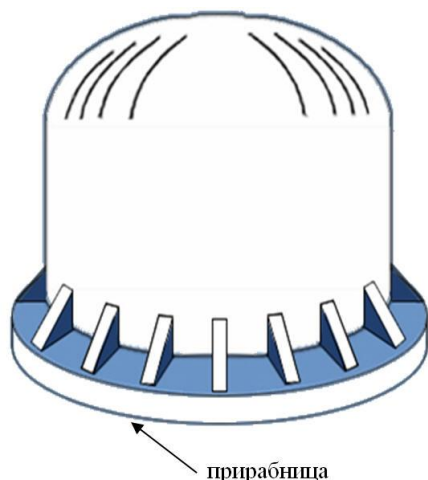
**Слика 10.10** Шематски приказ на машината за заварување со ултразвук

На слика 10.11 се прикажани фазите на процесот на заварување со ротација. Во првата фаза се поставуваат деловите во алатот, во втората фаза горниот дел од алатот ротира и се движи надолу кон делот, во третата фаза горниот дел од алатот ротирајќи го притиска делот и го извршува процесот на заварување и во последната фаза алатот се отвора и се вади готовиот дел.

За да се спречи деформација на деловите, на местото на заварот обично се става прирабница (фланша) како на слика 10.12. По обемот на прирабницата се поставуваат потпорни ребра заради обезбедување доволна крутост на торзија и за зафаќање во вртливата глава.



Слика 10.11 Фази во процесот заварување со ротација



Слика 10.12 Подготовка на дел со прирабница

На сликите 10.13а и 10.13б долу се претставени вообичаени облици на спојот, кои овозможуваат самоцентрирање и имаат поголема површина од обичниот челен спој. Кога од естетски причини треба да се скрие истекувањето на материјалот кое се јавува при овој процес, се користи дизајн како на сликата 10.13в или се предвидуваат жлебови за прибирање на истечениот материјал како на слика 10.13г.

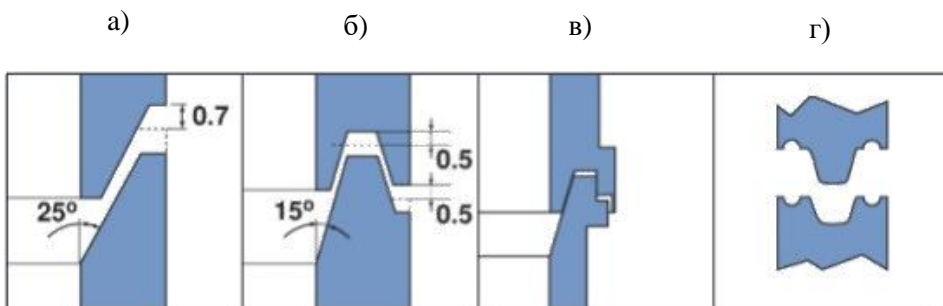
**Параметри на спојот** (види на слика 10.14) се:

**T** = дебелина на сидовите

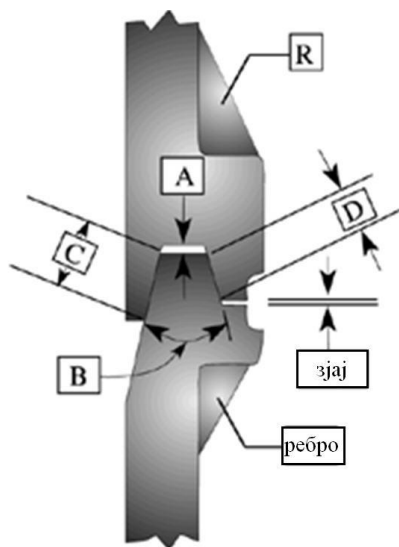
**A** = длабочина на завар,  $\sim 0.5$  до  $0.8 T$  (минимум)

**CD** = површина на заварот,  $\sim 2.5 T$

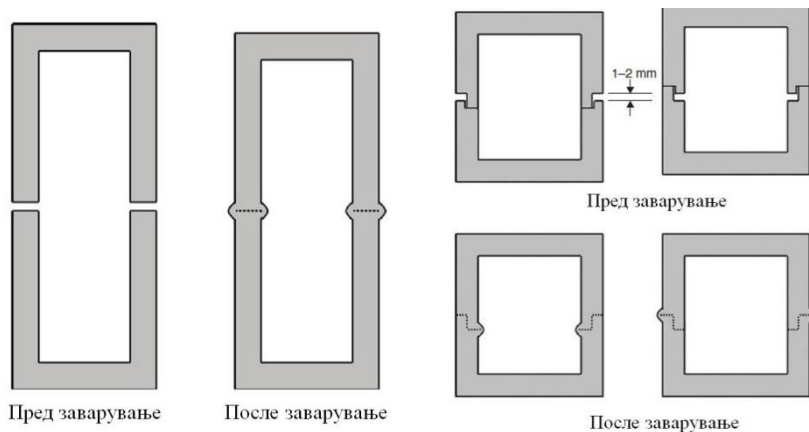
Треба да се задржи повеќе од 0.25 mm зјај помеѓу челните површини по заварувањето за да не дојде до истекување материјал надвор од спојот што ја нарушува естетиката.



Слика 10.13 Вообичаени облици на спој за заварување со ротација



Слика 10.14 Параметри на спојот



Слика 10.15 Спојот при заварување со ротација

Во табела 10.5 е прикажана компатибилноста на пластиката за заварување со ротација.

Материјал	Заварливост	Материјал	Заварливост
ABS	Добра кон одлична	PES	Добра кон одлична
ABS/PC alloy	Добра	PET	Поволна кон добра
Acetal	Поволна кон добра	PP	Добра кон одлична
Acrylic	Добра	PPS	Добра
ASA	Добра	PS	Добра кон одлична
Cellulosics	Добра	PSO	Добра
Nylon	Добра	PVC	Добра
PAI	Поволна кон добра	PVDF	Добра
PBT	Добра	SAN	Добра кон одлична
PC	Добра кон одлична	PFA	Слаба
PC/PBT alloy	Добра		
PE	Добра		
PEEK	Поволна		
PEI	Добра		

**Табела 10.5** Компатибилност на пластиката за заварување со ротација

#### 10.4. Заварување со вибрации

Заварувањето со вибрации е метод на заварување при кој површините на спојување се тријат една во однос на друга со одредена фреквенција, амплитуда и под одреден притисок. Едниот дел стои мирно прицврстен во помагало, додека другиот дел се движи долж допирот при што се јавува триење на допирните површини. Поради триењето се јавува топлина и растопен слој пластика. При овој процес секогаш се појавува мало истекување на материјалот надвор од спојот. На слика 10.16 е прикажан шематски приказ на заварувањето со вибрации.

Се користи најчесто за заварување на големи делови, обично поголеми од 200 mm. Вообичаени параметри на процесот се: висока фреквенција (100-400 Hz), голема амплитуда (0.5÷2.5 mm) време на заварување (0.25 до 1 s), време на придржување (0.5-1 s), вкупно време на циклусот (10 s), притисок при заварувањето (0.5 до 5 MPa).

Фази на процесот заварување со вибрации (види слика 10.17) се:

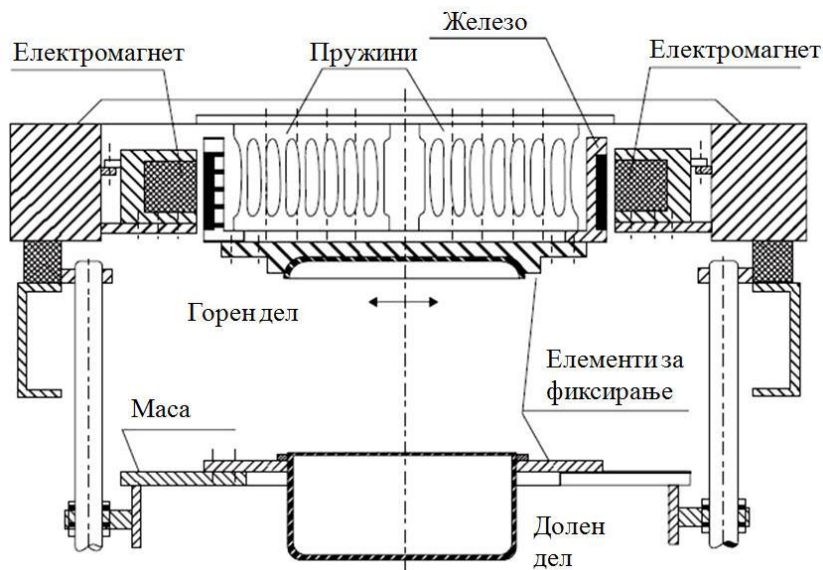
Фаза I: Вибрирање на едниот дел и генерирање топлина.

Фаза II: Растопување на пластиката и нејзино бочно растекување.

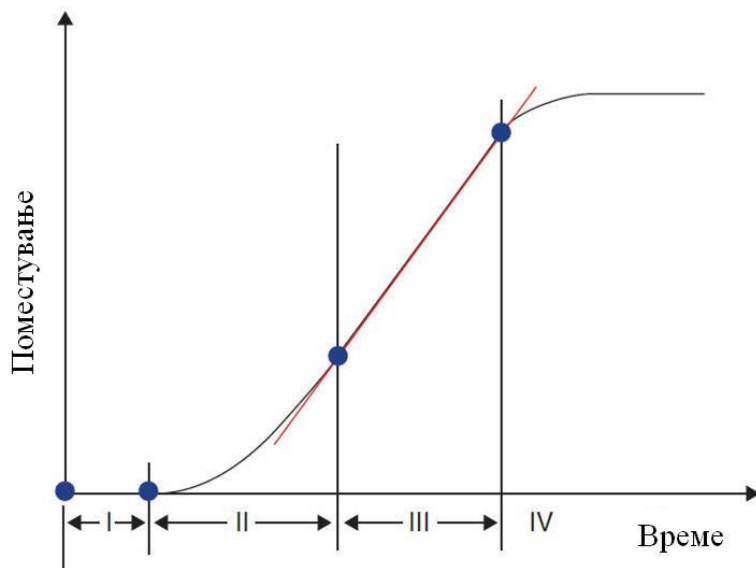


Фаза III: Растопување и истовремено поместување на делот. На крајот на оваа фаза се стопираат вибрациите.

Фаза IV: Пенетрација на заварот и затврднување под притисок.



Слика 10.16 Шематски приказ на процесот заварување со вибрации



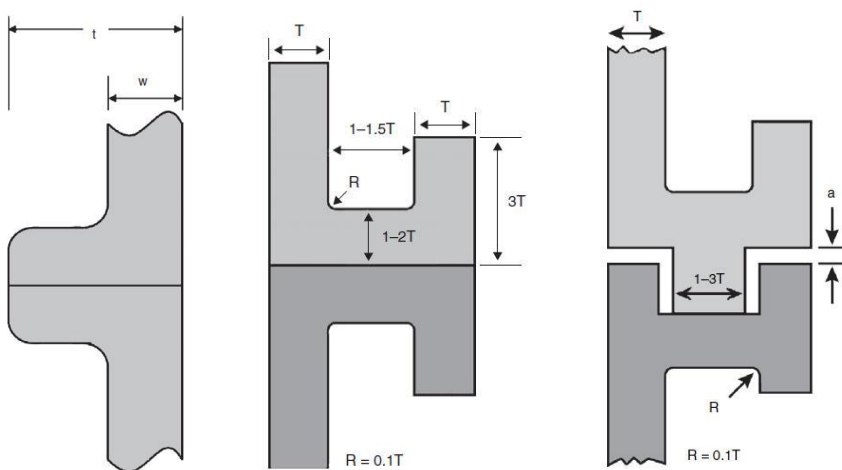
Слика 10.17 Дијаграм на фазите од процесот на заварување со вибрации

На сликата 10.18 е прикажано линеарно заварување со вибрации на два пластични дела.

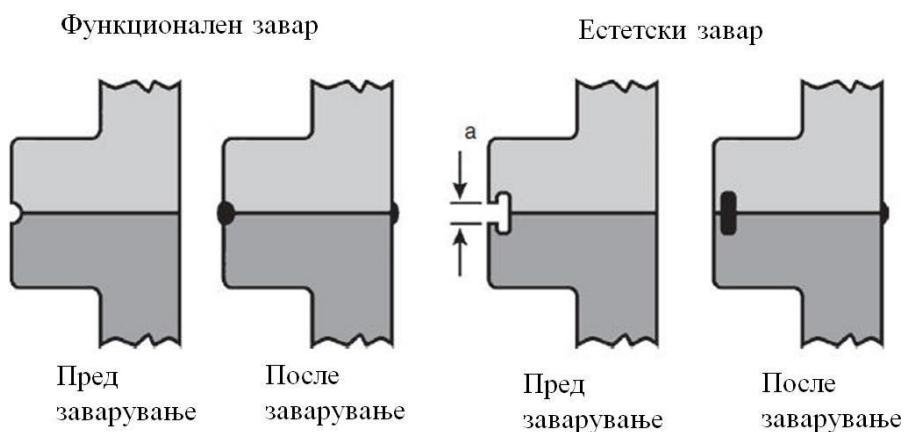


Слика 10.18 Линеарно заварување со вибрации

На сликата 10.19 се прикажани димензиите што треба да ги има спојот за заварување со вибрации. После процесот на заварување со вибрации изгледот на спојот е како на слика 10.20.



Слика 10.19 Димензии на спојот за заварување со вибрации



**Слика 10.20** Изглед на спојот после процесот на заварување со вибрации

Двата дела што се заваруваат се поставуваат во помагала. Вибрациите се генерираат со помош на електромагнети или електромотори. На слика 10.16 е прикажана шема на опремата за заварување со вибрации. Површините на спојот треба да се паралелни. Тридимензионални контури не може да се заваруваат поради хоризонталното движење при вибрациите. Ако не е дозволено да се гледа излеаниот материјал, тогаш треба да се предвидат жлебови кои ќе го примат вишокот материјал како на слика 10.20.

### 10.5. Заварување со врел алат

Заварувањето со врел алат се користи за заварување делови добиени со инјекционо пресување, како автомобилски делови и особено при спојување на цевки за гас и вода. На сликата 10.21 лево е прикажана машина за заварување со врел алат. На сликата 10.21 десно е прикажана типична примена на оваа постапка за заварување на компонентите на фар за автомобили.

Процесот е евтин и може да се користи при големи серии, меѓутоа времетраењето на процесот е поголемо, обично 10 до 60 s. Со овој процес се добива цврст спој кој може да пренесува оптоварувања.



**Слика 10.21** Машина за заварување со врел алат и примена

Во процесот се користи врел метален алат кој ги топи површините на спојот од деловите од термопластика. Кога површините на спојот се доволно загреани, алатот се трга и деловите се допираат. За осигурување на допирот се применува притисок.

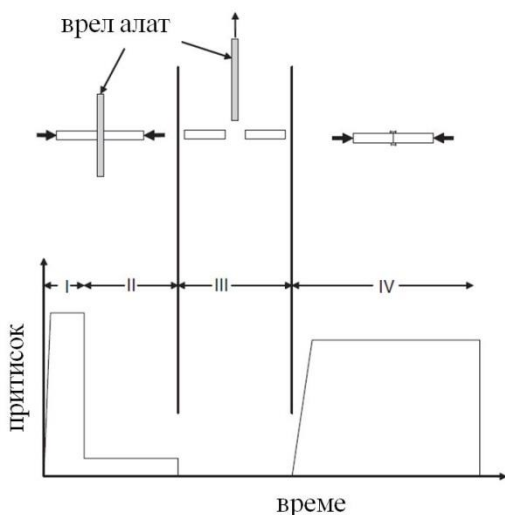
Врелиот алат е обично рамен, но може да има различен облик според обликот на компонентите кои се заваруваат. Ако е потребно, обликот може да биде и тридимензионален. Врелиот алат се изработува обично од алуминиум или алуминиумска бронза, која има добра стабилност на димензиите при повисоки температури. За да се спречи лепење на растопената пластика за алатот, тој обично се пресвлекува со материјал кој не лепи (PTFE- издржува до 260 °C). За спречување на лепењето, врелиот алат може да се држи на мало растојание, наместо да допира, при што температурата на алатот треба да биде значително повисока.

Деловите се прицврстуваат во помагалата со помош на стеги или со вакуум.

Притисокот за заварување е релативно мал  $0.1 \div 0.5$  МПа. Може да се заваруваат делови со најразлични димензии.

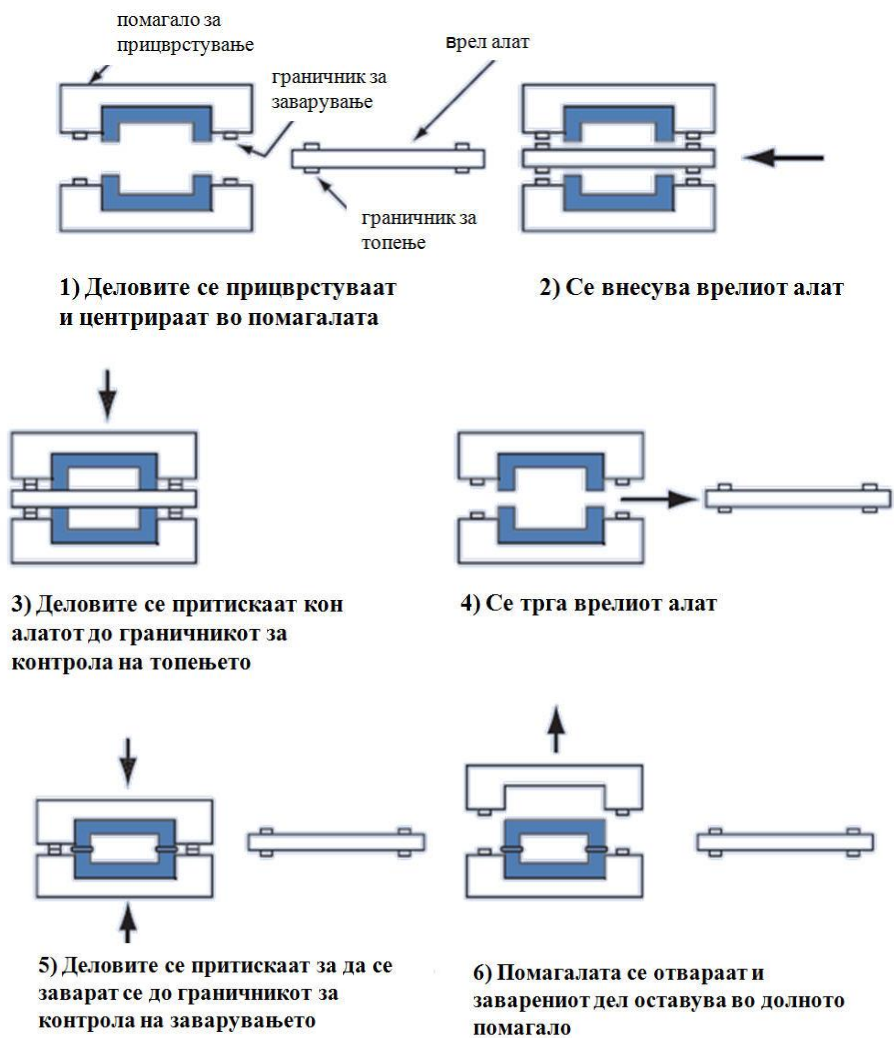
Проблеми поради изложување на спојот на воздух и оксидација се јавуваат при заварување на најлон (РА66). Со овој процес може да се заваруваат и различни материјали, на пример, кристални и аморфни полимери или полимери со поголема разлика во точката на топење.

Кривата на зависноста помеѓу притисокот и времето во процесот на заварување со врел алат е прикажана на слика 10.22. Процесот се одвива во четири фази. Првата и втората фаза се загревање на врелиот алат, негово поставување помеѓу деловите, притискање на деловите кон врелиот алат и локално растопување на материјалот од пластичните делови. Во третата фаза се одвојуваат деловите и се отстранува алатот. Во четвртата фаза се притискаат деловите и се лади спојот за да се зацврсти.



Слика 10.22 Фази на процесот заварување со врел алат

Температурата на алатот зависи од термопластиката што се заварува. За аморфни видови термопластика потребна е температура од  $100 \div 160 \text{ }^\circ\text{C}$  над температурата на кристализација. Полукристалните полимери најдобро се заваруваат на температура која е  $40 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$  повисока од температурата на топење. На слика 10.23 детално и сликовито е прикажана постапката на заварување со врел алат, при што се користат граничници за да не дојде до поголемо притискање на деловите. Со тоа се намалува излевање материјал надвор од спојот и се добива рамномерна висина на споените делови. Важно е да се напомене дека притисокот при спојувањето не смее да биде преголем зошто може да се истисне целиот растопен материјал од спојот при што би се добил значително послаб спој. Заради тоа, предвидени се површини во помагалото кои доаѓаат во допир на точно растојание за да не се јави истиснување на материјалот надвор од спојот.

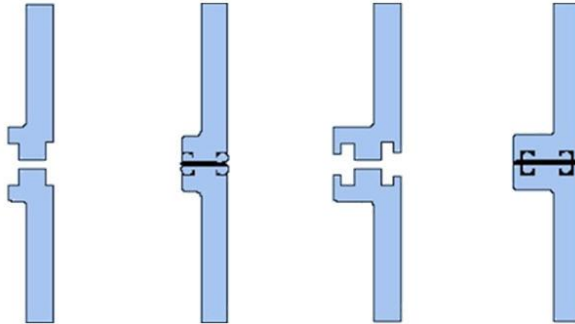


Слика 10.23 Постапка на заварување со врел алат

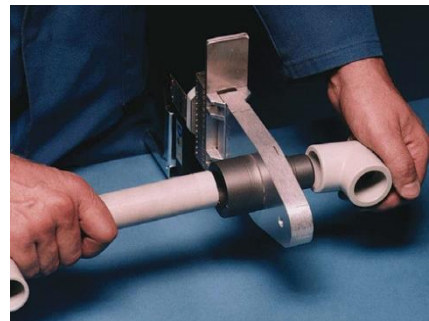
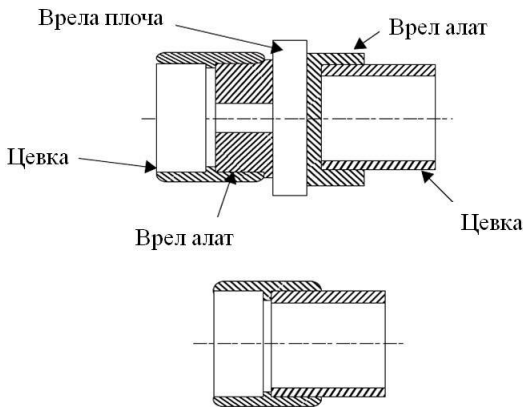
На сликата 10.24 се прикажани две различни изведби на спојот во состојба пред и по заварувањето. При заварување со врел алат се јавува излевање на растопен материјал надвор од спојот и од естетски и од причини за јакоста потребно е да се предвиди простор за излеаниот материјал. По заварувањето се јавува мало скратување на висината.

Препорачаните температури на врелиот алат за различни материјали се дадени во табелата 10.6.

На слика 10.25 е прикажано заварување со врел алат на две цевки со челен спој.



Слика 10.24 Две различни изведби на спојот во состојба пред и по заварувањето



Слика 10.25 Заварување со врел алат на две цевки

Полимер	Температура на врел алат °C
РА6	240 - 300
PBT	240 - 350
PET	270 - 350
TPE	250 - 300
PC	250 - 400
PC+ABS	220 - 400
PC+PET	250 - 400

Табела 10.6 Препорачани температури на врелиот алат за различни материјали

## 10.6. Електромагнетно заварување

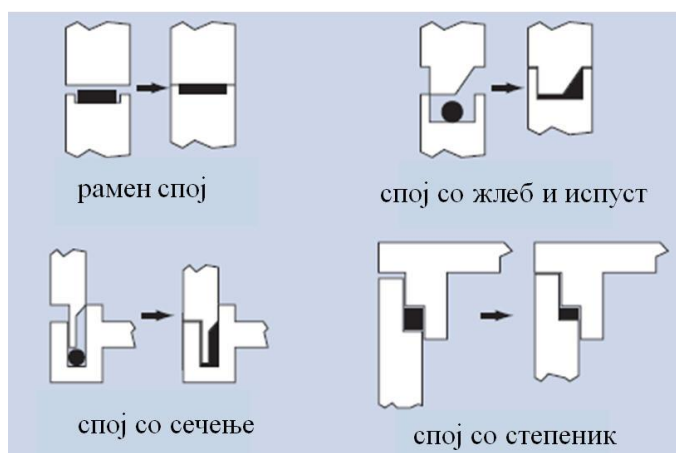
Индукционото (односно електромагнетното) заварување користи електромагнетно поле, при што се индуцира струја во проводник кој се загрева и ја топи пластиката до температурата потребна за спојување на деловите. Како проводник се користи магнетен материјал во вид на лепило, лента или заптивка кој се поставува на местото на спојот. Овој материјал се загрева и се топи со што се заваруваат пластичните делови.

Опремата за електромагнетно заварување се состои од генератор на радиофреквенции, намотки ладени со вода и помагала за поставување на деловите. Под дејство на високофреквентните магнетни полиња се создаваат вртложни струи во лепилото преку индукција и се генерира топлина. Лепакот се топи и деловите се спојуваат под дејство на низок притисок. Пластиката се зацврстува штом ќе се исклучи магнетното поле. По ладењето магнетниот материјал останува во спојот. Ако повторно се вклучи електромагнетното поле, спојот може да се раздвои, односно процесот е реверзибилен, што овозможува поправање расипани делови и го олеснува рециклирањето.

Материјалот за спојување се изработува од ист или компатибилен полимер кој е пополнет со фино дисперзирани микро делчиња од феромагнетен материјал (железо) помалку од 15 % од волуменот.

Со овој процес може да се заваруваат и сложени 3Д контури. Фреквенцијата на електромагнетното поле е помеѓу 2 и 8 MHz. Траењето на циклусот е од 3÷10s. за мали делови и до 30 s. за големи делови.

Најчесто се користи спој во облик на испуст и џеб и спој во облик на скалило, како на сликата 10.26. Димензиите на жлебот и заптивката се одбрани така што да се постигне 5 % преполнување на просторот помеѓу деловите.



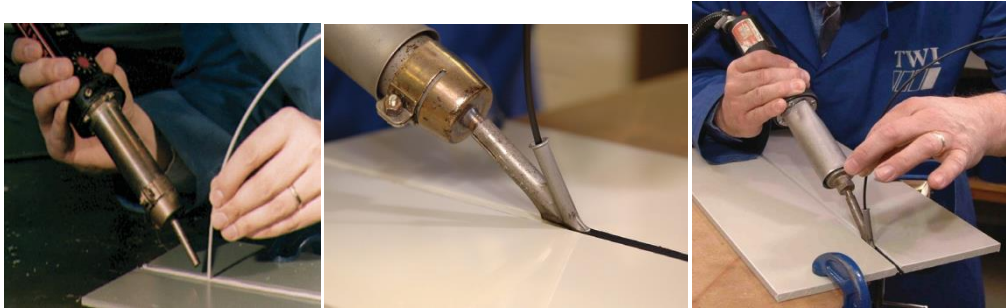
Слика 10.26 Спојеви за електромагнетно заварување

## 10.7. Заварување со топол воздух

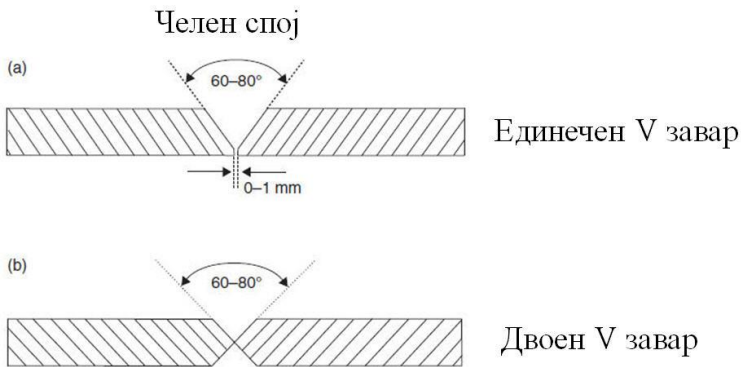
Заварувањето со топол воздух е рачен процес каде квалитетот на заварот зависи од вештината и искуството на заварувачот. За време на процесот на



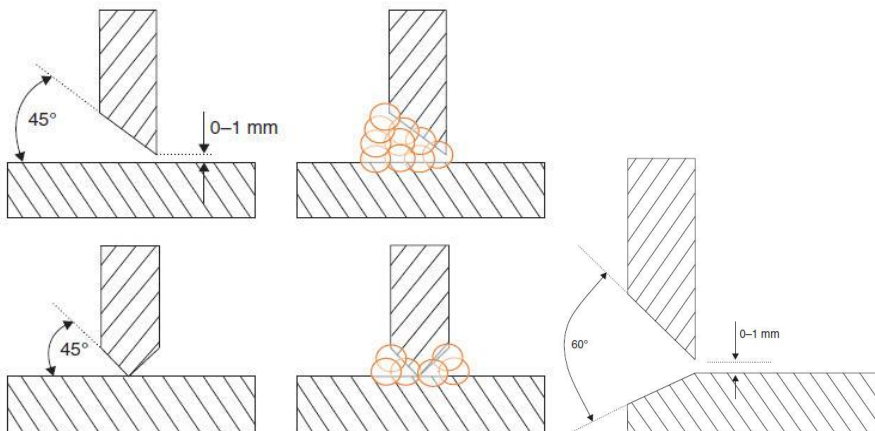
заварување со топол гас, обично воздух, се користи локалното топење на електродата (жица) и деловите за создавање на заварот. Операторот во едната рака ја држи електродата, додека во другата рака ја држи дизната која дува топол воздух кон деловите и електродата (слика 10.27).



Слика 10.27 Заварување со топол воздух



Слика 10.28 Припрема на челен спој за заварување со топол воздух



Слика 10.29 Припрема на аголен спој за заварување со топол воздух

Топлиот воздух дува во електродата и деловите се топат локално и се заваруваат. Кога деловите на местото на заварот локално ќе се растопат и

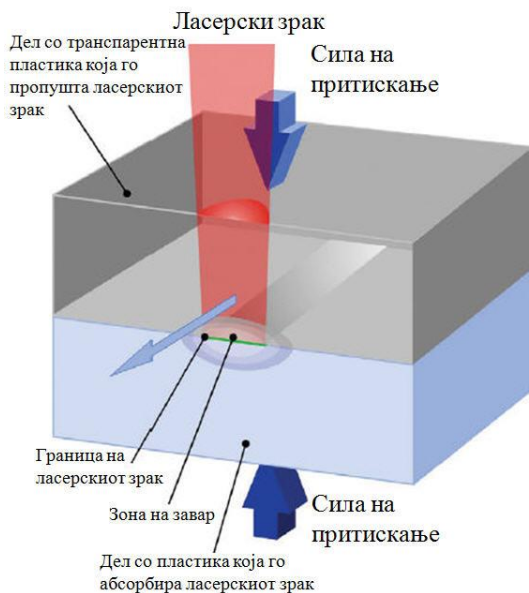
растопениот материјал од електродата ќе се нанесе на местото на заварување, деловите се притискаат меѓусебно и под мал притисок и се ладат.

Пред да се заварат, деловите се чистат од прашина, замастување и слично.

Местото на завар се припрема во согласност со прикажаните параметри, како на сликата 10.28 и 10.29.

## 10.8. Заварување со ласер

Заварувањето со ласер е модерна метода на заварување, при што се создава функционално квалитетен и естетски одличен завар. Едниот дел треба да биде од транспарентна пластика низ кој ќе поминува ласерскиот зрак. Другиот дел треба да биде од пластика која ќе го апсорбира ласерскиот зрак и на тоа место ќе се создаде топлина со чија помош ќе се растопи пластиката и ќе се спојат деловите (види на слика 10.30). Оваа особина ја намалува можноста за поширока примена на заварувањето со ласер. Деловите треба да бидат притиснати меѓусебно за да деловите се заварат. Може да се заваруваат од мали до големи делови, рамни и сложени 3Д форми.

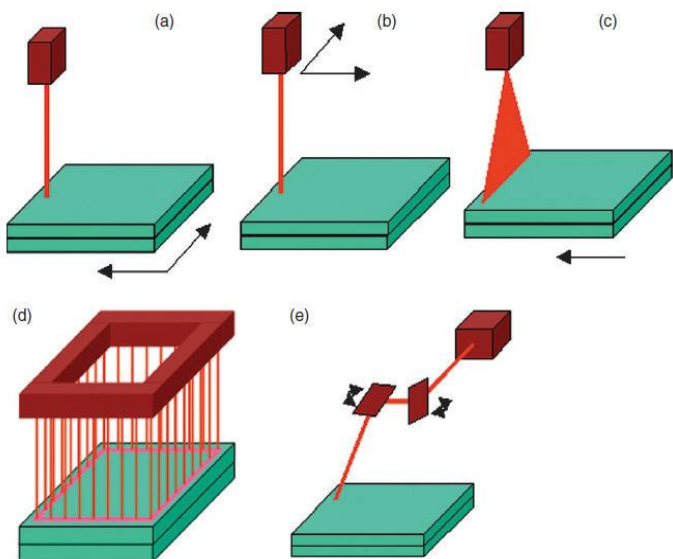


Слика 10.30 Заварување со ласер

Предности: можност за автоматизација на процесот, добра контрола на процесот, на местото на завар не треба претходна подготовка, можно е херметичко заптивање со ласерски завар, нема контакт со загреани алати, нема вибрации, брз процес, нема оштетување на површината, мали заостанати напони, можност за заварување на 3Д сложени форми, локализирано загревање, може да се заваруваат тенки, флексибилни и еластомерни материјали, може да се заваруваат различни материјали, итн.

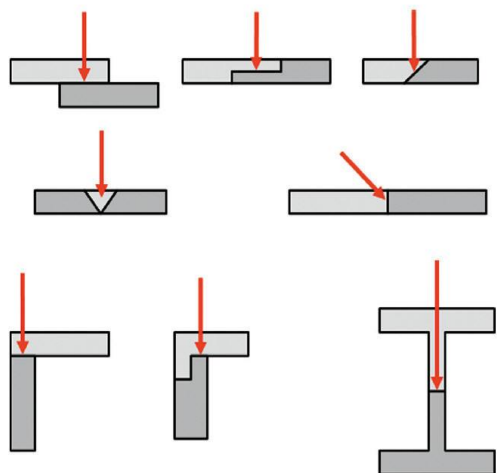
Недостатоци: горниот дел мора да биде транспарентен, долниот дел мора да има можност да го апсорбира ласерскиот зрак и да овозможи создавање топлина и

растопување на пластиката, опремата може да биде скапа, површините кои се спојуваат мора да бидат со добар квалитет, деловите мора да бидат притиснати соодветно и внимателно да овозможат контакт за времетраење на заварувањето, ограничена дебелина на деловите кои се заваруваат, особено за висококристални материјали.

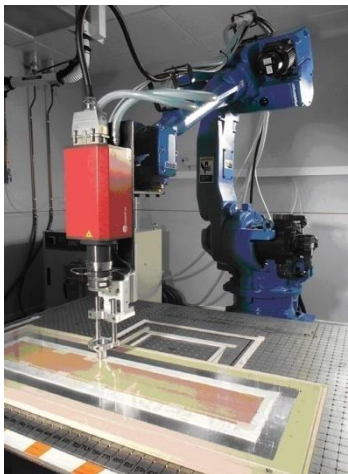


**Слика 10.31** Начини на заварување со ласер: а) движење на парчето во рамнина, б) движење на ласерската глава, с) завеса од ласерски зрак и движење на парчето, д) симултано заварување, е) скенирање со ласер

На слика 10.31 се прикажани начини на заварување со ласер и на слика 10.32 е прикажана поставеноста на деловите при заварувањето. На слика 10.33 се прикажани работи со кои се извршува заварувањето со ласер и на истата слика се гледа дека и текстил може да се заварува со ласер.



**Слика 10.32** Поставеност на деловите при заварување со ласер



Заварување на  
текстил со ласер



Слика 10.33 Роботи за заварување со ласер

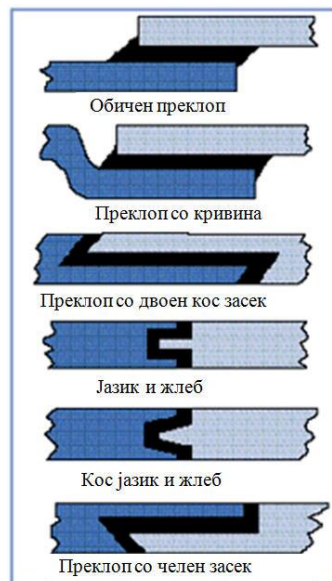
## Лепење делови од пластика

## 11.1. Лепење со хемикалии

При лепење со хемикалии се користат растворувачи и лепила за да се соединат слични или различни материјали. Лепењето е брза и економична постапка, не бара особена подготовка на деловите ниту специјална опрема. Со лепење се постигнува одлично заптивање и не се предизвикуваат заостанати напони.

При **лепење со растворувачи**, течноста која се нанесува непосредно пред спојувањето го раствора материјалот на површините од спојот. Деловите се притискаат и кога растворувачот ќе испари се добива цврст спој. Овој метод може да се примени кај компатибилни материјали кои се растворливи во одредени раствори. Хемиската отпорност на растворувачи на повеќето видови пластика, а особено на кристалните видови пластика ја ограничува примената на овој метод.

За правилна употреба на растворувачите потребно е да се следи упатството за примена и за заштита што го дава производителот. Површините што се лепат мора да бидат чисти и обезмастени. Деловите кои се лепат се притискаат на сунѓер натопен со растворувач или се преминуваат со фломастер со растворувач.



Слика 11.1 Обликување на споевите со лепење

Количината на користениот растворувач треба да биде минимална за да се избегне капење. Кај големи и сложени површини потребни се помагала за нанесување на растворувачот. Може да се почека неколку секунди за да се постигне доволно набабрување. Деловите потоа се спојуваат со умерен притисок. Споените делови се отстрануваат од помагалата и не треба да се користат 24 до 48

часа за да се достигне целосна цврстина. За забрзување на испарувањето и намалување на должината на циклусот може да се користи топлина.

Општи правила за обликување на спојот се: спојот треба да има преклоп, наголеми ја површината на спојот (набраздена површина, ластовичина опашка), одбегнувај концентрација на напоните кај премините од поголем кон помал пресек, обезбеди доволно проветрување за сушење на растворувачот (види на слика 11.1).

Браздите или жлебовите во облик на ластовичина опашка треба да се плитки за да се избегне заробување на раствор во спојот. Заробен растворувач може да предизвика подоцнежнo слабеење и пукање на спојот. Спојот не треба да биде оптоварен со заостанати напони во деловите. Портите не треба да се наоѓаат близу до местата што се лепат. Во случаи каде постојат поголеми заостанати напони, потребно е опуштање на напоните. Треба да се внимава при лепењето на затворени делови да не се зароби растворувач внатре во деловите.

Посебни предности на споевите со лепење со растворувачи се: хомогеност, добра естетика, економичност, лесни се (се одбегнува примена на завртки), добро заптивање. Можни ограничувања се: заробување на растворувачот во спојот, појава на пукнатини, различни материјали може да се спојат само ако се растворливи во ист растворувач или во мешавина од растворувачи, проблеми при различна термичка експанзија на двата дела, споро испарување на растворувачот поради впивање во материјалот, не е можна монтажа, опасност од пожар или интоксикација при спојувањето.

При **лепење со лепаци**, се користи трета материја за да се спои пластика со друга пластика или со метал, керамика, дрво, стакло и сл. Лепилата кои се користат со термопластика се епоксидни, акрилни, полиуретански, фенолни, гумени, полиестерски и винилни.

Цијаноакрилатните лепила се популарни поради нивното брзо дејство. Повеќето лепила содржат и растворувачи кои ја раствораат површината со што се зголемува атхезијата. За успешно лепење важна е подготовката на површините. Кај многу материјали, потребно е да се зголеми рапавоста на површината или треба да се направат жлебови за да се зголеми атхезивната површина. Површините треба да се исчистат од масноти, средство за премачкување на калапи и други загадувачи.

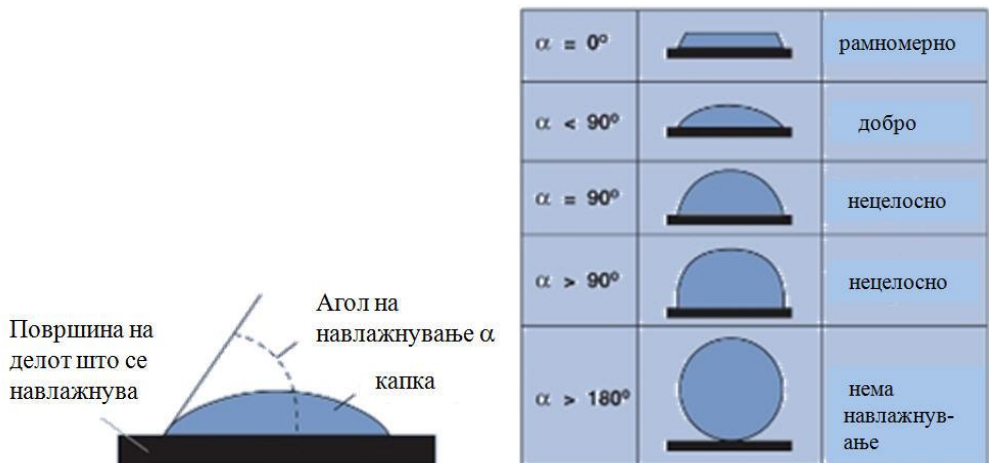
Споевите за лепење може да имаат различен облик. Компатибилноста на материјалите на деловите и лепилото треба да се тестираат пред вистинска примена. При тестирањето треба да се провери и дали користеното лепило ја деградира пластиката. Освен тоа, користените хемикалии може да бидат токсични, и затоа е неопходна заштита на работникот и проветрување на просторијата во која се врши лепењето.

Основен критериум за постигнување добро лепење е добро нанесување на лепило на површината и зацврстување (вмрежување) на лепилото. Доброто лепење зависи и од вискозноста на лепилото и хемиската отпорност на материјалите на деловите на лепилото.

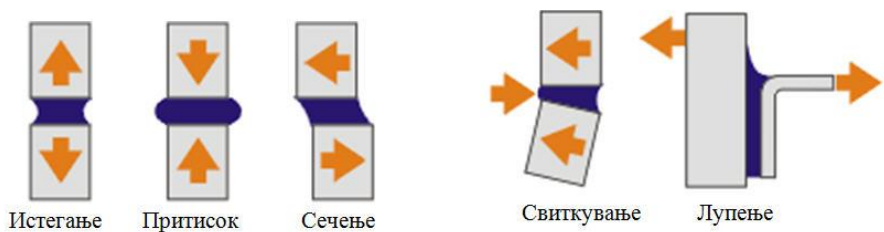
На сликата 11.2 е прикажан однос на аголот на навлажнување и квалитетот на навлажнување на површината со лепило.

На сликата 11.3 се прикажани различните видови напрегања на кои може да биде изложен спојот со лепење.

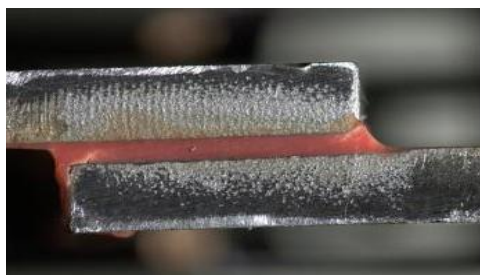
На сликата 11.4 е прикажан лепен спој оптоварен на сечење.



Слика 11.2 Аголот на навлажнување и квалитетот на навлажнување на површината со лепило



Слика 11.3 Различните видови напрегања на кои може да биде изложен спојот со лепење



Слика 11.4 Лепен спој оптоварен на сечење



Лошо лепење се јавува кога слојот лепило не се залепува добро за површината на материјалот. Подобрување може да се постигне со претходна обработка на површините на спојот со чистење, одмастување и брусење.

Посебни предности на лепилата се:

- може да се применат за лепење различни материјали како термопластика, термосетови, еластомери и метали,
- рамномерна распределба на напоните во спојот,
- разликата во термичкото ширење на различни материјали може да се компензира со примена на подебел слој на лепило,
- добра естетика, не мора да се крие спојот,
- економично спојување,
- мала тежина (се избегнуваат тешки завртки и сл.),
- може да се спојат компоненти и материјали чувствителни на температура или оштетување, кои не може да се заваруваат,
- нема заостанати напони,
- добро заптивање на спојот.

Можни ограничувања се:

- спојот може да не е доволно траен,
- може да се јават видливи пукнатини или ситна мрежа на внатрешни пукнатини во материјалот,
- различни материјали може да се лепат само ако двата се компатибилни со лепилото,
- процесот треба постојано да се контролира и не се добива редовно еднаков квалитет на споевите,
- времето на зацврстување многу зависи од видот на лепилото,
- не е можна демонтажа,
- опасност од пожар и интоксикација при работа.

Во продажба се многу различни лепила. Во табелата 11.1 се дадени податоци за производите на фирмата DSM. Во првата колона се дадени комерцијални имиња на термопластика, а во втората колона основниот полимер и пополнетоста со стаклени влакна. Во останатите колони се дадени вредности за цврстината на споевите за различни комбинации на пластика и лепилото.

### **Епоксидни лепила**

Постојат повеќе различни епоксидни лепила со различни механизми на вмрежување:

- двокомпонентни кои се вмрежуваат на ладно или со загревање
- еднокомпонентни кои се вмрежуваат со загревање
- што се вмрежуваат со УВ-зраци

Обичните епоксиди се кршливи и не се многу отпорни на лупење.

Поради тоа се развиени модифицирани епоксиди. Работната температура варира помеѓу -40 и 80°C за лепилата што се вмрежуваат на ладно. Епоксидите за вмрежување со загревање може да се користат до температура од 150°C.

		Епоксид		Полиуретан	Акрилик	Цијаноакрилик
		2 ком.	1 ком.			
Акулон	PA6 UF/GF	3->10	6	7	>10	>10
	PA6 UF	4	8	3	>10	5
	PA6 GF	4	8	4	-	>10
Арните	PBT UF	1	6	3	-	1
	PBT GF	2	9	4	-	5
	PET UF	2-6	>10	5-7	-8	2
	PET GF	4-10	>10	7->10	1->10	8
Хантар	PC UF/GF	>10	-	7	5	7
Хантар С	PC+ABS UF	4	-	7	-	9
UF-непополнети, GF = со стаклени влакна						

**Табела 11.1** Лепила од фирмата DMS и нивни карактеристики

### Полиуретански лепила

Полиуретанските лепила се релативно евтими и добро лепат. Ги има од меки до цврсти. Различните видови на полиуретански лепила имаат различен механизам на вмрежување:

- еднокомпонентни термосетирачки,
- двокомпонентни катализирани,
- реактивни врели растопини.

Полиуретаните се цврсти и отпорни на лупење. Се користат на температури од -80 до 100 °C. Добро се лепат за инженерските видови пластика.

### Акрилни лепила

Акрилиците се еластични и цврсти. Бргу се вмрежуваат на собна температура. Треба да се внимава при лепење на аморфна термопластика зашто може да дојде до напонски пукнатини. Акрилиците имаат различни механизми на вмрежување:

- еднокомпонентни кои се вмрежуваат со УВ-зраци и се користат за лепење транспарентна пластика,
- двокомпонентни со претходно мешање,
- двокомпонентни без мешање.

Температурата на примена е од -55 до 120 °С. Акрилиците имаат одлична отпорност на лупење и цврстина.

Добра атхезија со овие лепила се постигнува кај аморфна термопластика.

### **Цијаноакрилицы**

Цијаноакрилиците брзо се вмрежуваат, но се доста кршливи, па затоа нивните карактеристики се подобруваат со додавање гума. При лепење на повеќето инженерски видови термопластика се добива многу цврст спој.

### **Силикон**

Силиконските лепила реагираат во присуство на вода како катализатор. Водата може да биде од влагата во воздухот или влага на површината на деловите. Времето на реакција е релативно долго. Споевите со силикон се еластични.

### **УВ-лепила**

Лепилата што се вмрежуваат со УВ-зраци користат ултравиолетови зраци за да започне полимеризацијата. Времето на вмрежување е кусо, обично 3 до 10 сек. УВ-лепилата имаат висока јакост на спојот и може лесно да се применат кај просирни материјали како поликарбонат.

