

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Наоружање
Предмет: Технологије прераде пластичних маса
Број индекса: 536/2011

Предраг М. Савић

**Примена полимерних композита код стрељачког
наоружања и муниције**
Дипломски рад

Дипломски рад Комисија за преглед и
одбрану:

1. ред. проф. др Богдан Недић-Ментор
2. _____ - члан
3. _____ - члан

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2016.

У оквиру овог дипломског рада треба извршити прикупљање и систематизацију података о композитним полимерима који се користе у индустрији производње опреме наоружања и муниције. Описати карактеристике и области примене полимерских композита. На крају рада извршити моделирање примера примене полимерског композита на делове наоружања и муниције.

Крагујевац, март 2016.

Ментор:
др Богдан Недић, дипл. инж.

Садржај

Резиме	1
1. Увод.....	2
2. Опште о полимерима.....	6
3. Полимерни композити ојачани континуалним влакнима	10
3.1. Карактеристике полимерних композита.....	10
3.2. Класификација композита.....	11
3.3. Примена композита са полимерним матрицама	12
3.4. Влакна	13
3.4.1. Угљена влакна	14
3.4.2. Стаклена влакна	16
4. Тефлон	19
4.1. Подела тефлона - класификација.....	20
4.1.1. Тефлон FEP	20
4.1.2. Тефлон PFA.....	21
4.1.3. Тефлон FA.....	21
4.1.4. Тефлон PTFE.....	22
4.2. Процес добијања Тефлона.....	22
4.3. Хемијске особине.....	23
4.4. Физичке особине	25
4.5. Примене Тефлона.....	26
5. Карактеристике стрељачког оружја	28
5.1. Борбене карактеристике	28
5.2. Конструкционе карактеристике.....	30
5.3. Употребне (експлоатационе) карактеристике	30
5.4. Примена полимерних композита у стрељачком наоружању	31
6. Карактеристике муниције	41
6.1. Композитни полимери код муниције.....	42
7. Примери моделираних делова	44
7.1. Пример моделираног метка 7,62 mm	46
8. Закључак.....	49

Abstract

Because of the growing tendency to replace metal parts with lighter weight materials, corrosion resistant, easy to produce and thereby to provide the same features and the same purpose, has started production of parts made from polymer composites. The development of chemical industry in recent years of the 20th century, especially in the field of polymeric materials has led to the development of a whole range of new products and mass production of various materials with specific mechanical and other characteristics. In this paper will be presented the tendencies of application of polymer composites for military purposes (arms and ammunition), both globally and in our defense industry. Presentation of the main characteristics of the polymer division of the polymer, polymer composites and their structure. Basic impression are the main parts which are made of polymer composites in archery arms, ammunition, their construction and purpose of which is performed in the framework of weapons. Below will be shown parts of small arms, which are dedicated to industry made of polymer composites and Teflon, which is used as a coating in ammunition. It will be an example of modeling work infantry weapons and ammunition from a polymer composite.

Key words: polymer composite, ammunition, weapons, teflon, glass fibers.

Резиме

Због све веће тежње да се метални делови замене материјалом мање тежине, отпорнијим на корозију, лаким за израду и притом да се обезбеде исте карактеристике односно исте намене, почела је израда делова од полимерних композита. Развој хемијске индустрије последњих година 20-тог века, посебно у области полимерних материјала довео је до развоја читавог низа нових производа и масовне производње најразличитијих материјала специфичних механичких и других карактеристика. У раду је приказана могућност примене полимерних композита за војне намене (у наоружању и муницији) како у свету тако и у нашој наменској индустрији. Представљене су основне карактеристике полимера, подела полимера, полимерних композита и њихова структура. Приказани су основни делови који се израђују од полимерних композита у стрељачком наоружању, муницији, њихова конструкција и намена коју обављају у самом склопу оружја. Приказани су делови стрељачког наоружања које наменска индустрија израђује од полимерних композита, и примена тефлон који се користи као превлака у муницији. Приказан је пример моделирања дела стрељачког наоружања и муниције од полимерног композита

. Кључне речи: полимер, композит, муниција, наоружање, тефлон, стаклена влакна.

1. Увод

Оружјем се назива свако средство намењено уништавању живих бића и материјалних добара. С обзиром на извор енергије оружје се може поделити на:

- хладно и
- ватрено.

За коришћење хладног оружја користи се механичка енергија корисника оружја или затегнуте струне. У ову групу оружја спадају бодјежи, сечеви, копља, лук и стрела, самострел, али и све друго што се може искористити као оружје [11].

Под ватреним оружјем подразумева се оружје чији се рад заснива на коришћењу енергије барутних гасова насталих сагоревањем барута. У оквире овог материјала ушло је само ватрено оружје и то првенствено оно које је на употреби у оружаним снагама. У зависности од вида или рода војске разликује се пешадијско, артиљеријско, морнаричко, ваздухопловно итд. Ово није најпогоднији критеријум за анализу конструкције оружја јер неко оружје може бити и пешадијско и морнаричко. Тако у пешадијска наоружања спадају стрељачко, тромблонско, бестрзајно, минобацачи, ручне бомбе, бацачи пламена и аутоматски бацачи граната. Са аспекта употребе, минобацач користе пешадијске јединице, али са аспекта конструкције минобацачи су много ближи артиљеријским оруђима. Код нас је одомаћен израз стрељачко наоружање које представља наоружање којим рукује једна особа – стрелац. Основна намена стрељачког оружја је уништавање незаклоњених и слабо заклоњених циљева помоћу пројектила (зрна). Оружје којим су наоружане копнене снаге већине армија света може се поделити на основу различитих критеријума од којих су два основна:

- искоришћење енергије барутних гасова и
- борбена намена [11].