### **Врели лепила**

Врелите лепила се термопластика во облик на гранули, парчиња, лента или фолија. Атхезивот се загрева над температурата на топење и се нанесува на површините што се лепат со валјаци, дизни или систем од валци. Спојот се формира по ладењето на лепилото. Опремата треба да работи многу брзо за да се добие квалитетен спој и за да не дојде до предвремено оладување на лепилото. Овие лепила се доста вискозни, без растворувачи и добро ги пополнуваат зјаевите.

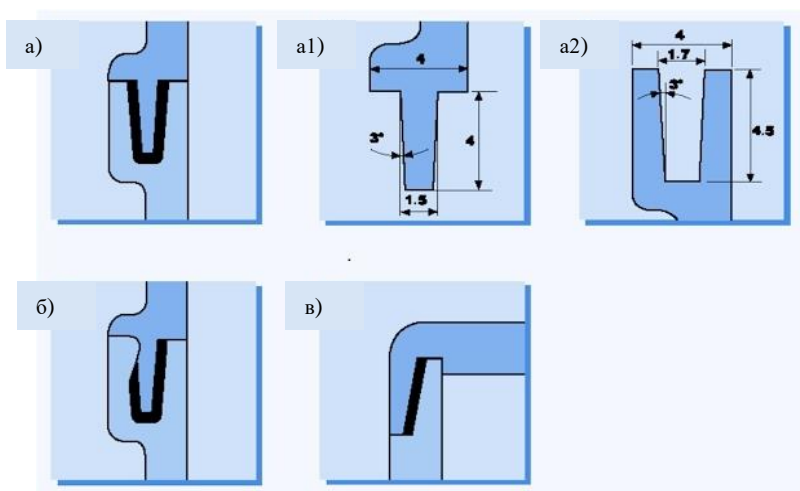
Општи правила за обликување на споевите за лепење со лепило се:

- конструирај го спојот со преклоп така што да биде оптоварен на сечење,
- зголеми ја допирната површина,
- одбегнувај концентрација на напоните кај промените на пресекот,
- обезбеди доволно вентилирање на деловите.

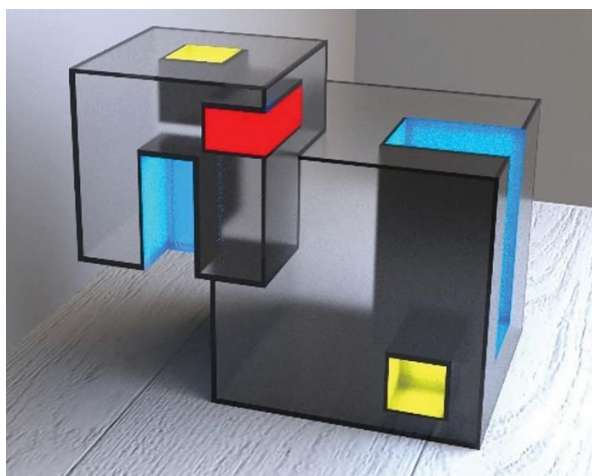
Препорачаниот дизајн на споевите е прикажан на сликата 11.5. Со дизајнот прикажан на слика 11.5а и б може да се постигнат херметични споеви потребни за контејнери и шишиња. Спојот прикажан на слика 11.5в е поуниверзален.

За да се постигне успешно лепење со лепила, потребно е да се знаат функционалните барања на склопот и можностите на лепилото во комбинација со материјалите на деловите кои се лепат, како и соодветно обликување на спојот.

На слика 11.6 се прикажани производи добиени со употреба на лепило, изработени од студентите на насоката Индустриски дизајн на Машинскиот факултет во Скопје.



Слика 11.5 Дизајн на споевите за лепење



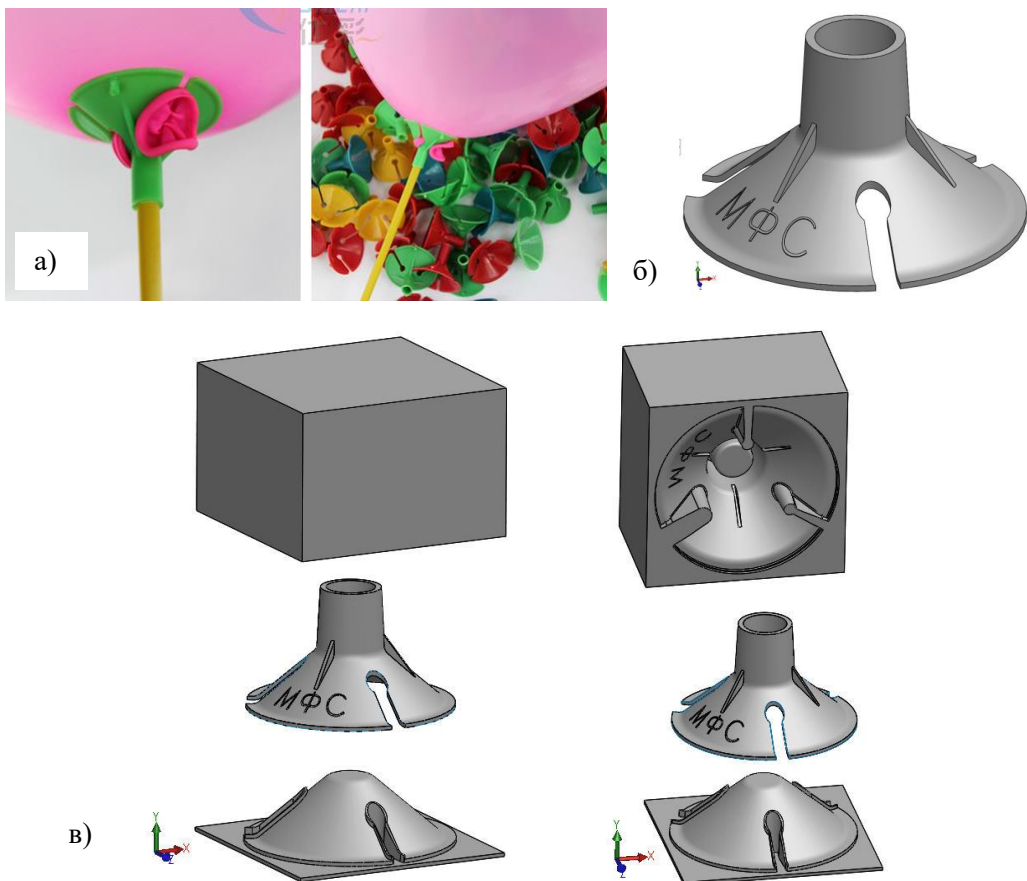
Слика 11.6 Дизајн на производи добиени со употреба на лепило, изработени од студентите на насоката Индустриски дизајн при Машинскиот факултет во Скопје

## Дизајн на производи од пластика, практични примери

Во оваа глава се прикажани три практични примери за дизајн на дел од пластика, изработка на калапна шуплина и симулација на процесот на вбригање на пластиката во калапната шуплина со помош на софтверот SolidWorks и модулите Mold Design и SolidWorks Plastics.

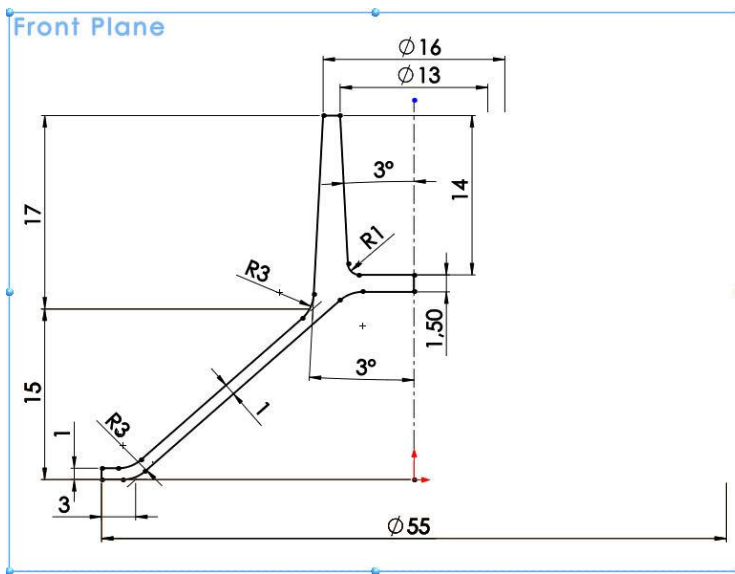
### 12.1. Пример 1: Моделирање дел од пластика, калапна шуплина и анализа на делот со резултати добиени од симулирање на процесот на вбригување на пластиката

Задачата е да се моделира пластичен дел кој е прикажан на сликата 12.1а кој претставува држач за гумен балон. CAD-моделот на држачот за балон е прикажан на сликата 12.1б и калапната шуплина на слика 12.1в.

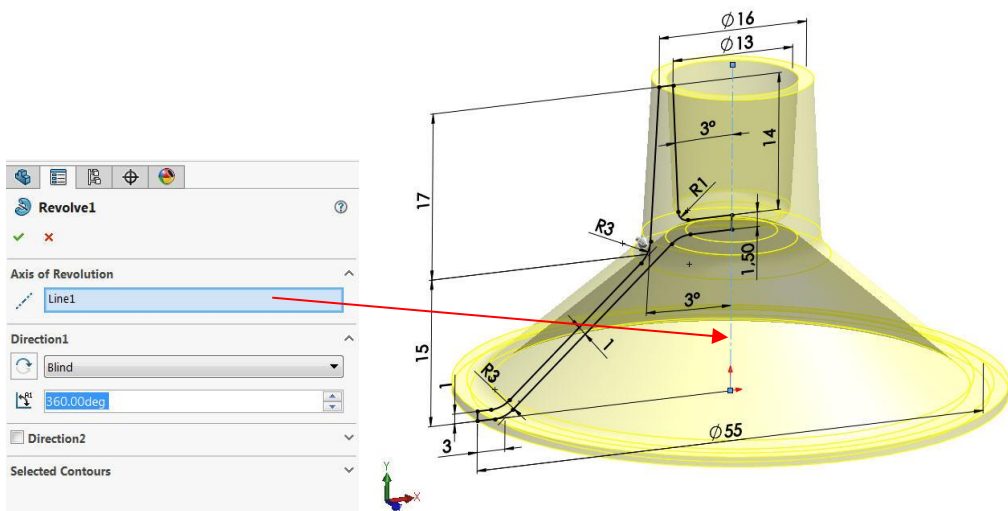


Слика 12.1 а) Реален држач за балон, б) CAD модел на држач за балон и в) CAD модел на калапна шуплина за држач на балон.

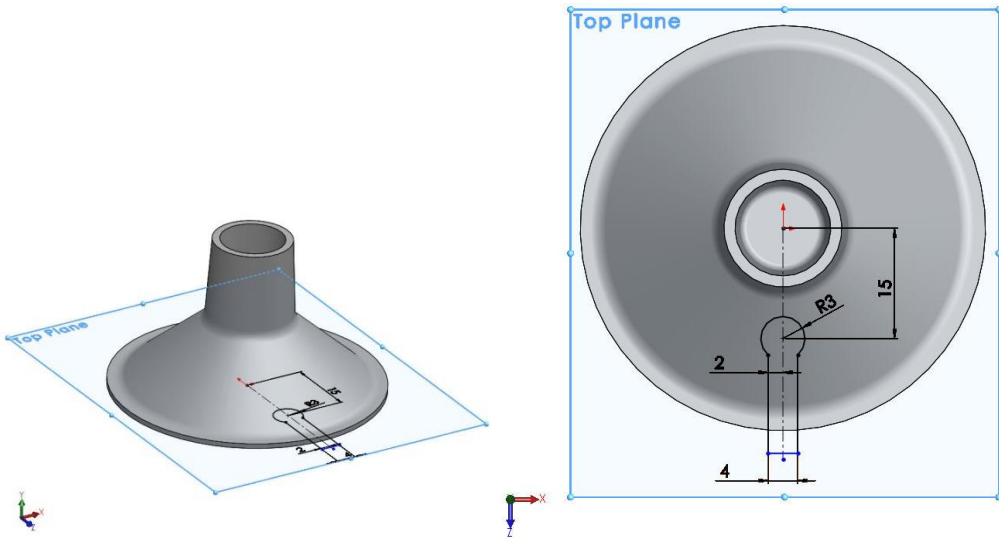
1. Отвори скица во рамнината Front Plane и изработи скица како на сликата според дадените димензии. Посебно внимание треба да се посвети на закосување на бочните страници за агол поголем од  $1^\circ$  во однос на вертикалната оска. Закосувањата треба да бидат во иста насока со цел да се овозможи полесно отстранување на пластичниот дел од калапната шуплина во процесот на вбризање. Во случајот од сликата се гледа дека закосувањата на бочните страници изнесува  $3^\circ$ .



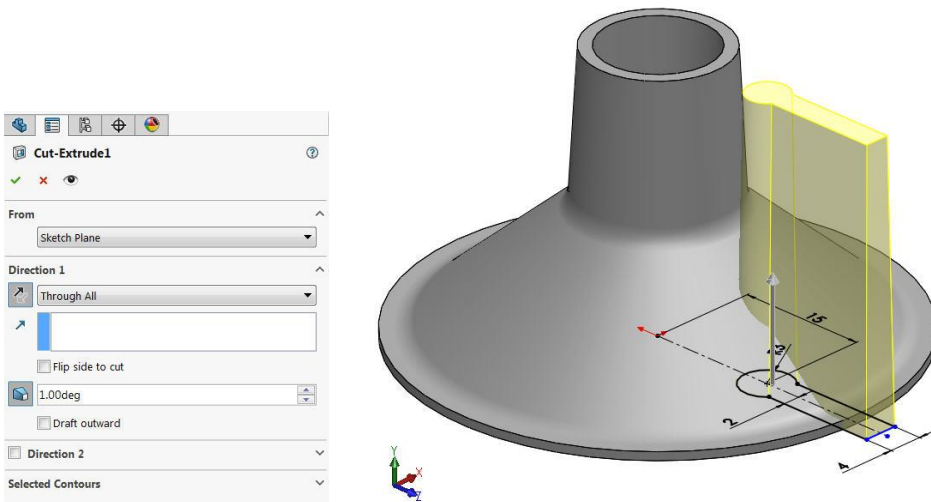
2. Со ротација на скицата околу дадената оска формирај ротационо тело со наредбата Revolved Boss/Base.



3. Отвори скица во рамнината Top Plane и скицирај како на сликата.

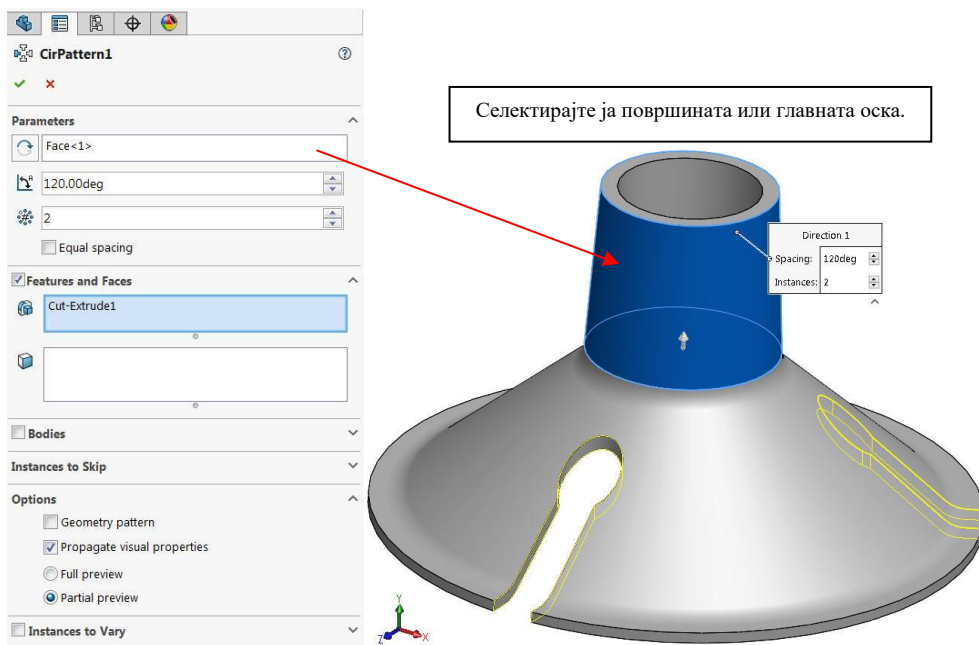


4. Изработи отвор низ целото тело со наредбата Extruded Cut. При пополнување на командните полиња многу е важно закосувањето на бочните страници да се прави во самата наредба Extruded. Во случајот има закосување (Draft) од  $1^\circ$  на бочните страници од изработениот отвор. Овој начин на изработка на отворот ја менува димензијата на отворот затоа што скицата е нацртана во рамнината Top Plane и има употреба на бочно закосување. За овој случај тоа не е проблем бидејќи овој отвор не влијае на функцијата на производот, но за случаи каде што не се бара голема прецизност ќе треба да се внимава.

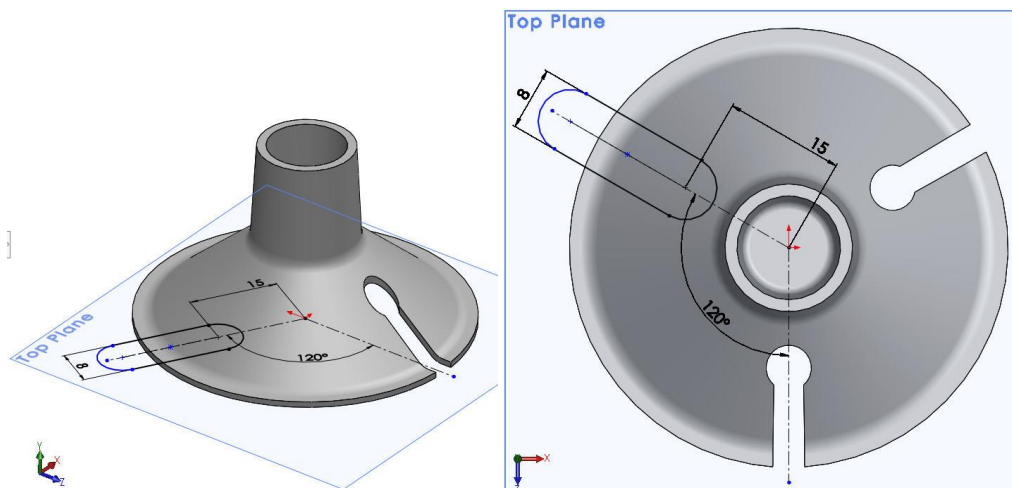




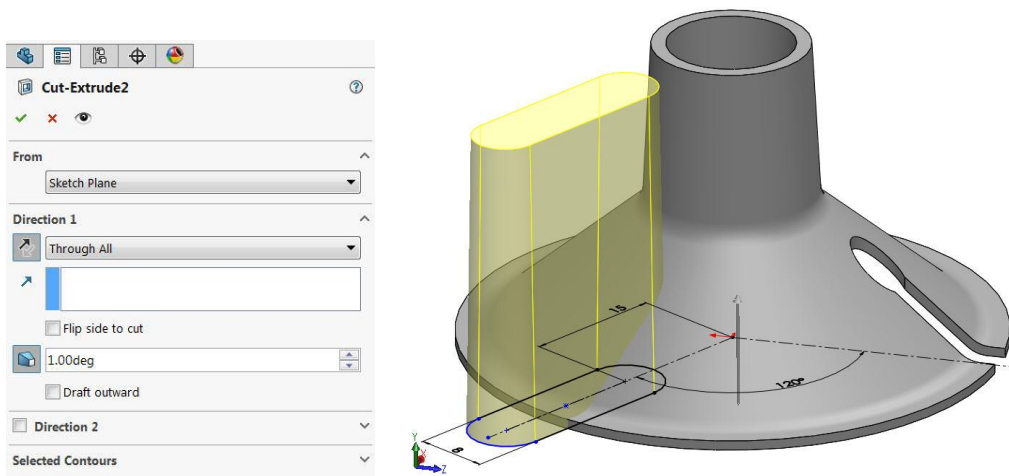
5. Со наредбата Circular Pattern изработи уште еден ист отвор заротиран за агол од 120° околу главната оска на ротација.



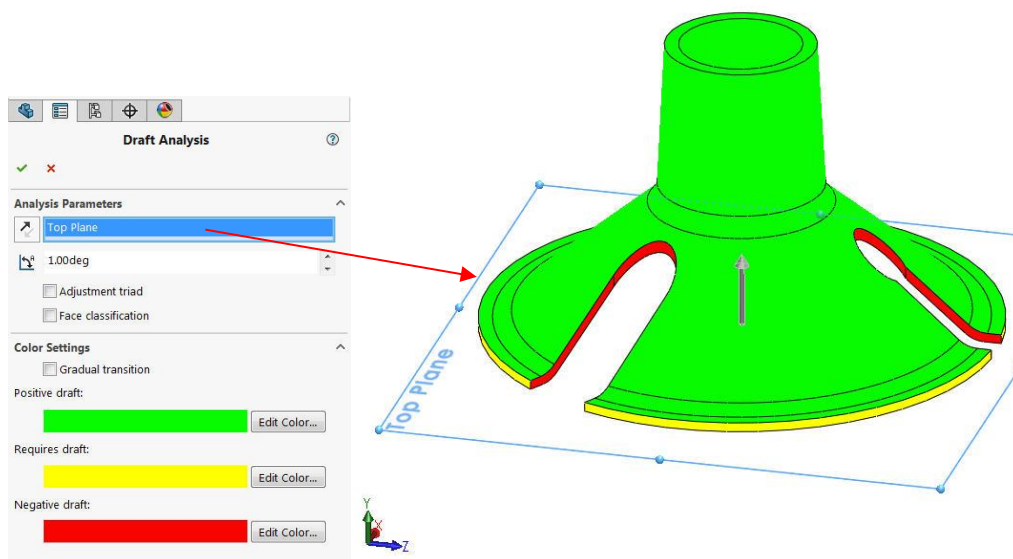
6. Отвори скица во рамнината Top Plane и скицирај како на сликата.



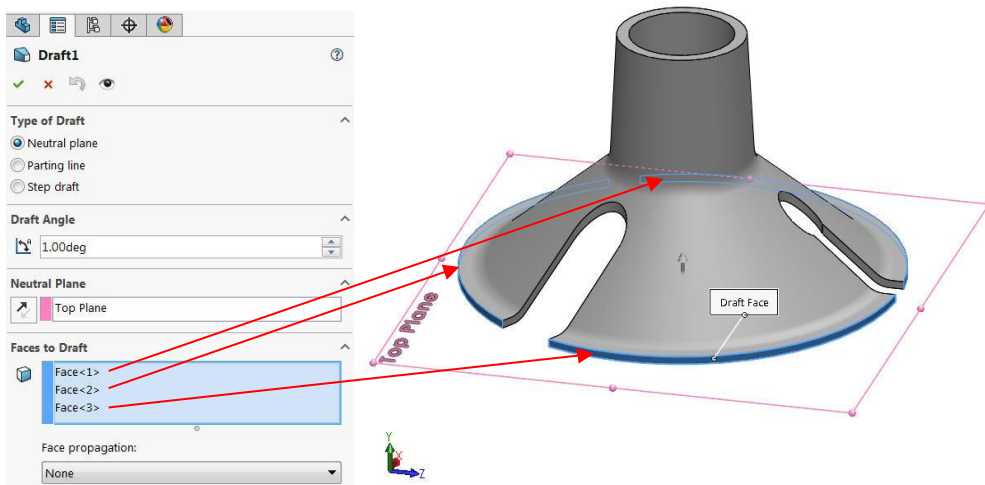
7. Изработи отвор низ целото тело со наредбата Extruded Cut. При пополнување на командните полиња многу е важно закосувањето на бочните страници да се прави во самата наредба Extruded. Во случајот има закосување (Draft) од  $1^\circ$  на бочните страници од изработениот отвор.



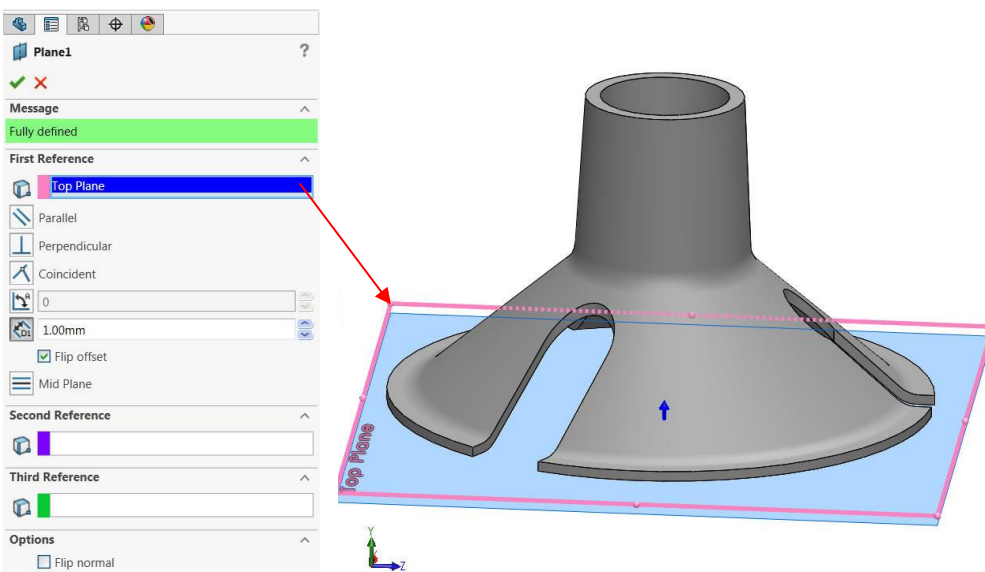
8. Направете анализа на закосеноста на бочните страници со помош на наредбата Draft Analysis во однос на рамнината Top Plane и поставете агол на закосеност над  $1^\circ$ . Сите површини со агол на закосеност над  $1^\circ$  се обоени со зелена или црвена боја во зависност од насоката и сите површини со агол на закосеност под  $1^\circ$  се обоени со жолта боја. Тоа значи дека на жолтите површини треба да се направи закосеност во однос на рамнината Top Plane со агол над  $1^\circ$ .



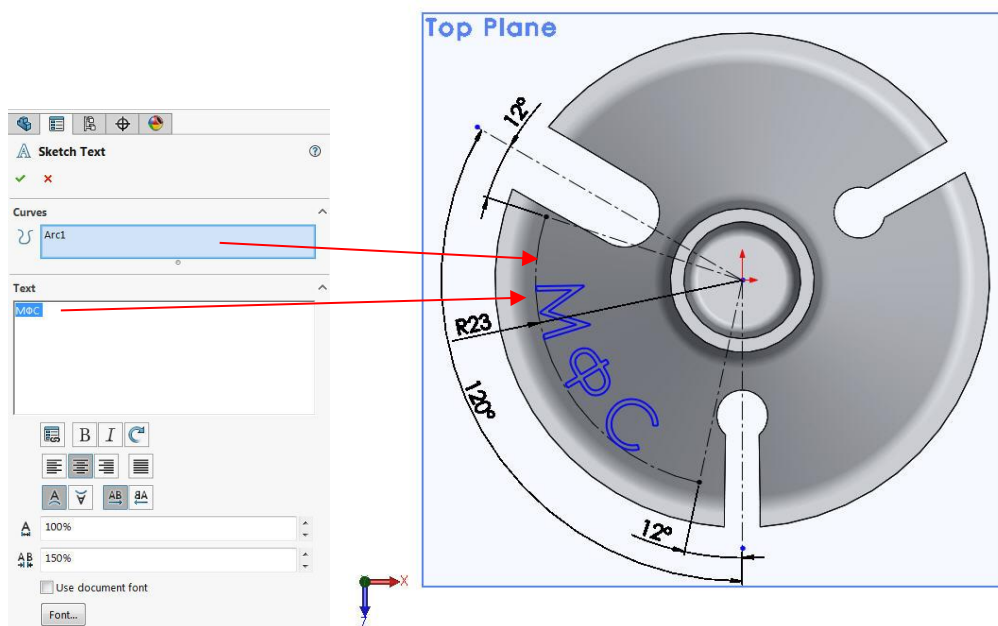
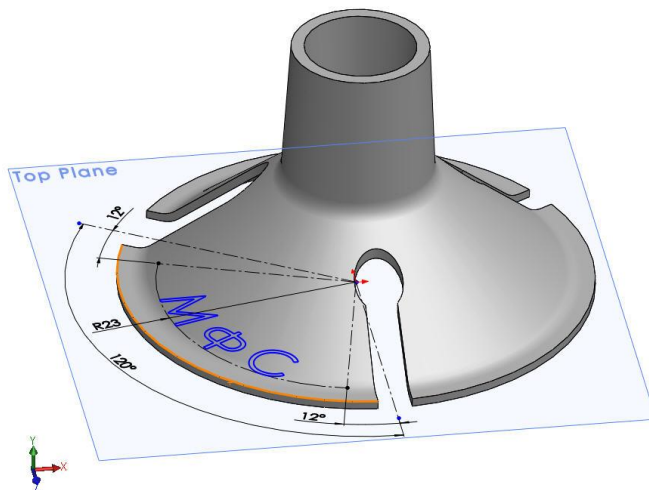
9. Закосете ги бочните страници со агол на закосување од  $1^\circ$  во однос на рамнината Top Plane.



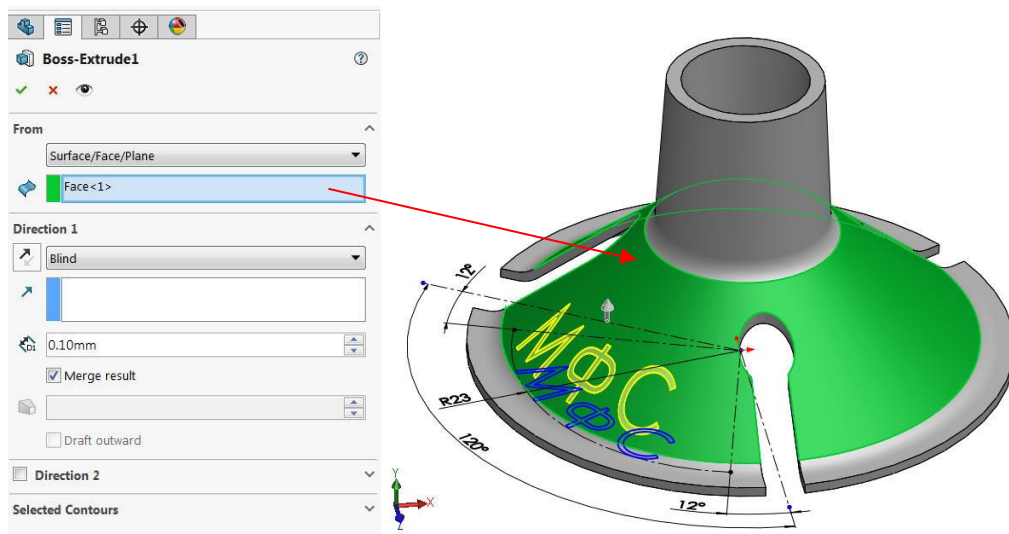
10. Поставете паралелна рамнина под рамнината Top Plane на растојание од 1mm.



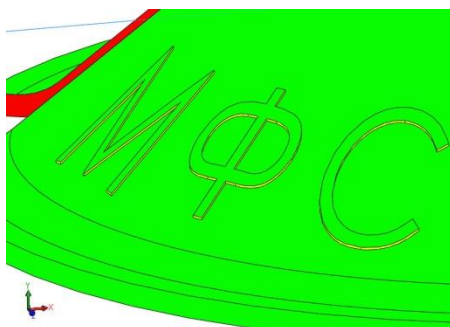
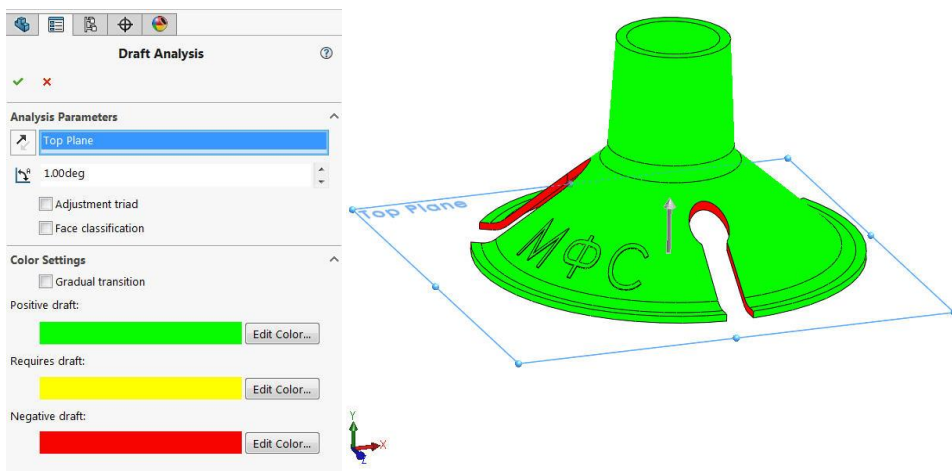
11. Отвори скица во рамнината Top Plane и скицирај како на сликата. На кружната линија на средина испишете го името МФС.



12. Испишете го натписот МФС на ротационата површина (зелената) со помош на наредбата Extruded Boss/Base со испакнување од 0.1 mm.

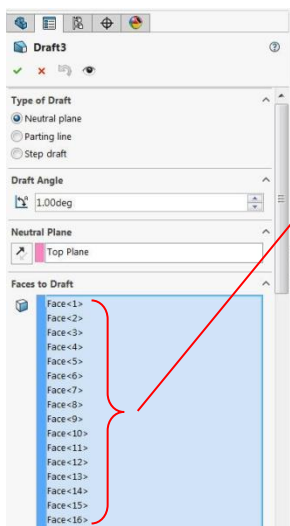


13. Направете анализа на закосеноста на бочните страници со помош на наредбата Draft Analysis во однос на рамнината Top Plane и поставете агол на закосеност над 1°.

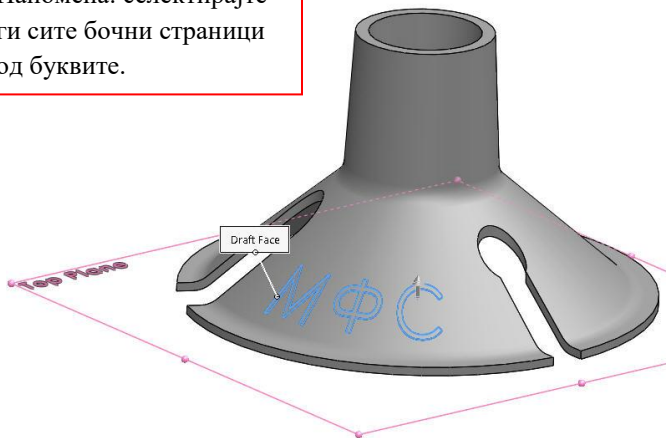


Забелешка: Може да се види со зумирање дека бочните страници на буквите немаат закосување, односно се означени со жолта боја во анализата на закосеност (Draft Analysis) и дека е потребно да се постави закосеност со агол од 1°.

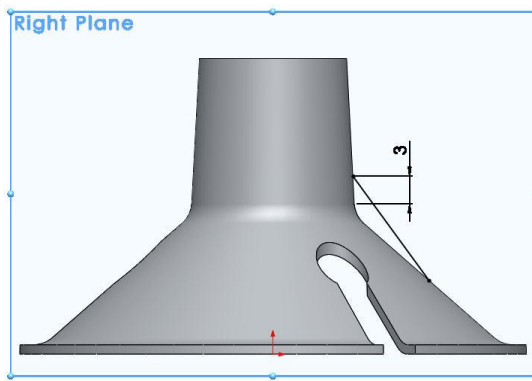
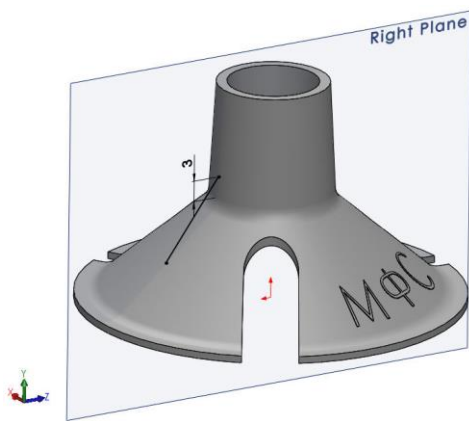
14. Закосете ги бочните страници на буквите МФС со агол на закосување од  $1^\circ$  во однос на рамнината Top Plane.



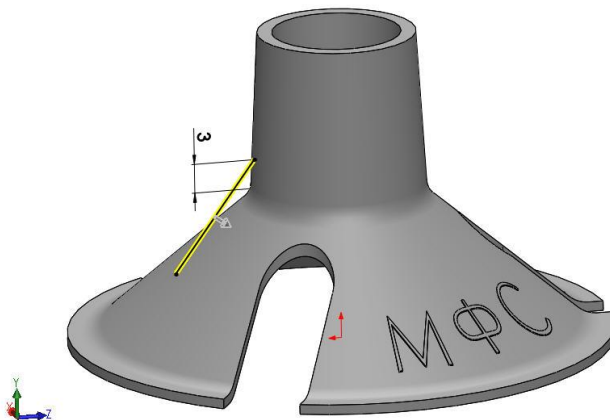
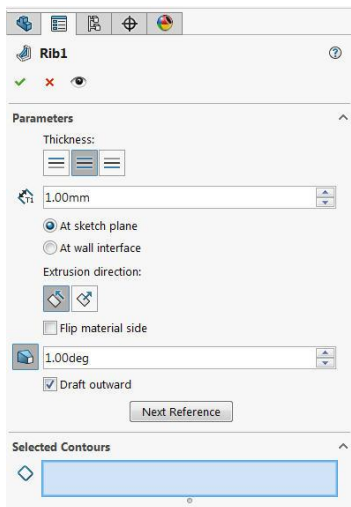
Напомена: селектирајте ги сите бочни страници од буквите.



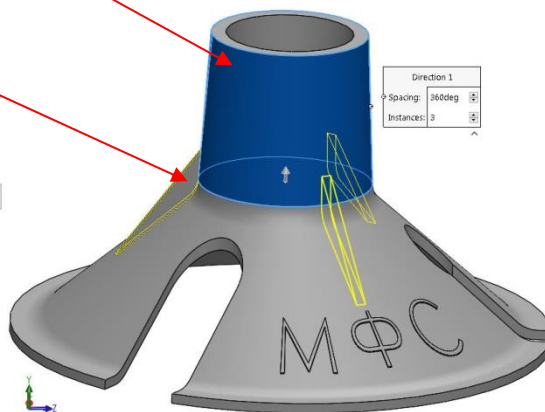
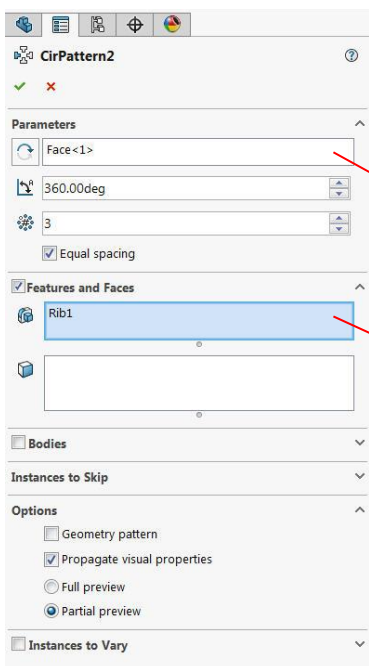
15. Отвори скица во рамнината Right Plane и скицирај линија за поставување ребро, како на сликата.



16. Изработете ребро со дебелина од 1мм и агол на закосување од 1° со помош на наредбата Rib.



17. Со наредбата Circular Pattern изработи уште две ребра рамномерно распределени околу главната оска на ротација.

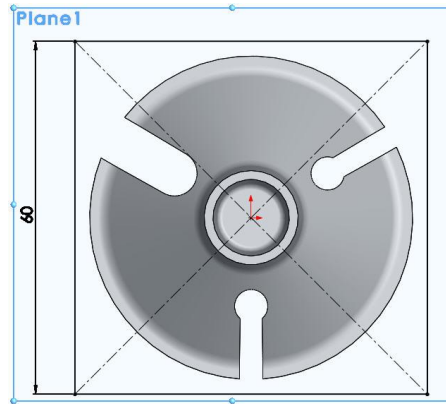


18. Со наредбата Scale која се наоѓа во менито Insert > Features, зголеми ја геометријата на делот за процентот на собирање на пластиката. Во зависност од типот, пластиката се собира и потребна е корекција на геометријата. Секој производител на пластика дава податок за собирањето на пластиката, или пак

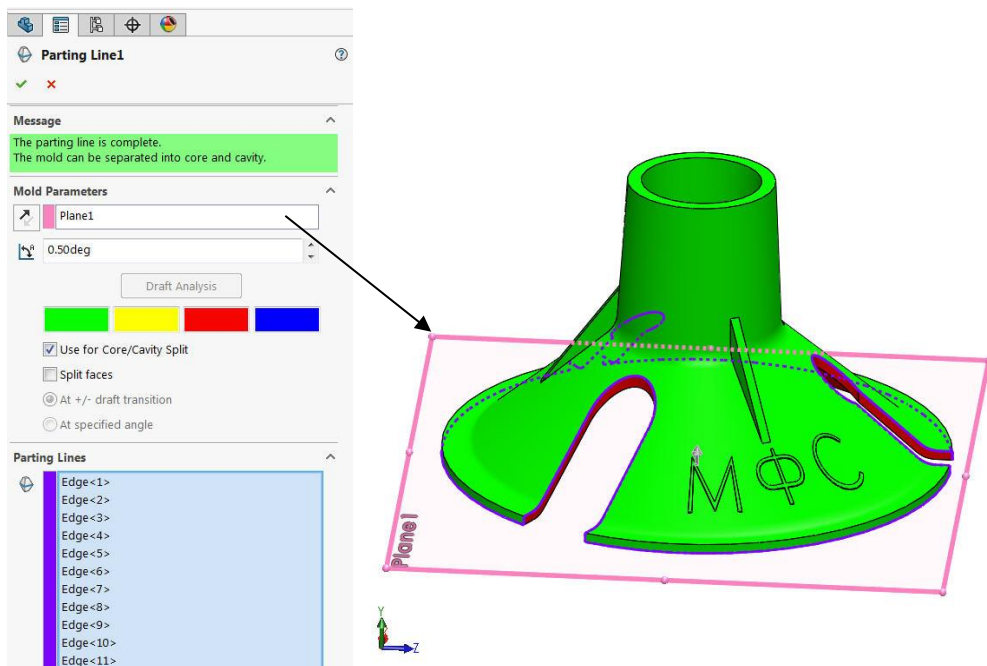


користејќи ги онлајн-базите за материјали, или пак CES-софтверот може да се најде податок за процентот на собирање на пластиката.

19. Отвори скица во рамнината Plane 1 и скицирај правоаголник со димензии 60 x 60 mm, како на сликата.



20. Со наредбата Parting Line изработи поделбена линија. Во овој случај поделбената линија е сложена просторна 3Д линија.

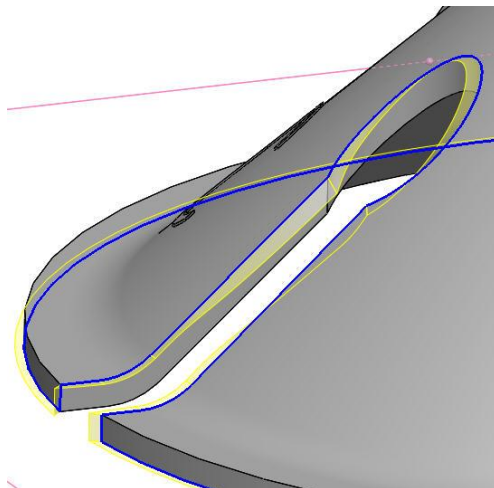
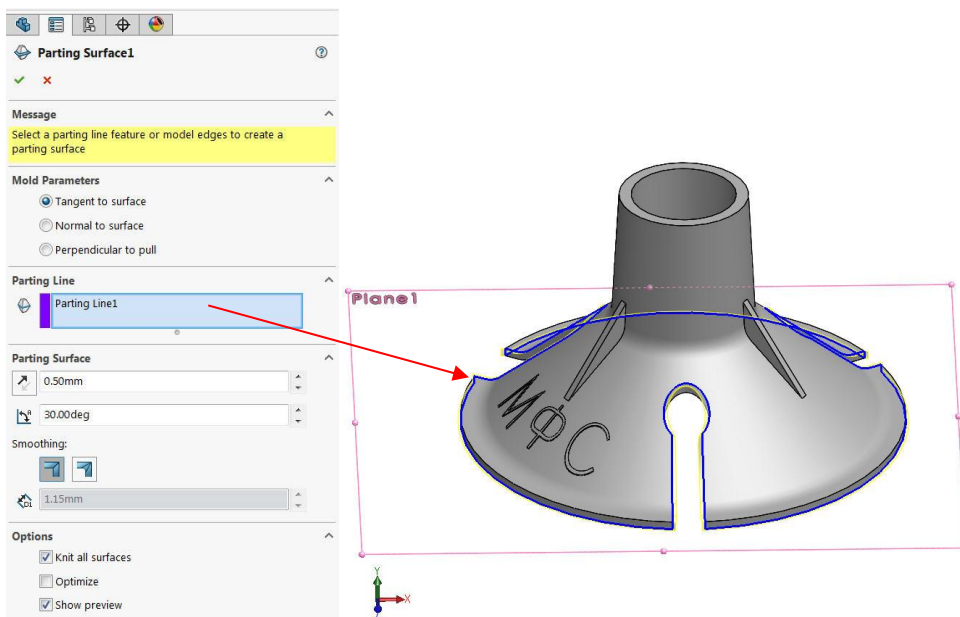


Напомена:

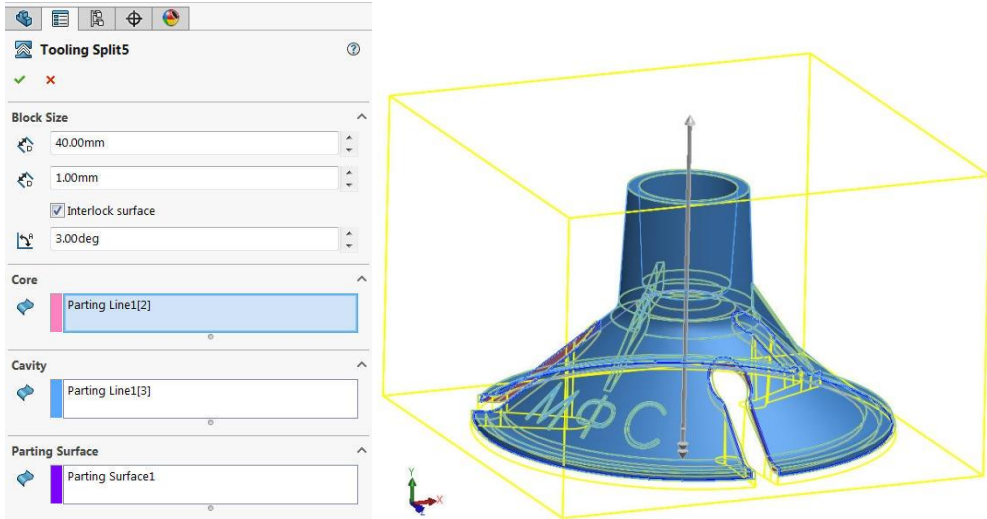
- 1) Селектирајте ја рамнината Plane 1,
- 2) Зададете агол на закосеност од  $0.5^\circ$ ,
- 3) Направете проверка на закосеност на бочните површини со наредбата Draft Analysis, прикажана во прозорецот лево,

4) Доколку пластичниот дел е моделиран во согласност со правилата за моделирање на делови од пластика, поделбената линија автоматски се генерира и се означува на моделот со сина здебелена линија.