Зависно од тога за шта се користи енергија барутних гасова створених након опаљења метка, постоје три основне врсте наоружања:

- неаутоматско,
- полуаутоматско и
- аутоматско.

Код неаутоматског оружја енергија барутних гасова се користи само за давање почетне кинетичке енергије зрна, односно почетне брзине, а поновно пуњење оружја и опаљивање врши се ручно. Наоружање ове врсте најчешће се користи кад се захтева већа прецизност, а није потребна велика брзина гађања као што је случај код снајперских пушака. Ова оружја имају релативно малу брзину гађања која највише зависи од увежбаности стрелца. Пример оружја ове врсте на употреби у Војсци Србије је далекометна пушка 12,7 mm M93 "Црна стрела" [11].

Код полуаутоматског оружја енергија барутних гасова се, осим за давање почетне кинетичке енергије зрну, користи и за рад аутоматике: пражњење оружја, запињање ударног механизма и поновно пуњење оружја, али за свако опаљење потребно је поново повући обарач. Као пример ове врсте наоружања могу се навести велик број полуаутоматских пиштоља, као и полуаутоматске пушке. У Војсци Србије на употреби су пиштољи 7,62 mm M57, 7,65 mm M70, 9 mm ЦЗ 99 и снајперска пушка 7,9 mm M76.

Код аутоматског оружја енергија барутних гасова се користи за давање почетне кинетичке енергије зрну, за поновно пуњење оружја и испаливање следећег метка, све док стрелац држи притиснут обарач (или има метака у магацину). Аутоматско оружје обично има регулатор паљбе који омогућава гађање и јединачном паљбом. Нека аутоматска оружја имају и ограничаваче рафала који омогућавају да се притиском на обарач испале три метка у рафалу. За наредни рафал потребно је поново повући обарач. Примери аутоматског оружја на употреби у Војсци Србије су аутоматска пушка 7,62 mm M70, аутоматска пушка 5,56 mm M21, пушкомитраљез 7,62 mm M72, митраљез 7,62 mm M84, митраљез 12,7 mm M87 „НСВ“, противавионски топ 20/3 mm M55 и други [11].

Данас се све више тежи да се металне компоненте замена са полимерним композитима чиме се смањује тежина, која представља један од важних утицајних фактора током експлоатације оружја. Полимерни композити доносе и друге предности, као што је недостатак корозије, повећање укупне снаге и отпорност на временске услове.

Делови изграђени од полимерних композита се примењују у оружју за војне, цивилне и спортске намене. Све већи је потенцијал једноставних и поузданих решења виталних делова оружја израђених од полимера. Тежи се да што већи број делова буде изграђен од полимера. Полазећи од пушака, као и код већина опрема, лидери војске желе да пушка буде лакша, али трајнији и са што бољим карактеристикама у односу на тренутне. Поред примене у самој изради делова оружја, полимерни композити се користе као заштитне превлаке металних површина.

Данас основни делови пушака који се израђују од полимерних композита су:

- кундак;
- магацин;
- облога цеви;
- пиштољски рукохват;
- Пикатини шине и
- сандук.



Слика 1.1. Приказ полимерског кундака, пиштољског рукохвата и облоге са Пикатини шином за пушку M21 [8].

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

- ниска цена коштања,
- мала густина у односу на метале (не прелази 1,5 kg/dm³),
- лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради,
- добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори,
- висока отпорност на киселине, растворе и друге агресивне средине,
- добра прозрачност и способност бојења,

- добра пригушујућа својства, односно висока отпорност на вибрације, због чега се користе као добри изолатори вибрација,
 - добра својства апсорпције звука, односно добри су звучни изолатори, добре антифрикционе особине, а по потреби и добра фриктиона својства.
- Недостаци пластичних маса су [1]:
- ниска чврстоћа на повишеним температурама,
 - смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења,
 - кратак век трајања, што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и кисеоника.

Сва тела напуњена експлозивом или неком другом материјом, која су способна да на циљу изазову одређени ефекат, називају се заједничким именом - муниција.

Данас је у употреби знатан број врста муниције, које се међусобно разликују по намени, облику, конструкционим параметрима, начину лансирања, дејству на циљ и друго [7].

По најопштијој подели, муниција се може поделити на ове групе:

- пешадијска муниција,
- артиљериска муниција,
- мине за минобацаче,
- мине за бестрзајна оруђа,
- мине за ручне бацаче,
- тромблонске мине,
- артифиције,
- ручне бомбе,
- ракете [10].

У ширем смилу, као муниција сматрају се и минскоексплозивна средства.

Суштина разлике између муниције и минскоексплозивних средстава састоји се у томе што муниција иде активно на циљ, а минскоексплозивна средства пасивно чекају циљ [10].