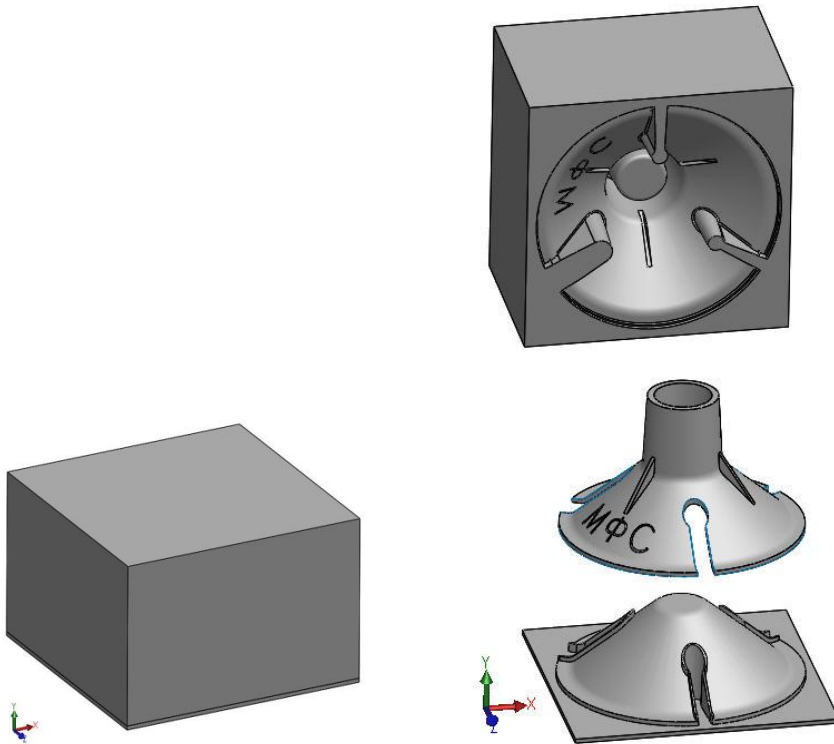
21. Со наредбата Parting Surface изработи поделбена површина. Ширината на поделбената површина треба да биде 0.5 mm.



22. Со наредбата Tooling Split изработи калапна шуплина. Селектирај ја скицата правоаголник со димензии 60x60 mm од точка со реден број 19 и подеси ги габаритните димензии на калапната шуплина од 40 mm и 1 mm.



23. Калапната шуплина е прикажана на сликата.



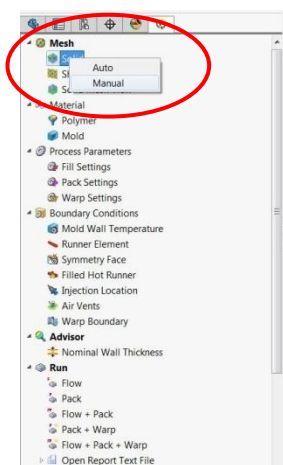
Напомена: Калапната шуплина се изработува на CNC (компјутерски управувана машина) глодалка со обработка со режење и се изработуваат водилици, канали за ладење и греење, канали за одведување воздух, итн.

24. Пластичниот дел „држач за балон“ ќе биде искористен за да се направи анализа на процесот на вбригање и да се провери геометријата на делот. Можни се проблеми при изработката на пластичниот дел кои можат да настанат во процесот на вбригање. Доколку има проблеми со геометријата таа треба да се коригира во процесот на дизајн на производот. Секоја корекција во производството доведува до дополнителни трошоци.

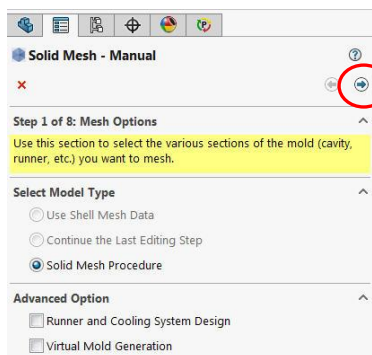
Стартувајте ја алатката за симулирање на процесот на вбригање и преку опцијата Tool > Add-Ins > селектирајте SOLIDWORKS Plastics.

Подесете ги мерните единици MMGS (милиметри, грам, секунди).

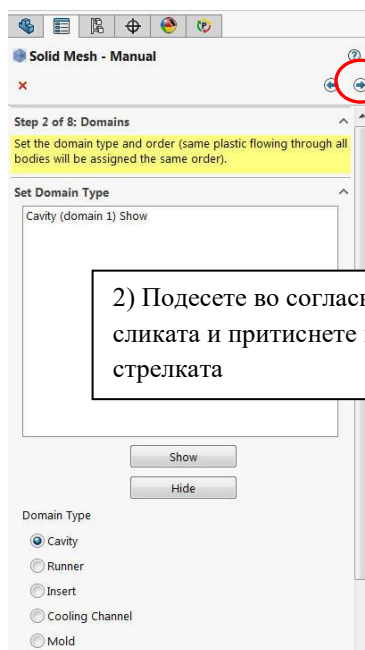
Креирајте мрежа со десен клик на наредбата Solid и изберете Manual, како на сликата. За да ја креирате мрежата, следете ги чекорите неопходни за креирање мрежа.

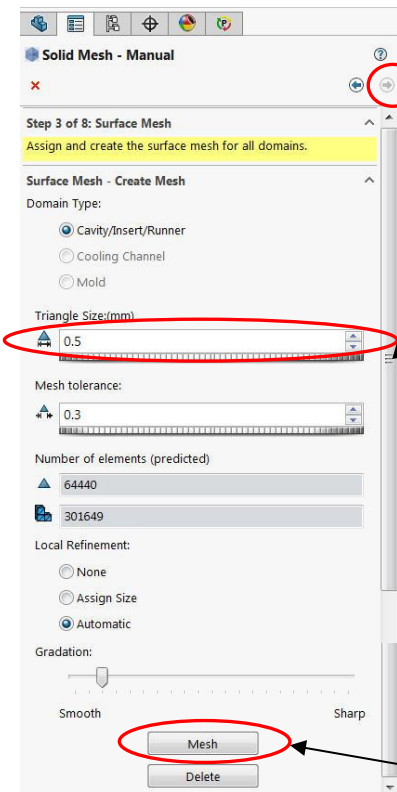


1) Подесете во согласност со сликата и притиснете на стрелката



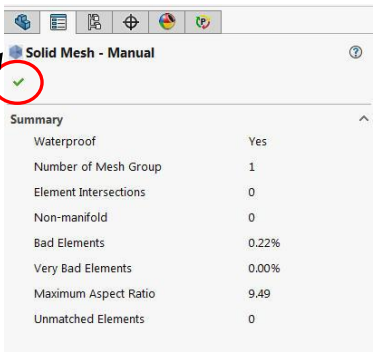
2) Подесете во согласност со сликата и притиснете на стрелката



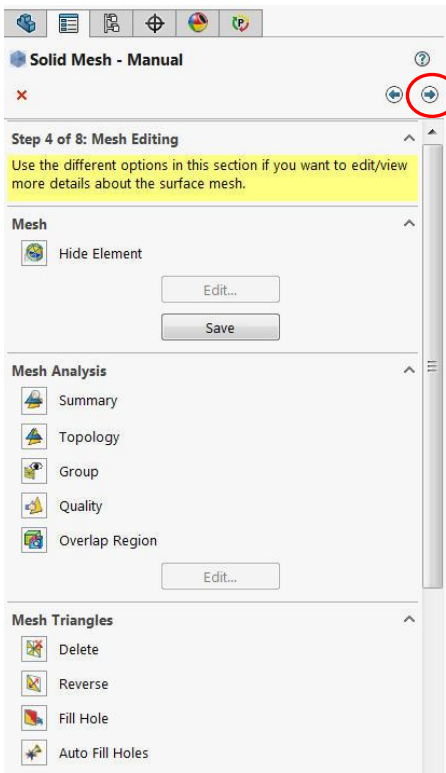


4) Притиснете на стрелката

5) Притиснете ОК

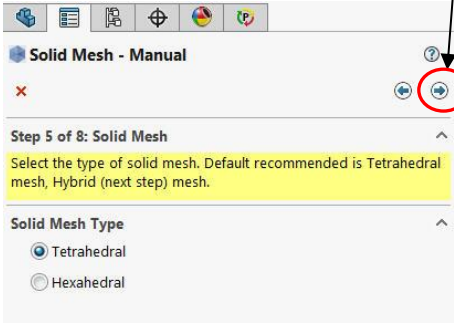


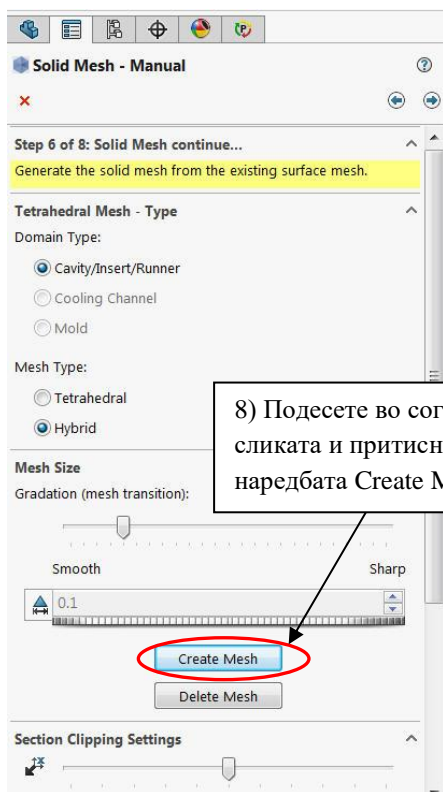
3) Подесете во согласност со сликата и притиснете на наредбата Mesh



6) Притиснете на стрелката

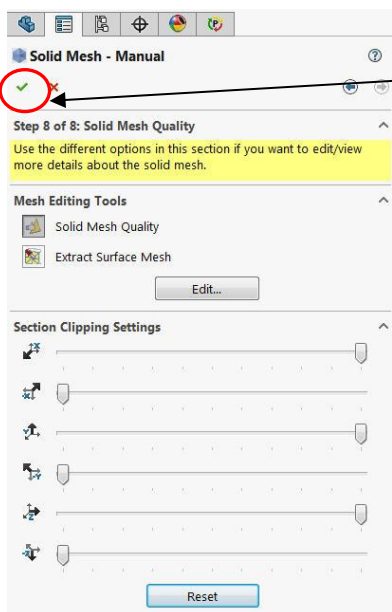
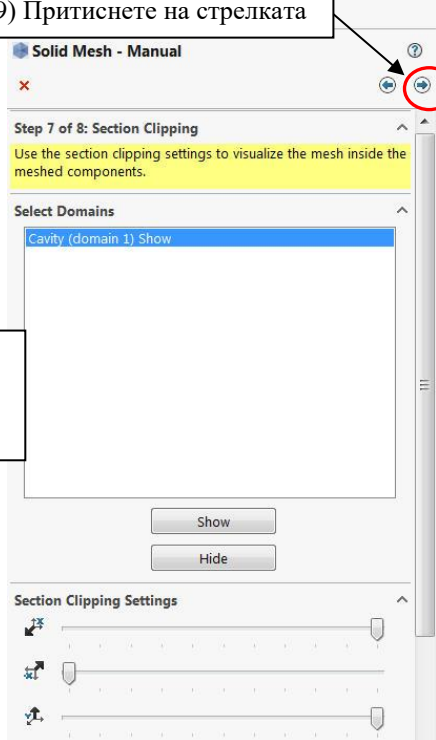
7) Подесете во согласност со сликата и притиснете на стрелката





8) Подесете во согласност со сликата и притиснете на наредбата Create Mesh

9) Притиснете на стрелката

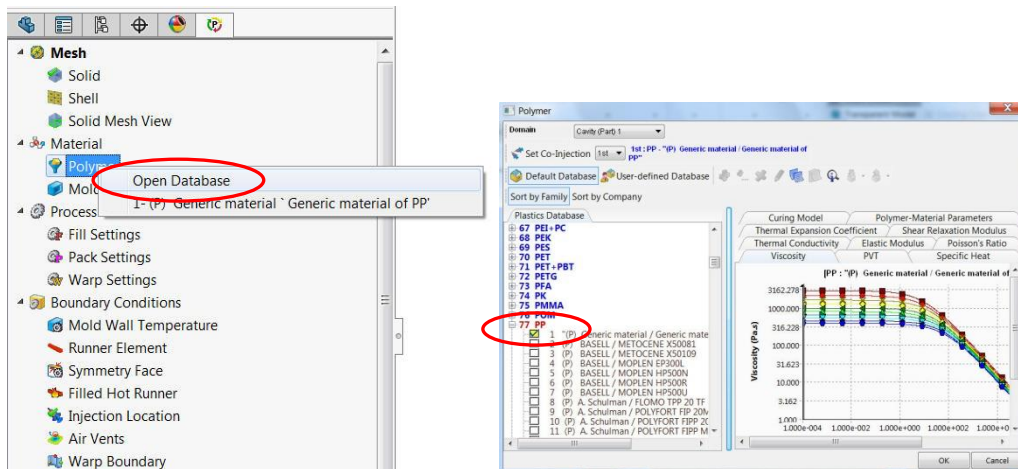


10) Притиснете ОК

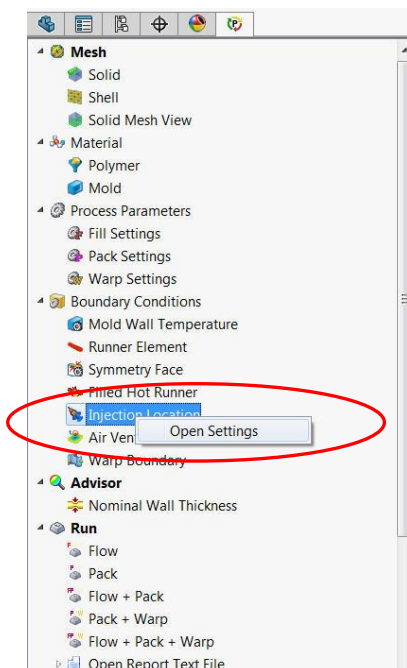




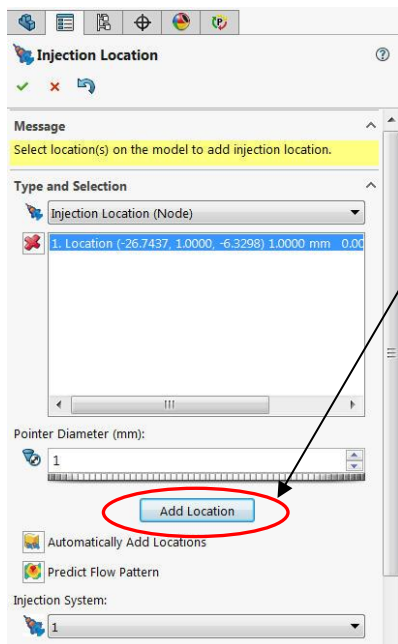
25. Избери материјал од базата на материјали. Со десен клик на Polymer избери Open Database, во новоотворениот прозорец најдете го материјалот полипропилен (PP).



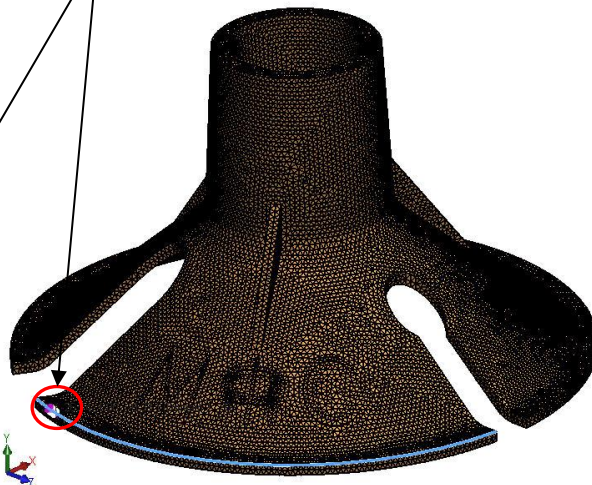
26. Поставување вливна дизна (Gate). Со десен клик на Injection Location > кликнете на опцијата Open Settings.



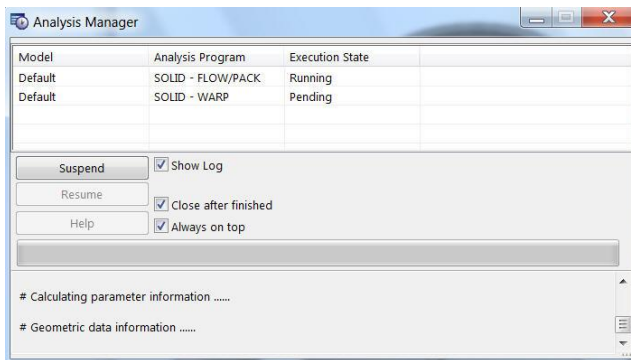
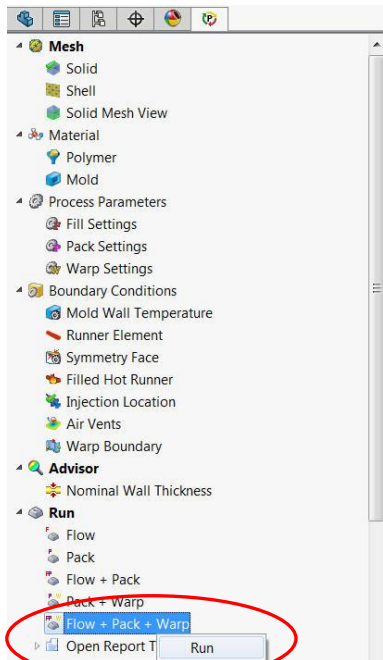




Поставете вливна диза, притиснете на наредбата Add Location и притиснете ОК

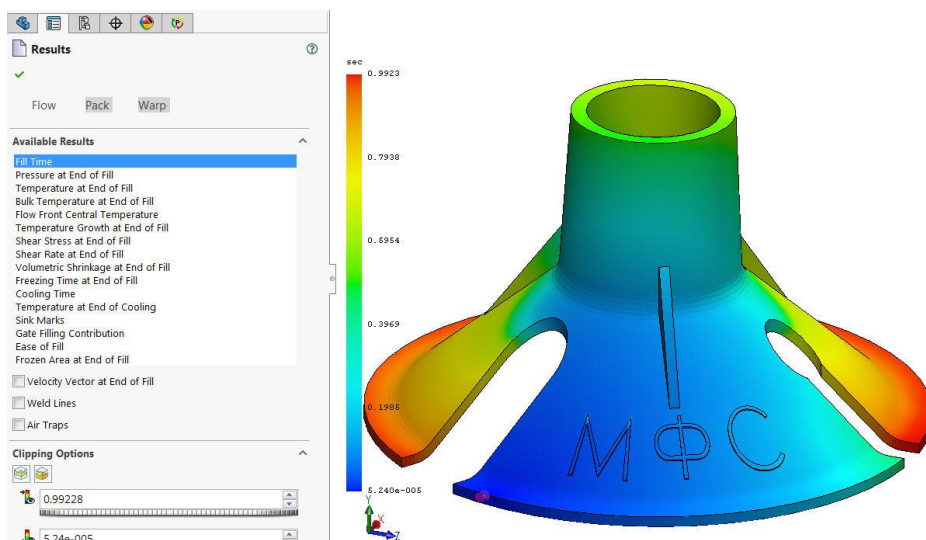


27. Активирајте ја наредбата Run со десен клик на опцијата Flow + Pack + Warp.



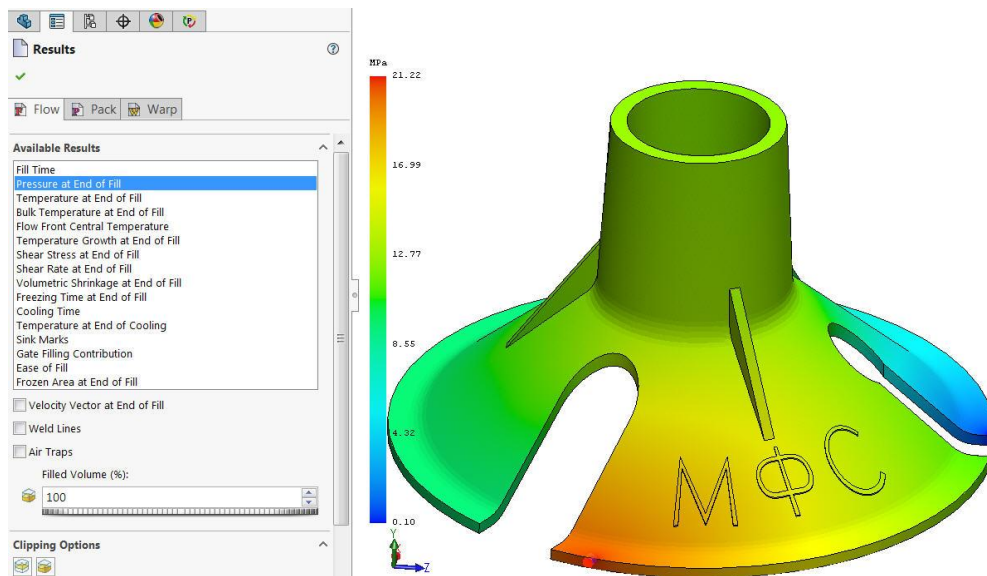
## 28. Резултати.

- Проверка на пополнување на калапната шуплина и времето на пополнување.



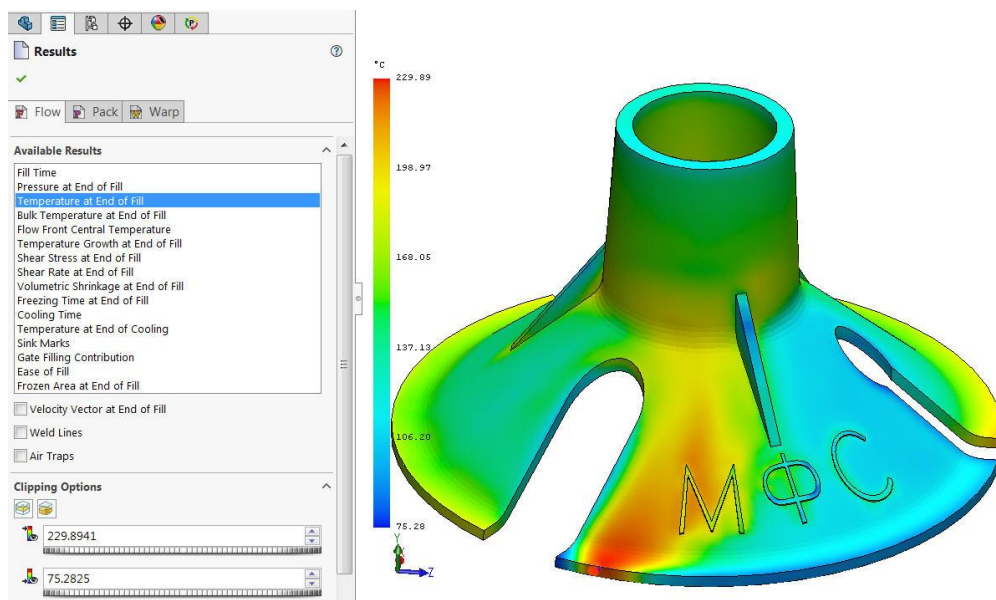
Калапната шуплина се пополнува целосно и времето на пополнување изнесува 0,9923 секунди.

- Пресметка на притисокот на крајот од исполнувањето на калапната шуплина. Овој податок е потребен за пресметка на силата потребна за затворање на калапната шуплина, со цел да не се отвори алатот при вбригањето.



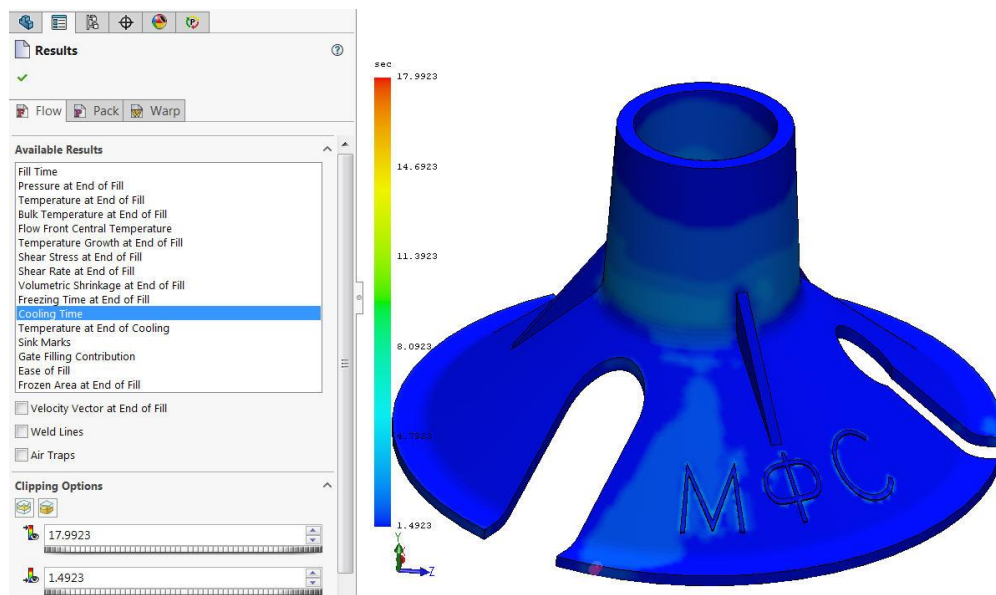
Максималниот притисок на крајот од исполнувањето на калапната шуплина изнесува 21,22 МПа.

- Пресметка на температурата на крајот од исполнувањето на калапната шуплина.



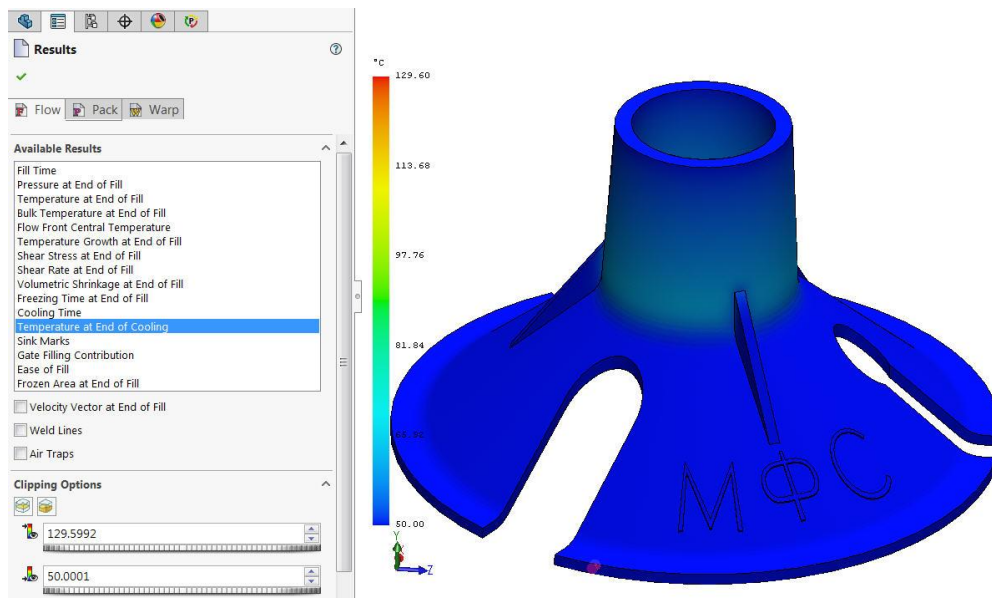
Максималната температура на крајот од исполнувањето на калапната шуплина изнесува 229,89°C.

- Пресметка на времето потребно за ладење на пластичниот дел.



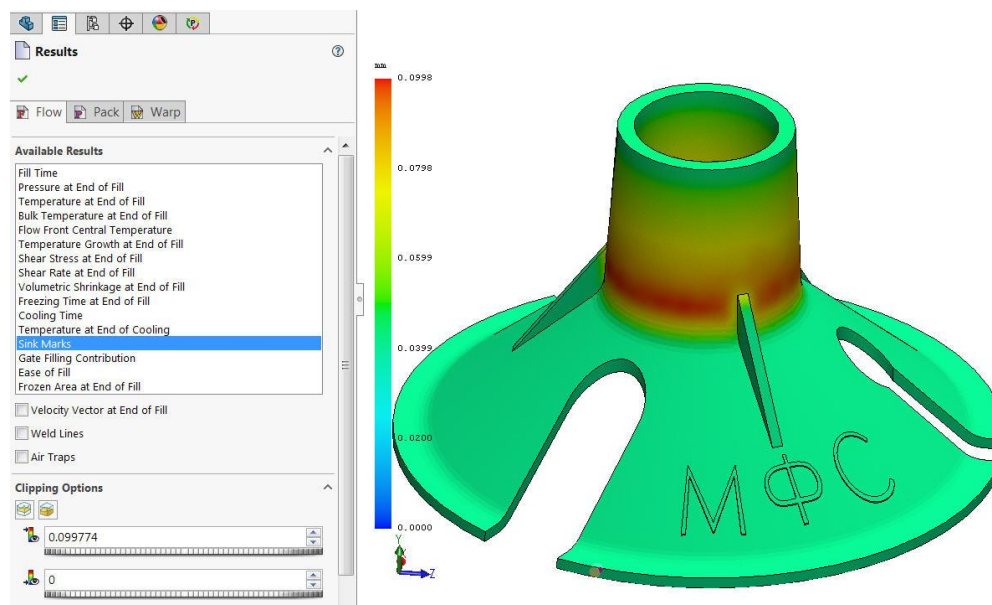
Времето потребно за ладење на делот изнесува 18 секунди.

➤ Пресметка на температурата на крајот од ладењето на пластичниот дел.



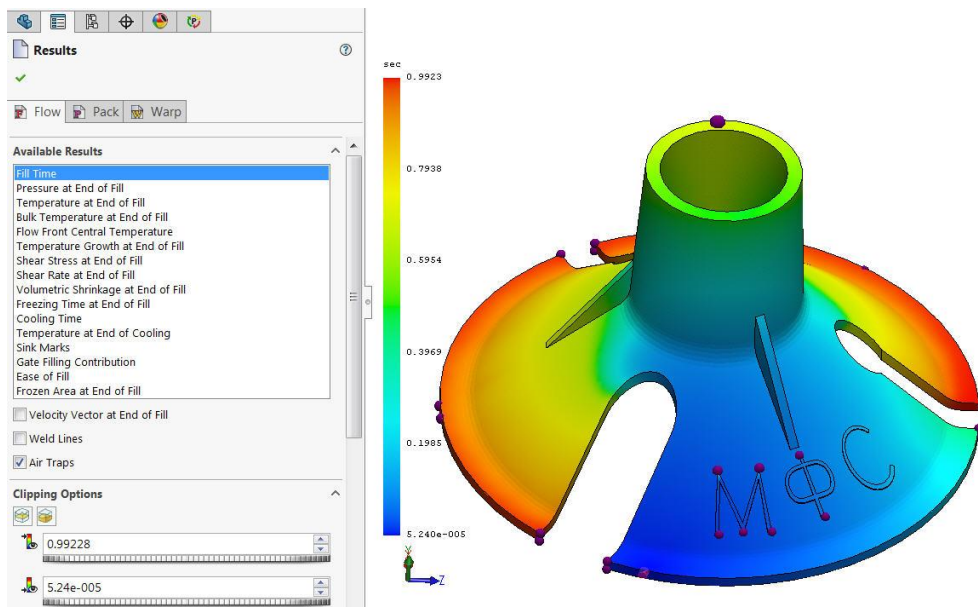
Максималната температура на крајот од ладењето на пластичниот дел изнесува 129,6°C.

➤ Пресметка на траги на пропаѓање на пластичниот дел.

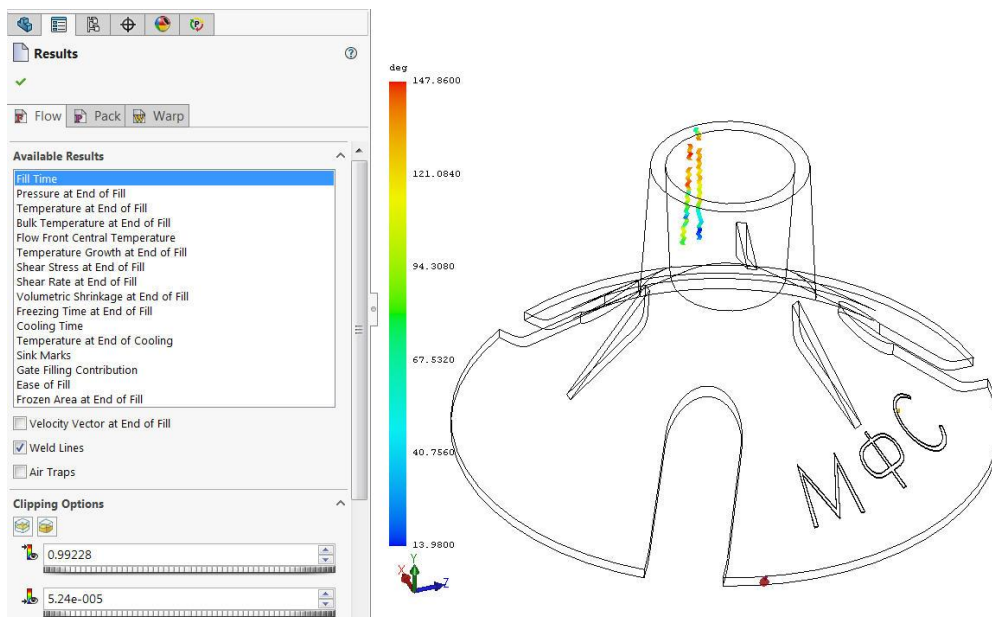


Максималното пропаѓање на пластичниот дел се наоѓа во коренот на цилиндричниот дел и изнесува 0,0998 мм, што е незначително.

- Определување места каде што е можна појава на заробен воздух.

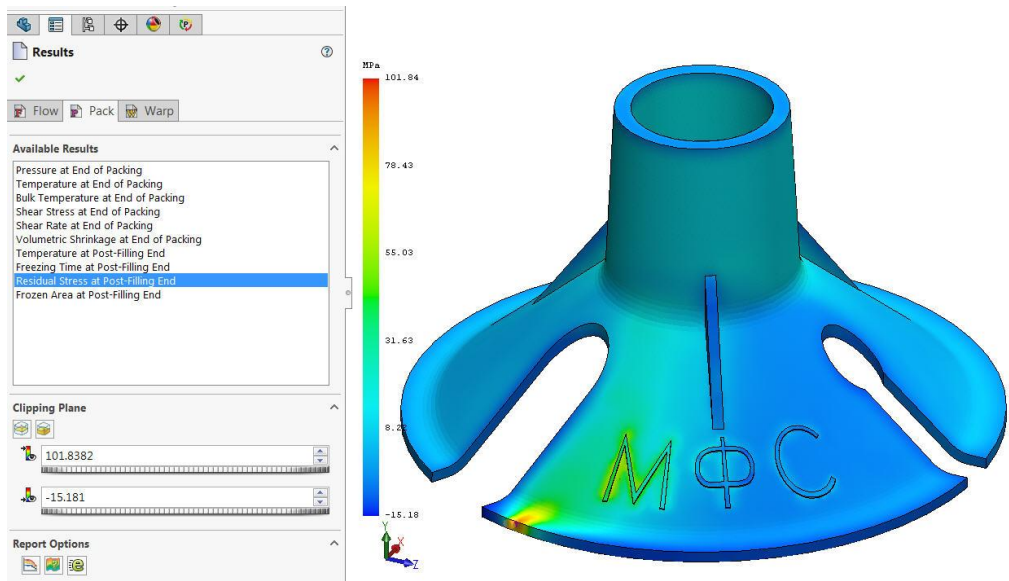


- Определување линии на судир (линии на завар).



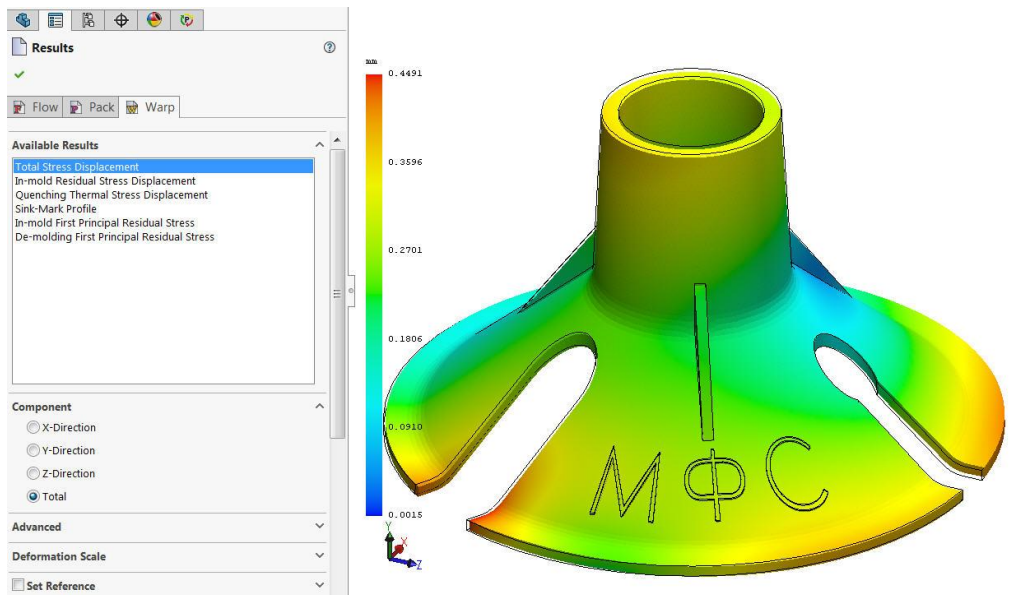


➤ Пресметка на заостанати напони во материјалот на пластичниот дел.



Максималниот заостанат напон изнесува 101,84 МПа и се наоѓа кај вливната порта. Треба да избегнуваме појава на големи заостанати напони на места кои се оптоварени и имаат во тој сегмент голема деформација. Ова може да се избегне во фазата на дизајн на пластичниот дел.

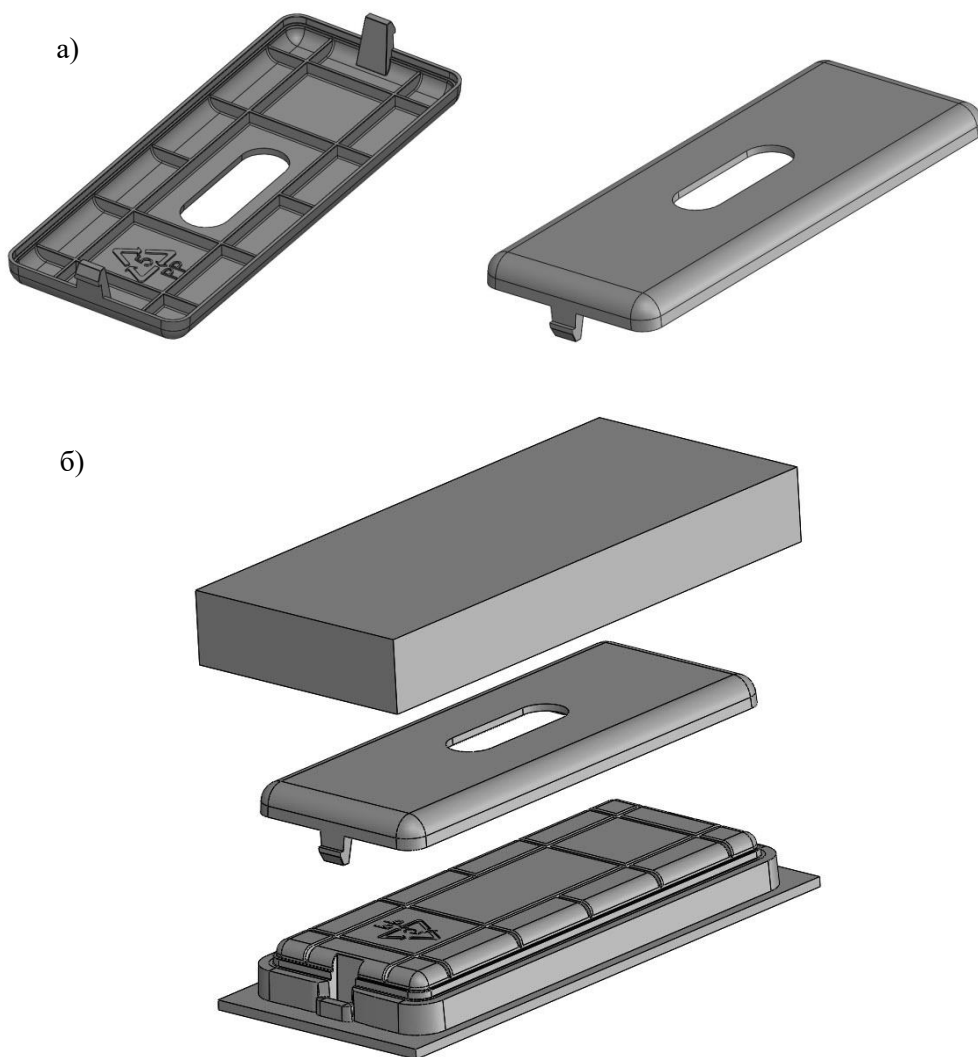
➤ Пресметка на деформацијата после ладењето на пластичниот дел.



Максималната деформација изнесува 0,4491 мм. Оваа деформација не влијае на функционалноста на пластичниот дел и е занемарлива.

## 12.2. Пример 2: Моделирање пластично капаче, изработка на калапна шуплина и анализа на пластичниот дел

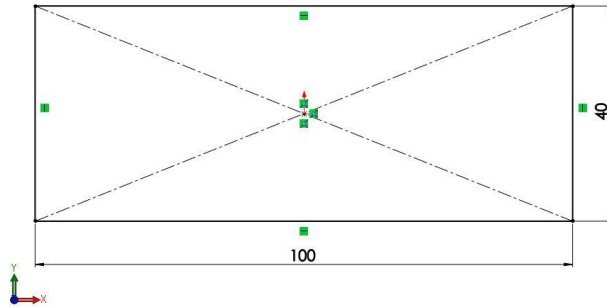
Задачата е правилно да се моделира пластично капаче кое многу ретко се отвора и влегува во склоп со друг пластичен дел. Пластичното капаче е прикажано на слика 12.2. Во овој пример ќе се анализираат и отстранат сите недостатоци кои може да се пресметаат со помош на пресметка на јакоста со методот на конечни елементи и недостатоци кои се појавуваат во процесот на изработка. Пластичното капаче е изработено од ABS PC-пластика. При вадење на капачето треба да се употребува рачна сила и треба да се пресмета нејзиниот интензитет со помош на методот на конечни елементи.



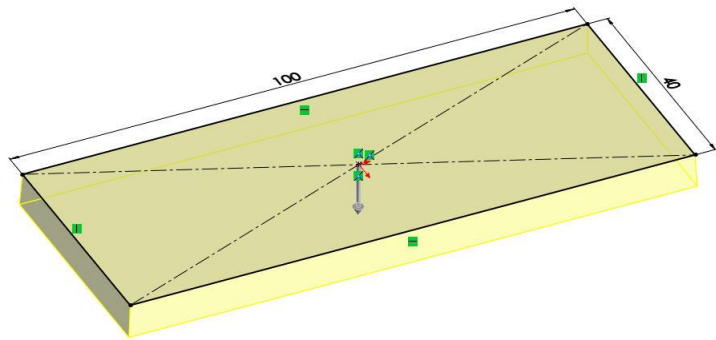
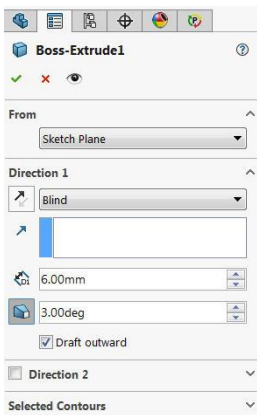
Слика 12.2 а) CAD-модел на пластично капаче, б) CAD-модел на калапна шуплина



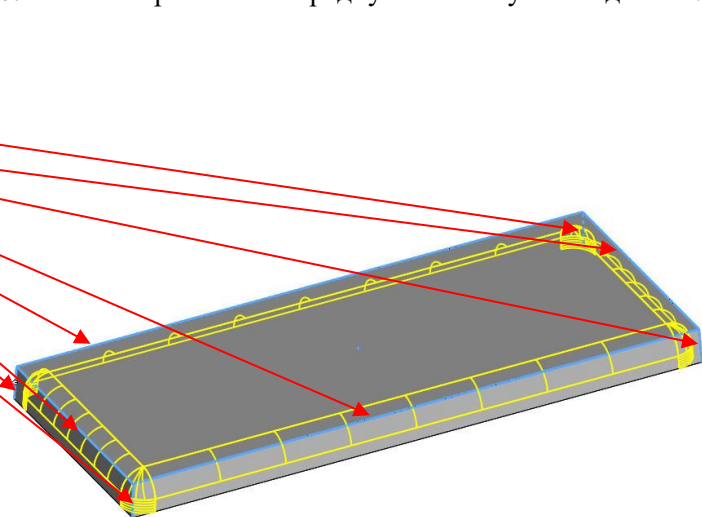
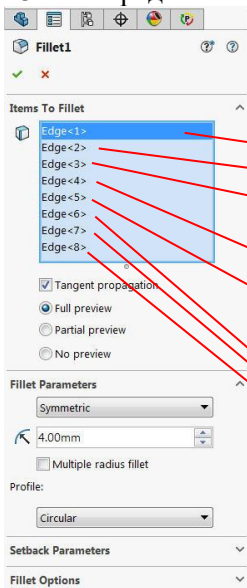
1. Отвори скица во рамнината Front Plane и скицирај правоаголник со димензии 100 x 40 mm, како на сликата.



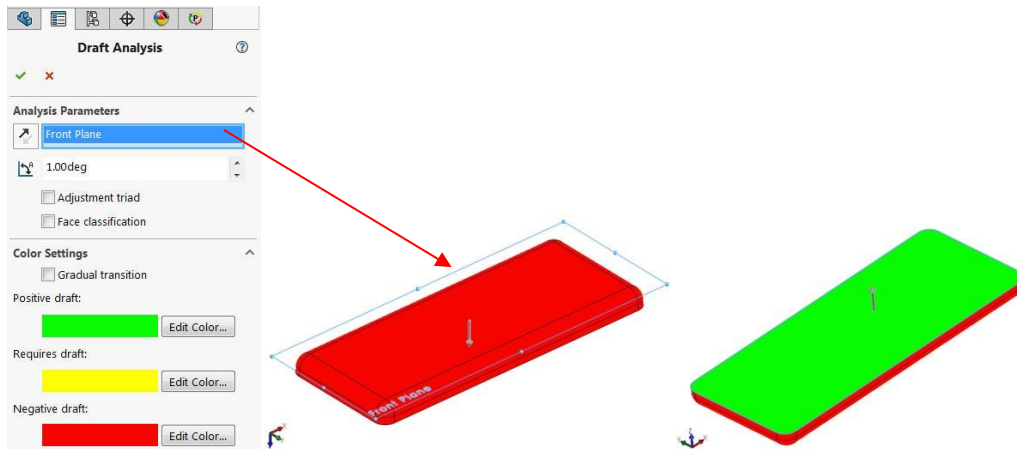
2. Со истегнување на скицата за 6 mm формирај тело со наредбата Extruded Boss/Base. Во самата наредба Extruded Boss/Base подеси закосување на бочните страници од 3°.



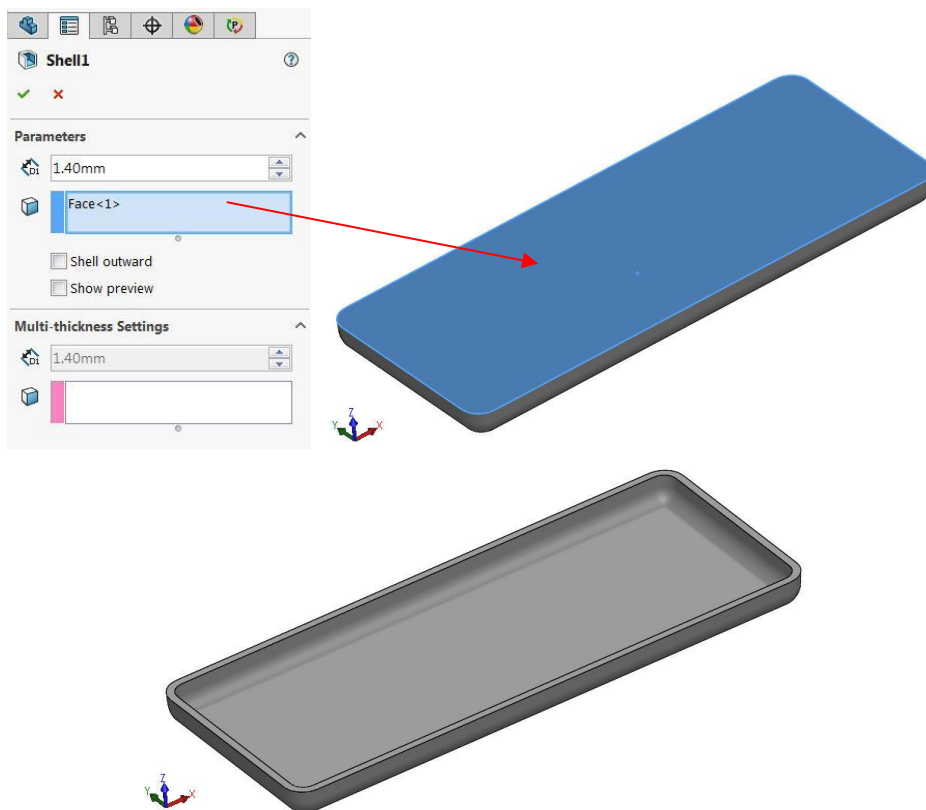
3. Со наредбата Fillet заобли ги рабовите со радиус на заоблување од 4 mm.



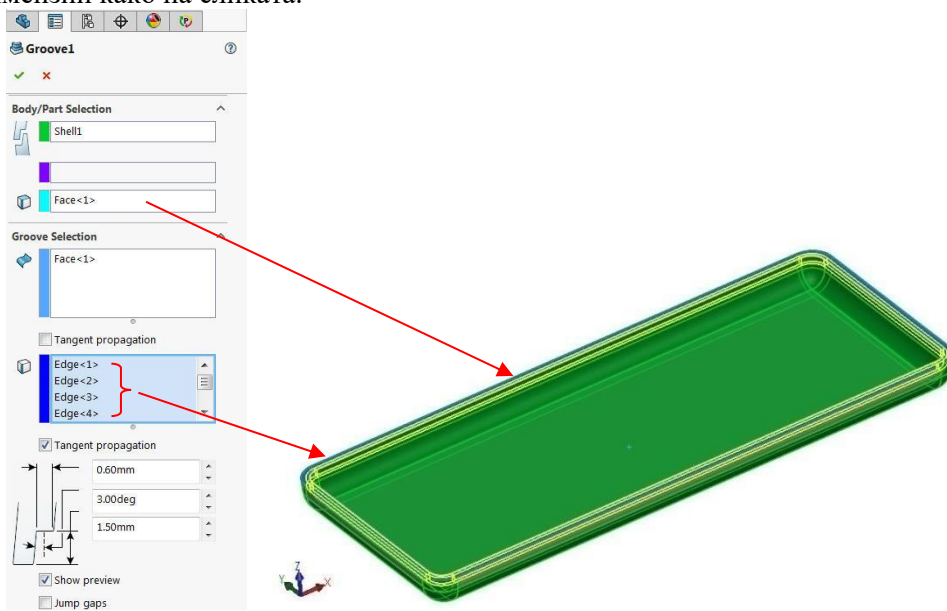
4. Направете анализа на закосеноста на бочните страници со помош на наредбата Draft Analysis во однос на рамнината Front Plane и поставете агол на закосеност над  $1^\circ$ . Сите површини со агол на закосеност над  $1^\circ$  се обоени со зелена или црвена боја во зависност од насоката и сите површини со агол на закосеност под  $1^\circ$  се обоени со жолта боја.



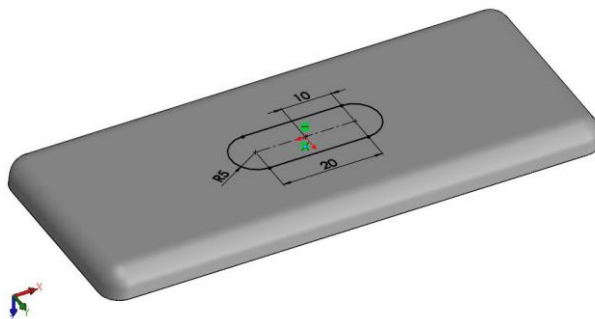
5. Изработете униформна дебелина на капачето со големина од 1.4 mm со наредбата Shell.



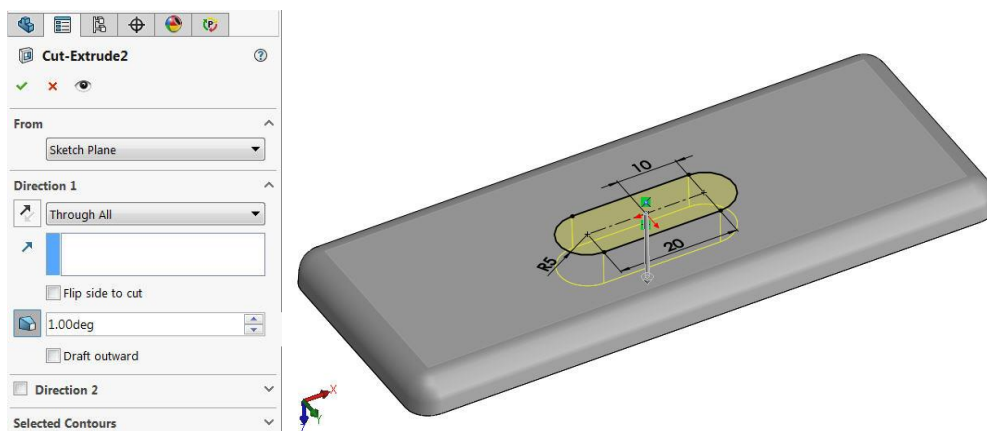
6. Изработка на жлеб за спојување на двата дела со наредбата Groove, со димензии како на сликата.



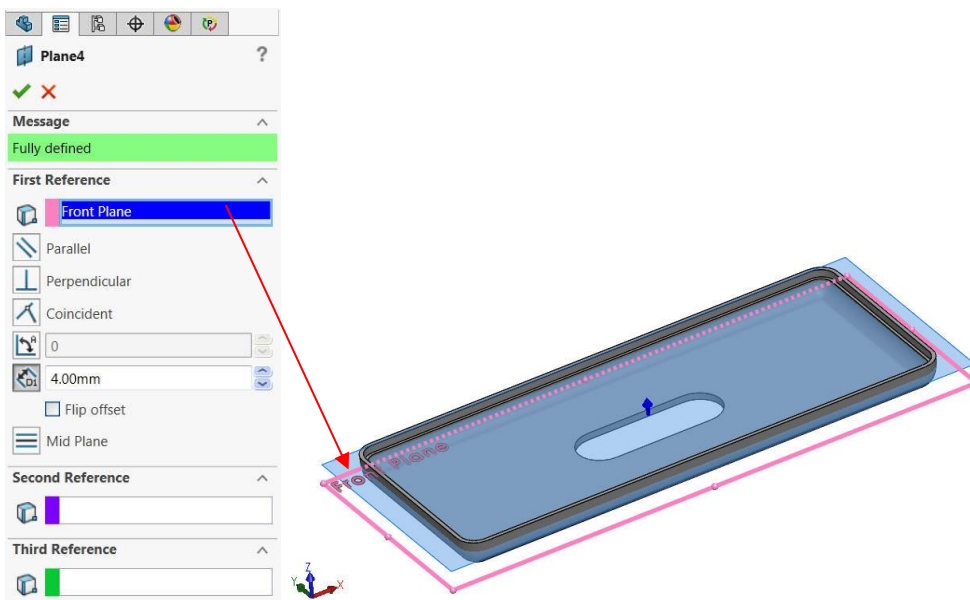
7. Отвори скица на рамнината од делот и направи скица со димензии како на сликата.



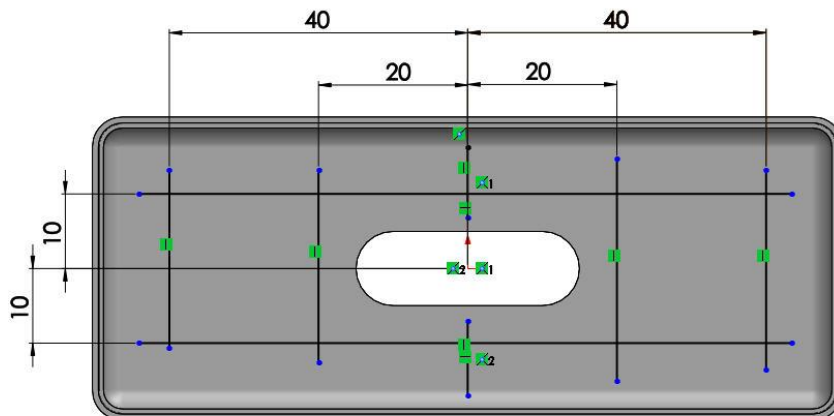
8. Со истегнување на скицата изработи отвор со наредбата Extruded Cut. Во самата наредба Extruded Cut подеси закосување на бочните страници од 1°.



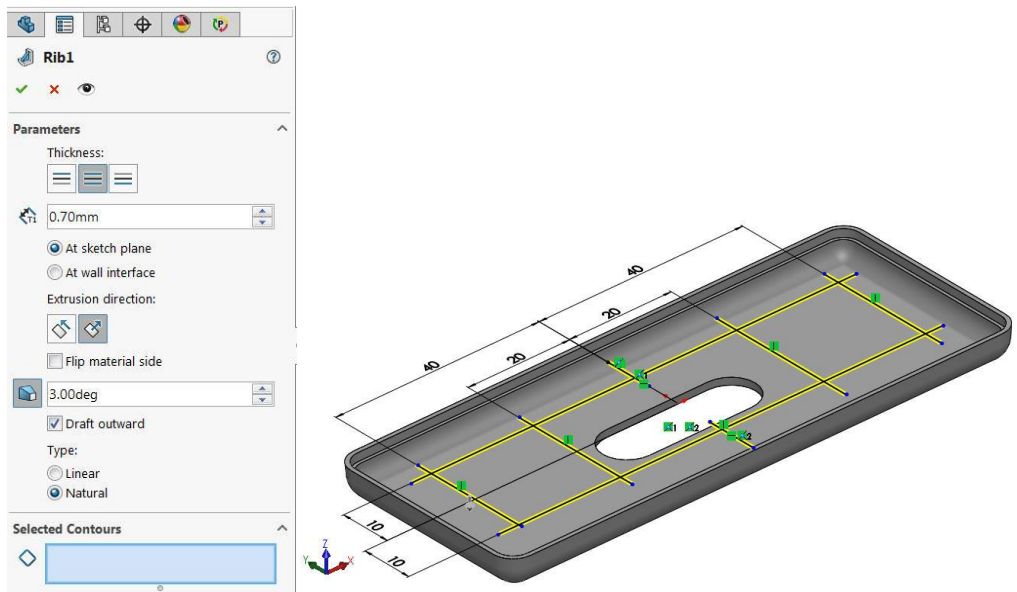
9. Поставете паралелна рамнина над рамнината Front Plane на растојание од 4 mm.



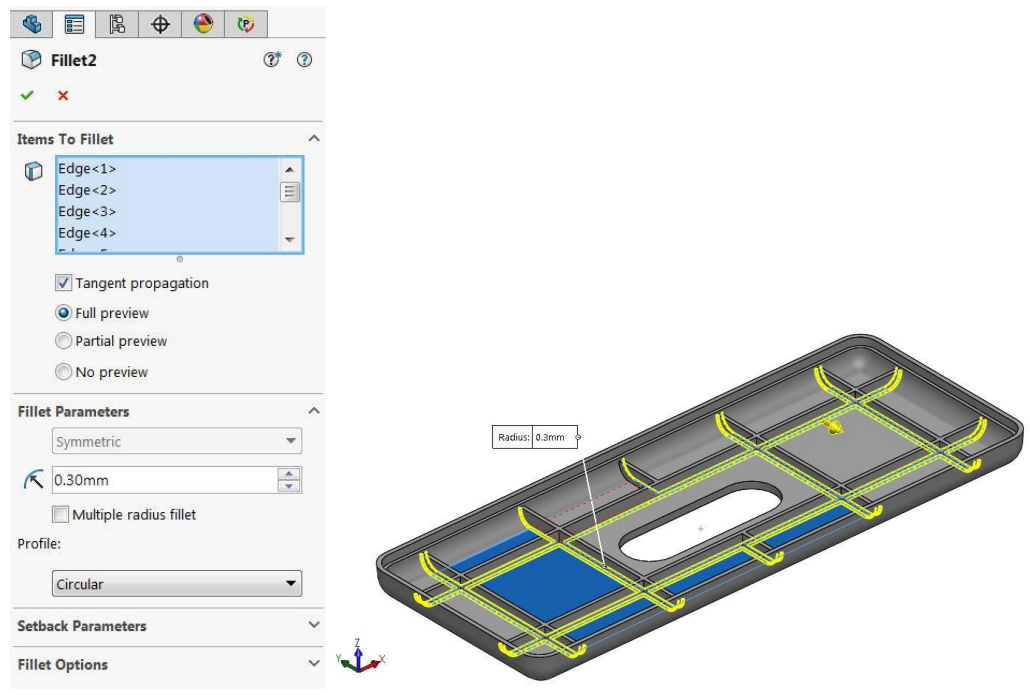
10. Во новата рамнина поставена во точката 9 отворете скица и скицирајте линии со димензии како на сликата.



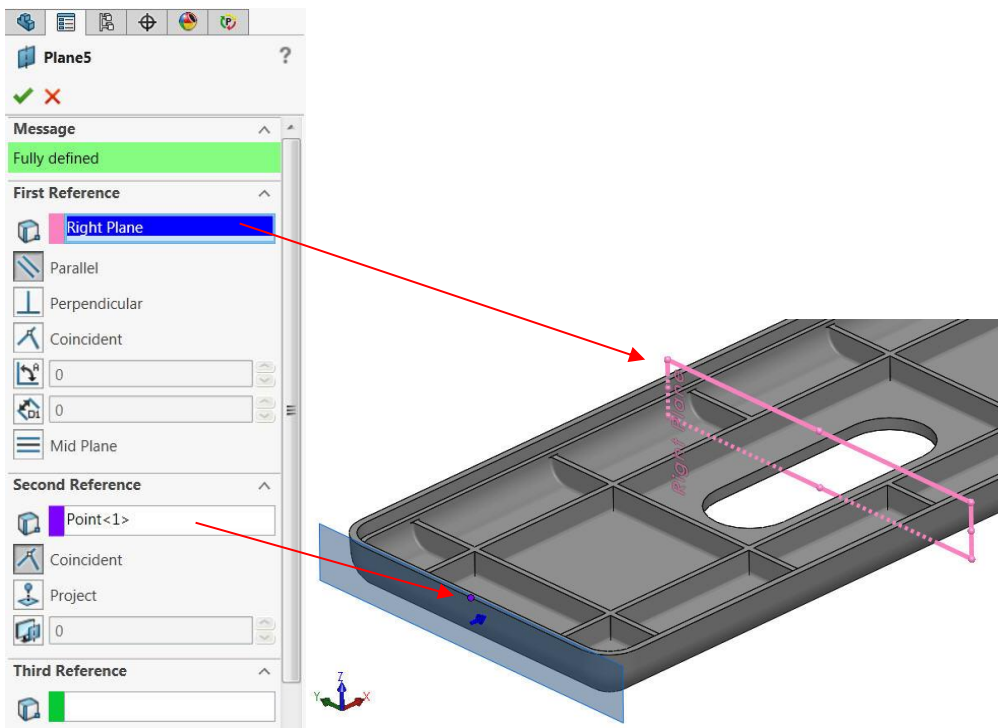
11. Изработете ребра со дебелина од 0.7 mm и агол на закосување од 3° со помош на наредбата Rib.



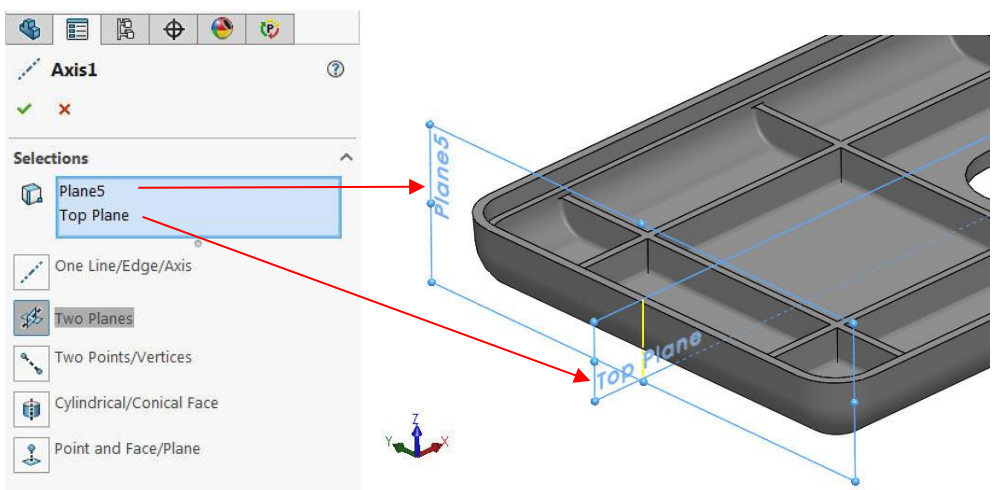
12. Изработете заоблувања на рабовите во коренот на ребрата со помош на наредбата Fillet со радиус на заоблување од 0.3 mm.



13. Поставете паралелна рамнина на рамнината Right Plane која поминува низ крајната средишна точка, како на slikata.

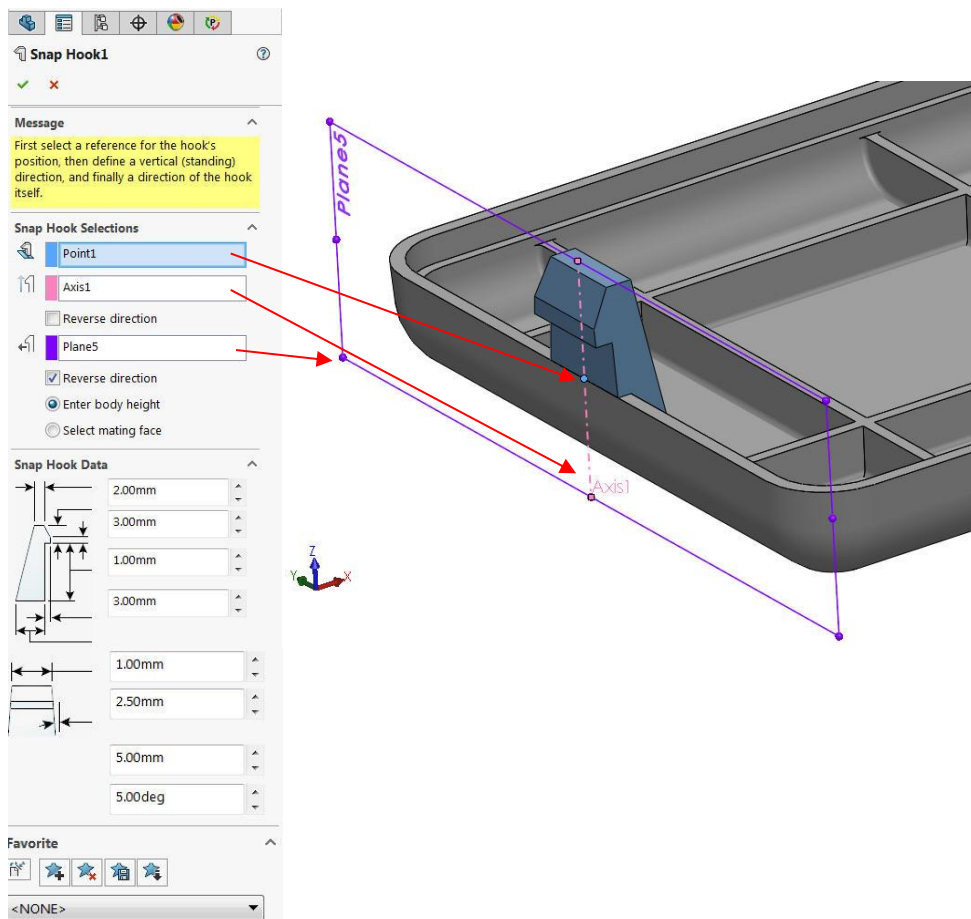


14. Поставете oska koja e presек помеѓу рамнината Top Plane и рамнината поставена во претходната точка 13, како на slikata.

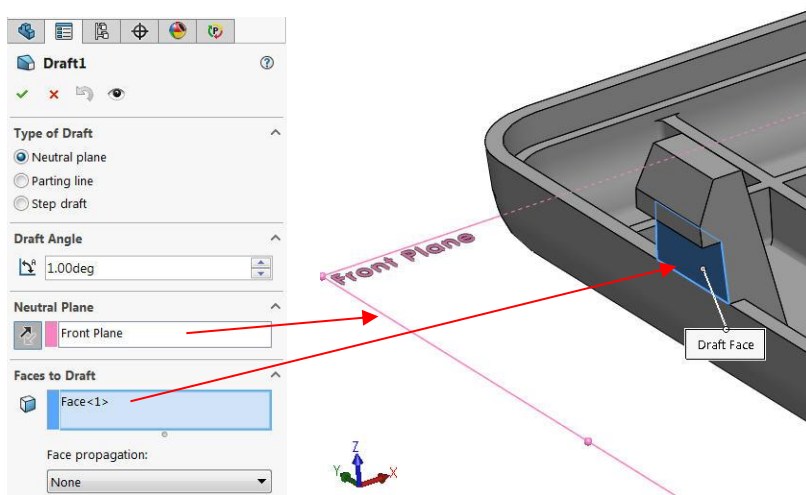




15. Изработете кука со димензии во согласност со сликата. Куката ќе послужи за прицврстување на пластичното капаче во склопот.

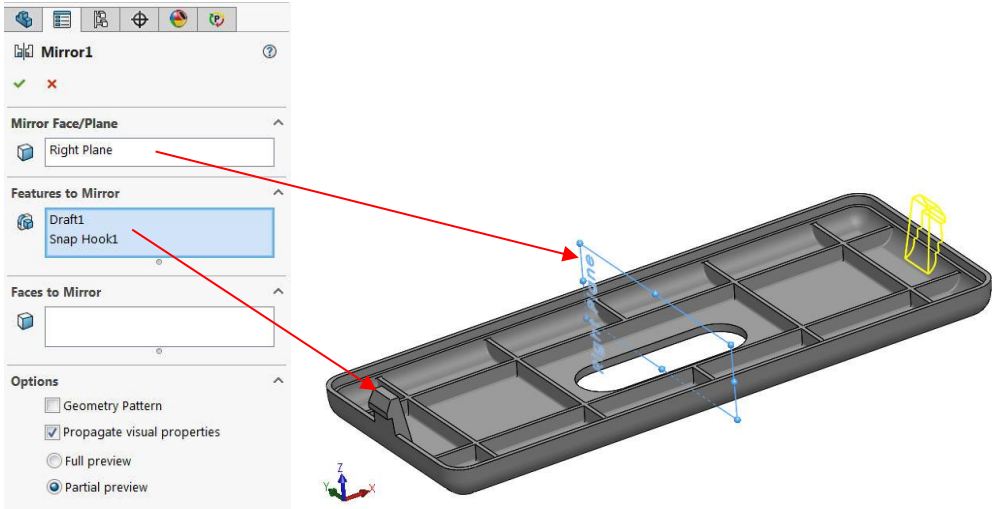


16. Изработете закосување од 1° со наредбата Draft на внатрешната страна на куката, како на сликата.

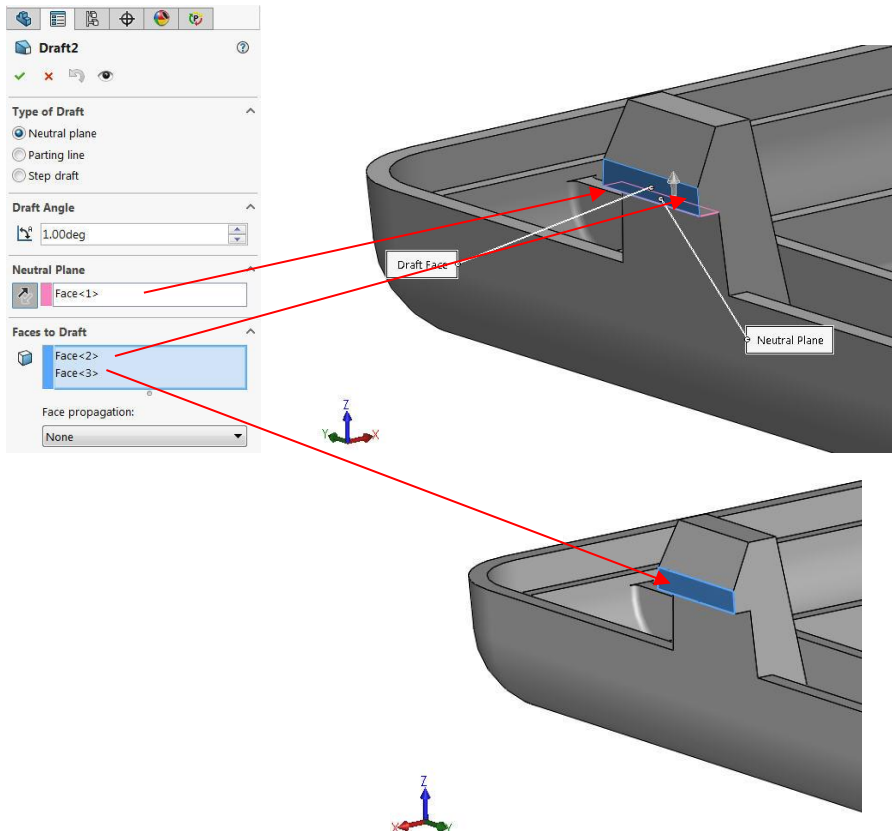




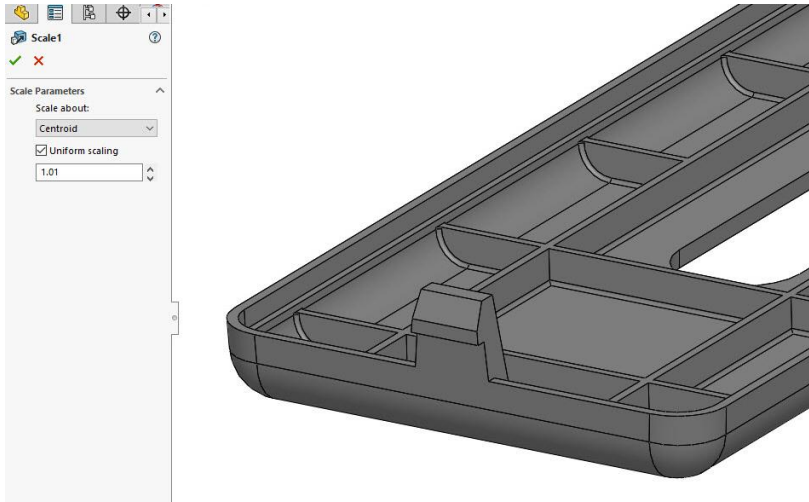
17. Со наредбата Mirror копирајте ја куката и закосувањето на внатрешниот дел од куката од другата страна на пластичното капаче во однос на рамнината Right Plane.



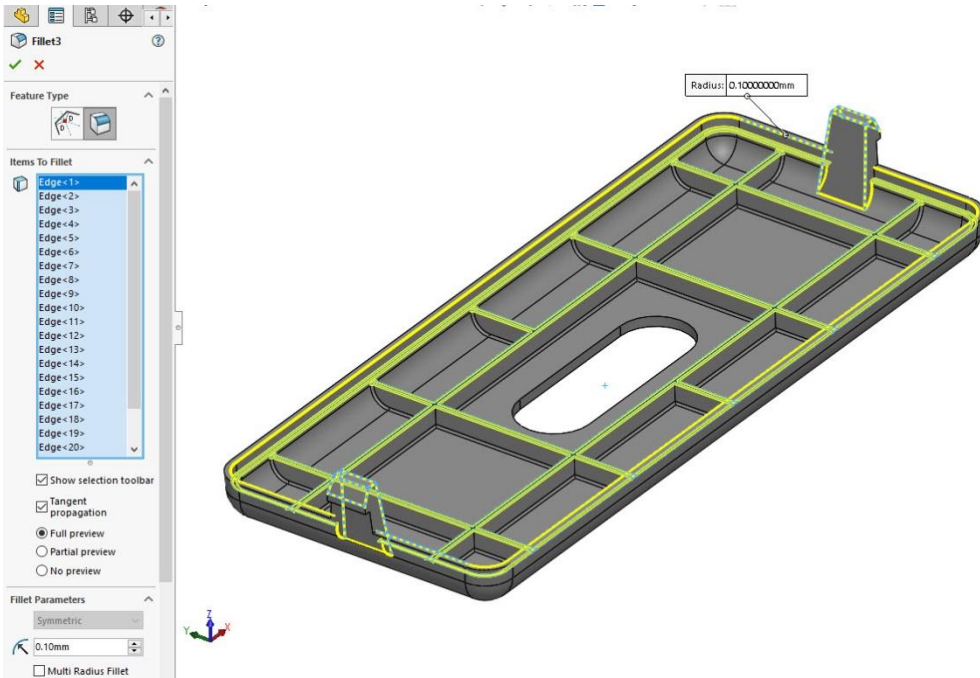
18. Изработете закосување од 1° со наредбата Draft на бочната површина од забедот на куката, како на сликата.



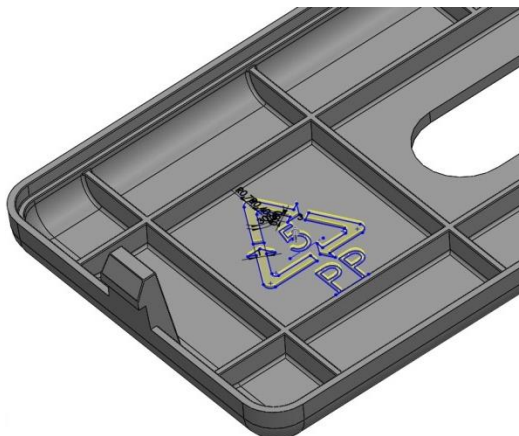
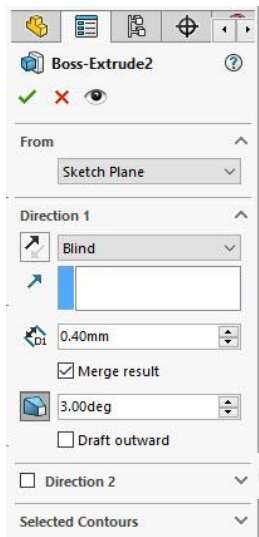
19. Со наредбата Scale која се наоѓа во менито Insert > Features, зголеми ја геометријата на делот за процентот на собирање на пластиката. Во овој случај ќе ја зголемиме геометријата за 1 %.



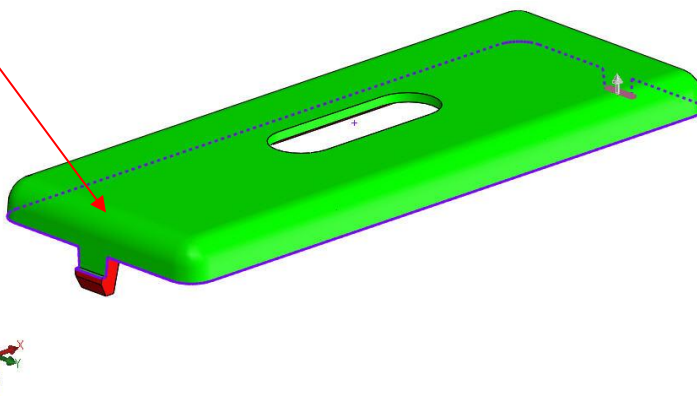
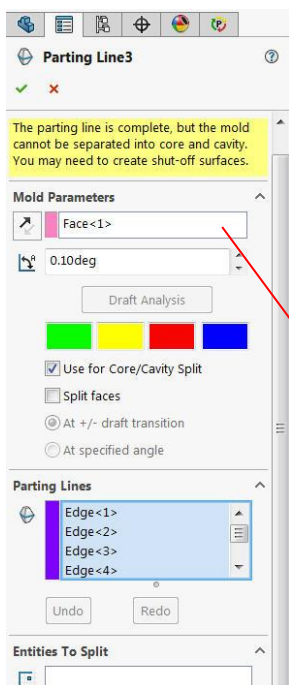
20. Потребно е да се постават заоблувања (fillet) со големина 0,1 mm на секој раб, освен на работ каде што се поставува поделбената линија, односно поделбената рамнина. Заоблените рабови не се важни за алатот од CNC глодалката, и онака алатот ќе ги изработи, но важни се за анализата на напони.



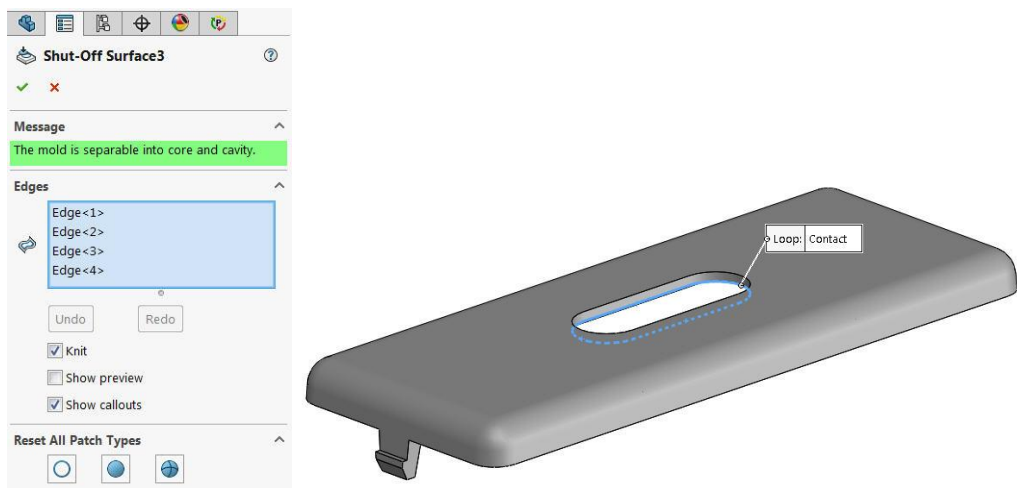
21. На крајот од моделирањето се додава знакот за рециклирање и ознака за типот на пластиката од внатрешната страна на делот со помош на цртање на скицата и екструдирање (Extrude) со мала димензија, во случајов за 0,4 mm и користење на закосување на бочните страници на ознаката со наредбата Draft од 3° во самата наредба Extrude.



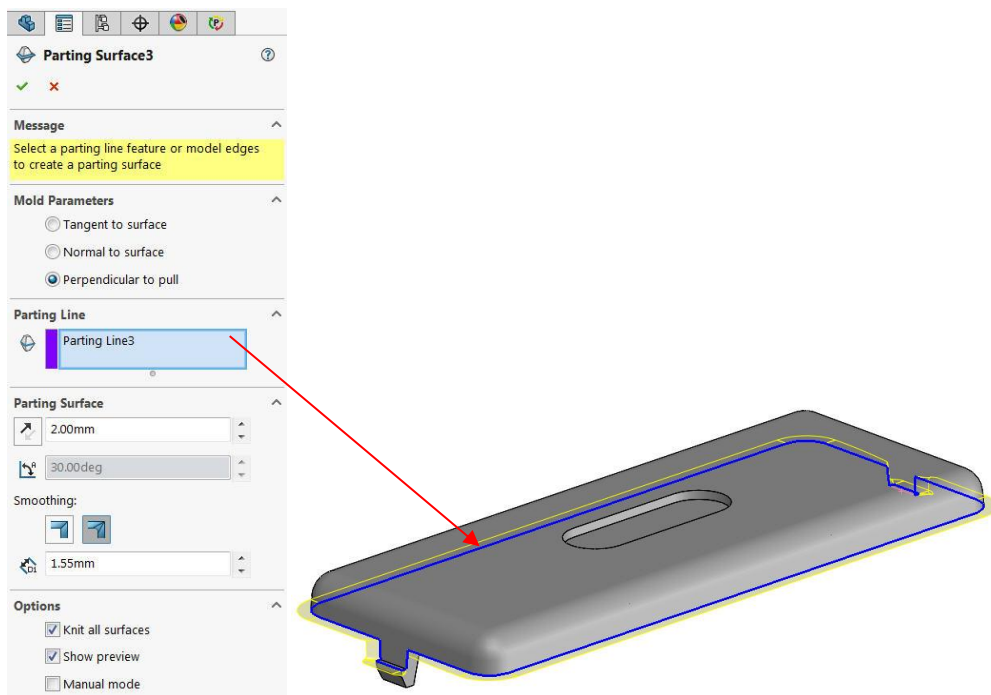
22. Со наредбата Parting Line изработи поделбена линија. Во овој случај поделбената линија е сложена просторна 3Д линија.



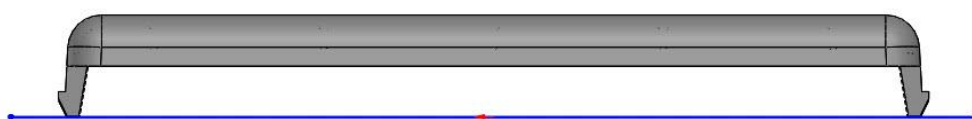
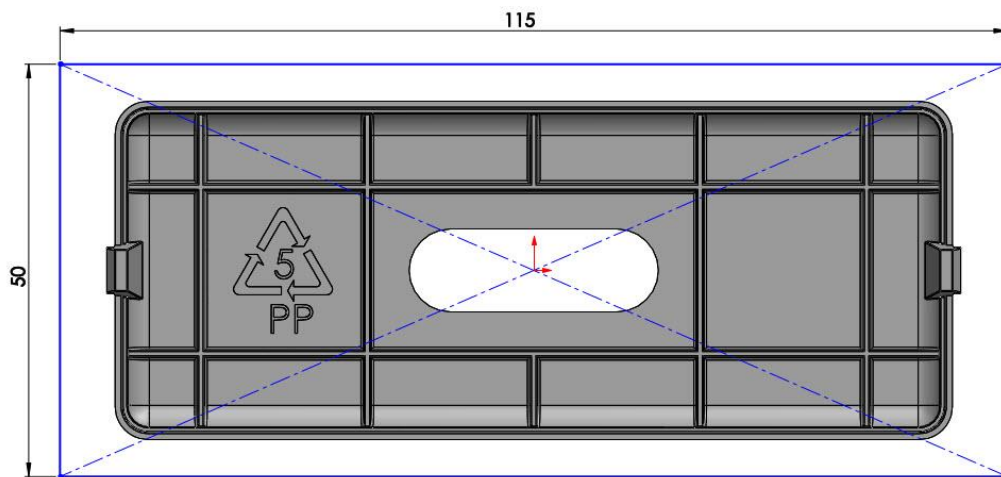
23. Со наредбата Shut-Off Surface изработи површина која го затвора отворот и претставува виртуелна граница на допир помеѓу двата дела од калапот.



24. Со наредбата Parting Surface изработи поделбена површина. Ширината на поделбената површина треба да биде 2 mm.

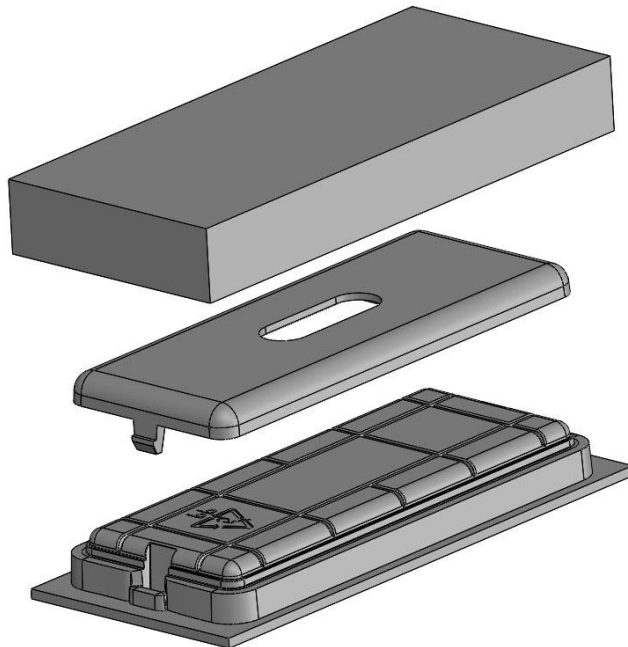
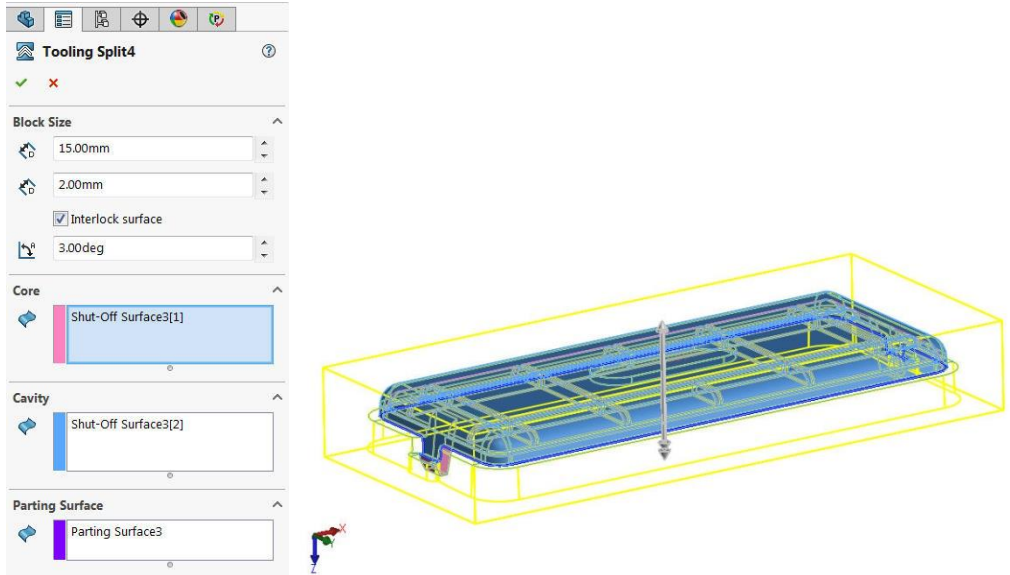


25. Скицирајте правоаголник со димензии 115 x 50 mm кој лежи во рамнината на врвот од куката. Со помош на овој правоаголник ќе се дефинираат надворешните димензии на калапот.



Рамнина која лежи на површинката од врвот на куката.

26. Со наредбата Tooling Split изработи калапна шуплина. Селектирај ја скицата правоаголник со димензии 115 x 50 mm од точка со реден број 22 и подеси ги габаритните димензии на калапната шуплина од 15 mm и 2 mm.

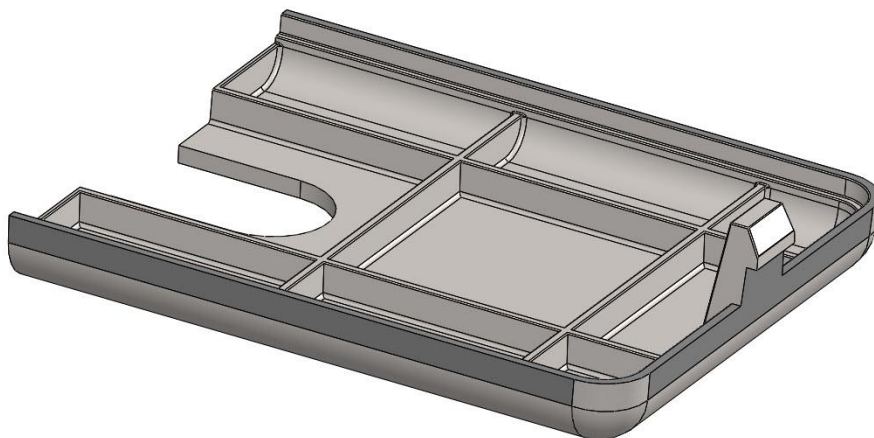


Напомена: Калапната шуплина се изработува на CNC (компјутерски управувана машина) глодалка со обработка со режење и се изработуваат водилници, канали за ладење и греење, канали за одведување воздух, итн.



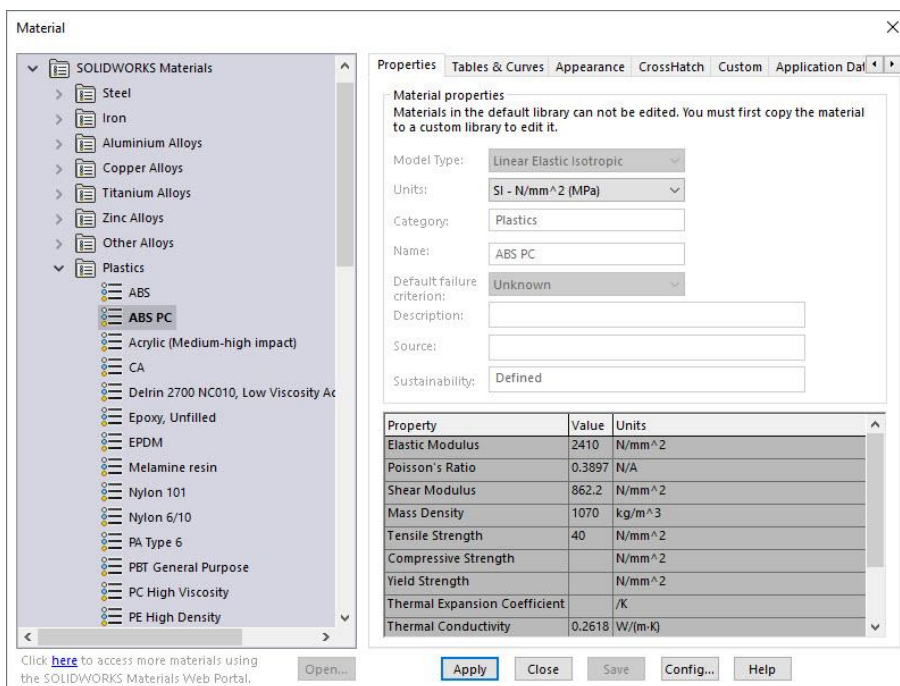
27. Пресметка на силата потребна за отворање на куката и демонтажа на пластичното капаче.

Бидејќи делот е симетричен во однос на рамнината Right Plane ќе се анализира само едната половина од пластичното капаче.



Анализата ќе биде направена во модулот за пресметка на јакоста на делови во SolidWorks Simulation, кој ги пресметува напоните и деформациите на делот по методот на конечни елементи.

Пластичното капаче е изработено од ABS PC-пластика која може да се рециклира. Прво задаваме ABS PC-пластика на делот.



Material

SOLIDWORKS Materials

- Steel
- Iron
- Aluminium Alloys
- Copper Alloys
- Titanium Alloys
- Zinc Alloys
- Other Alloys
- Plastics
  - ABS
  - ABS PC**
  - Acrylic (Medium-high impact)
  - CA
  - Delrin 2700 NC010, Low Viscosity Ac
  - Epoxy, Unfilled
  - EPDM
  - Melamine resin
  - Nylon 101
  - Nylon 6/10
  - PA Type 6
  - PBT General Purpose
  - PC High Viscosity
  - PE High Density

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Data

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic

Units: SI - N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Category: Plastics

Name: ABS PC

Default failure criterion: Unknown

Description:

Source:

Sustainability: Defined

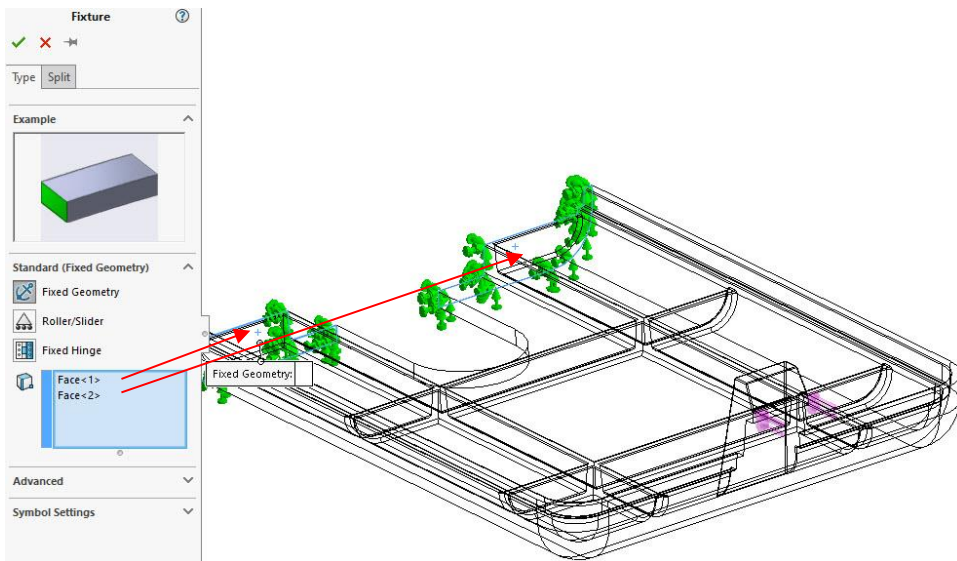
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2410	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3897	N/A
Shear Modulus	862.2	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	1070	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	40	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength		N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	0.2618	W/(m·K)

Click [here](#) to access more materials using the SOLIDWORKS Materials Web Portal.