Пешадијска муниција је првенствено намењена за гађање живих циљева. Ако је опремљена специјалним врстама зрна (панцирно, обележавајуће итд.), може се употребити за изазивање посебног ефекта. Пешадијска муниција се испаљује из оружја за непосредно гађање, која дају велику почетну брзину и положену путању.

Пиштољска муниција намењена је за гађање из пиштоља и аутомата, а обухвата калибре 7,62 mm-11,43 mm. Пушчана муниција обухвата калибре 7,62 mm-8 mm и употребљава се из пушака, пушкомитраљеза и митраљеза. Митраљеска муниција намењена је за гађање из митраљеза калибра 14,5 mm.

Пешадијска муниција, у односу на врсту зрна, којом је комплетирана, дели се на две основне групе, и то:

- муниција са зрном за уништавање живих циљева (лако, тешко и универзално)
- муниција са зрном за уништавања техничких средстава (панцирно, панцирно-запаљиво и панцирно запаљиво обележавајуће) [10].

Поред ових група, постоји и муниција са зрнима чији се лет може пратити на путању (обележавајућа).

Пешадијски метак се састоји из основних елемената: зрна, чауре, барутног пуњења и иницијалне каписле. У помоћне елементе пешадијске муниције спадају оквир, реденици, муницијске кутијице и друго [10].

Године 1960. компанија која се зове „КТW“ је покушала да развије метак са бољим карактеристикама продирања. Њихов циљ био је да развију нову муницију која ће бити способна да изврши пробој мета сачињених од тврдых материјала, као што су нпр. ветробранско стакло, полицијски панцири... Уобичајно Пиштољски меци који су у великој мери направљени од олова, имају проблем деформације на удару у тврду подлогу, као што су врата аутомобила или ветробранско стакло. Мање су ефикасна када су деформисани. Конвенционални меци сачињени од олова су већином постајали деформисани и мање ефективни после удара у тврд материјал. Тада су одлучили да метак пресвуку слојем Тефлона, што би га учинило чвршћим и знатно побољшало радни век пиштоља очувањем његових цеви преко смањења трења између метка и цеви, смањења хабања. Такође, овакав вид муниције је познат у свету као „панцирна муниција“.



Слика 1.2. Муниција превучена тефлоном (панцирни метак).

У оквиру другог поглавља даје се опис полимера, његове структуре и састав композита на бази полимера. Треће поглавље садржи уопштено о дефиницији композита, његовим карактеристикама, класификацији, композитима на бази полимера и његовој примени. У наставку трећег поглавља описује се уопштено о грађи и техници израде композита. Четврто поглавље садржи уопштено о Тефлону, подели Тефлона, његовој примени и процесу добијања. Пошто је тема примена полимерних композита код стрељачког наоружања и муниције, у петој и шестој глави се говори о карактеристикама стрељачког наоружања и муниције, о деловима стрељачког наоружања који се праве од полимерних композита, и примени полимерних композита код муниције. Примери моделирања делова је приказан у седмом поглављу. Осмо поглавље је закључак рада.

2. Опште о полимерима

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

Једномолекуларна једињења - мономери имају својство да се под одређеним условима (одговарајућој температури и притиску) у присуству катализатора, спајају у макромолекуларна једињења која се називају **полимери**.

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

Синтетички полимери се добијају синтезом мономера, а основне методе су: полимеризација, поликондензација и полиадиција. Полимеризација је стварање макромолекула спајањем мономера без издвајања споредних продуката и регруписавања атома у молекулу. Процес полимеризације се не сме прекидати јер се не може на исти начин и наставити [1].

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

Пластификатори, омекшивачи, су материје у којима се полимери растварају, односно набубре, што изазива промену њихових својстава, првенствено повећање еластичности на рачун затезне чврстоће и тврдоће, као и измену неких физичко-хемијских својстава, у првом реду снижења температуре топљења. По хемијском саставу пластификатори су сложена органска једињења, нпр. камфор, трикрезол сулфат, трибутил фосфат и др., а према агрегатном стању су најчешће уљасте течности високе температуре кључања, али могу бити и у чврстом стању слично воску и каучуку [1].

Пунила се пластичним масама додају како ради побољшања механичких својстава, тако и због смањења цене коштања пластичних маса [1].

Неорганска пунила утичу на измену одређених својстава, нпр. електро проводности, када се додаје метални прах, односно ако се желе добра изолациона својства додаје се лискун [1].

Органска пунила делују првенствено као очвршћивачи. Као пунило користе се дрвено брашно, азбест, текстилна влакна, стаклена вуна, графит и др. Извесне пластичне масе, као што су органско стакло, целулоид и др. немају пунила [1].

Боје се пластичним масама додају према потреби, а задатак им је да поред обојености масе, утичу и на хемијску и термичку стабилност [1].

Стабилизатори се додају пластичним масама у циљу продужавања, тј. очувања отпорности на топлоту и штетно зрачење, чиме се донекле смањује опасност од старења и пропадања. Средства за лакшу прераду облика уља, воскова, металних сапуна и др. додају се према потреби. Овим средствима припада мазиво које се додаје пластичним масама ради побољшања пластификације и ради одстрањивања лепљења за калуп. У ову сврху најбољи су парафин, стеарин и калцијум – стеарат [1].