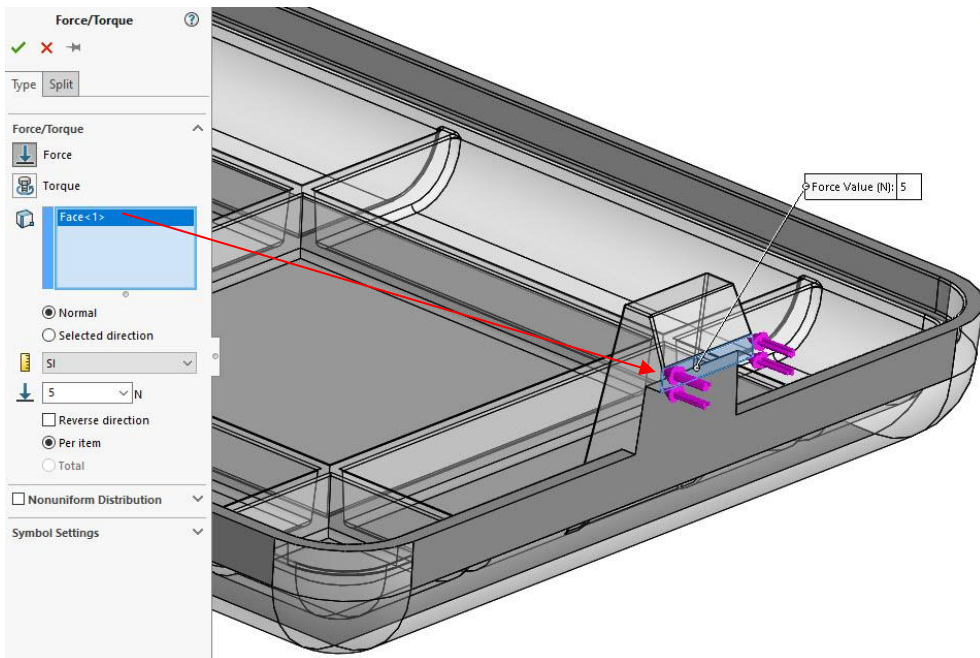
Open... Apply Close Save Config... Help



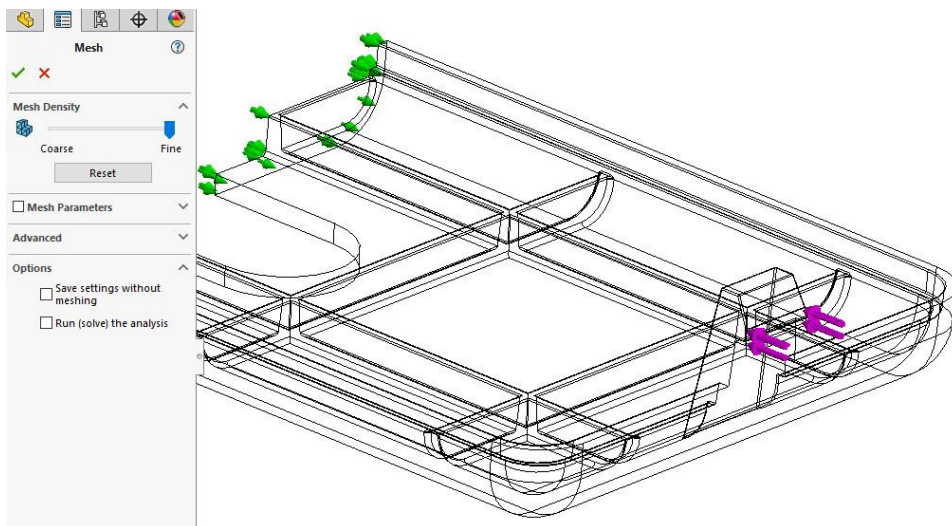
Поставуваме ограничување (прицврстување) на делот со фиксирање на геометријата со наредбата Fixed Geometry, како на сликата.



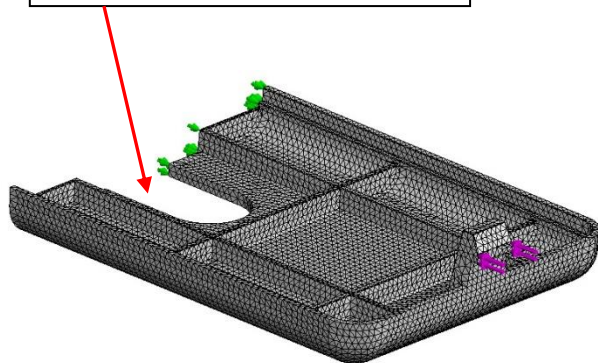
Задаваме сила од 5 N на куката која делува нормално на површината, во согласност со сликата.



Потоа се креира мрежа и се врши пресметка на напонската и деформационата состојба на пластичното капаче. Подеси ги параметрите на мрежата во согласност со сликата.



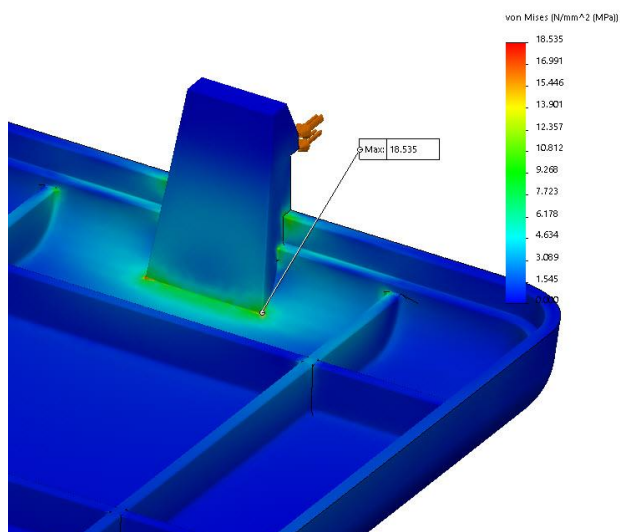
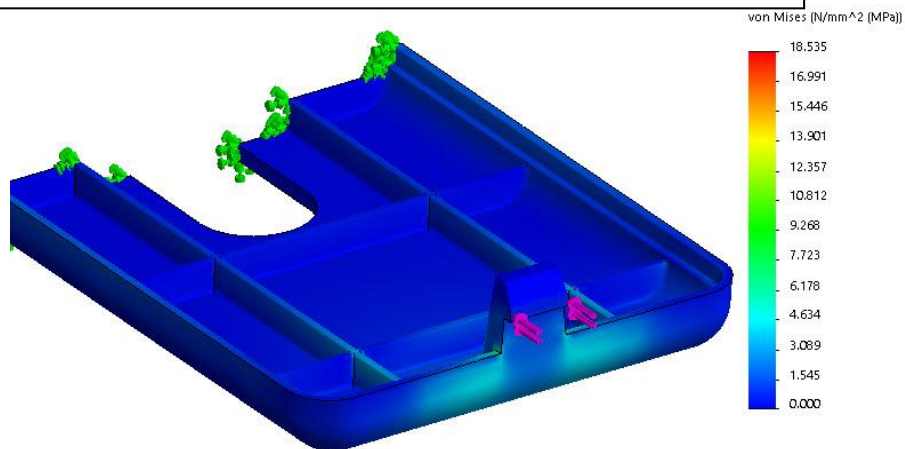
Изглед и параметри на мрежата



Mesh Details	
Study name	Static 3 (Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	0.775346 mm
Tolerance	0.0387673 mm
Mesh quality	High
Total nodes	117808
Total elements	70626
Maximum Aspect Ratio	25.566
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	93.2
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.178
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:20
Computer name	

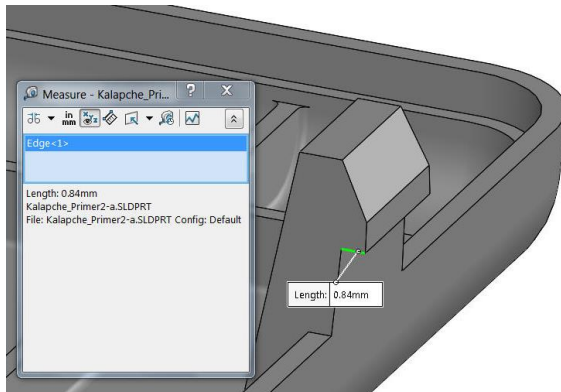
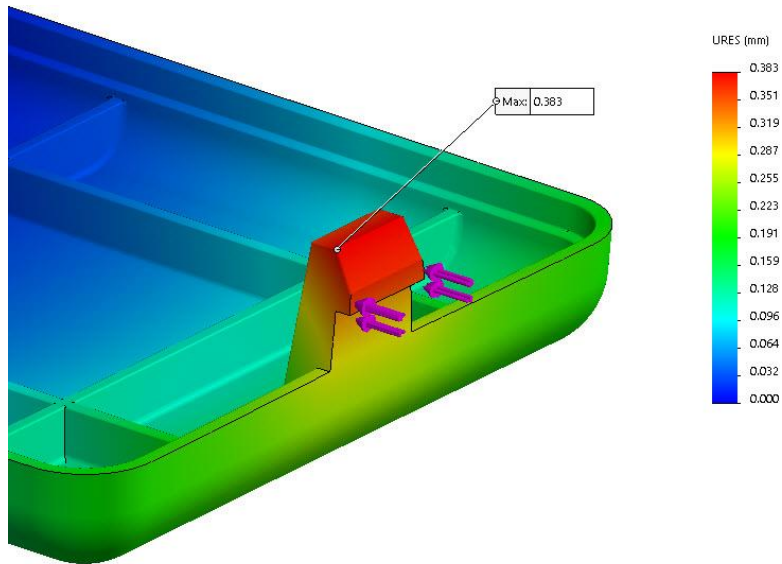
Мрежата содржи 70626 конечни елементи и 117808 јазли.

Напонска состојба на пластичното капаче при сила од 5 N.



Како што може да се види од сликата максималниот напон изнесува 18.535 МПа и е далеку помал од границата на развлекување која за ABS PC-пластиката изнесува 40 МПа. Максималниот напон се јавува во коренот на куката.

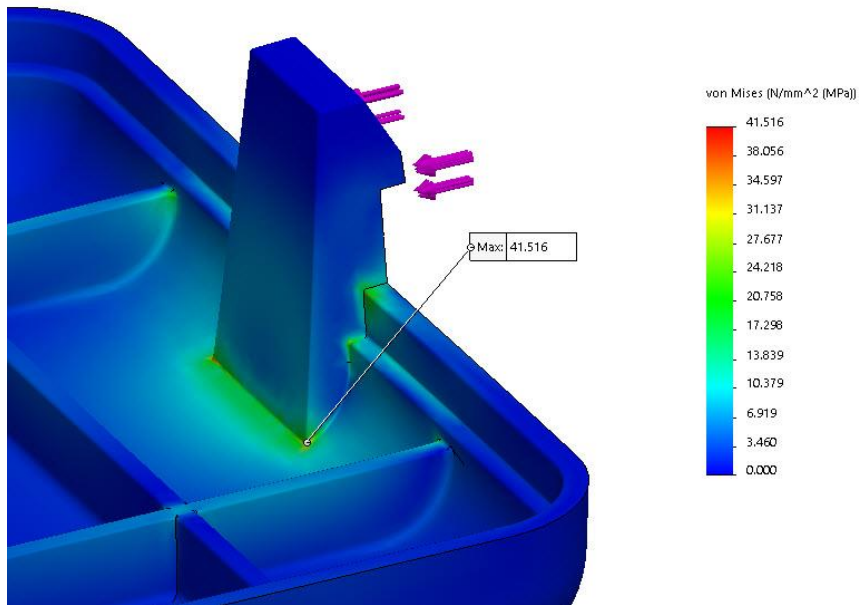
Деформациона состојба на пластичното капаче при сила од 5 N.



Максималната деформација при сила од 5 N изнесува 0.383 mm што не е доволно за отворање на куката и демонтажа на пластичното капаче. За да се отвори пластичното капаче потребна е деформација од 0.84 mm колку и висината на забецот.

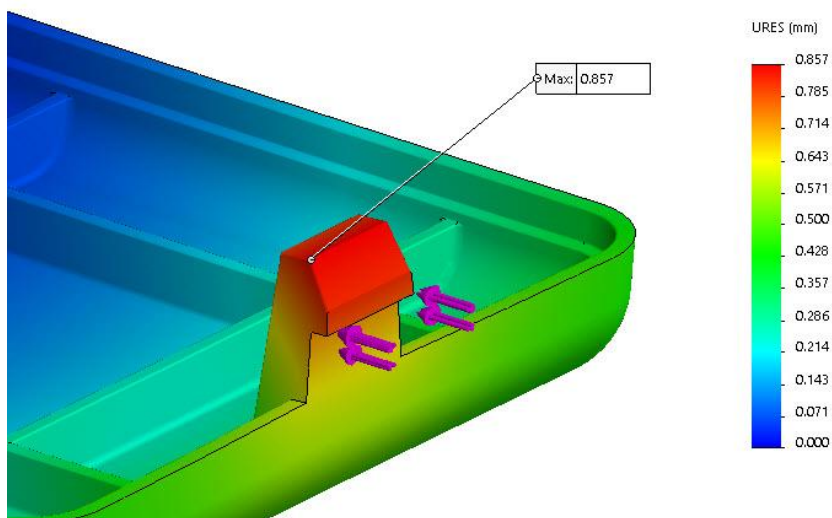
Со повеќе проби и пресметки само при промена на интензитетот на силата се доаѓа до вредноста на силата од 11.2 N со која ќе се отвори куката и ќе се демонтира пластичното капаче, односно ќе се добие максимална деформација од 0.85 mm.

Напонска состојба на пластичното капаче при сила од 11.2 N.



Максималниот напон кој се наоѓа во коренот на куката изнесува 41.516 МПа што е поголем од границата на развлекување на ABS PC-пластиката од 40 МПа, што претставува дополнителен проблем. Поради ова ќе мора да се додаде ребро зад куката за нејзино појачување со цел максималниот напон да биде под границата на развлекување.

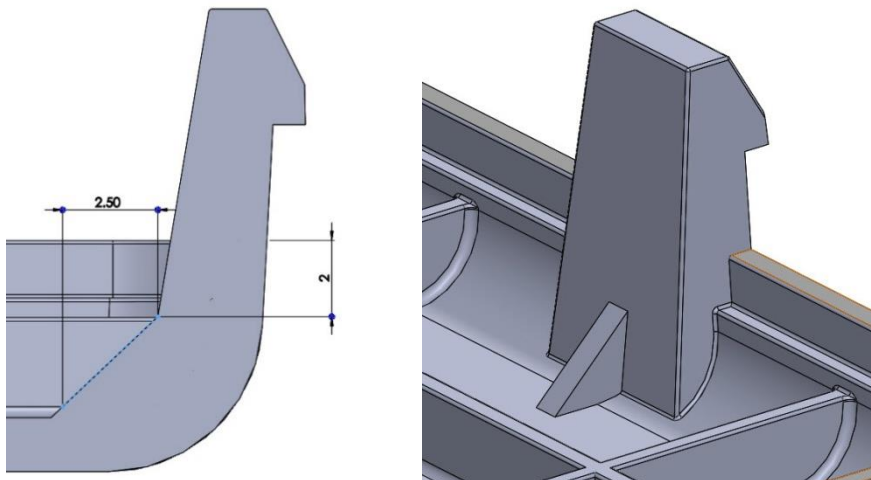
Деформациона состојба на пластичното капаче при сила од 11.2 N.



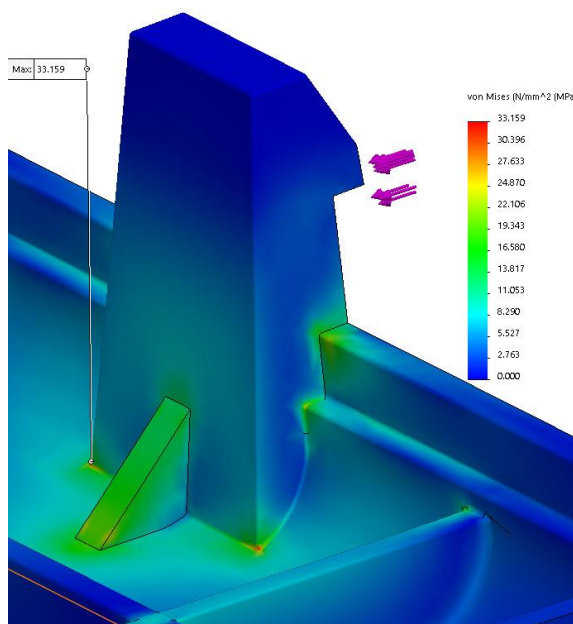
Максималната деформација при сила од 11.2 N изнесува 0.85 mm и се наоѓа кај забецот на куката.



Додавање ребро со дебелина 1 mm и димензии како на сликата.

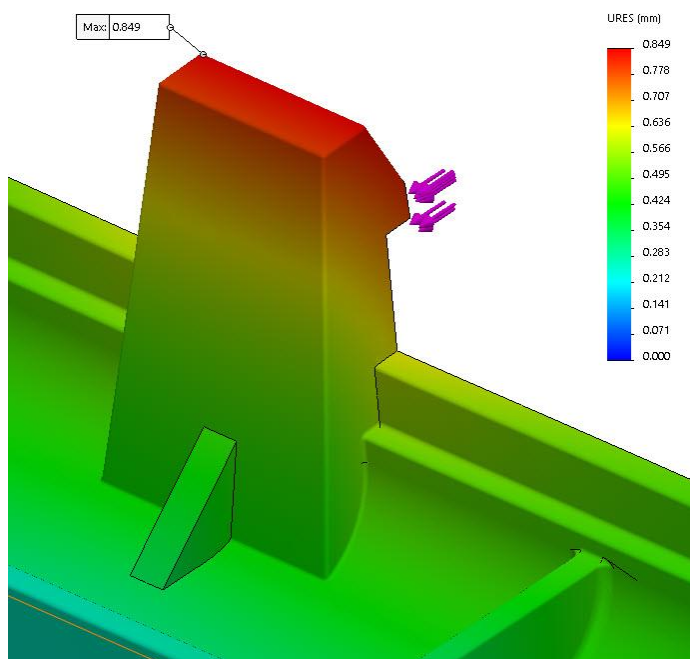


Напонска состојба на пластичното капаче при сила од 11.6 N.



Максималниот напон кој се наоѓа во коренот на куката изнесува 33.159 MPa што е под од границата на развлекување на ABS PC пластиката од 40 MPa. Ова претставува добра напонска состојба со што куката ќе го издржи оптоварувањето од 11,6 N.

## Деформациона состојба на пластичното капаче при сила од 11.6 N.



Максималната деформација при сила од 11,6 N изнесува 0,849 mm и се наоѓа кај забецот на куката.

**Заклучок:** Со додавање ребро со цел максималниот напон да биде помал од границата на развлекување на материјалот и при сила од 11.6 N куката ќе се отвори и пластичното капаче ќе може да се демонтира од склопот. Силата од 11.6 N претставува мала сила што ќе може да се постигне со прстите од раката.

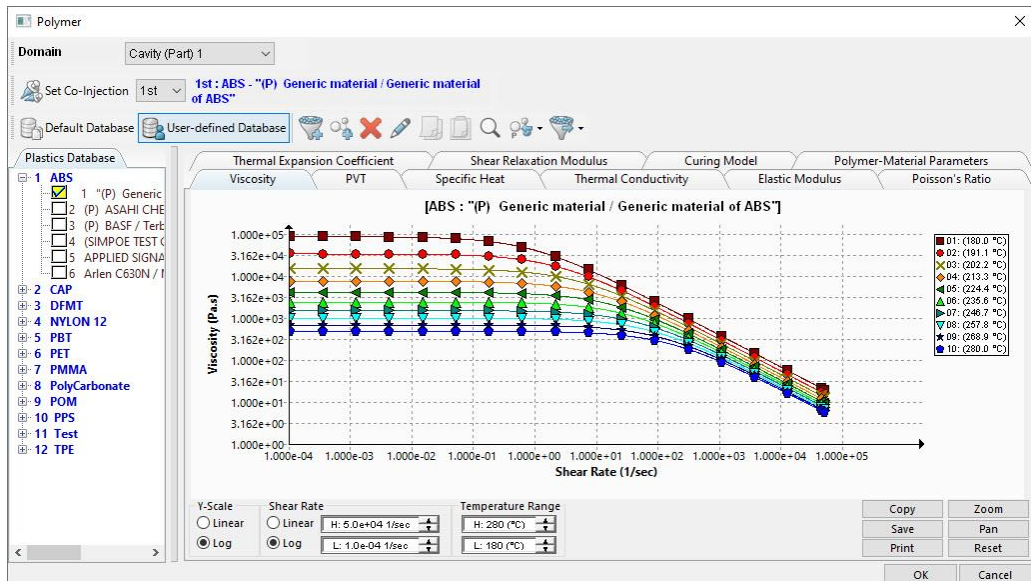


28. Анализа на геометријата на пластичното капаче после процесот на трансфер-пресување (вбризгање).

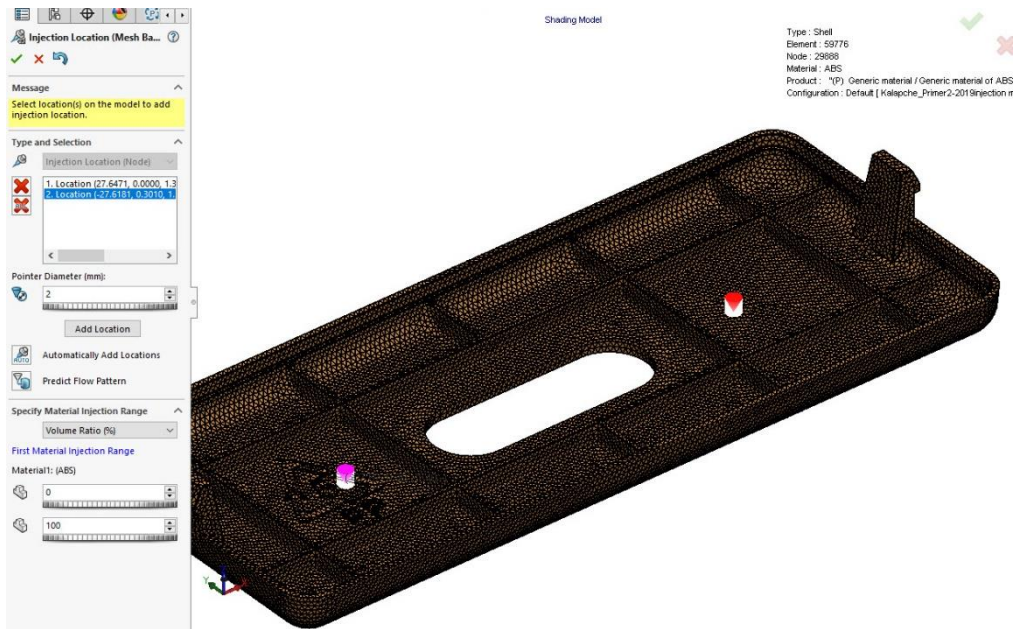
- Првично се поставува Shell-мрежа со помош на опцијата Manual со големина на конечниот елемент од 0.7 мм. Изглед на мрежата.



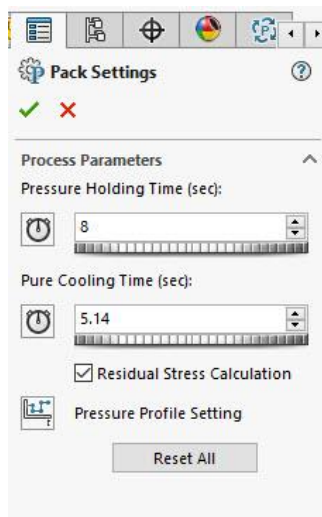
- Поставување материјал ABS PC-пластика.



- Поставување на вливните порти. Автоматски се избираат да се постават две вливни порти, при што софтверот автоматски ја дефинира нивната местоположба.

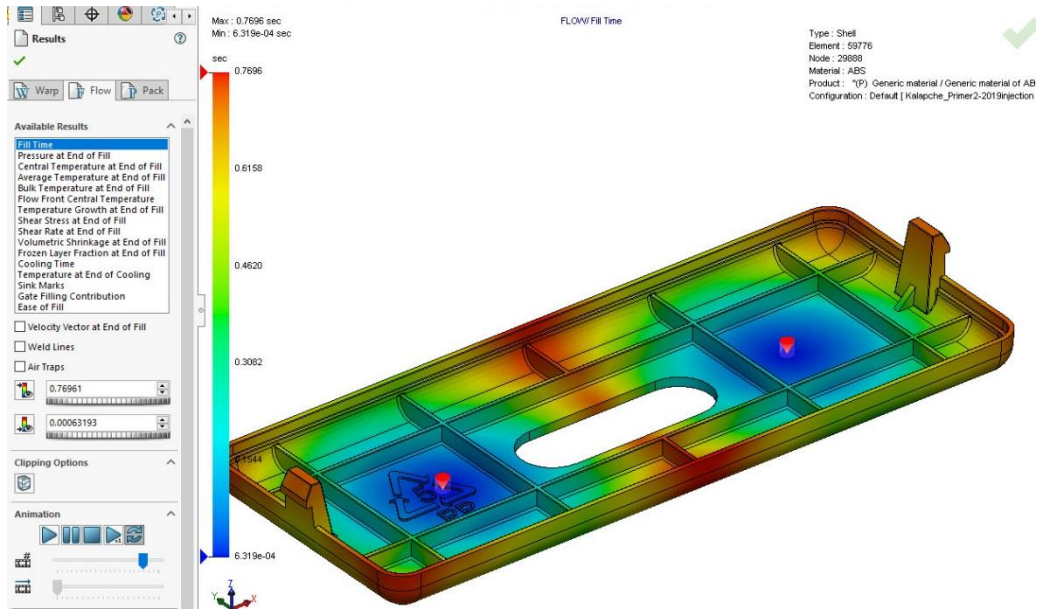


- Подесување на времето на пакување под притисок на 8 сек. Ова е време на задршка на отворени вливни порти под притисок и исполнета калапна шуплина.



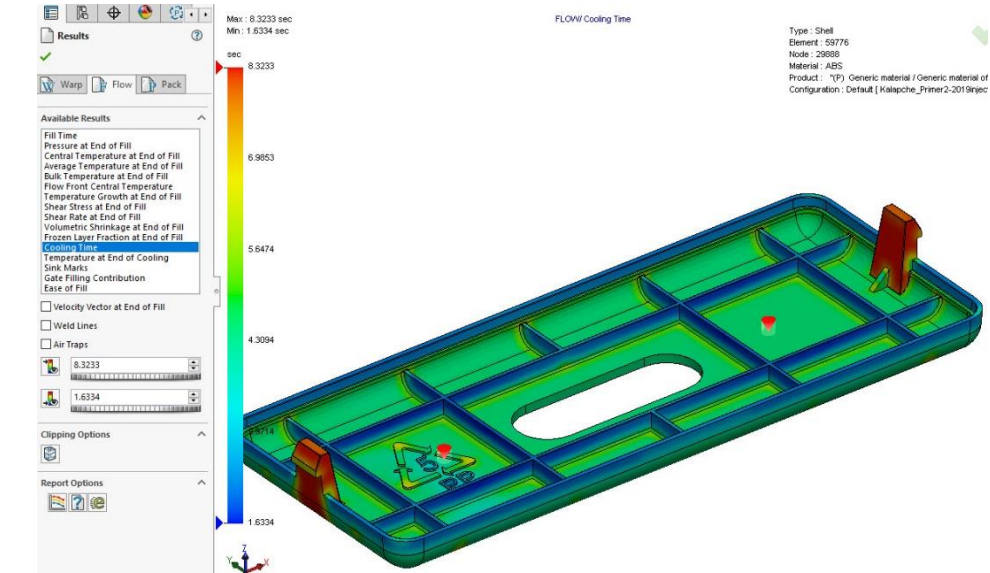
## Резултати од анализата на трансфер-пресување (вбризгање).

➤ Проверка на пополнување на калапната шуплина и време на пополнување.



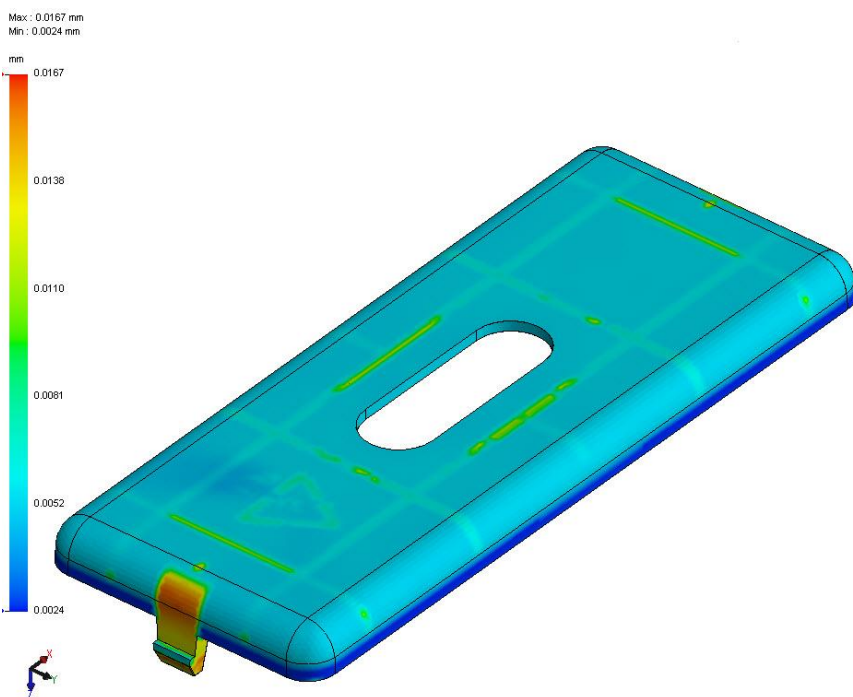
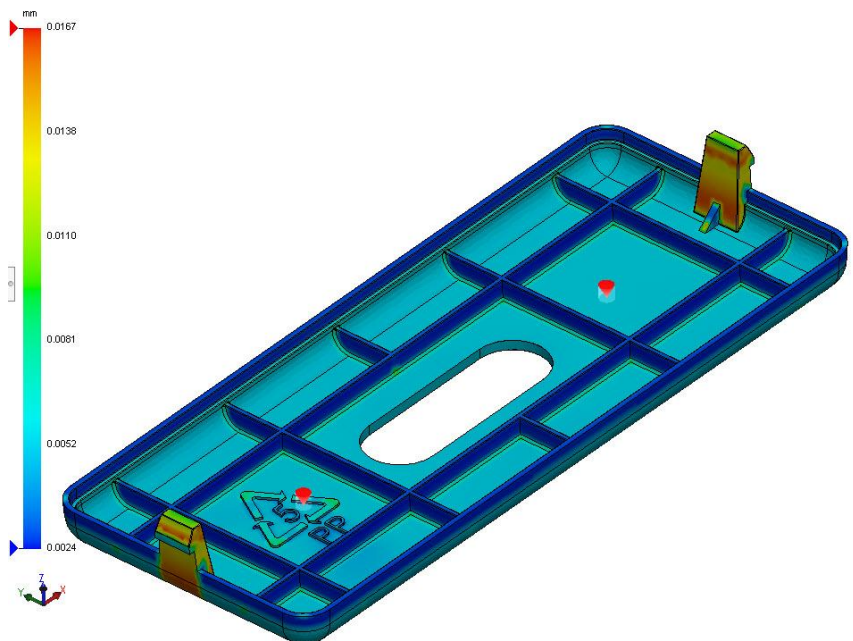
Калапната шуплина се пополнува целосно и времето на пополнување изнесува 0,77 секунди.

➤ Пресметка на времето потребно за ладење на пластичниот дел.



Времето потребно за ладење на делот изнесува 9.32 секунди.

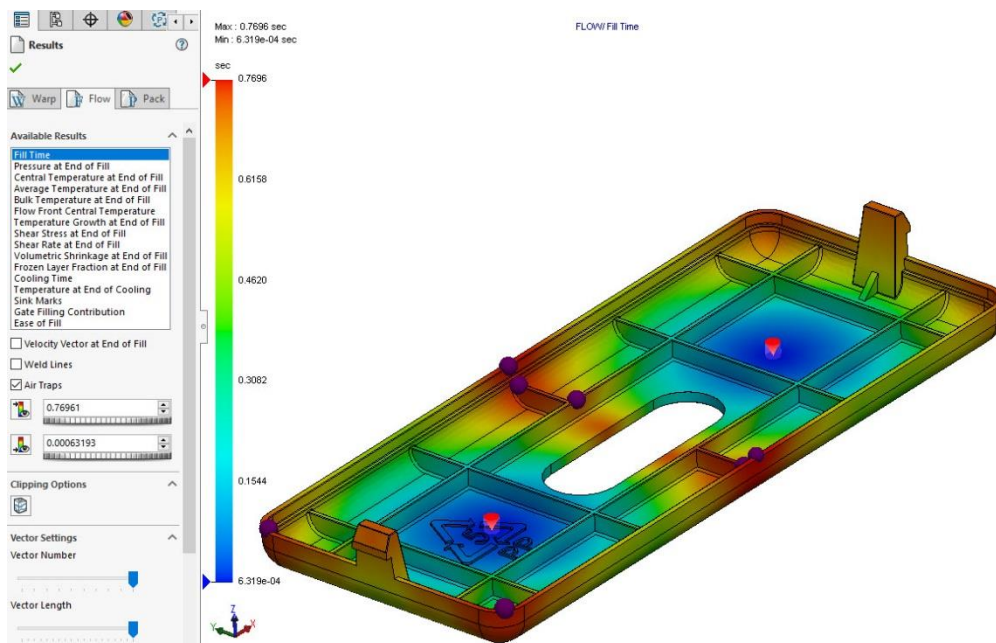
➤ Пресметка на траги на пропаѓање на пластичниот дел.



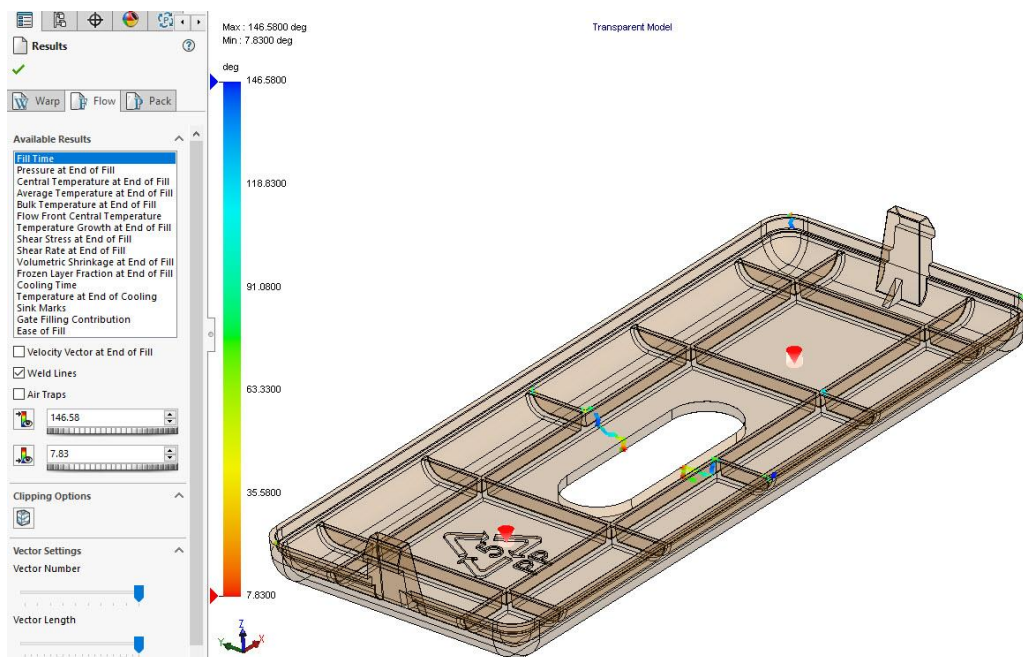
Максималното пропаѓање на пластичниот дел се наоѓа кај куката и изнесува 0,0167 мм, што е незначително и не се гледа со голо око, не ја нарушува естетиката и функционалноста на делот.



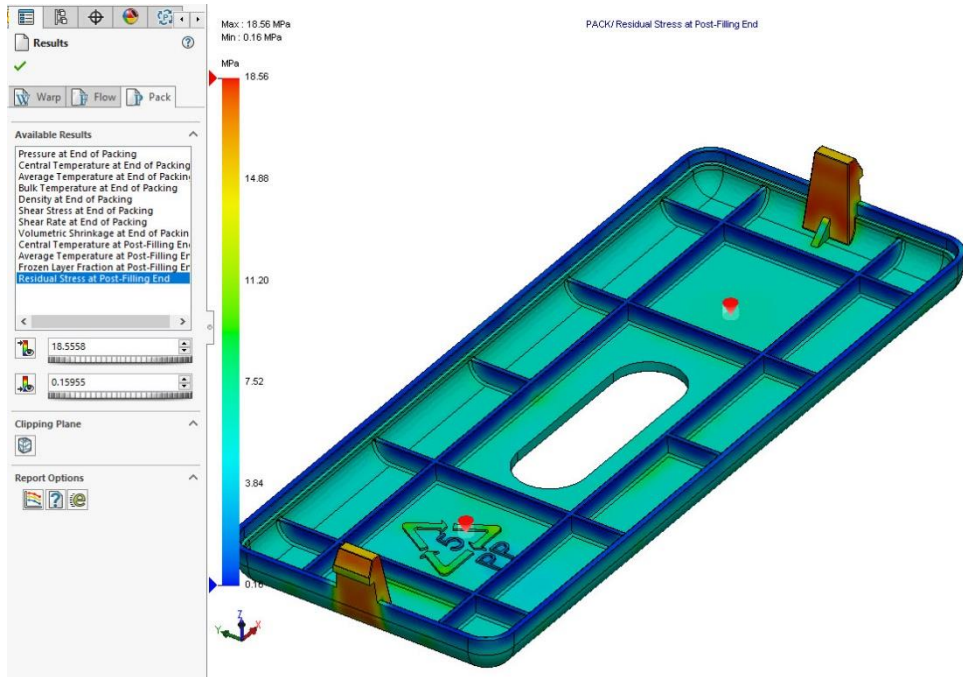
➤ Определување места каде што е можна појава на заробен воздух.



➤ Определување линии на судир (линии на завар).

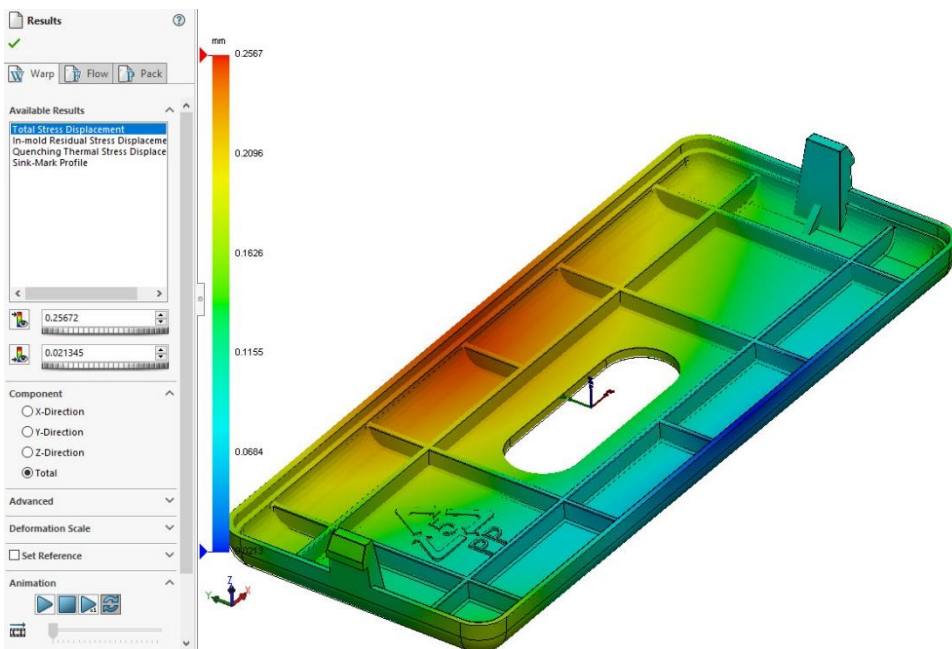


➤ Пресметка на заостанати напони во материјалот на пластичниот дел.



Максималниот заостанат напон изнесува 18,56 МПа и се наоѓа кај куката, но не во коренот на куката. Треба да избегнуваме појава на големи заостанати напони на места кои се оптоварени и имаат во тој сегмент голема деформација. Ова може да се избегне во фазата на дизајн на пластичниот дел.

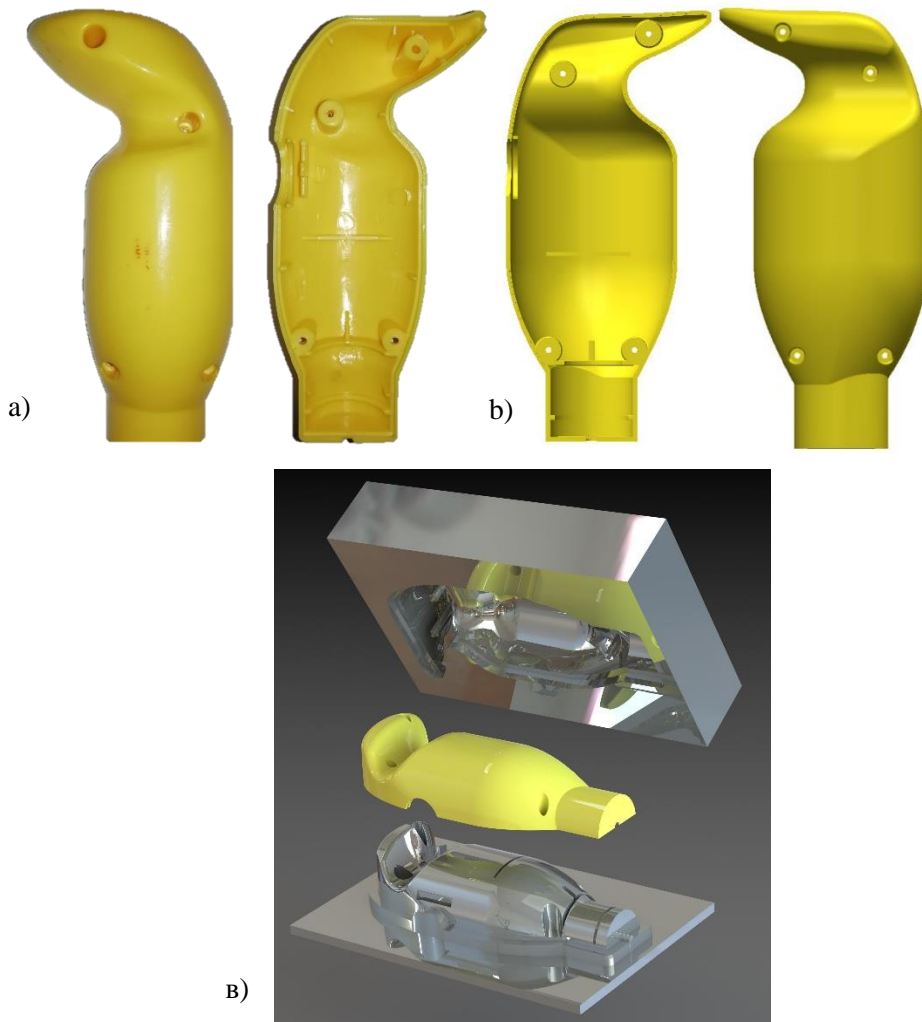
➤ Пресметка на деформацијата после ладењето на пластичниот дел.



Максималната деформација изнесува 0,25 мм и се наоѓа некаде на средината на пластичното капаче. Оваа деформација е мала и не влијае на функционалноста на пластичниот дел. Во случај кога времето на пакување е помало тогаш оваа деформација е поголема. Времето на пакување го зголемува времетраењето на процесот на трансфер-пресување.

### 12.3. Пример 3: Моделирање дел со сложена форма, изработка на калапна шуплина и анализа на пластичниот дел

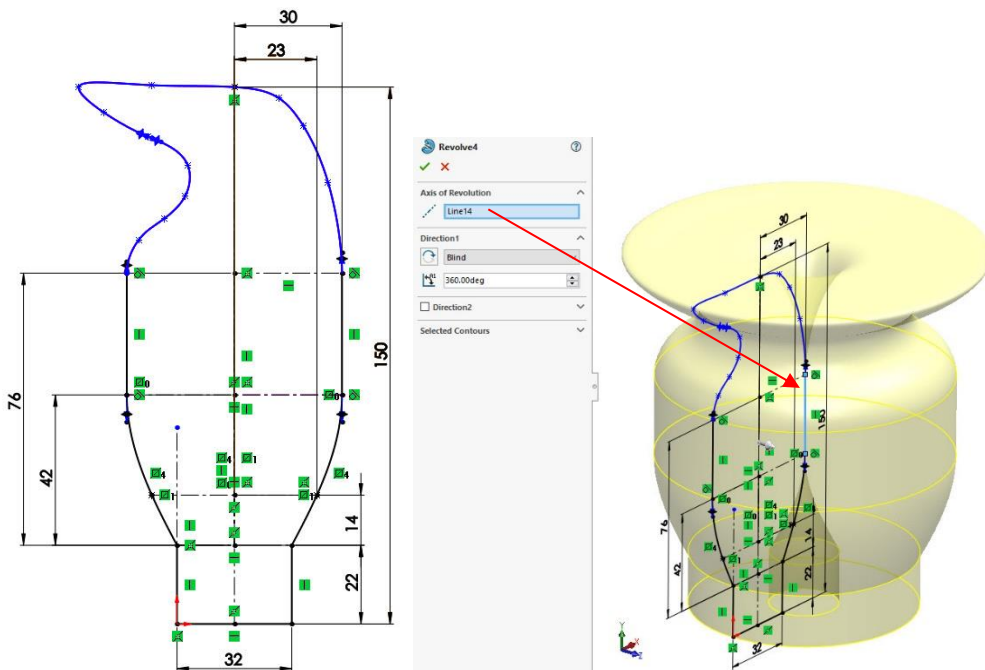
Задачата е да се моделира сложен пластичен дел кој е прикажан на сликата 12.3а кој претставува рачка за маталка за нес-кафе. CAD-моделот на рачката е прикажан на сликата 12.3б и калапната шуплина на слика 12.3в.