Зависно од понашања на повишеним температурама пластичне масе се деле на: термопластичне и термореактивне.

Термопластичне пластичне масе се одликују могућношћу поновне еластичне деформације у загрејаном стању.

Ове пластичне масе углавном не садрже пунила, осим средстава за бојење и пластификатора којим се постиже измена својстава чврстоће.

Основне одлике термопластичних пластичних маса су:

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

Термореактивне пластичне масе се одликују тиме да повишењем температуре очвршћавају услед структурних промена, а поновним загревањем не омекшавају.

Ове пластичне масе скоро увек садрже пунила, очвршћиваче и стабилизаторе са циљем да се побољшају својства садржане смоле путем хемијских реакција.

Основне одлике термореактивних пластичних маса су:

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

Анализа пластичних маса изводи се праћењем општих карактеристика, начина обликовања, додатних материја као и њихов задатак, а најзначајнија класификација пластичних маса је према главним хемијским фамилијама и према њиховој природи.

Табела 2.1. Преглед основних врста пластичних маса [1]

Врста пластичне масе	Фамилија - Хемијска природа	Врста пластичне масе	Фамилија- Хемијска природа
Термопластичне пластичне масе	Полиетилени	Термореактивне пластичне масе	Феноли
	Полипропилени		Аминопласти
	Епоксидне смоле		Епоксидне смоле
	Епоксидне смо		Полиестери
	Полиамиди		Урелици
	Полиформалдехиди		
	Поликарбонати		
	Целулозе		
	Метакрили		
	Политетрафлуоретилени		
	Ацетати		

Опште карактеристике пластичних маса

Опште карактеристике зависе од тога да ли је пластична маса термопластична, односно термореактивна. Карактеристична својства термопластичних маса дата су у табели 2.2., а термореактивних у табели 2.3.

Табела 2.2. Карактеристике термопластичних пластичних маса [1].

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

* Додатак кополимера стирол-акрилонитрата и поликарбоната и метакрила

** Могуће је ултразвучно заваривање

Табела 2.3. Карактеристике термореактивних пластичних маса [1].

* Практично нерастворљива под дејством топлоте и разних растварача.

Општи подаци	Карактеристике	Утицај
*Пластичне масе које трпе неку хемијску промену приликом обликовања	Механичка својства	Мало утиче температура
	Обликовање	Не може се понављати
	Трошкови обликовања	Већи због пресовања са сабијањем
	Могућност бојења	Обично добра
	Провидност	Никаква
	Заваривање	Не могу се заварити*
	Лепљење	Само специјални лепкови
	Рециклажа	Отпатци се не могу поново користити

Главни додатни материјали у пластичним масама

Додатни материјали, које пластичној маси побољшавају одређена својства, су веома бројни и њима се број применљивих квалитета пластичних маса знатно увећава. Главне додатни материјали у термопластичним пластичним масама дате су у табели 2.5., а за термореактивне у табели 2.4.

Табела 2.4. Главни додатни материјали за термореактивне пластичне масе [1].

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

Табела 2.5. Главни додатни материјали у термопластичним пластичним масама [1].

Општи подаци	Додатни материјали	Утицај
*Пластичне масе које не трпе повратне хемијске трансформације при обликовању	Калцијум-карбонат	Ради побољшања димензионалне стабилности у зависности од температуре
	Силикати	
	Талк	
	Азбестна влакна	Ради побољшања одређених механичких и термичких карактеристика
	Стаклена влакна	
	Графит	Ради побољшања коефицијента трења
	Политетрафлуоретилен	

3. Полимерни композити ојачани континуалним влакнима

Реч композит односи се на нешто што се састоји од два или више делова. Због тога би матријали сачињени од два или више састојака или присутних фаза требало да представља композитни материјал. Међутим, прихваћено је да се под композитним материјалом подразумева само онај вишефазни материјал чије фазе поседују физичке особине које се међусобно значајно разликују. Тако се метали и легуре са нежељеним нечистоћама или са легирајућим елементима, пластика са незнатним садржајем додатака, мазива и класична керамика, не класификују као композити, иако представљају вишефазне материјале. Ови материјали имају фазе сличних физичких особина, а често је и једна од фаза присутна у значајно мањој мери од осталих [4].

Модул еластичности челика је неосетљив на садржај угљене фазе. Зато се челици, као и низ других легура, не сматрају композитима. Са друге стране, неке двофазне легуре или кермети представљају честицама ојачане композите у правом смислу. Пластика са мањим садржајем ојачања као адитива је композит и све док садржај ојачања не пређе границу од 10 % V, овакав материјал се назива ојачана пластика.

Класификација материјала као композита може бити базирана на критеријуму да ли долази или не до значајне промене услед спајања конституената. До овакве промене особина најчешће долази када је једна од фаза од плочица или влакана, али и када је запреминска фракција једне од присутних фаза већа од 10 % V.

Композитима се могу сматрати материјали који се састоје од две или више хемијских различитих фаза уочљивих на макро скали, са видљивим међу површинама које раздвајају фазе. Ова дефиниција се односи, у пуној мери, на влакнима ојачане композите, који представљају сигурно највећу и најзначајнију групу композитних материјала [4].

3.1. Карактеристике полимерних композита

Композит представља континуалну фазу у коју је уграђена једна или више дисконтинуалних фаза. Дисконтинуална фаза је обично крућа, тврђа и јача од континуалне фазе и назива се ојачање или ојачавајући материјал, док је континуална фаза матрица. Композити са крућом матрицом од ојачања су гумом модификовани полимери, док су композити са крућим матрицама и крућим ојачањем угљеник-угљеник композити и композити са керамичким матрицама [4].

Особине композита су битно одређене особинама њихових конституената, расподелом конституената и њиховом интеракцијом. Особине композита могу бити дате сумом производа особина конституената.

Облик дискретне јединице дисконтинуалне фазе често се апроксимира сфером (честице), цилиндром (влакна), правилном призмом или штапићима (глина, честице стакла). Величина и расподела величине ојачања дефинишу текстуру, а заједно са запреминском фракцијом ојачања одређују врсту и опсег интеракције између ојачања и матрице [4].

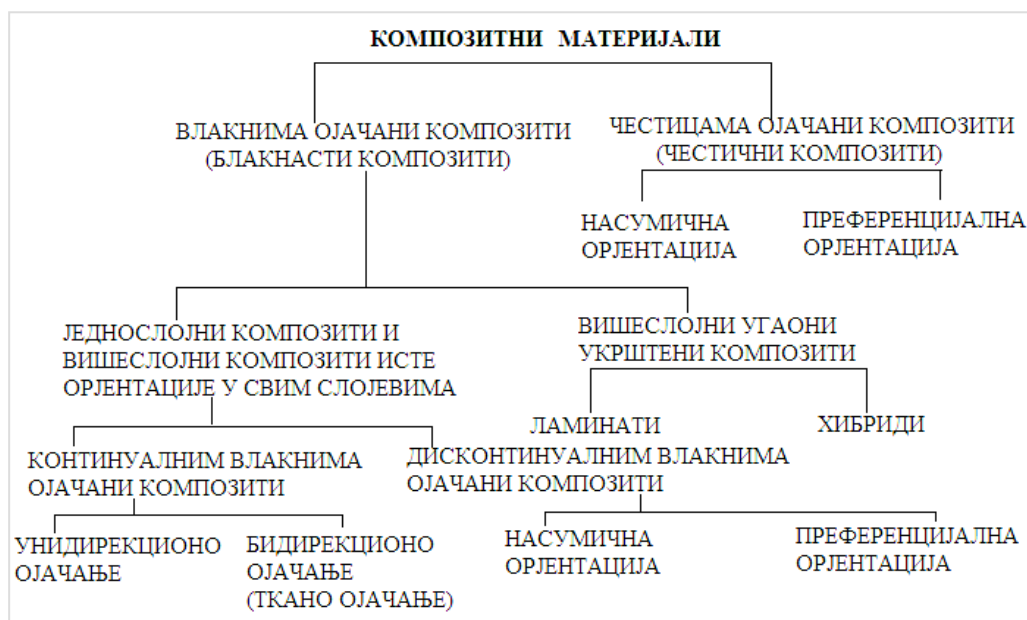
Садржај ојачања представља се преко запреминске или фракције масе и он је сигурно најважнији параметар који, уз особине конституената, одређује особине композита. Он представља лако контролисану променљиву, преко које се мењају особине композита. Расподела садржаја ојачања је мера хомогемости и униформности система. Неуниформност композита треба избегавати, јер она смањује вредност оне особине система које одређује најслабија веза у материјалу. Тако, на пример, укупну чврстоћу композита одређује његов најслабији део.

Оријентација ојачања утиче на изотропију система. Ојачање од еквиаксијалних честица одређује потпуну изотропију особина композита. Ако димензије честица нису индентичне, композит је изотропан само када су честице насумично орјентисане, какав је случај код композита ојачаних насумично орјентисаним, каратким влакнима. Ако се у току израде (на пример, ливења композита са кратким влакнима) све честице орјентишу у истом правцу, индукује се анизотропија. Композити ојачани дугим влакнима показују изразиту анизотропију особина, али се исто може контролисати пројектовањем и фабрикацијом [4].

3.2. Класификација композита

Највећи број композита је развијен и производи се с циљем да се побољшају њихове механичке особине, као што су крутост, чврстоћа, жилавост или високотемпературне карактеристике. Логично је да се композити класификују према заједничком механизму ојачања, а како овај последњи зависи од геометрије ојачања, композити се класификују према геометрији репрезентативне јединице ојачања. Опште прихваћена шема класификације композита приказана је на **слици 3.1**. Према овој класификацији, битна карактеристика честица је да су оне по својој природи невлакнасте. Оне могу бити: сферичне, кубне, тетрагоналне, плочасте или неправилног облика, али су све прилично еквиаксијалне. Влакна одликује велики однос дужине према димензијама попречног пресека. Честицама ојачани композити називају се често честични (engl. particulate), а влакнима ојачани композити влакнасти (engl. fibrous) композити. Ови последњи представљају велику групу нових конструкционих, композитних материјала [4].