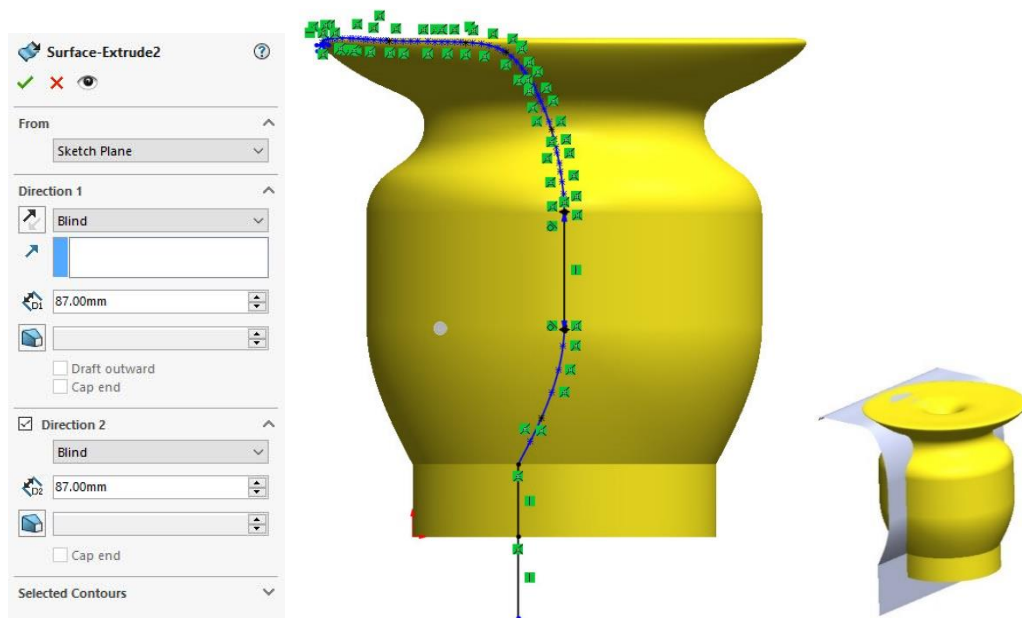
Слика 12.3 а) Рачка за маталка за нес-кафе, б) CAD модел на рачката и в) CAD модел на калапна шуплина за рачката.



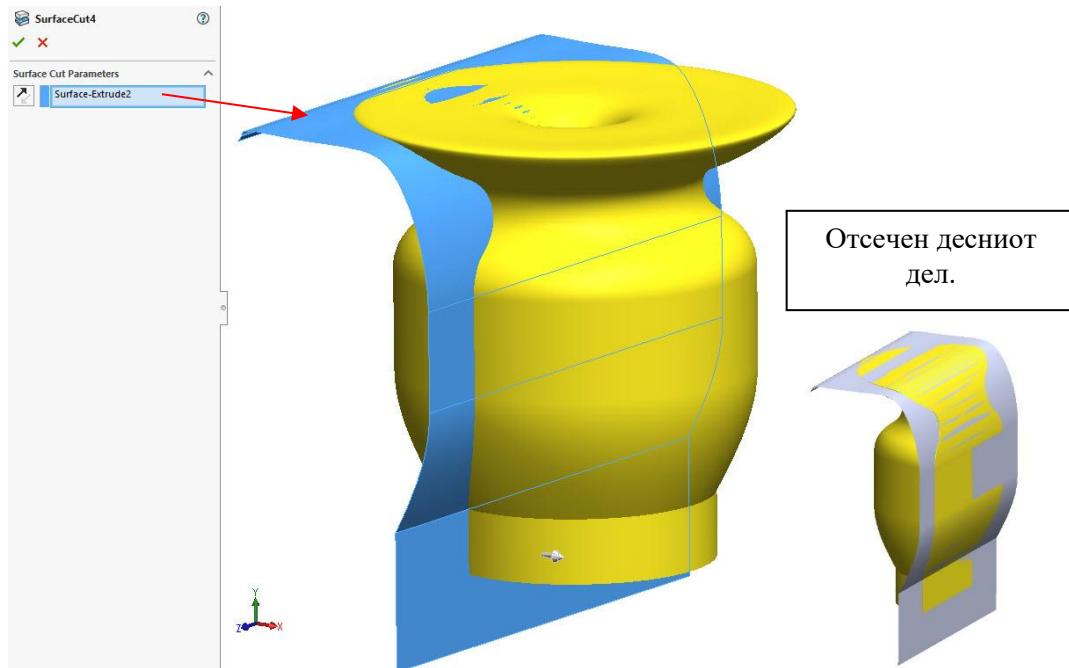
1. Отвори скица во рамнината Front Plane и изработи скица како на сликата според дадените димензии. Ротирај ја скицата околу прикажаната оска за 360° со помош на наредбата Revolved Boss/Base.



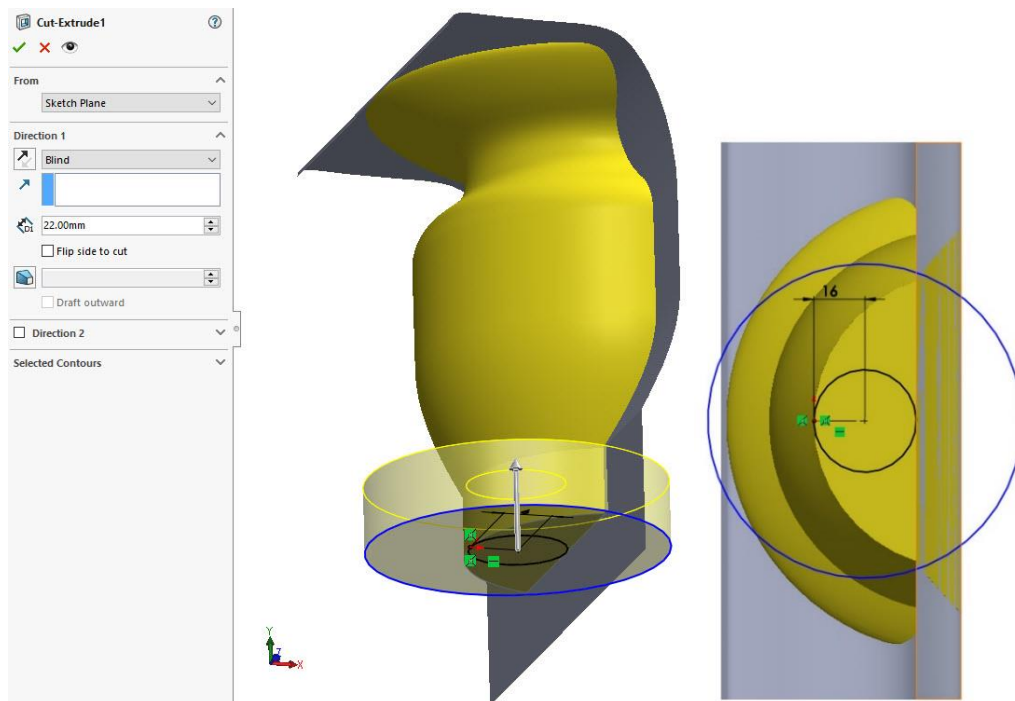
2. Во рамнината Front Plane и изработи скица како на сликата со произволен облик најблиску до кривината на реалниот дел. Потоа со наредбата Surface-Extrude од паѓачкото мени Insert>Surface>Extrude истегни ја скицата за 87 mm во двете насоки.



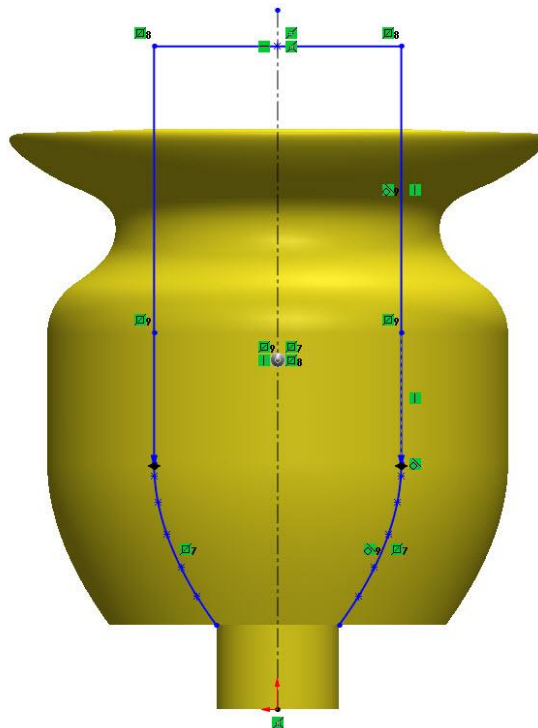
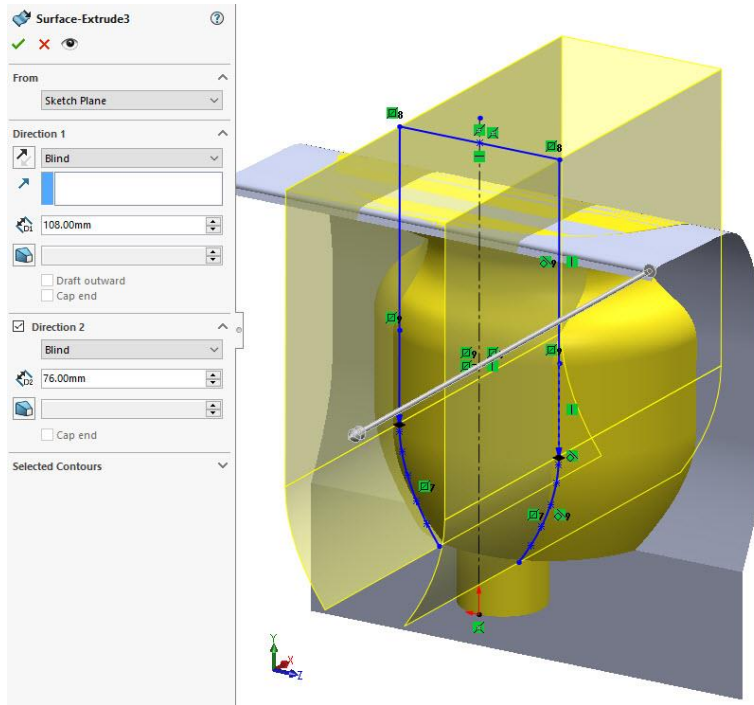
3. Поделете го телото на два дела со површината креирана во чекор 2 и избришете го едниот дел, како на следната слика, користејќи ја наредбата Insert>Cut>With Surface.



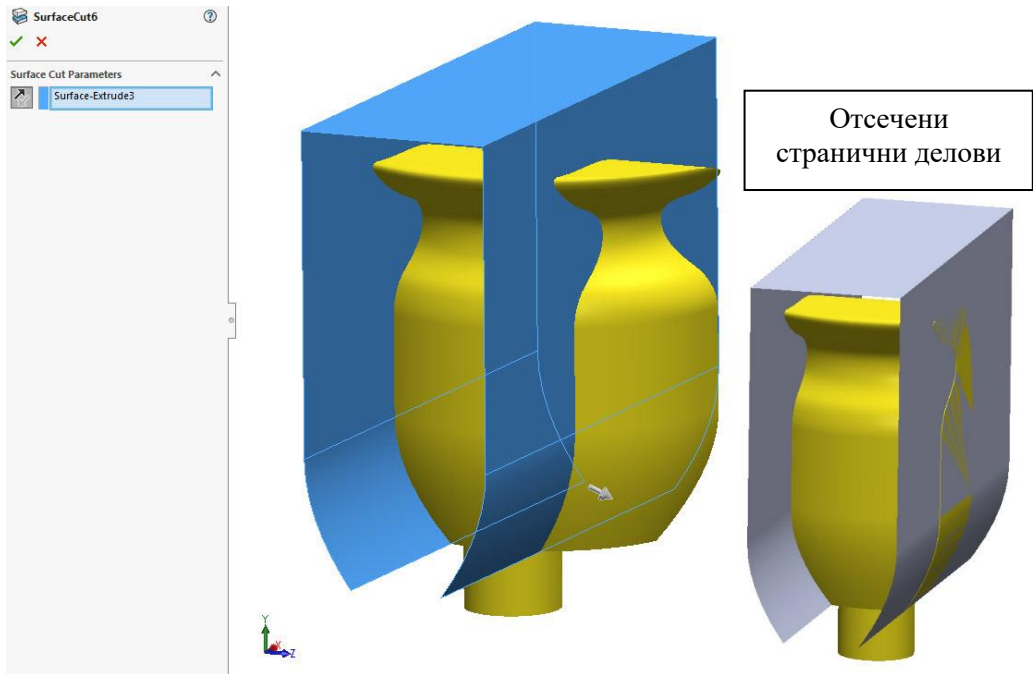
4. Со наредбата Extrude Cut отсечи го долниот дел за 22 mm како на сликата, при што внатрешниот дијаметар на кружницата е 16 mm.



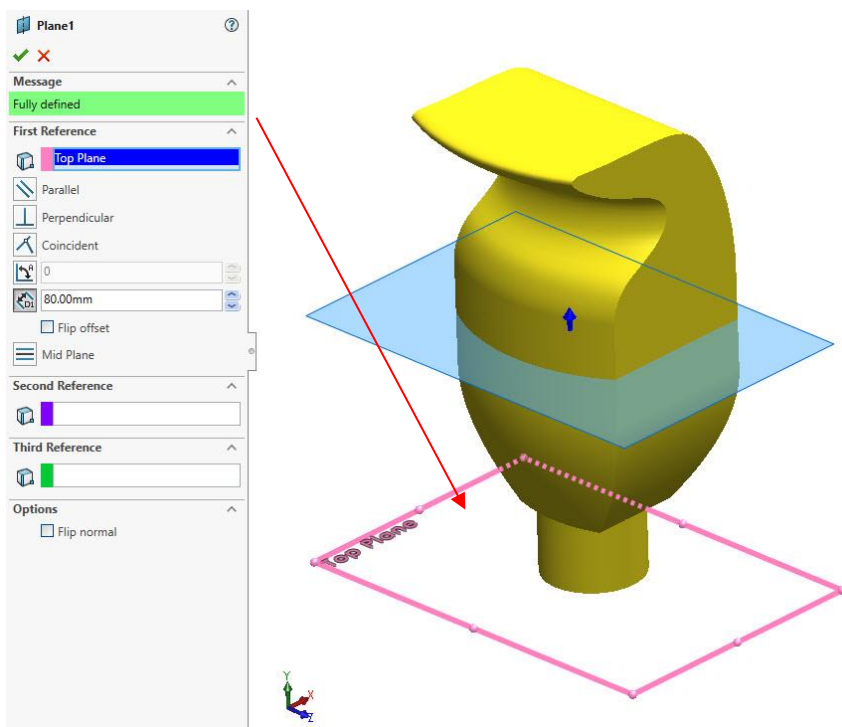
5. Во рамнината Right Plane нацртај скица согласно обликот на реалниот дел, истегни ја линијата со наредбата Insert>Surface>Extrude во двете насоки за 108 и 76 mm и креирај ја површината.



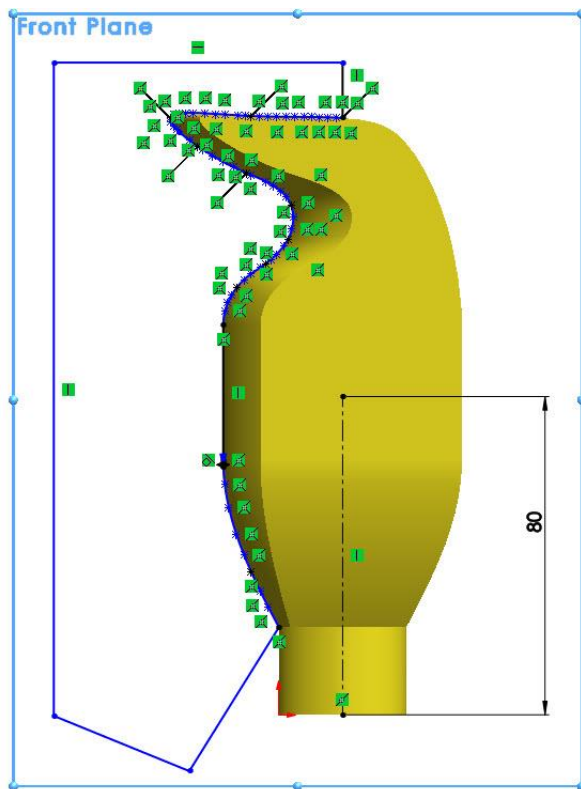
6. Поделете го телото на два дела со површината креирана во чекор 5 и избришете ги страничните делови, како на следната слика, користејќи ја наредбата Insert>Cut>With Surface.



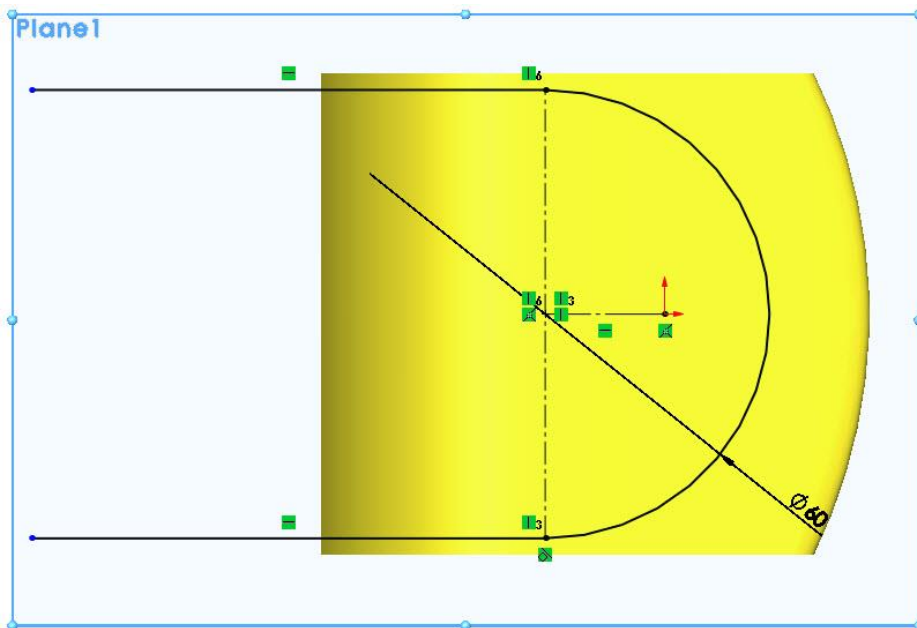
7. Креирај рамнина паралелна и оддалечена од рамнината Top Plane за 80mm.



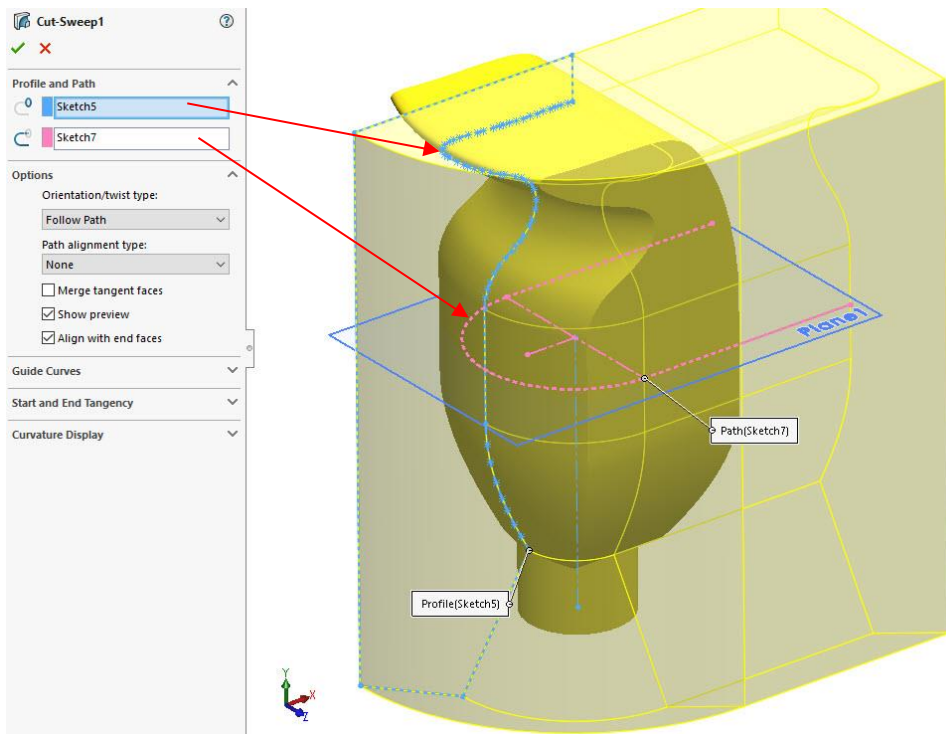
8. Во рамнината Front Plane нацртај скица како на сликата.



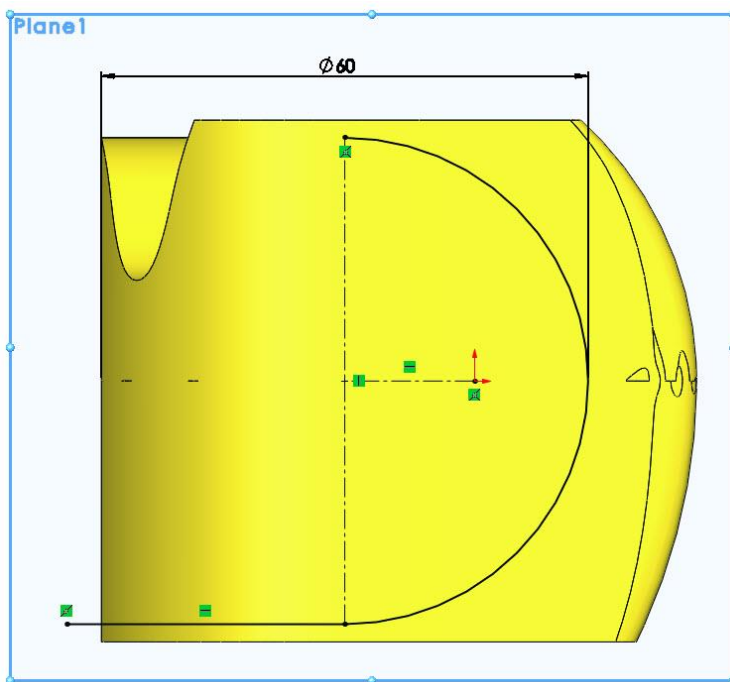
9. Во рамнината Plane 1 нацртај скица како на сликата.



10. Со наредбата Sweep Cut формирај го телото, притоа користејќи ги кривите направени во чекорите 8 и 9.

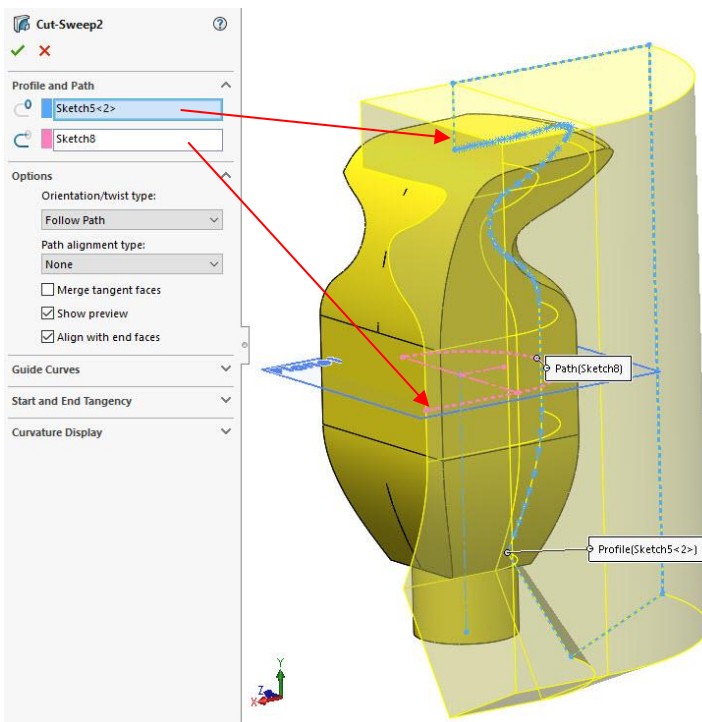


11. Во рамнината Plane 1 нацртај скица како на сликата.

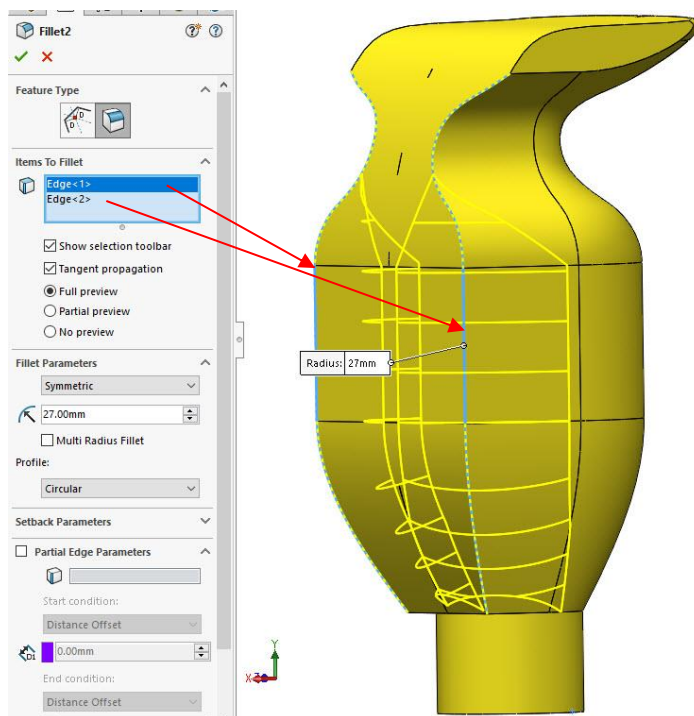




12. Со наредбата Sweep Cut формирај го телото, притоа користејќи ги кривите направени во чекорите 8 и 11.

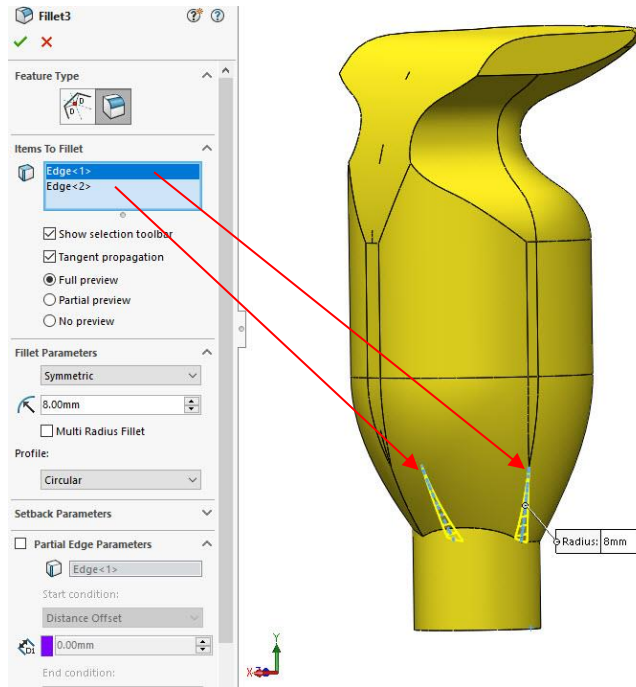


13. Заобли ги рабовите со радиус на заоблување од 27 mm.

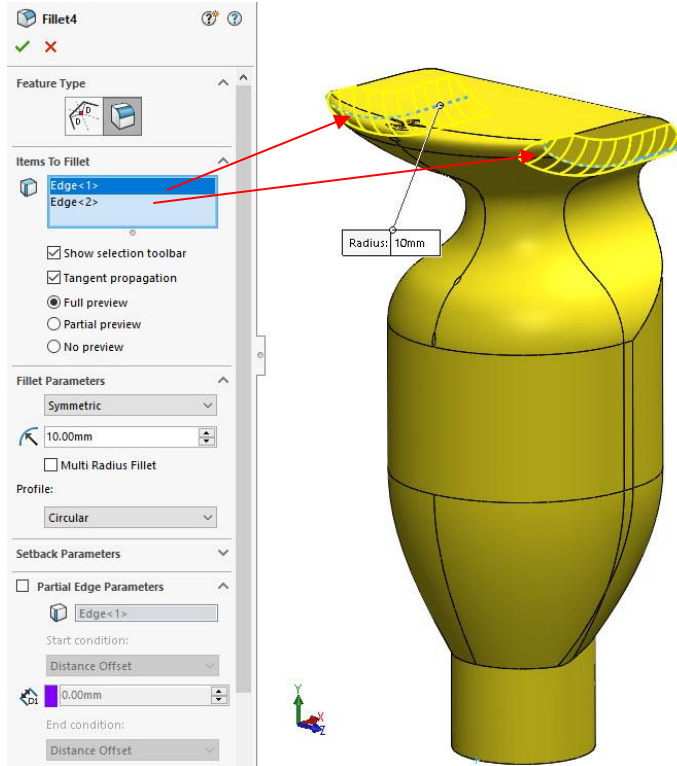




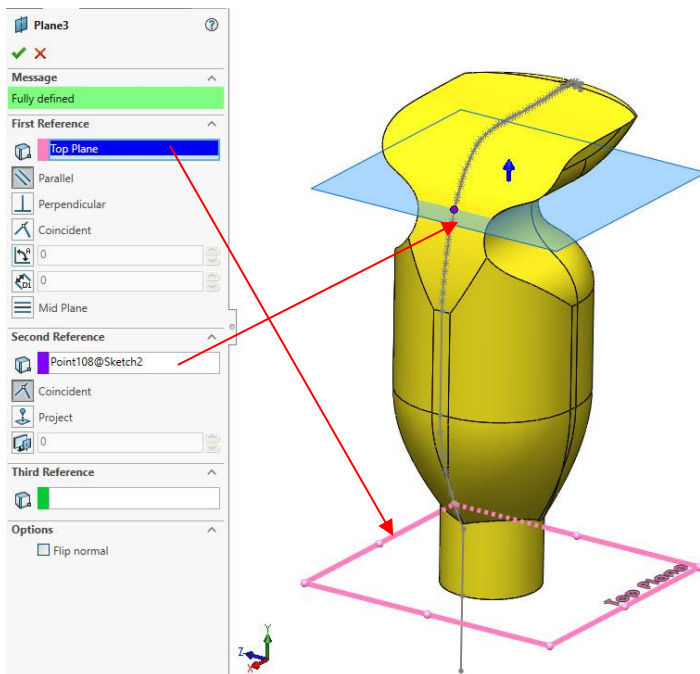
14. Заобли ги рабовите со радиус на заоблување од 8 mm.



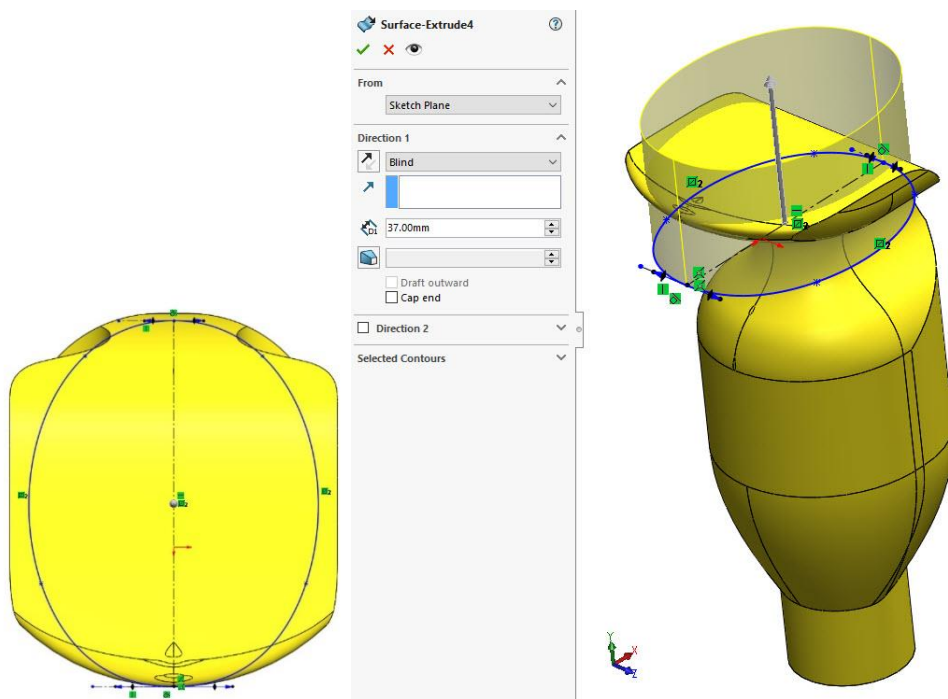
15. Заобли ги рабовите со радиус на заоблување од 10 mm.



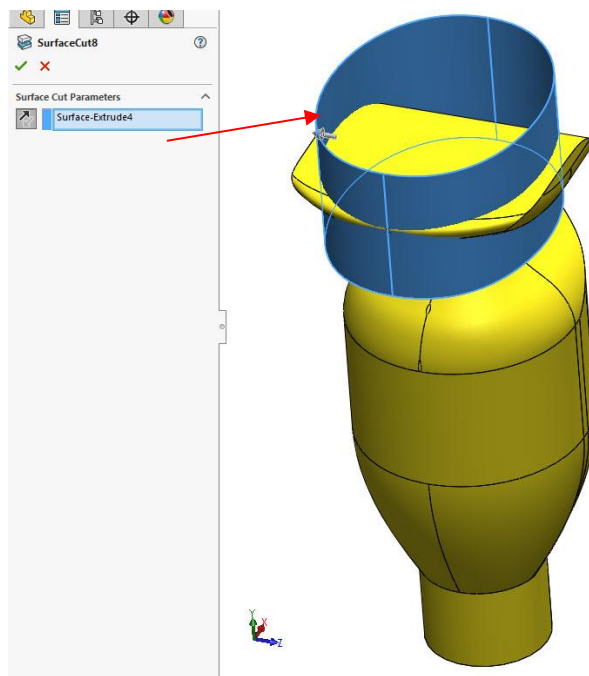
16. Креирај рамнина паралелна на рамнината Top Plane која поминува низ прикажаната точка. Таа точка е оддалечена од рамнината Top Plane за околу 129,7 mm.



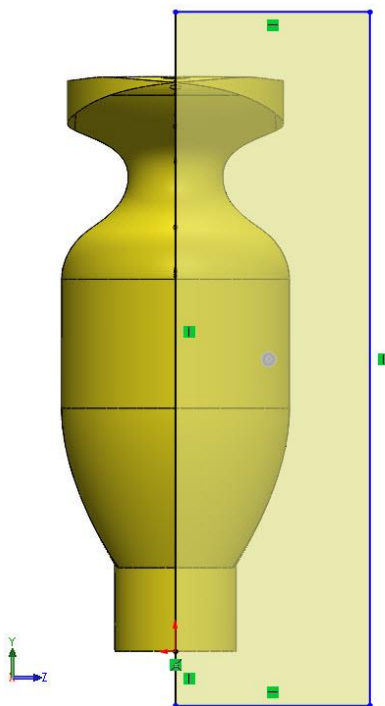
17. Во рамнината Plane3 од чекор 16 скицирај елипса и потоа креирај површина со должина 37 mm со наредбата Insert>Surface>Extrude.



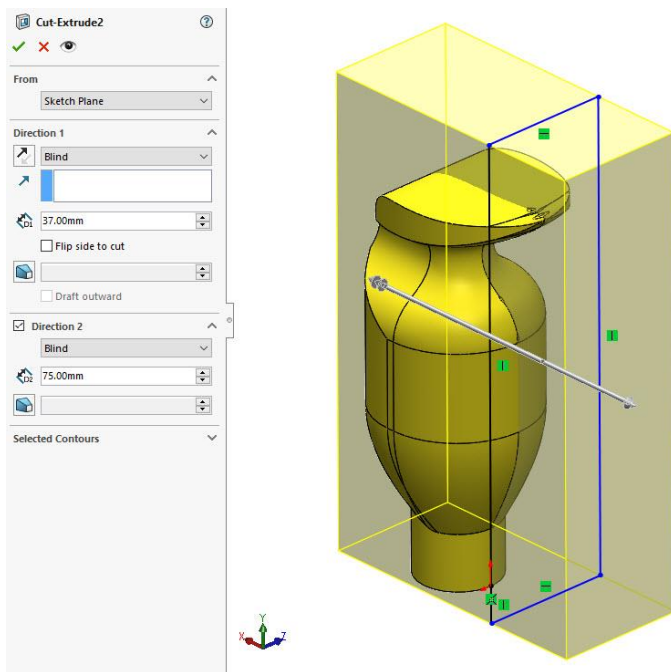
18. Отсечете ги надворешните делови од рачката со површината креирана во чекор 17, како на следната слика, користејќи ја наредбата Insert>Cut>With Surface.



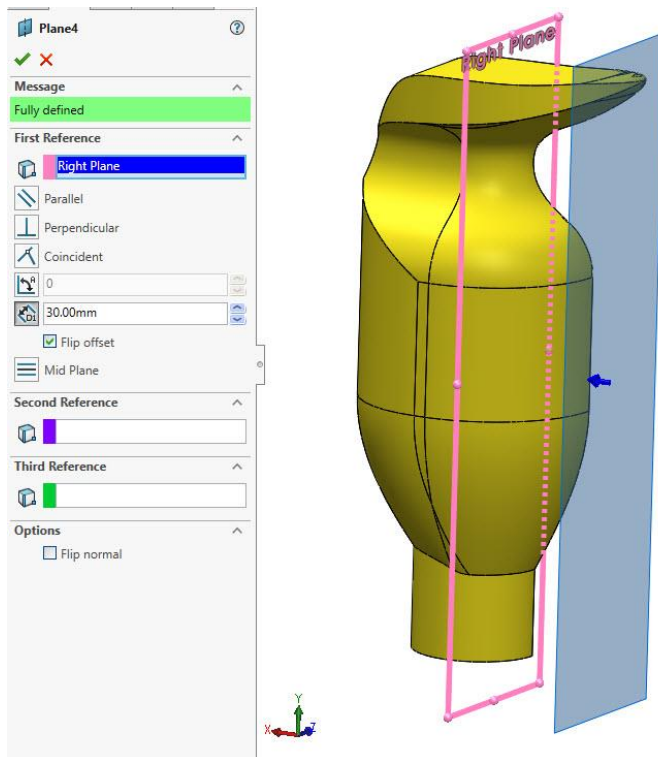
19. Скицирајте правоаголник во рамнината Front Plane, како на сликата.



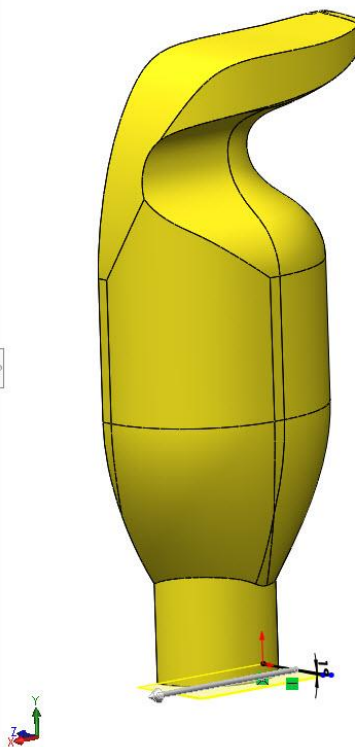
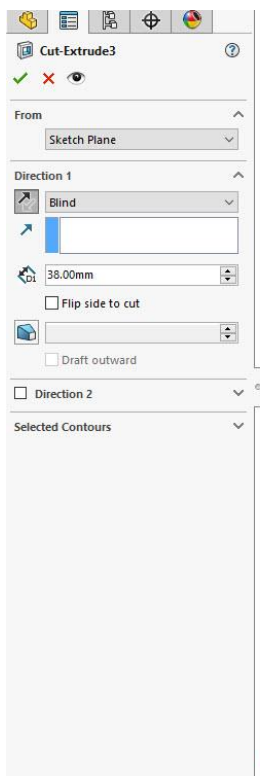
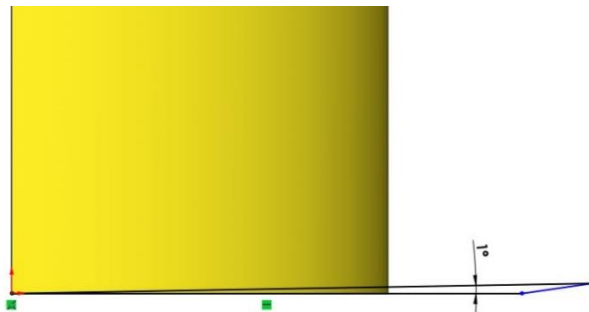
20. Отсечи го половина од делот со наредбата Extrude Cut во двете насоки за 37 и 75 mm.



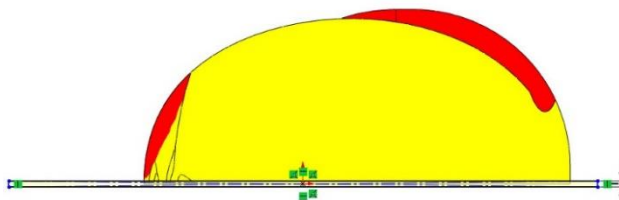
21. Креирај рамнина паралелна на рамнината Right Plane на растојание од 30 mm.



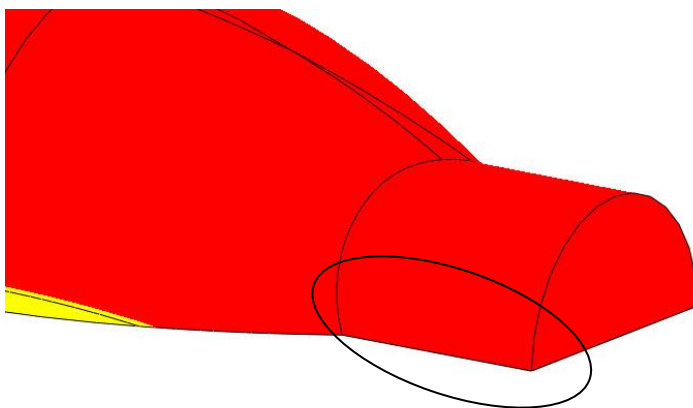
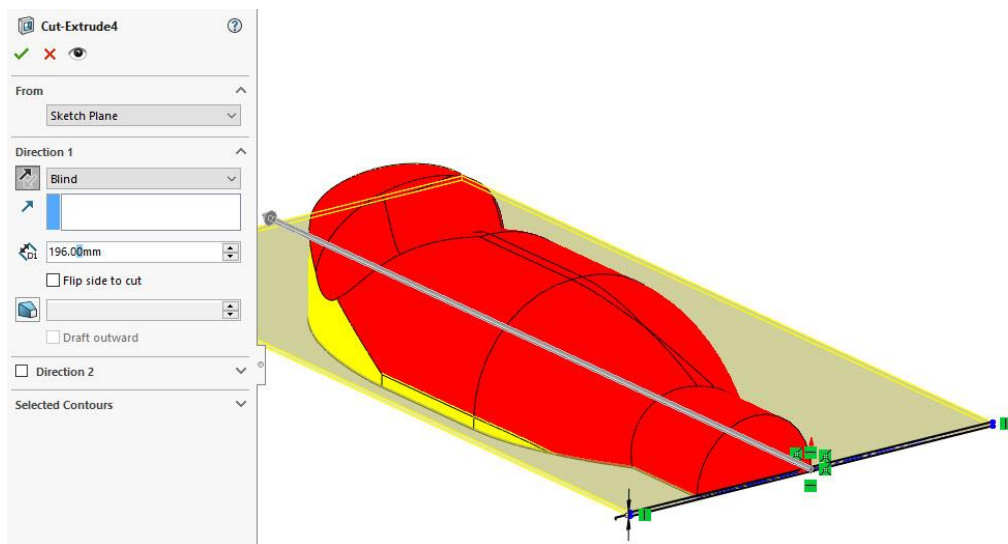
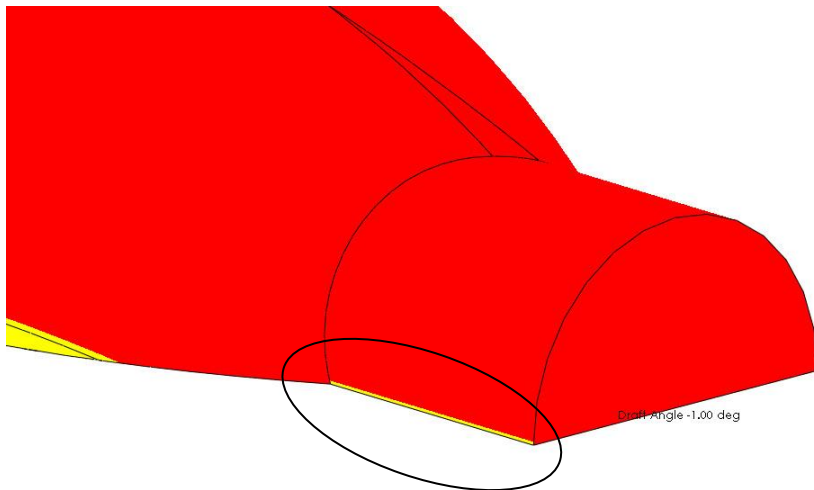
22. Нацртај скица на долниот дел од рачката и отсеци го делот со наредбата Extrude Cut за должина од 38 mm. Во скицата аголот помеѓу линиите изнесува 1° со цел создавање доволно косина за делот лесно да излезе од калапната шуплина.



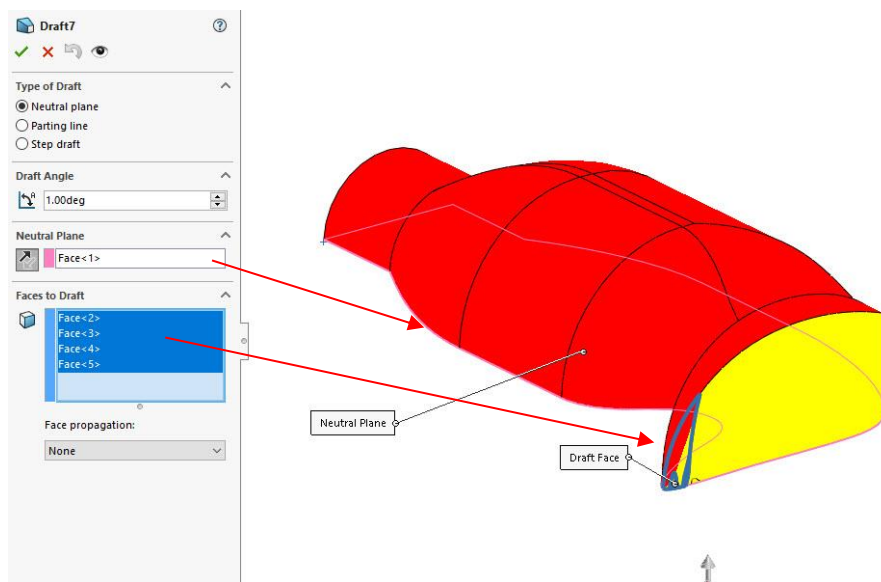
23. Во рамнината Top Plane скицирај правоаголник користејќи две дијагонали со центар во координатниот почеток и висина 1 mm, како на сликата.



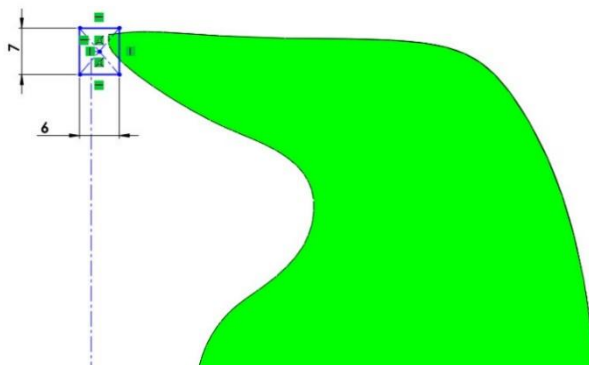
24. Отсечи го долниот дел од рачката со наредбата Extrude Cut и должина 196 mm. Овој чекор е потребен за да се елиминира жолтиот дел кој е без закосување како на сликата.



25. Закосување на бочните страни обоени со жолта боја за агол од  $1^\circ$  во однос на долната рамнина на рачката.

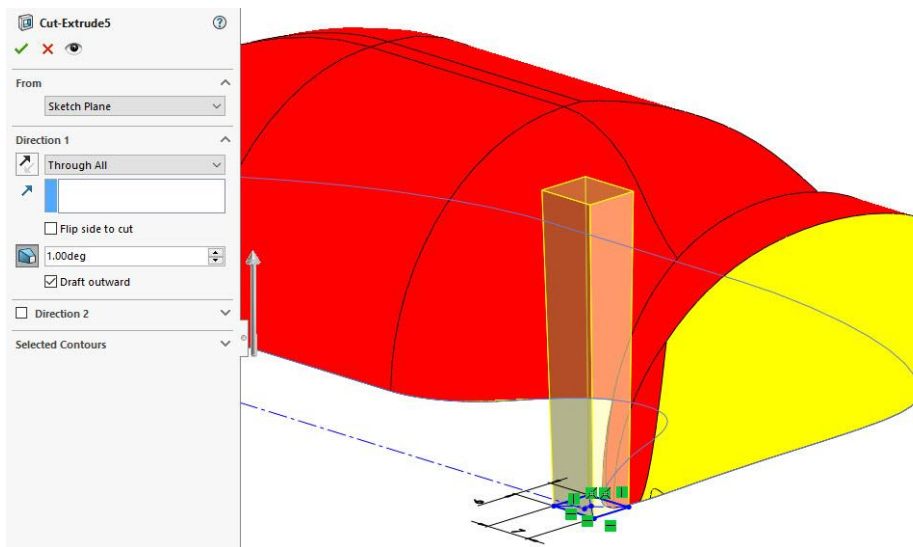


26. На рамната страница скицирај правоаголник со димензии 6 и 7 mm, како на сликата.

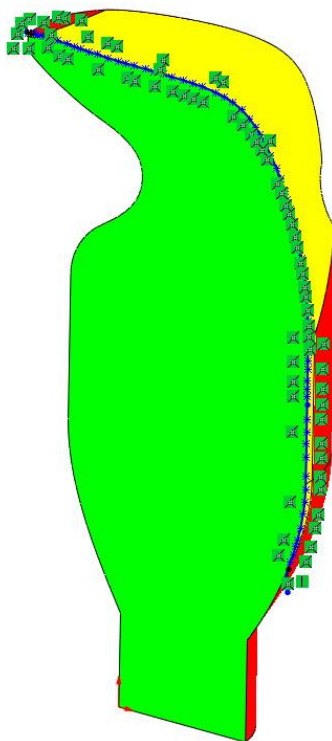




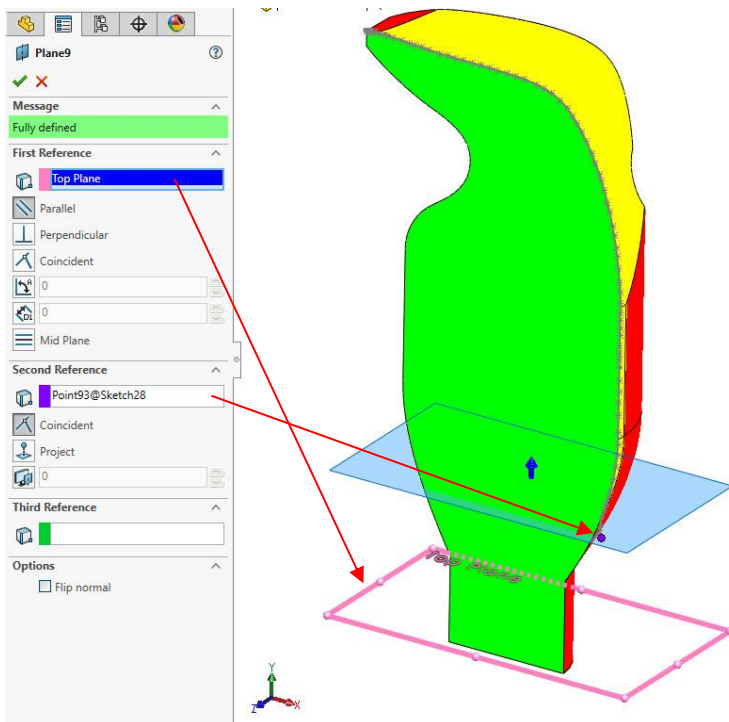
27. Со наредбата Extrude Cut и користење на косина од 1 ° отсеци дел од рачката, како на сликата.



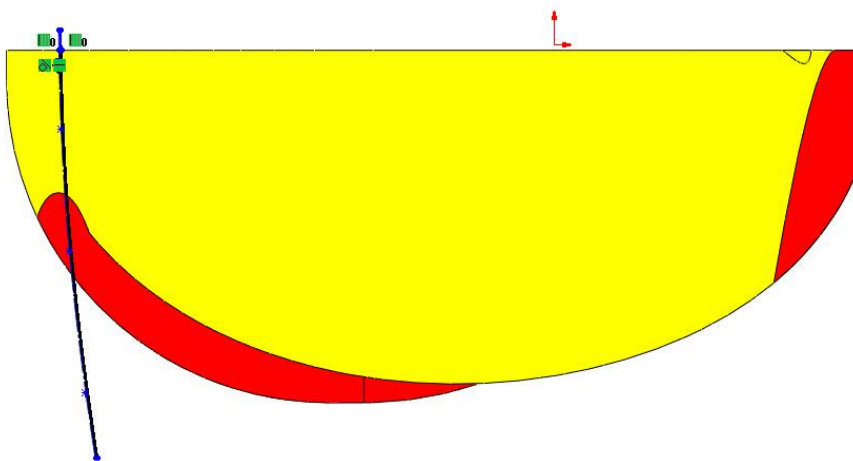
28. Со користење на наредбата spline скицирај линија на рамната површина, како на сликата. Должината на линијата треба да се протега каде што е жолтата боја.



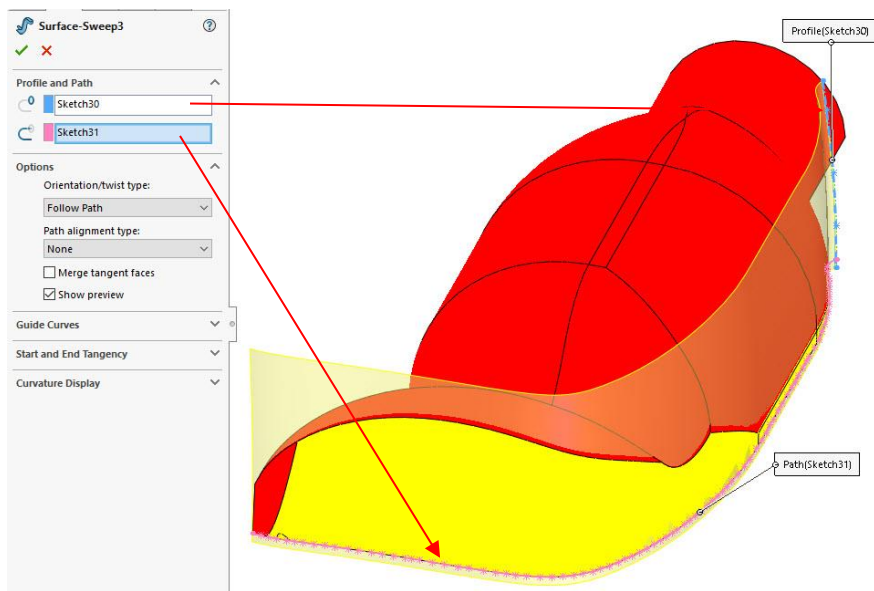
29. Креирај рамнина паралелна на рамнината Top Plane и во крајната точка од линијата скицирана во чекор 28.



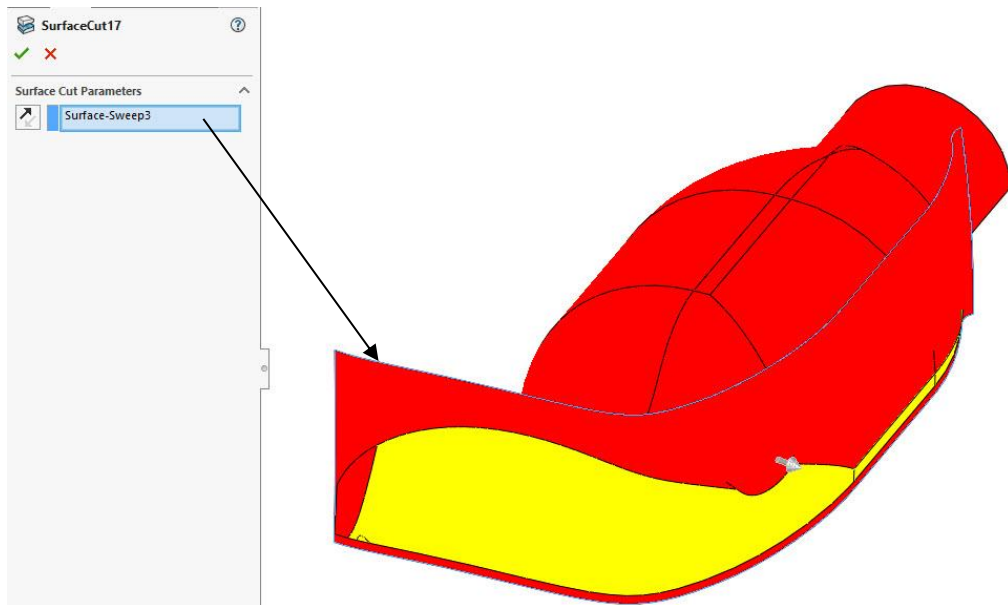
30. Во рамнината Plane9 креирана во чекор 29 скицираме линија со наредбата Spline, како на сликата.



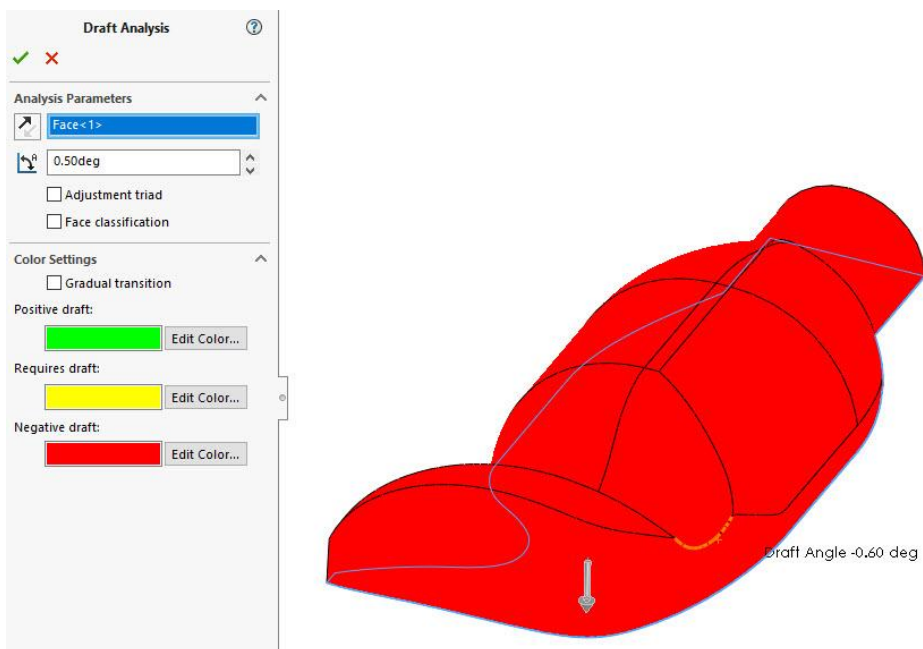
31. Креирај сложена површина која се формира со движење на линијата креирана во чекор 30 долж линијата креирана во чекор 28 со наредбата Insert > Surface > Sweep.



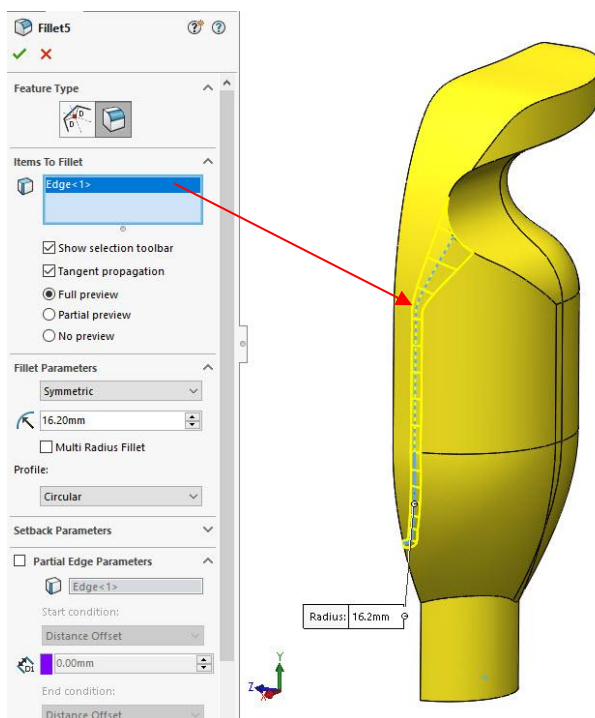
32. Отсечете ги надворешните делови од рачката со површината креирана во чекор 31, како на следната слика, користејќи ја наредбата Insert>Cut>With Surface.



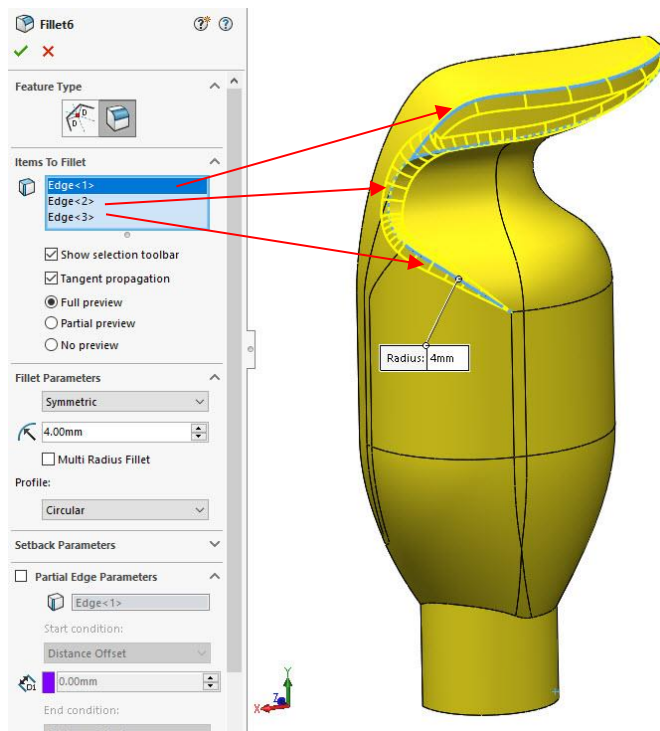
33. По направената Draft анализа се гледа дека нема жолти бочни страни, односно нема бочни страни на делот кои се без соодветна косина.



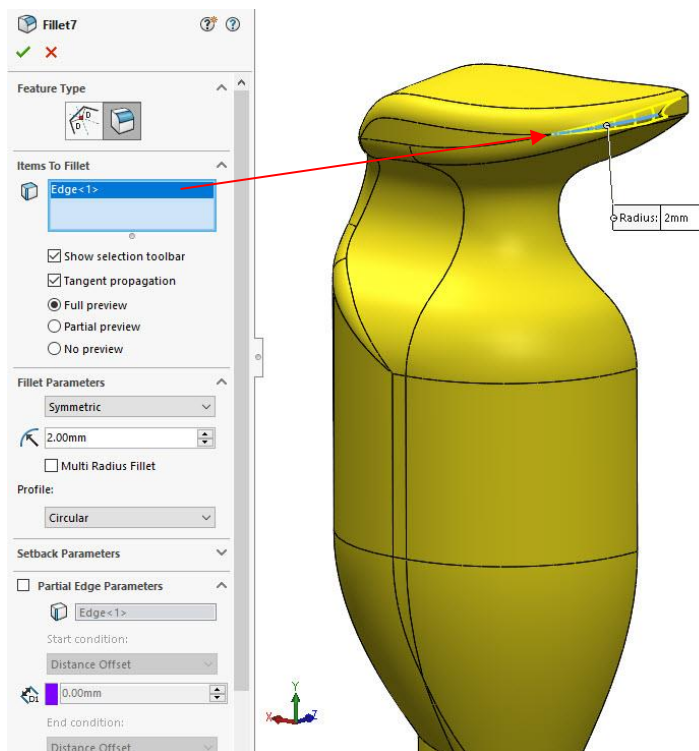
34. Заобли го работ со радиус на заоблување од 16,2 mm.



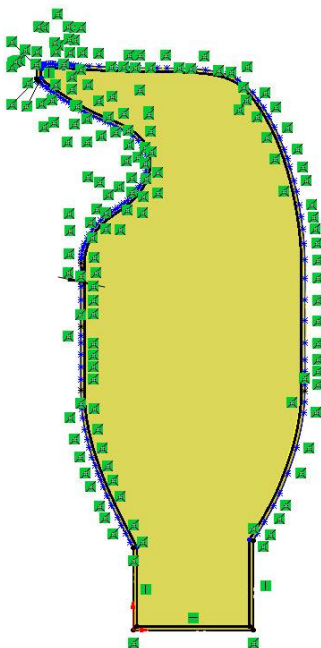
35. Заобли ги рабовите со радиус на заоблување од 10 mm.



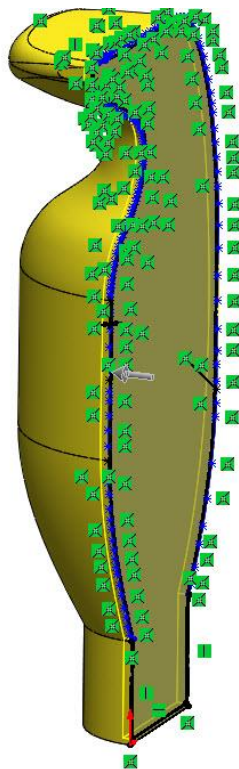
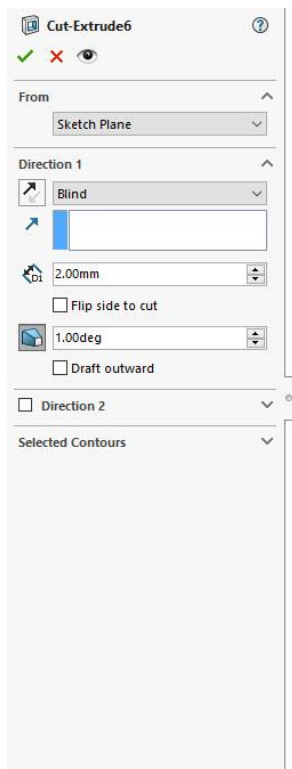
36. Заобли го работ со радиус на заоблување од 2 mm.



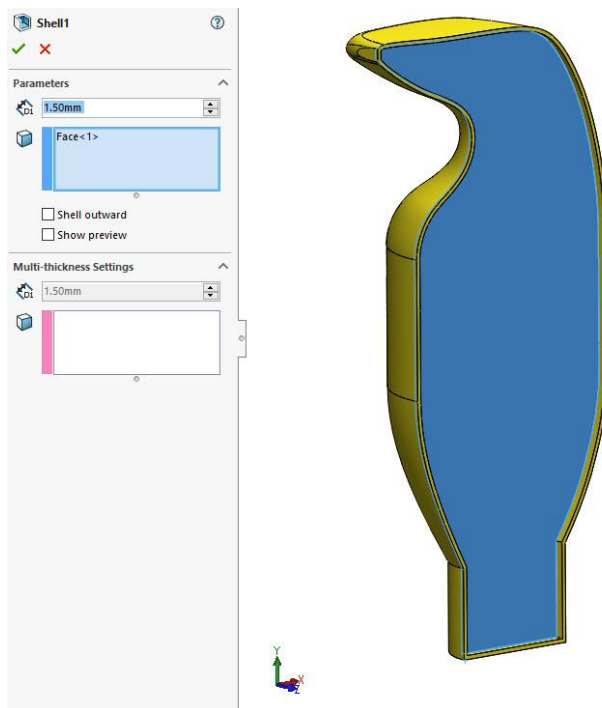
37. На рамната страна отворете скица и направете offset на надворешниот раб за 2 mm навнатре, како на сликата.



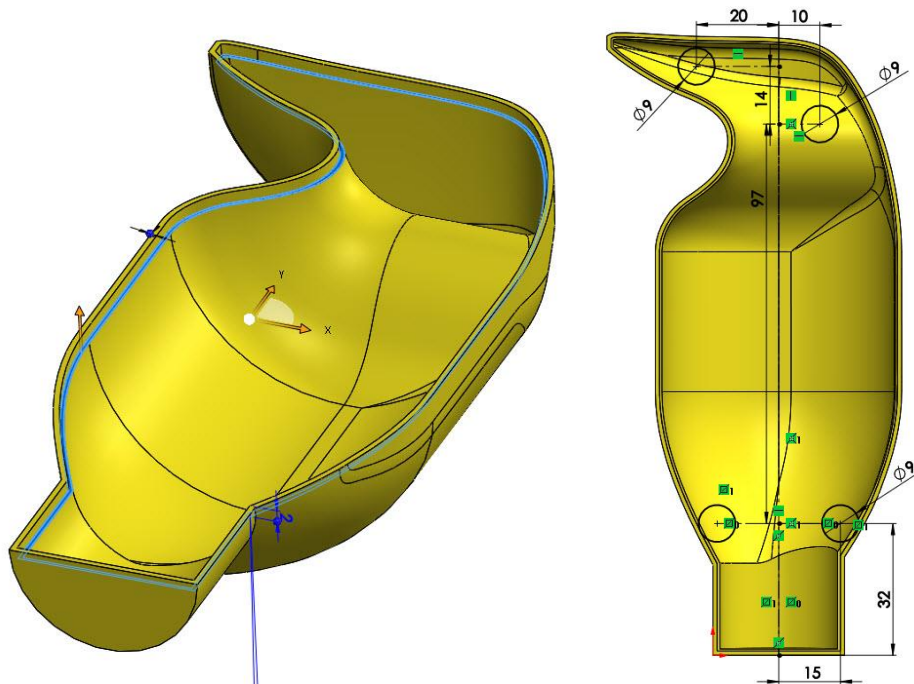
38. Направете отвор со наредбата Extrude Cut со длабочина 2 mm и косина од 1°.



39. Направете тенкосидна лушпа со рамномерна дебелина од 1,5 mm со наредбата Shell.

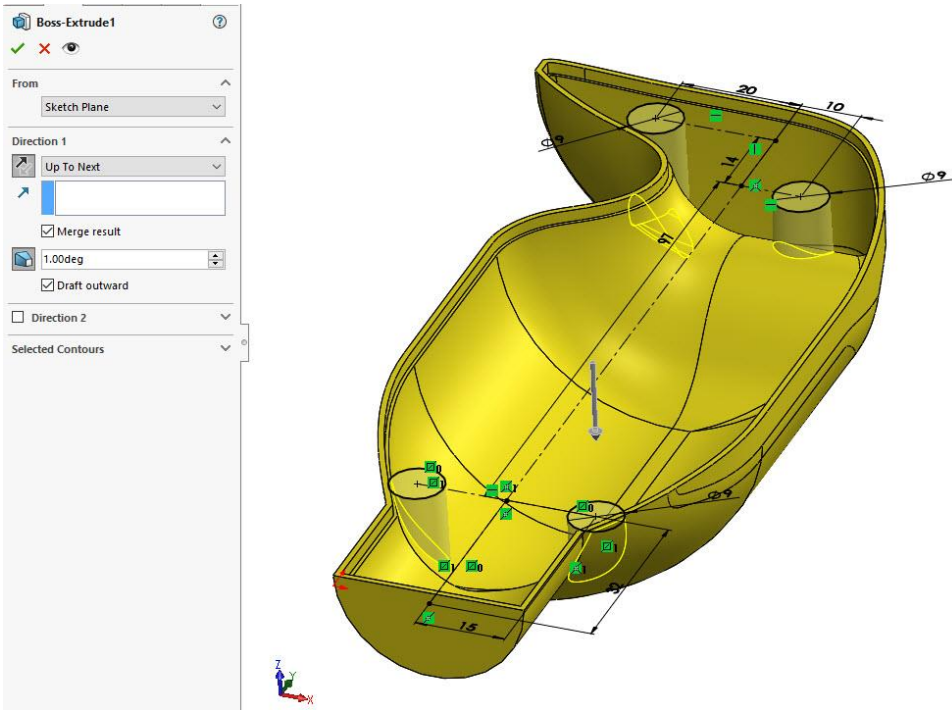


40. На сината површина отворете скица и скицирајте четири отвори со дијаметар  $\varnothing 9$  mm, како на сликата.

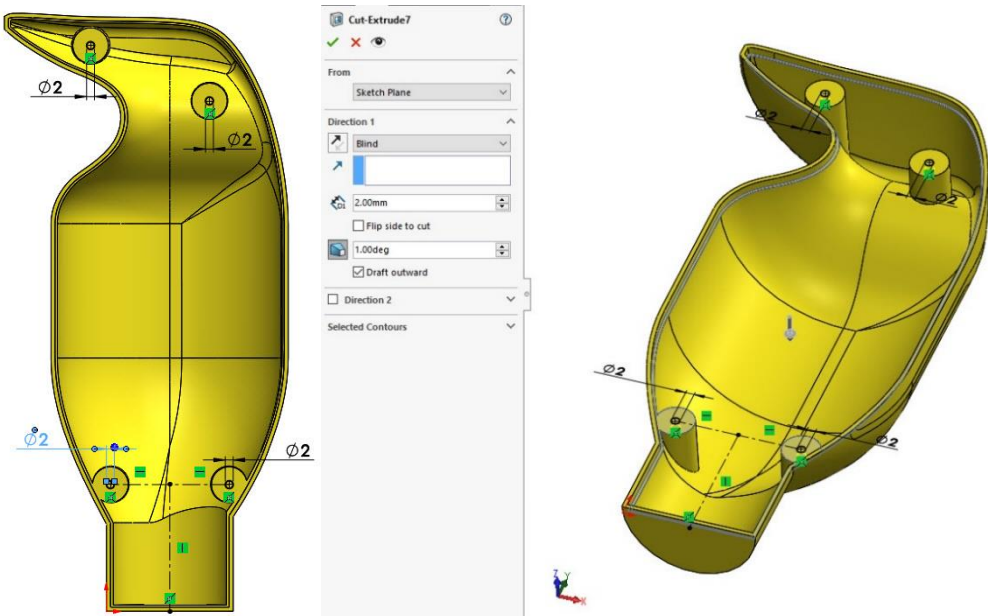




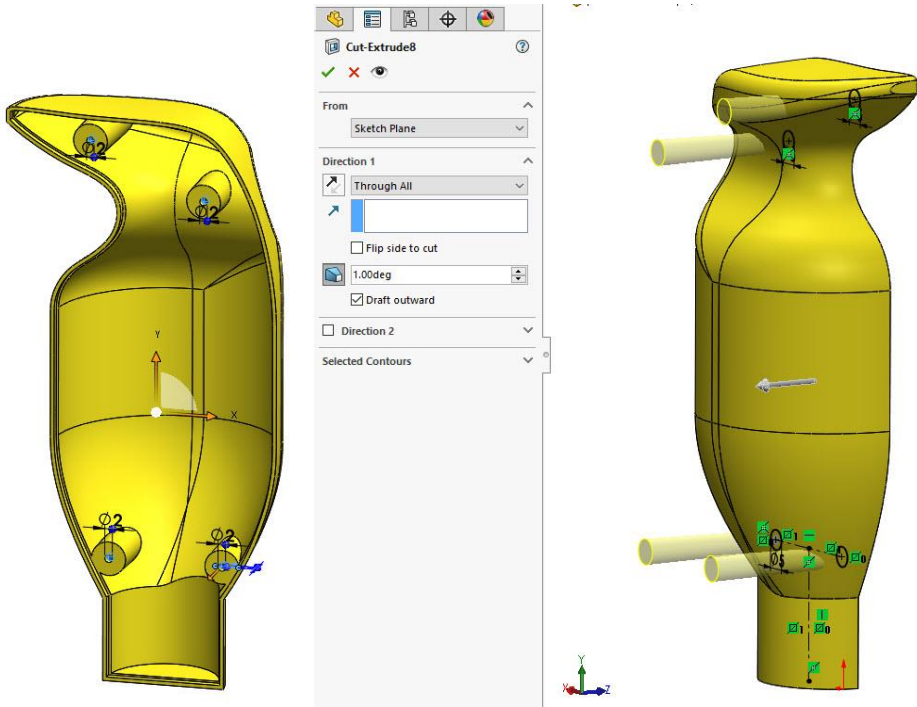
41. Со помош на наредбата Extrude направете четири цилиндри кои се истегнуваат до сложената површина и имаат косина од 1°



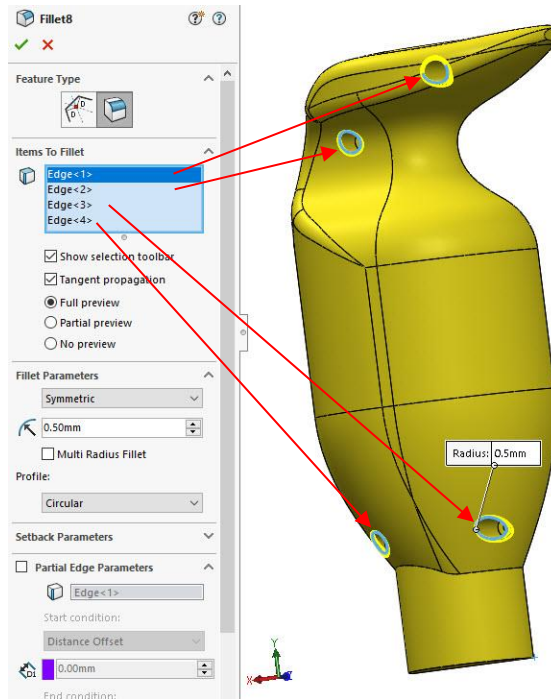
42. Скицирајте четири кружници со дијаметар  $\varnothing 2$  mm и направете отворчиња со длабочина од 2 mm.



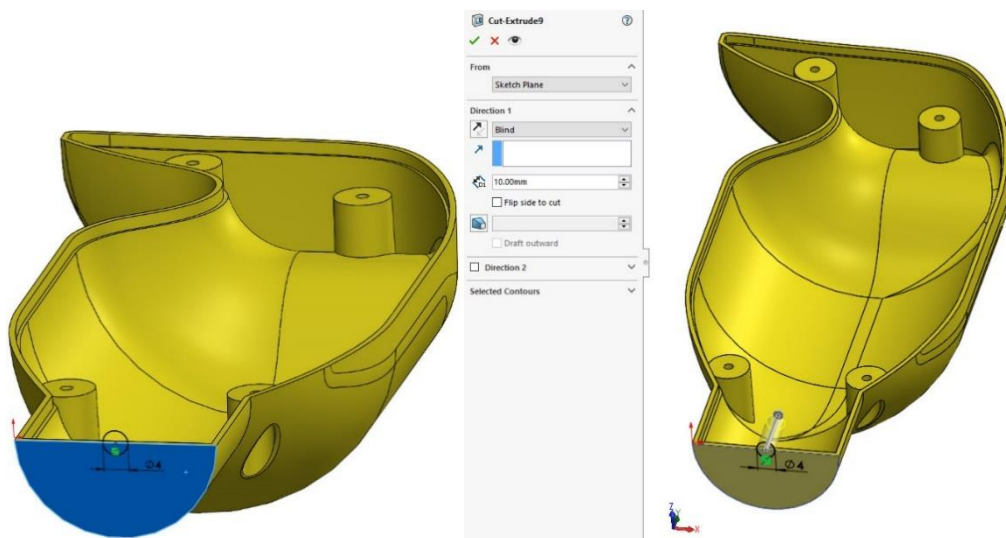
43. Скицирајте четири кружници со дијаметар  $\varnothing 5 \text{ mm}$  во рамнината кај малите отвори изработени во чекор 42 означена со сина боја на наредната слика и направете отворчиња со длабочина низ целиот дел со косина од  $1^\circ$ .



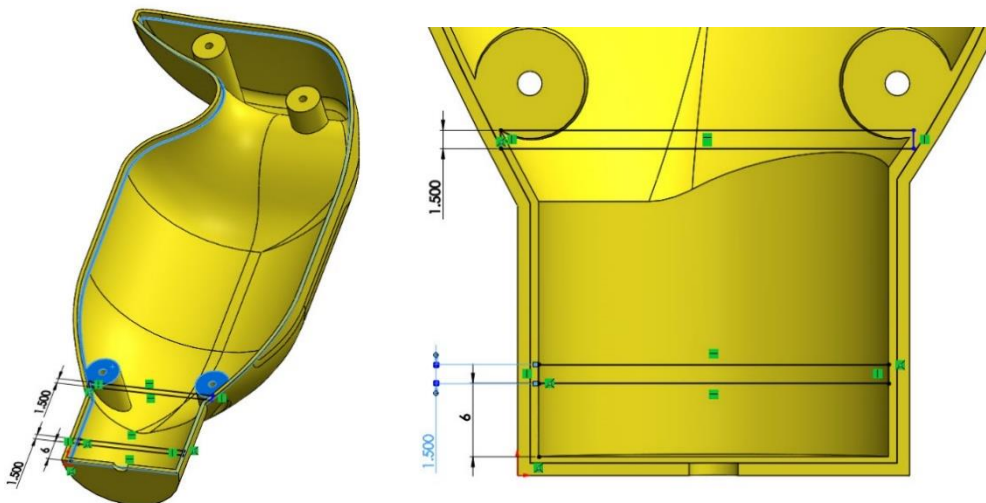
44. Заобли ги рабовите со радиус на заоблување од  $0,5 \text{ mm}$ , како на сликата.



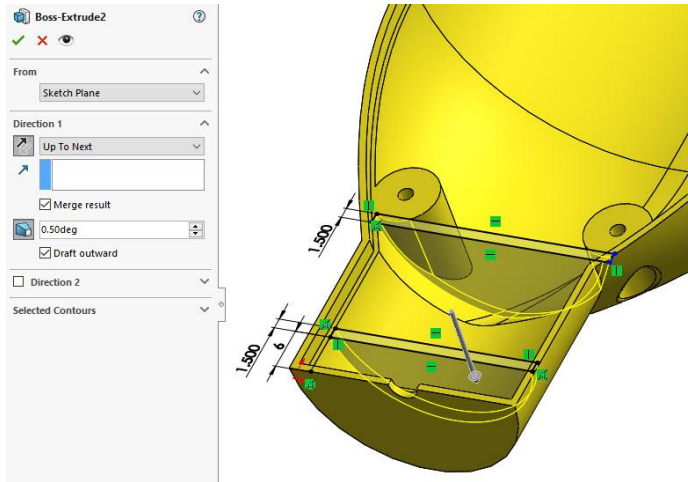
45. Во рамнината означена со сина боја на сликата скицирајте кружница со дијаметар  $\varnothing 4$  mm и направете отвор со помош на наредбата Extrude Cut.



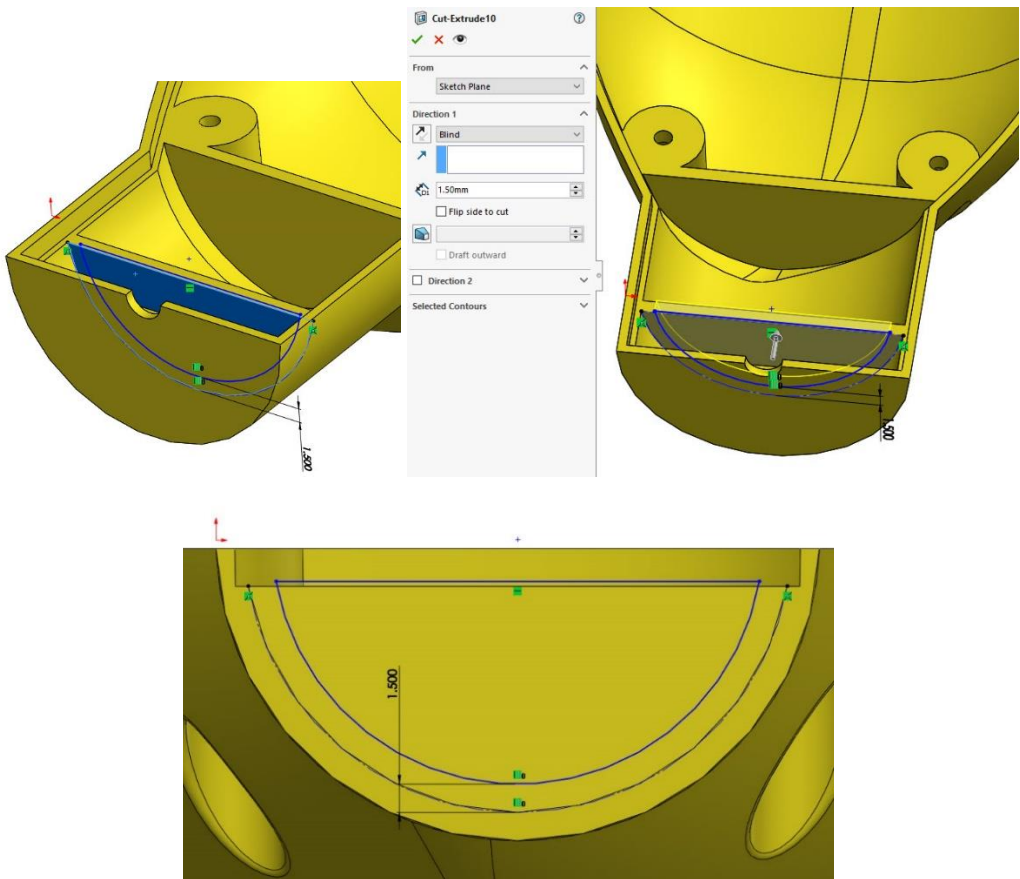
46. Во рамнината означена со сино скицирај два правоаголника со чија помош ќе се изработат ребра, со димензии како на сликата.



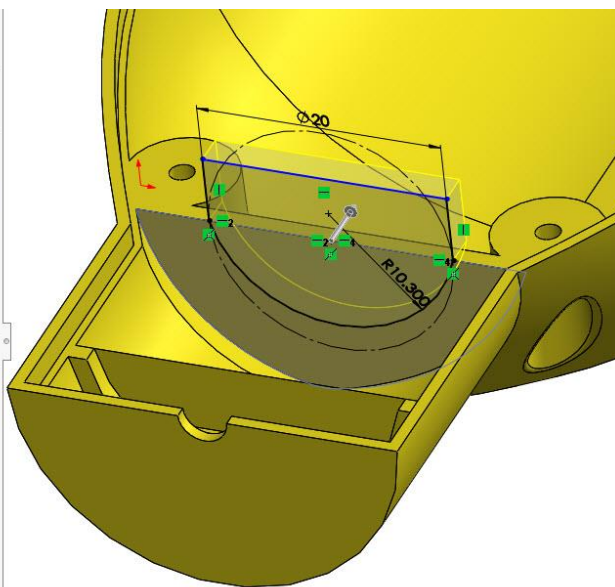
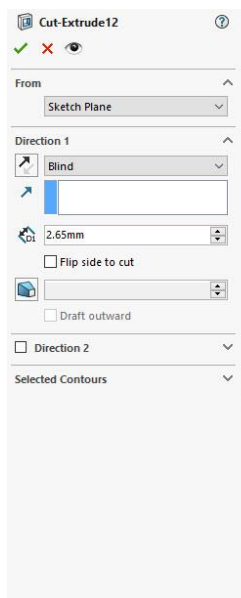
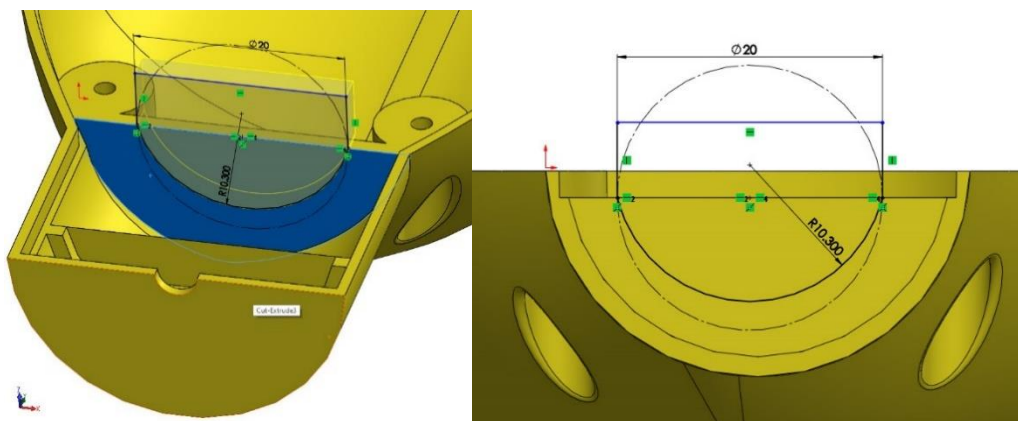
47. Со наредбата Extrude Base/Base изработи ги ребрата со косина 0,5°.



48. Во рамнината означена со сина боја скицирај полукружница оддалечена за 1,5 mm од работ на ребро и со помош на наредбата Extrude Cut отсеци го делот од ребро, како на сликата.

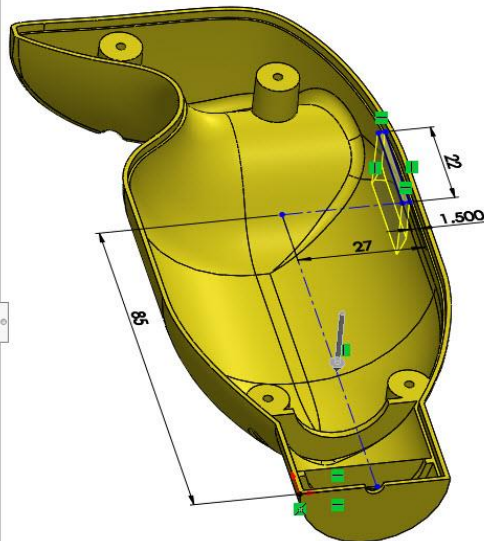
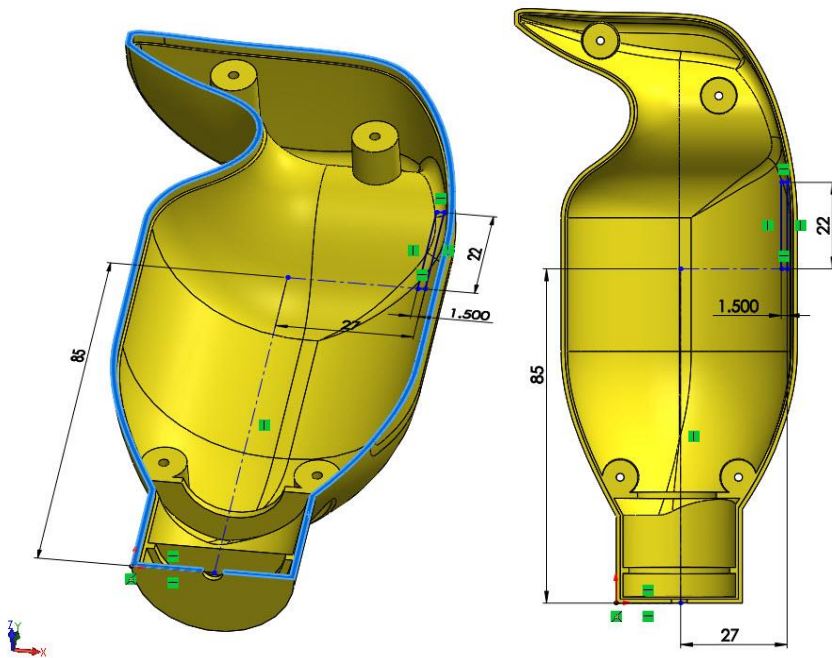


49. Во рамнината означена со сина боја направи скица како на сликата на реброто и со помош на наредбата Extrude Cut отсечи го делот од реброто, како на сликата.

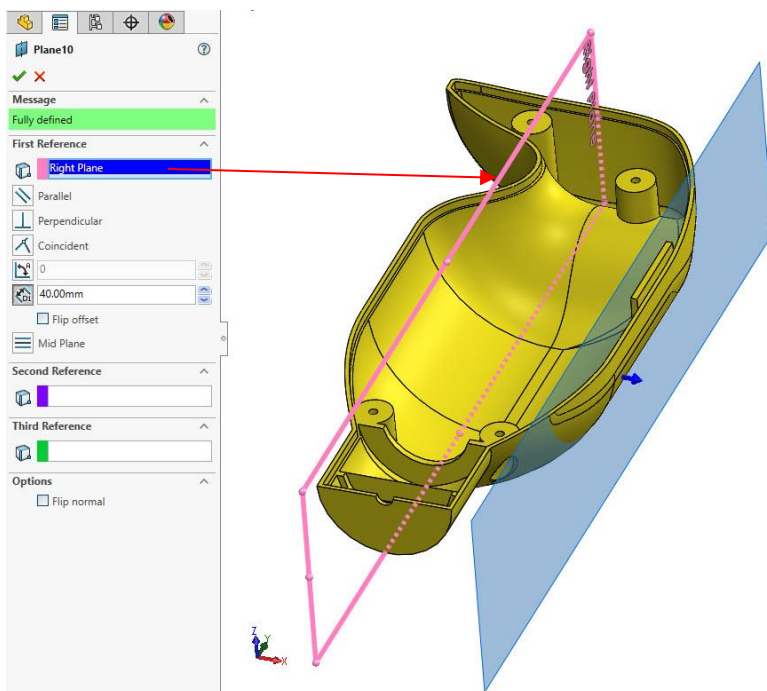




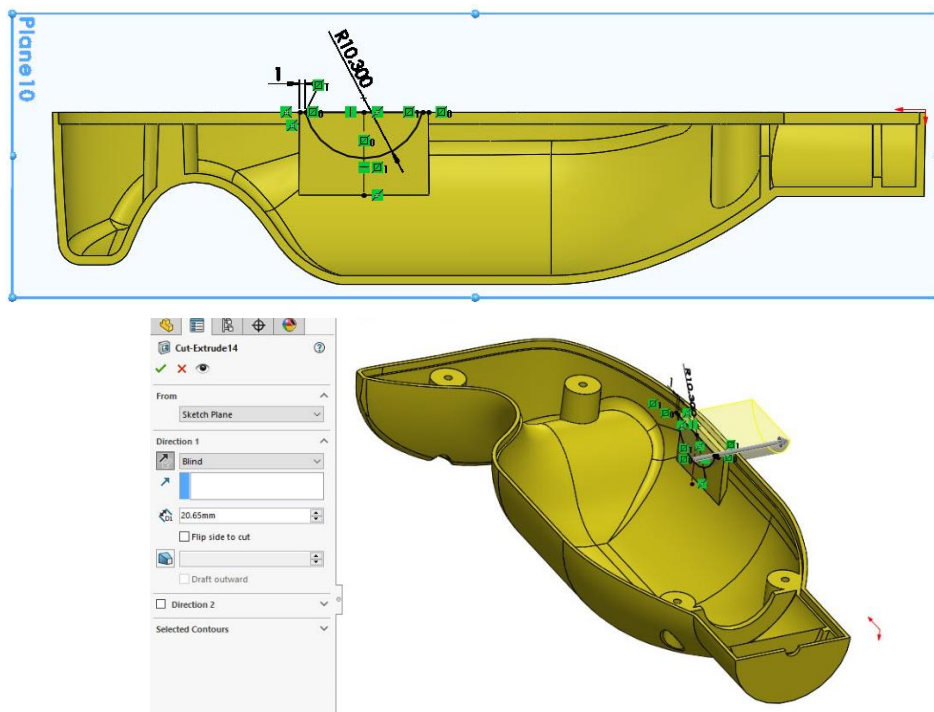
50. Во рамнината означена со сина боја направи скица и нацртај правоаголник со димензии 1,5x20 mm и со наредбата Extrude Boss/Base истегни ја скицата сè до ѕидот со косина од 0,5°, како на сликата.



51. Креирај рамнина паралелна на рамнината Right Plane оддалечена за 40 mm, како на сликата.