Ламинарни композити влакна/пластика представљају класу врло атрактивних конструкционих материјала. Изузетна предност ових материјала су њихове изванредне механичке карактеристике, посебно њихове специфичне механичке карактеристике, као и могућност уношења флексибилности при пројектовању конструктивних елемената од ових композита. Структура и природа ламинарних композита су другачија него исте код класичних поликристалних конструкционих материјала. Исто тако, иницирање и простирање лома, као и критеријуми разарања и отпорности материјала су другачији него у класичним конструктивним материјалима.



Слика 3.1. Приказ класификације композитних материјала [4].

Произведени филаменти и влакна од неорганских материјала имају чврстоћу у правцу влакана већу од чврстоће масивних материјала, јер су велике пукотине, критичне за иницирање катастрофалног лома, присутне у масивним материјалима, минимизирани у влакнима, због малих димензија попречног пресека влакана. Високе вредности чврстоће и крутости у органским, полимерним влакнима последица су оријентација молекуларне структуре [4].

Због малих димензија њихових попречних пресека сама влакна нису посебна за манипулацију и инжењерске примене. Уграђена у погонске матрице она представљају влакнасте композите. Матрица служи да повеже влакна, пренесе оптерећење, спречи утицај околне средине и оштећења при манипулисању.

У зависности од врсте и особина система развијен је низ различитих техника израде композитних материјала. Тако се композити стакло/полиестар довијају техником ручног слагања (engl. hand lay-up), уз умрежавање на собној и одређивање на температурама до 100 °C. Композити са епоксидним термопластичним матрицама добијају се техникама врућег пресовања на повишеним температурама, препрека или стока слојева влакана и матрица у калупима или у аутоквалима, или пак, техником контактеног вакум пресовања. Цилиндрични или сферични делови од композита добијају се техником механичког намотавања (engl. filament winding), а композитни делови ојачани континуалним влакнима израђују се и техникама екструзије, пултризије и пулформинга [4].

3.3. Примена композита са полимерним матрицама

Усавршени композити на бази континуалних влакана и полимерских матрица прогресивно замењују у многим областима класичне конструкционе материјале, нарочито метале.

Из више разлога (повољне особине за примену, једноставна и јефтина технологија добијања, уштеде у инвестицијама, трошкови производње и експлоатације) композитни материјали постали су веома атрактивна група конструктивних материјала, а биће незаменљиви материјали у будућности. Поред низа погодних особина за другу и безбедну примену, према неким, њихова најбоља особина је цена, поготову када се има у виду производња, експлоатација и замена делова. С обзиром на уштеде у потрошњи енергије, чак и цена композита са угљеним влакнима није тако велика, упркос чињеници да су карбонска влакна по јединици количине најмање двадесет пута скупља од стаклених влакана [4].

Скупи композити угљена влакна/епоксидна матрица изузетних карактеристика (високе вредности чврстоће и крутости, ниске густине, извнредне отпорности на замор и корозију) налазе своју примену за специјалне намене: васионска и ракетна техника, судови под притиском, антене, ротори центрифуга, цеви и осовине подвргнуте цикличним оптерећењима, делови мотора, тркачких аутомобила, спортских реквизита. Највећа примена ових композита су примарни и секундарни делови авионских конструкција. У авионе који се данас производе уграђују се до 40 % делова од ових композита. Висока цена компонената од ових композита компензује се уштедама у потрошњи горива, јер су композити угљеник/епоксид лакши 5 до 7 пута од челика. Пораст производних капацитета, цена и експлоатација примене угљених влакана су тесно повезани. Сматра се да ће се производна цена угљених влакана са садашњег нивоа од 30 US\$/ kg са повећањем производних капацитета ових влакана на 120-130 t/годишње, спустити испод границе од 20 US\$/ kg.

Развој и примена композита са угљеним влакнима поспешила је развој и примену усавршених композита са дугим континуалним влакнима, пре свега, са арамидним и стакленим влакнима [4].

Композити стаклена влакна/полиестарска или епоксидна смола поседује низ добрих карактеристика: велика чврстоћа, изваредну отпорност на удар, корозиону стабилност, ниску густину, једноставне поступке производње, лакоћу израде комплексних облика. Са повољним односом између цене са особина, уз коришћење континуалних влакана, увођење нових технолошких поступака израде (ињекционо пресовање, механичко намотавање, пултрузија, пулформинг, индустријска производња нетканих трака) примена ових композита се јако повећава и обухвата следеће области:

- хемијску индустрију;
- електронику и информационе технологије;
- бродоградњу, приморска и постројења на мору (платформе за експлоатацију нафте);
- грађевинарство и инфраструктура;
- аутомобилску и индустрију вагона;
- војној индустрији (оружја, оруђа, борбена возила и остала наоружања), итд [4].

Композити са полимерним матрицама (ПМК) су материјали направљени комбиновањем полимера са другом класом материјала, као што је керамика. Генерално, намера прављења полимерних композита је да се добију материјали мале тежине, високих перформанси који су супериорни у односу на појединачне компоненте. Композитни са полимерском матрицом користе у одбрамбеној индустрији због мале тежине и одличним особинама, омогућавајући производње мање тежине и јача возила, бродова, оружја и објеката. На пример војска САД-а је покренула програме који иницирају замене металне компоненте на возилима марке хамер. Будућа класа возила, бродова и наоружања ће користити знатно веће количине полимерних композитних материјала, што их чини лакшим, бржим. Међутим, аспекти ових технологија имају негативан утицај на животну средину [6].