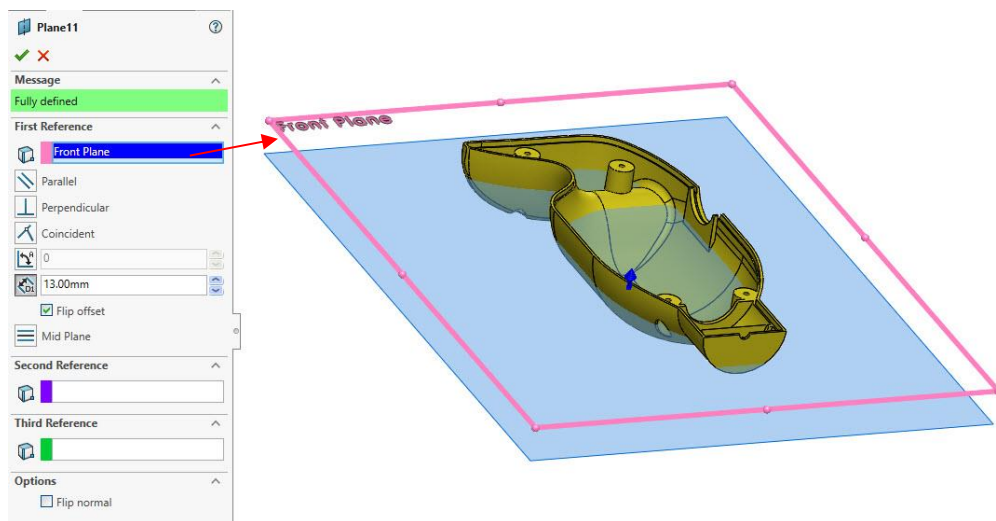


52. Во претходно креираната рамнина направи скица како на цртежот и потоа со наредбата Extrude Cut отсеци го делот нанадвор.

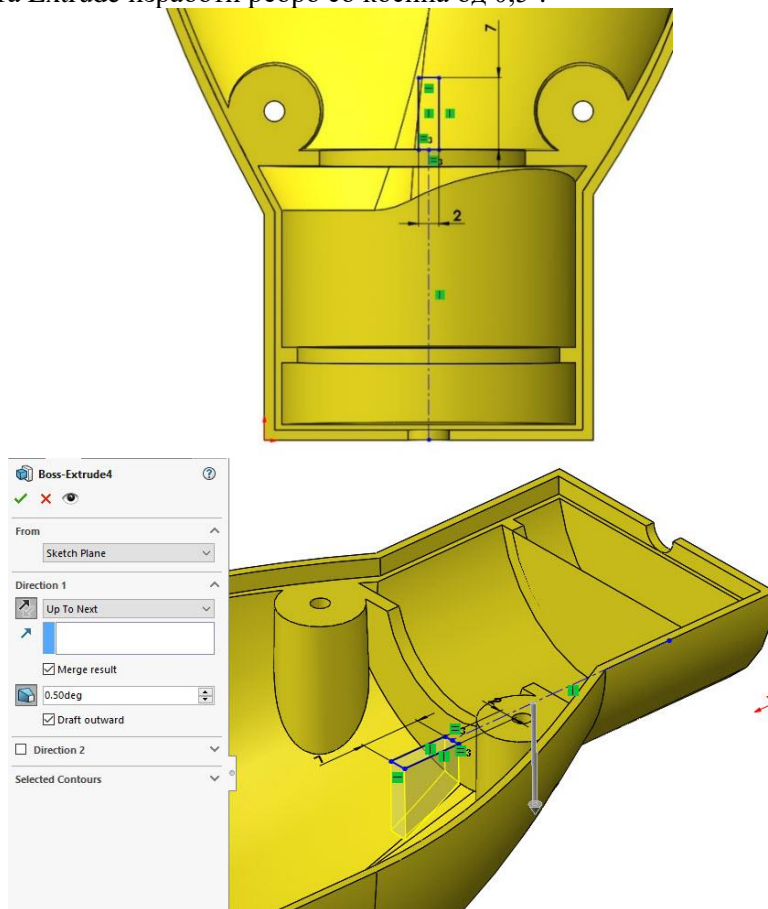




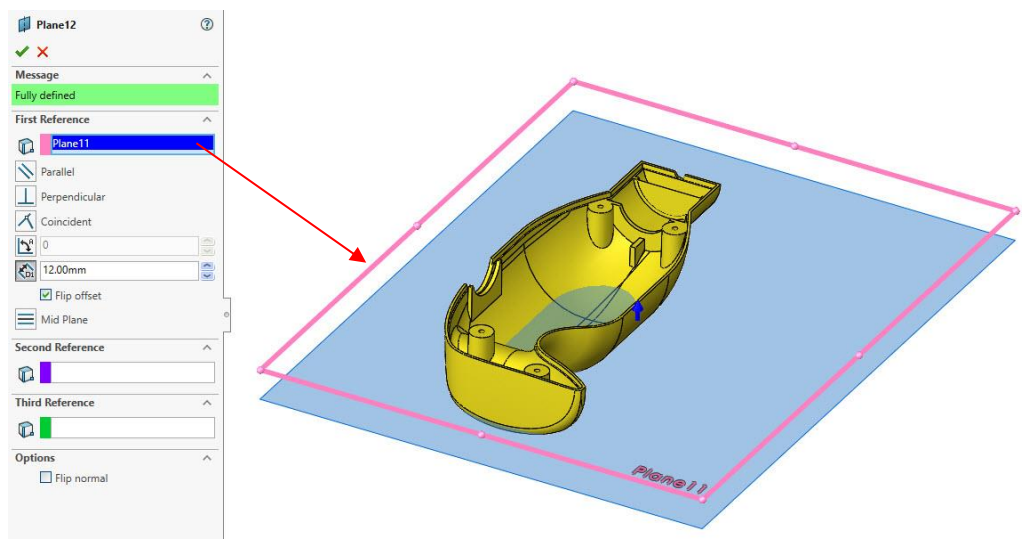
53. Креирај рамнина паралелна на рамнината Front Plane оддалечена за 13 mm, како на сликата.



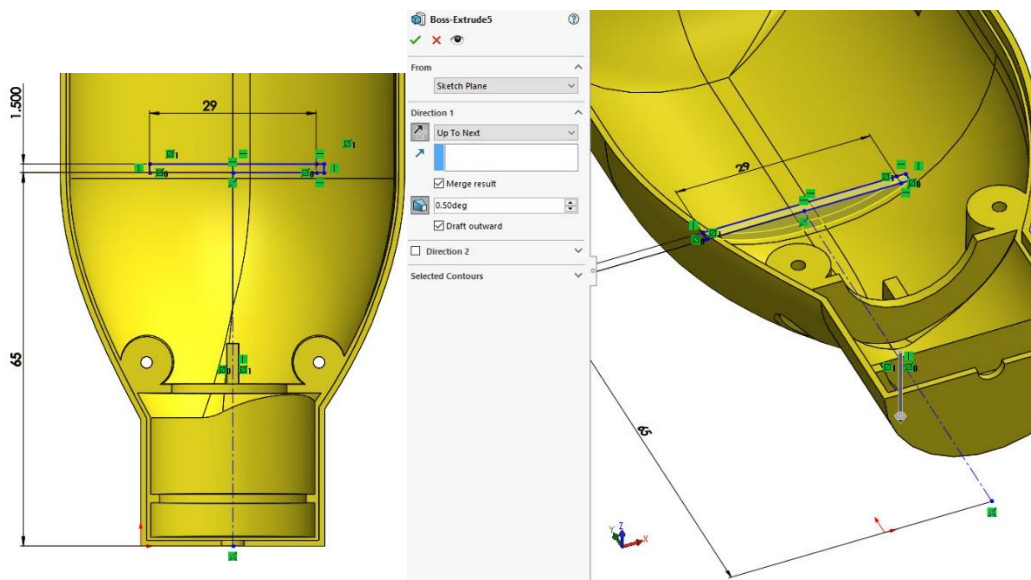
54. Во претходно креираната рамнина направи скица како на цртежот и потоа со наредбата Extrude изработи ребро со косина од  $0,5^\circ$ .



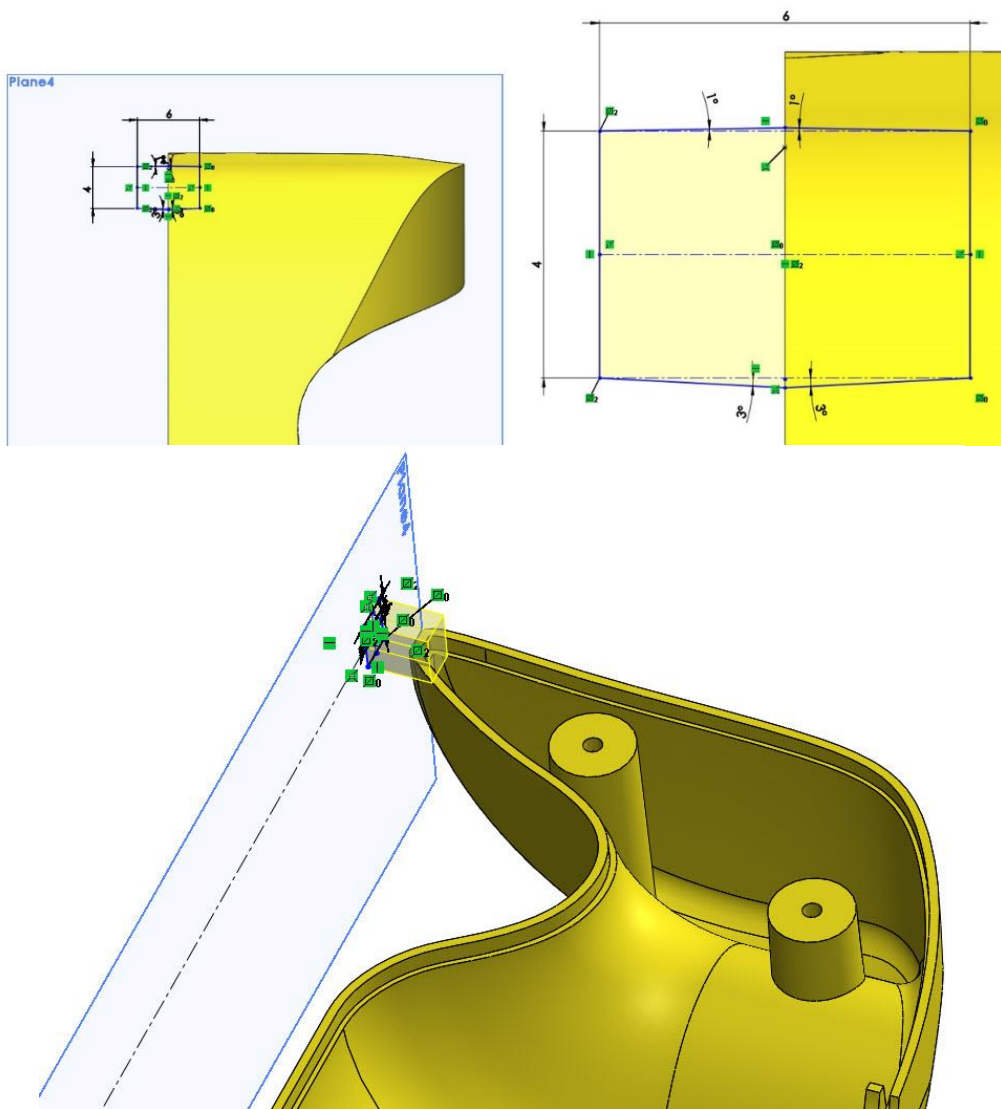
55. Креирај рамнина паралелна на претходно креираната рамнина оддалечена за 12 mm, како на сликата.



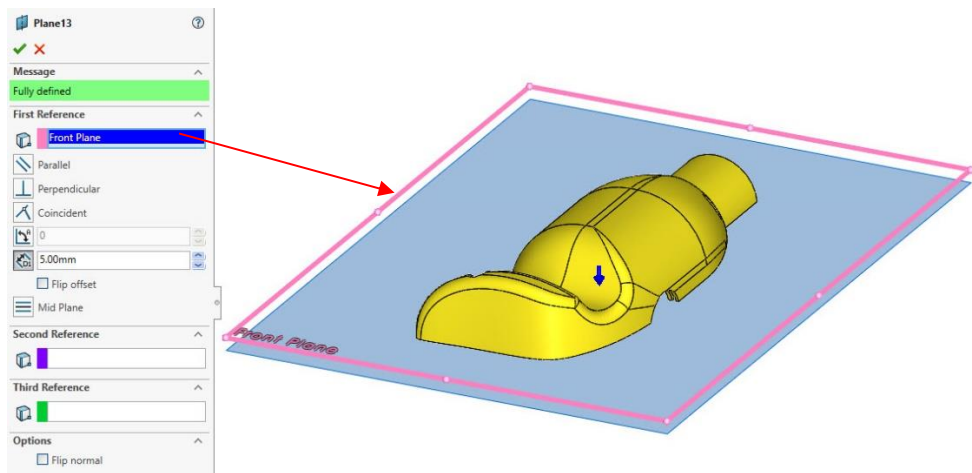
56. Во претходно креираната рамнина направи скица како на цртежот и потоа со наредбата Extrude изработи ребро со косина од 0,5°.



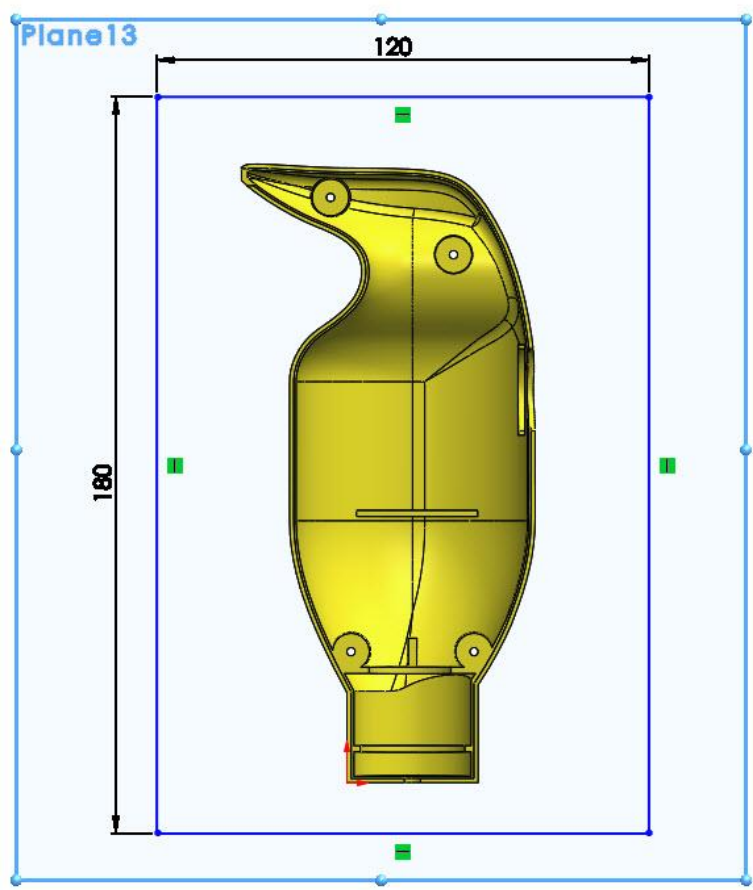
57. Во рамнина креирана во чекор 21 направи скица како на цртежот и потоа со наредбата Extrude Cut изработи отвор за кабел.



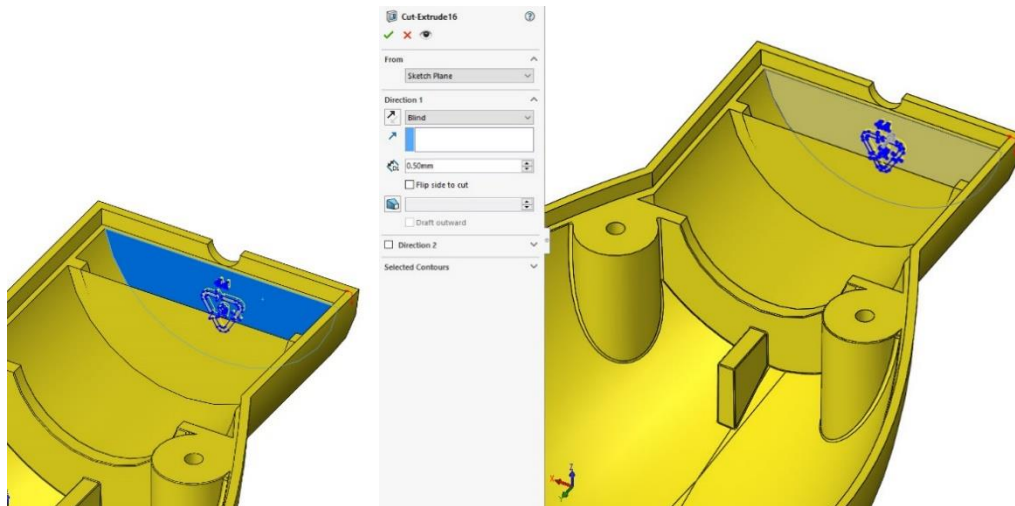
58. Креирај рамнина паралелна на рамнината Front Plane оддалечена за 5 mm и да биде под делот, како на сликата.



59. Во претходно креираната рамнина отвори скица и креирај правоаголник со димензии 120 x 180 mm, како на сликата. Овие димензии се всушност надворешните габаритни димензии на калапната шуплина.

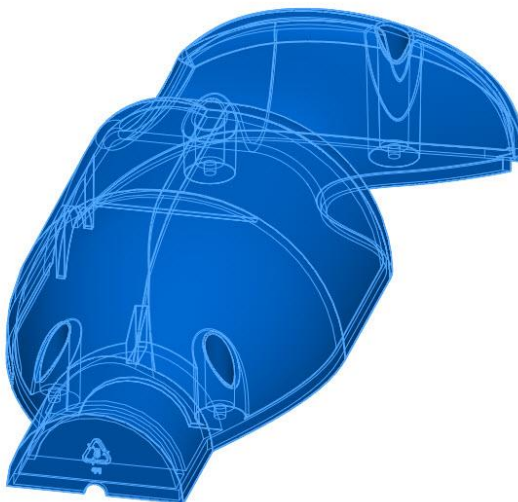
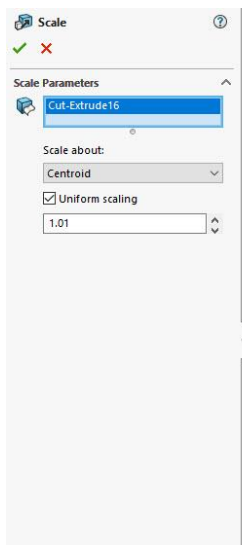


60. Во рамнината означена со сина боја направи скица и нацртај ја ознаката за рециклирање пластика и типот на пластиката (во случајот полипропилен – PP) и со наредбата Extrude Cut направи отвор со длабочина 0,5 mm, како на сликата.

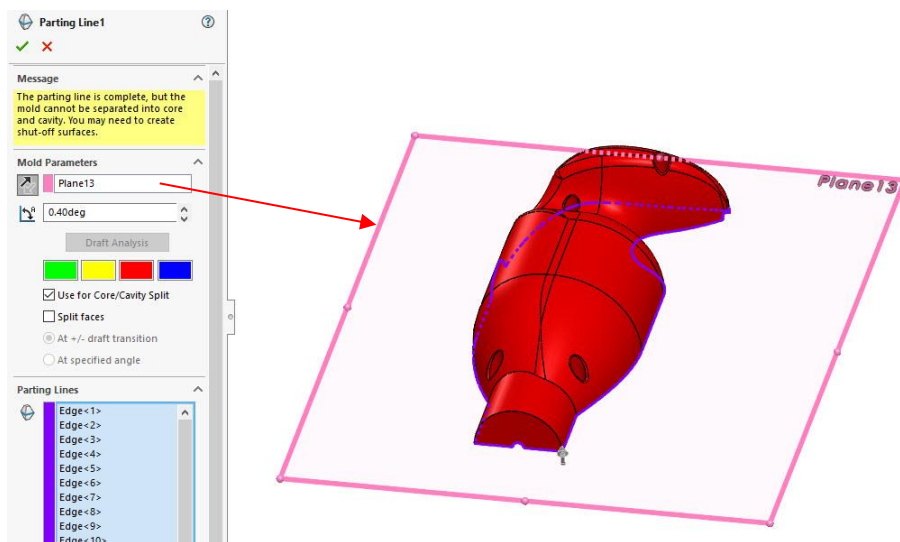


61. На сите внатрешни и надворешни рабови постави заоблување со наредбата Fillet со радиус на заоблување од 0,2 mm. Заоблување на се става на рабовите кои ја формираат линијата Parting Line и рабови кои се користат за формирање површини Shut-off Surfaces.

62. Со наредбата Scale која се наоѓа во менито Insert > Features, зголеми ја геометријата на делот за процентот на собирање на пластиката. Во зависност од типот, пластиката се собира и потребна е корекција на геометријата. Секој производител на пластика дава податок за собирањето на пластиката, или пак користејќи ги онлајн-базите за материјали, или пак CES-софтверот може да се најде податок за процентот на собирање на пластиката. Во овој случај ќе поставиме зголемување на геометријата на делот за 1 %.



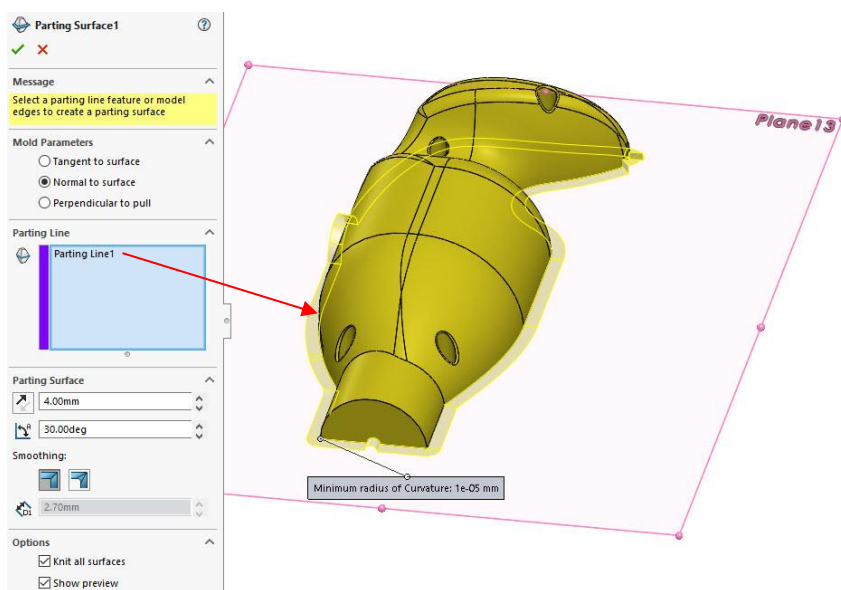
63. Со наредбата Parting Line изработи поделбена линија. Во овој случај поделбената линија е сложена просторна 3Д линија.



Напомена:

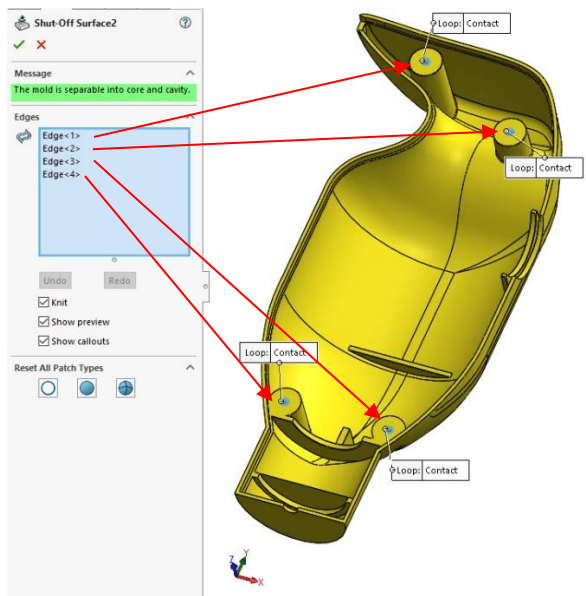
- 1) Селектирајте ја рамнината Plane 13,
- 2) Зададете агол на закосеност од  $0.4^\circ$ ,
- 3) Направете проверка на закосеност на бочните површини со наредбата Draft Analysis, прикажана во прозорецот лево,
- 4) Доколку пластичниот дел е моделиран во согласност со правилата за моделирање делови од пластика, поделбената линија автоматски се генерира и се означува на моделот со сина задебелена линија.

64. Со наредбата Parting Surface изработи поделбена површина. Ширината на поделбената површина треба да биде 4 mm.

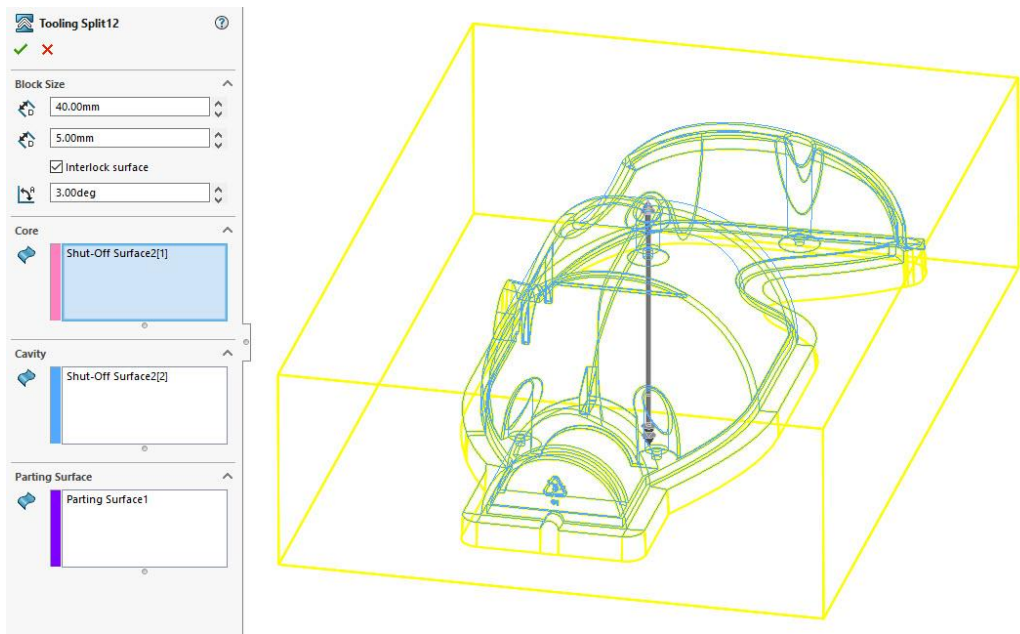




65. Со наредбата Shut-Off Surfaces затвори ги отворите во насока на отворање на калапот. Со самата наредба автоматски се пронаоѓаат отворите.

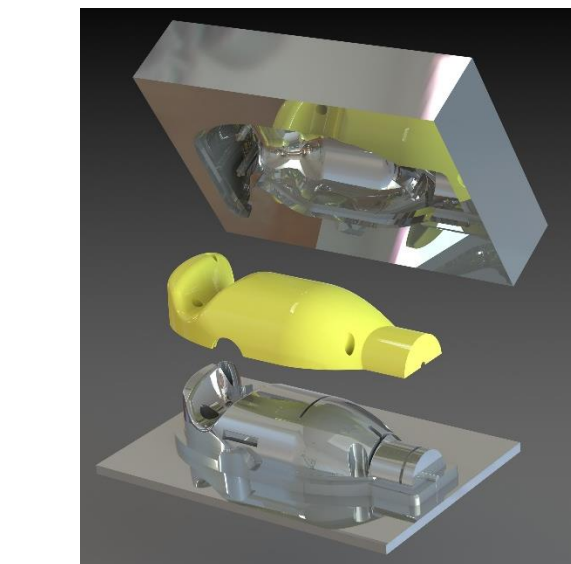


66. Со наредбата Tooling Split изработи калапна шуплина. Селектирај ја скицата правоаголник со димензии 120 x 180 mm од точка со реден број 59 и подеси ги габаритните димензии на калапната шуплина од 40 mm и 5 mm.





67. Калапната шуплина е прикажана на сликата.

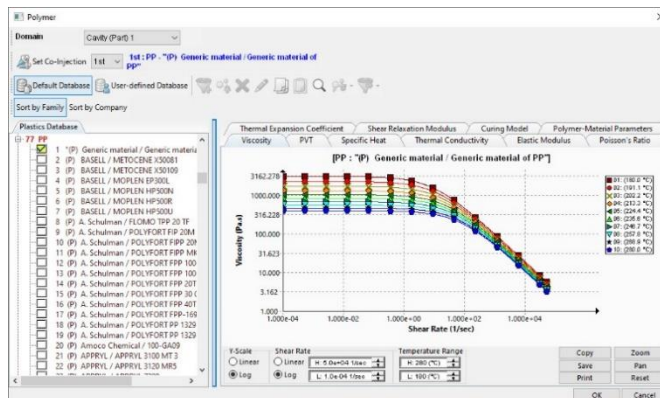


68. Анализа на геометријата на пластичниот дел после процесот на трансфер пресување (вбризгање).

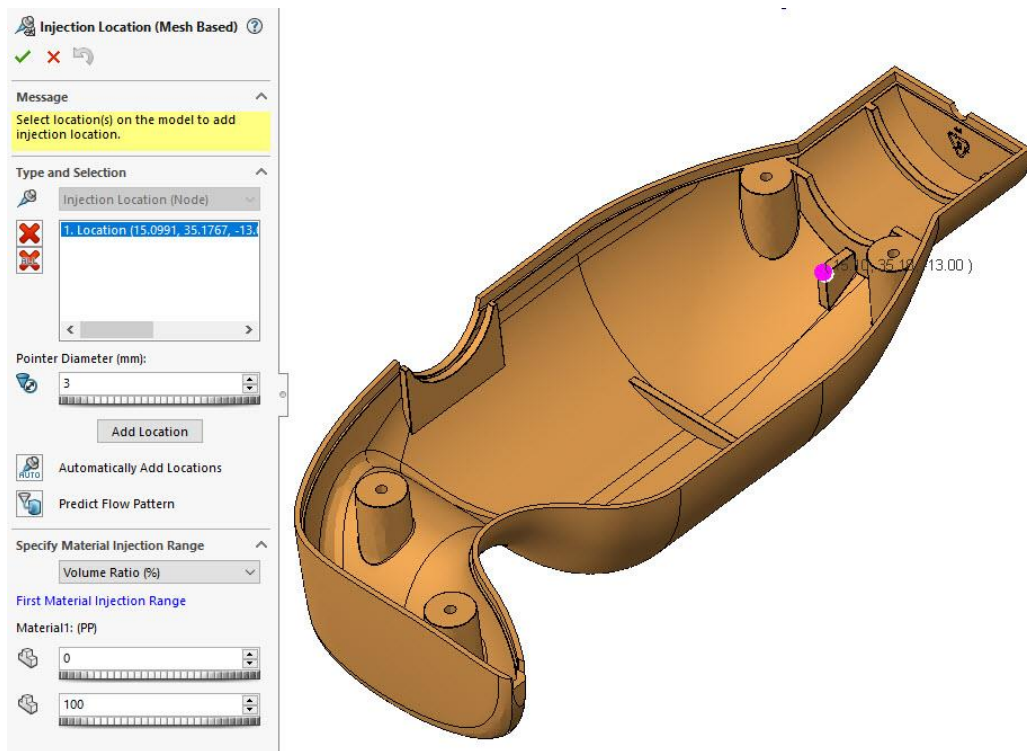
- Првично се поставува Shell-мрежа со помош на опцијата Manual со големина на конечниот елемент од 1.75 мм. Изглед на мрежата.



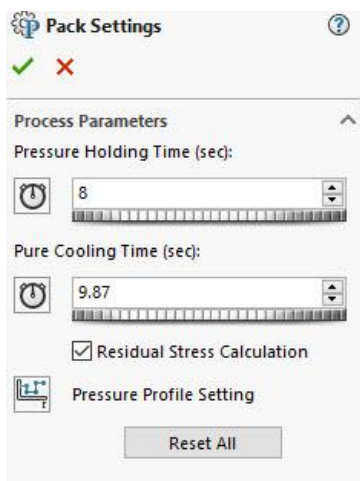
- Поставување материјал полипропилен (PP) пластика.



- Поставување на вливните порти. Мануелно се избира да се постави една вливна порта кај малото ребро во внатрешноста.

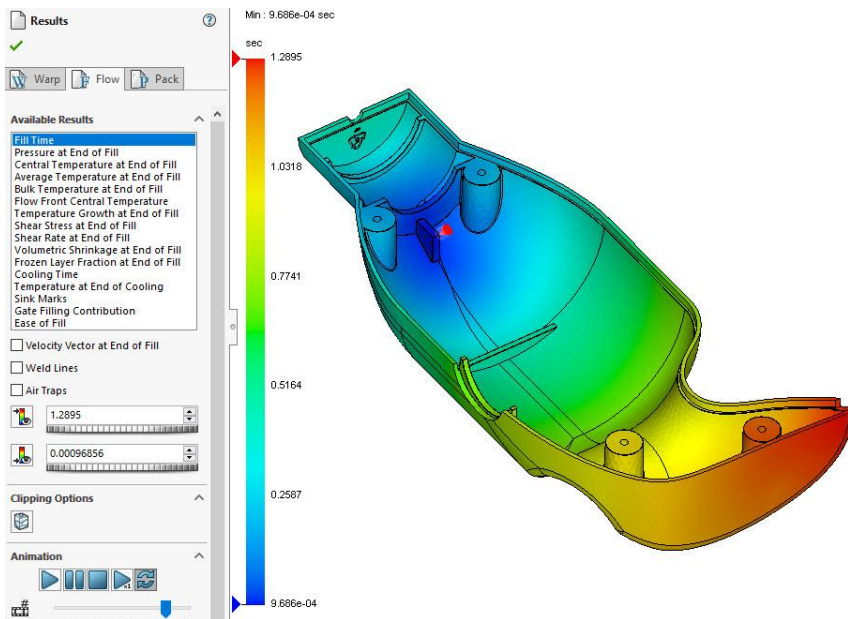


- Подесување на времето на пакување под притисок на 8 сек. Ова е време на задршка на отворени вливни порти под притисок и исполнета калапна шуплина.



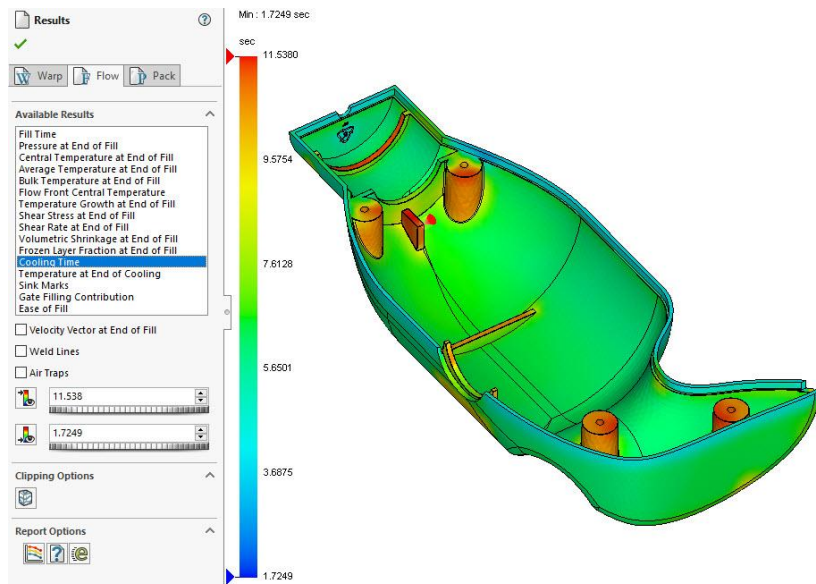
## Резултати од анализата на трансфер-пресување (вбризгање).

- Проверка на пополнување на калапната шуплина и време на пополнување.



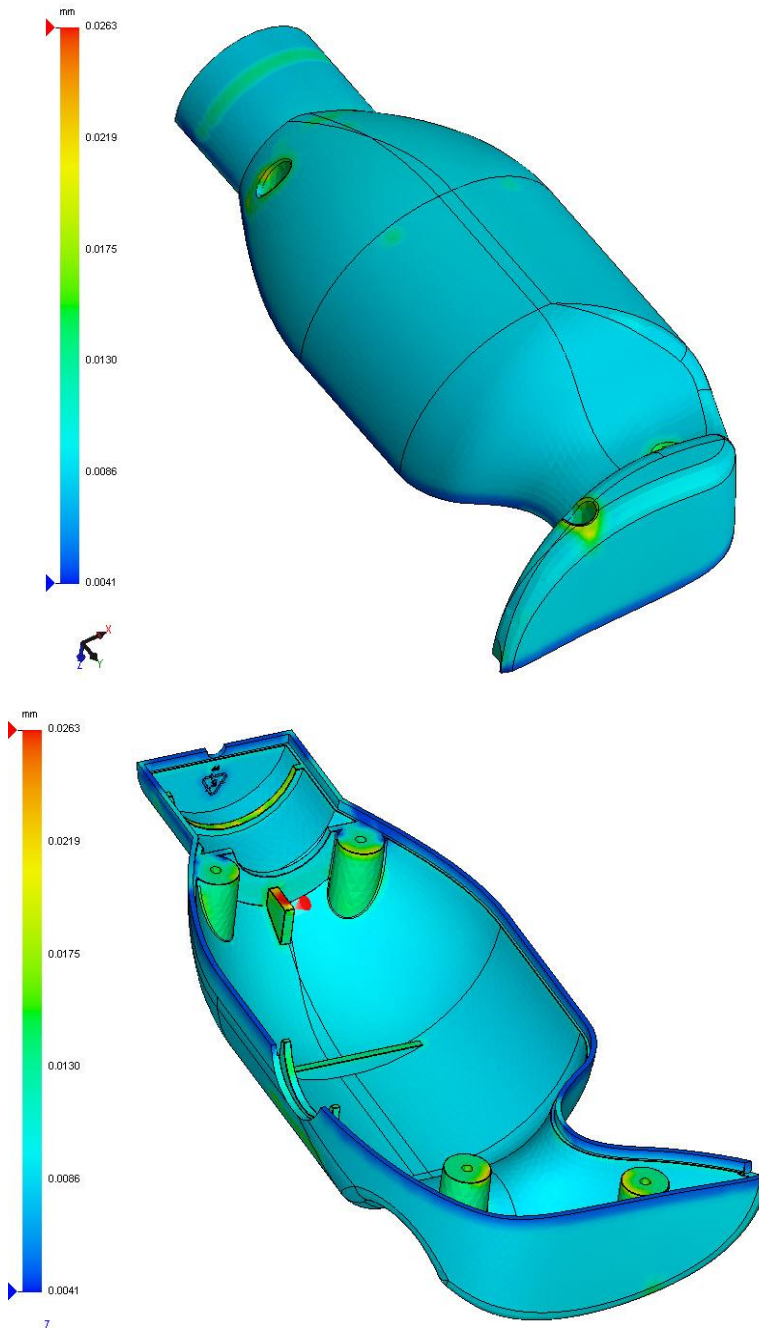
Калапната шуплина се пополнува целосно и времето на пополнување изнесува 1,29 секунди.

- Пресметка на времето потребно за ладење на пластичниот дел.



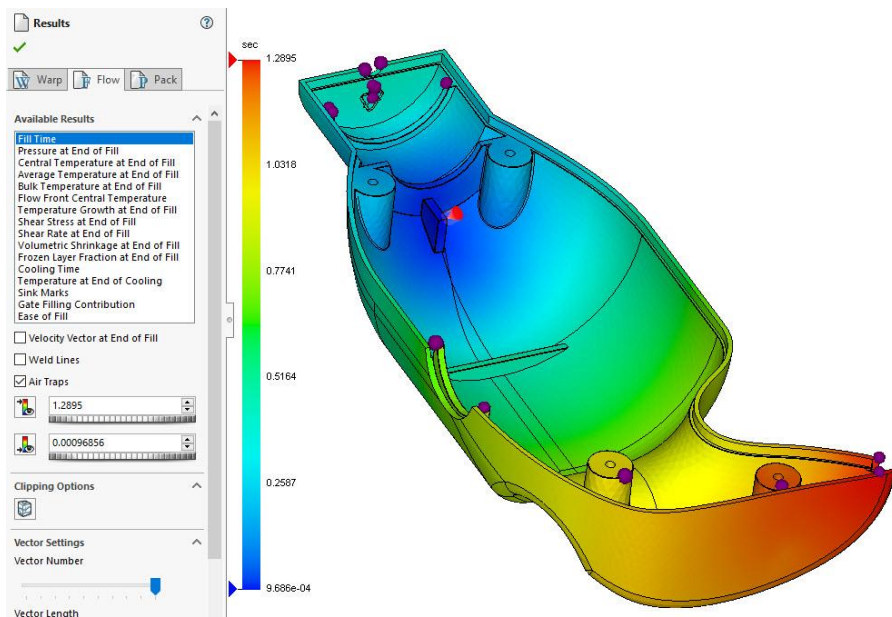
Времето потребно за ладење на делот изнесува 11.53 секунди.

➤ Пресметка на траги на пропаѓање на пластичниот дел.

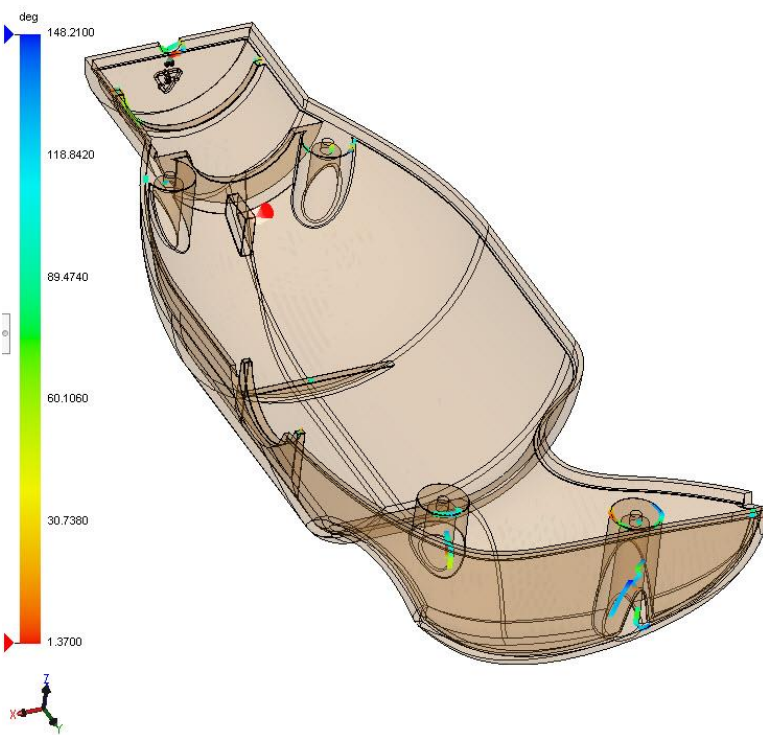


Максималното пропаѓање на пластичниот дел се наоѓа кај вливната порта и изнесува 0,0263 мм, што е незначително и не се гледа со голо око, не ја нарушува естетиката и функционалноста на делот.

- Определување места каде што е можна појава на заробен воздух.

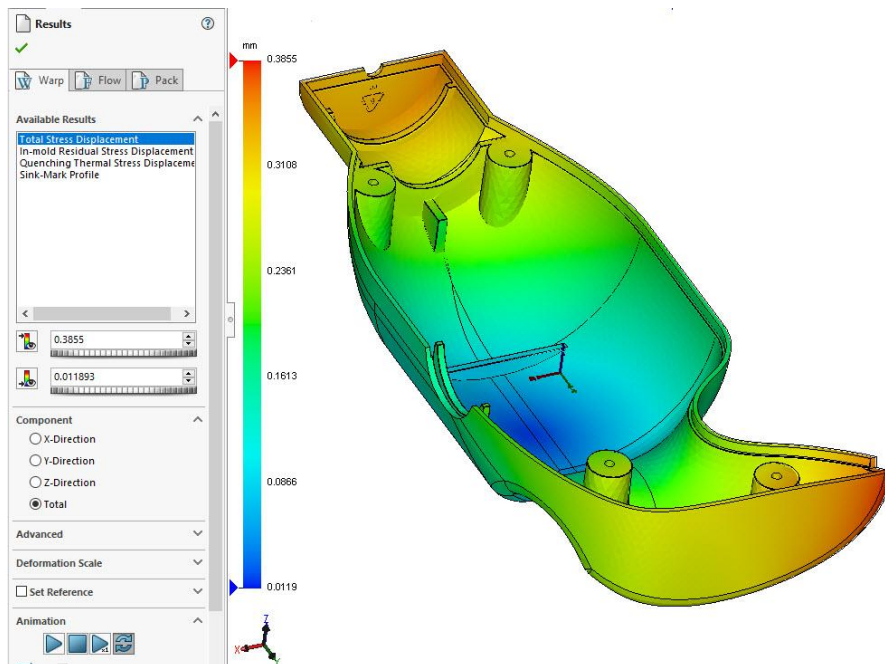


- Определување линии на судир (линии на завар).





➤ Пресметка на деформацијата после ладењето на пластичниот дел.



Максималната деформација изнесува 0,38 мм и се наоѓа некаде на крајот на рачката. Оваа деформација не е мала и не треба да се занемарува, бидејќи доколку постои нема да може да се спојат двата пластични дела од рачката. Во случај кога времето на пакување е помало тогаш оваа деформација е поголема. Времето на пакување го зголемува времетраењето на процесот на трансфер-пресување. Ќе треба да се обрати особено внимание на времето на пакување да биде поголемо и тоа е процесен параметар.

## Користена литература

1. **Erhard G.**, *Designing with plastics*, Hanser Publishers, Munich, 2006.
2. plasticseurope.org
3. www.statista.com
4. www.theconversation.com
5. **Malloy A. R.**, *Plastic part design for injection molding*, Hanser Publishers, Munich, 2011.
6. **Kazmer O. D.**, *Injection mold design engineering*, Hanser Publishers, Munich, 2007.
7. **Bayer Material Science.**, *Engineering polymers, Part and mold design, Thermoplastics, A Design guide*, 2000.
8. **Kutz M.**, *Applied plastic engineering handbook: Processing and materials*, Elsevier, 2011.
9. **Troughton M. J.**, *Handbook of plastics joining: a practical guide*, PDL publications, 2008.
10. **Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato**, *Plastics engineered product design*, Elsevier, 2001.
11. **Charles A. Harper, Edward M. Petrie**, *Plastics materials and processes: a concise encyclopedia*, a John Wiley & Sons, inc., publication, 2003.
12. **Crawford J. R.**, *Plastics engineering*, Linacre House. Jordan Hill, 2002.
13. **Dassault Systemes SolidWorks Corporation**, *SolidWorks Plastics*, 2013.
14. **Paul A. Tres**, *Designing Plastic Parts for Assembly*, Hanser Publishers, Munich, 2017.
15. **Bhargava V.**, *Robust plastic product design: a holistic approach*, Hanser Publishers, Munich, 2017.

Е-издание: [http://www.ukim.edu.mk/mk\\_content.php?meni=53&glavno=41](http://www.ukim.edu.mk/mk_content.php?meni=53&glavno=41)



# ПРОИЗВОДИ ОД ПЛАСТИКА

Широката примена на пластиките во современите производи е резултат на нивните ненадминливи својства кои овозможуваат пред сè цврстина, флексибилност и хемиска отпорност при мала тежина. Освен тоа, пластиките се обликуваат на најразлични начини за да се креираат производи со возбудливи облици, бои, сјај, транспарентност, релјефни текстури и графички декорации. Доброто познавање и креативноста во користењето на пластиките како материјал се вештини кои биле суштествени за развојот на низа производи кои денес се дел од нашето секојдневие, а ќе бидат доразвивани и барани и во иднина.

Производи од пластика, прво издание, нуди мулти-функционален поглед кон дизајнирањето на производите со примена на различни видови пластики. Книгата е пишувана со едноставен јазик за да соодветствува на потребите на студентите по индустриски дизајн. Опфатени се широк спектар на активности почнувајќи од изборот на материјал според различни технички и естетски карактеристики, обликувањето на деловите, деталното конструирање, декорирањето и аспектите на производството. Акцентот е ставен на стекнување на што посеопфатни познавања на оваа проблематика за да може да се донесат правилни одлуки во процесот на дизајнирањето на современи производи од пластика. Во повеќето поглавија се презентирани и примери на повеќе реализирани проекти со студентите.

## За авторите

Татјана Кандиќјан и Иле Мирчески се професори на Машинскиот факултет во Скопје, на Институтот за машински конструкции, маханизациони машини и возила. Тие предаваат низа различни предмети од областа на машинското конструирање, како и индустрискиот дизајн ([www.mf.edu.mk](http://www.mf.edu.mk)). Имаат реализирано низа домашни и странски научни проекти и објавено повеќе трудови во релевантни странски часописи.