Слика 3.2. Будућа примена полимерских композита у наоружању.

Полимерни композита се користе у широком спектру апликација одбране и налазе се у готово сваком већем система наоружања. У многим случајевима, системи наоружања не могу обављати своје задатке без полимерних композитних материјала.

3.4. Влакна

Као ојачање конструктивних композита са пластичним матрицама користе се вештачка влакна неорганског и органског порекла, а у највећој мери стаклена, угљена и армидна влакна [4].

Неалкална стаклена влакна Е квалитета су јефтина, имају високу чврстоћу, али релативно ниску крутост. Производе се и користе као сецкана влакна, стаклени мат, континуална влакна (roving, yarn), тканине и неткане траке. Стаклена влакна се користе као ојачање композита са полиестарском и епоксидним матрицама, који имају велику и

растућу примену, пре свега, као конструкциони материјали. За специјалне примене производе се и користе стаклена влакна високог модула, С квалитета.

Угљена влакна се производе у три квалитета, високо чврста (HS), високо модулна (HM) и влакна лошијег квалитета (А влакна). Прва два квалитета представљају врло квалитетно ојачање конструктивних композита, а добијају се полазећи од континуалних полиакрилонитрилних влакана, поступцима оксидације (стабилизације) и карбонизације. То су скупа влакна, одличних механичких карактеристика (чврстоће 2500-4500 МПа, а деформације кидања 1-2 %, модула 200-300 МGa) и ниске густине (1700-1800 kg/m³). „HS“ угљена влакна у комбинацији са епоксидним матрицама користе се као конструкциони композити високих карактеристика за специјалне намене, нарочито и ваздухопловству и васионској техници. Због изузетних механичких карактеристика до високих температура (2000 °C) HM угљена влакна користе се као ојачања угљеник- угљеник композита за примену у ракетној техници, али и као ојачање композита са металним и керамичким матрицама [4].

Мане угљених влакана су ниске вредности деформације кидања, релативно мала жилавост и мања отпорност на удар. Несумњиво велику ману угљених влакана предстаља њихова цена (20-30 пута већа од цене стаклених влакана), има за последицу примену угљених влакана у областима које могу да поднесу ту високу цену. У ваздухоплову високу цену угљених влакана компензују уштеде у потрошњи горива код ваздухоплова са уграђеним деловима од композита са угљеним влакнима, који су 5 до 7 пута лакши од таквих металних делова. Развој у области угљених влакана је фокусиран на уклањање недостатака производње и примене угљених влакана. Снижавање цене производње се постиже повећањем примене и производње и напорима да се развије јефтинија производња влакана побољшаних карактеристика, полазећи од мезофазе катрана или целулозних влакана. Влакна добијена од ових сировина су сад лошијег, А квалитета, која налазе своју примену као ојачање бетона и других грађевинских материјала. Развој усавршених поступака добијања угљених влакана довео је до развоја влакана повећане деформације кидања (коришћењем полазних „PAN“ влакана мањег пречника и веће чистоће), а побољшање отпорности на удар композита са угљеним влакнима се постиже коришћењем епоксидне смоле повећане жилавости или коришћењем хибридни комбинација угљених влакана са арамидним влакнима.

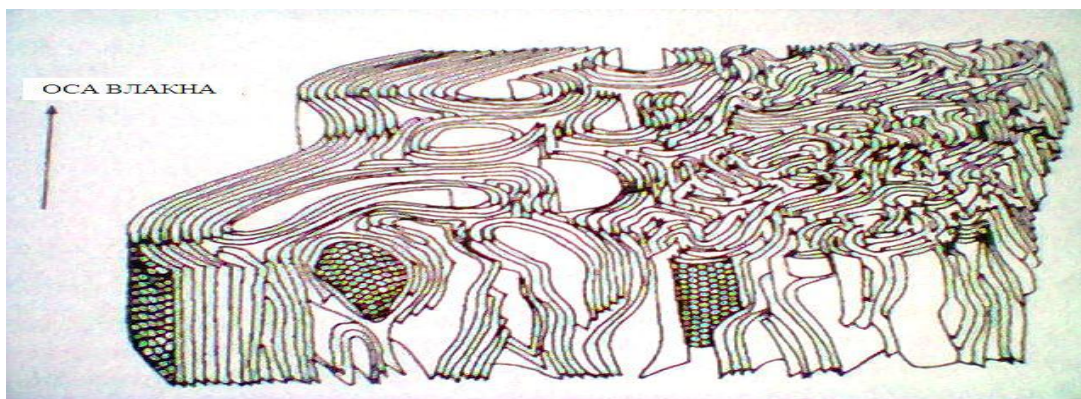
Влакна од полиароматичних амида, такозвана арамидна влакна, комерцијалних назива „Kelvar“ или „Twaron“ су најчешће коришћена органска влакна као ојачања конструктивних композита. Ова влакна имају ниску густину, релативне велике вредности чврстоће и модула и велику деформацију кидања. Користа се као ојачање композита са полимерном (епоксидним) матрицом који имају изваредне карактеристике отпорности на удар и високу жилавост лома. Од ових композита се изађују панцирни делови одеће или друга средства анти балистичке заштите. Такозвани хибридни композити са пластичним матрицама као ојачање користе комбинацију стаклени, угљених и/или арамидних влакана. Оваквим хибридни комбинацијама ојачања могу се побољшати недостаци композита са само једном врстом влакана (ојачања) као што су ниска жилавост, лоша отпорност на удар, недовољна крутост или висока цена производње [4].

3.4.1. Угљена влакна

Угљена влакна великог модула и велике чврстоће, пречника 7 до 8 μm, израђена су од малих кристалита, структуре сличне графиту. У слојевима или основним равнима монокристала графита атоми угљеника су повезане преко ковалентне σ везе (хибридне sp² везе) у хексагоналном расподелу. Паралелно и правилно слојеви у графиту су повезани међусобно slabим π везама. Јединична ћелија кристала је анизотропна, са

Јоунговим модулом у основној равни од 910 GPa и Јоунговим модулом од 30 GPa у правцу ц-осе. Турбостатички карбон је сличан графиту. Слојеви су поређани паралелно, али са великим степеном неуређености. Растојање између слојева у угљенику (0,335 nm) је мање од оног у графиту (0,34 nm) [4].

У угљеним влакнима јединични кристали су врло мали и орјентисани не потпуно правилно, грешакама и дефеката (слика 3.3.). Модул угљених влакана зависи од префектности кристала дуж правца влакана и битно зависи од поступака добијања влакана. Начин груписања слојева угљеника кроз попречни пресек влакана одређује попречне карактеристике влакана.



Слика 3.3. Приказ грађе угљених влакана [4]

Угљена влакна добијена полазећи од полиакрилонитрила (engl. PAN based) типа имају танку кору површинског слоја равни и унутрашњост насумично орјентисаних кристала. Насупрот томе угљена влакна добијена из мезофазе смоле имају структуру радијално орјентисаних слојева. Ове различите структуре влакана имају за последицу битно различите карактеристике влакана [4].

Постоје три у основи различита поступка добијања влакана са графитним слојевима преференцијално орјентисаним у правцу осе влакана.

У првом поступку полазна „PAN“ влакна се затежу да се изврши орјентација молекулских ланаца дуж осе влакана. При загревању затегнутих влакана у оксидационој средини долази до оксидације влакана и повезивања основних ланаца попречним везама. Оксидисана PAN влакна се редукују до структуре коју граде атоми влакана. Ова се на повишеним температурама (још увек у аргону као неутралној средини) трансформише у турбостатички графит. Модул и чврстоћа насталих влакана зависи од температуре финалног термичког третирања, која одређује величину и орјентацију кристала. Сличан поступак се користи при добијању влакана полазећи од вештачке свиле (engl. rayon), односно од непрекидних целулозних влакана.

У другом поступку, из растопа мезофазе катрана (изотропне и неизотропне фазе течних кристала, добијене полимеризацијом катрана нафте или каменог угља, при загревању на око 350 °C) „упредају“ се влакна пропуштањем растопа кроз бројне дужине. За време поступка „упредања“, при пролазу кроз отворе долази до узајамне орјентације предходно насталих течних кристала мезофазе. Снопови монофиламената се у току наредних процеса оксидације и угљенизације на око 2000 °C превode у угљена влакна [4].

У поступку термичког третирања на врло високим температурама угљена влакна добијена полазећи од мезофазе катрана, влакана вештачке свиле или PAN влакана под затежућим оптерећењем се „графитизује“. Клизањем графитних слојева повећава се орјентисаност кристала у правцу осе влакана. На тај начин се повећава крутост влакана.

Вредност чврстоће влакана се, међутим, не повећава у току процеса „графитизације“. Композити са угљеним влакнима када су постављени у искривљеним или савијеним позицијама не реагује добро на ударце [4].

Угљена влакна типа I и II се добијају полазећи од PAN влакана. Притом се високо модулна влакна добијају у току описаног процеса графитизације. Модул високо модулних влакана од 450 GPa представља око 45 % теоријског модула графитних слојева у правцу осе. Максимална чврстоћа високочврстих влакана од 3500 MPa је далеко од теоријске чврстоће (табела 3.1.). У складу са слојевитом структуром влакана трансверзални и модул смицања угљених влакана је знатно мањи од лонгитудиналног модула.

Табела 3.1. Карактеристике угљених, стаклених и Кевлар влакана [4]

Карактеристике	Угљена ХМ влакна	Угљена ХС влакна	Стаклена Е влакна	Кевлар 49 влакна
Пречник влакна, μm	7,9-9,7	7,6-8,6	8-14	11,9
Густина, kg/m^3	1950	1750-1780	2560	1450
Јоунгов модул, GPa	350-400	240-250	72,4	125
Попречни модул, GPa	12	20	72,4	
Затезна чврстоћа, GPa	2,0-2,8	2,5-4,5	2,1-3,5	2,8-3,6
Деформација кидања, %	0,5-0,7	1,0-1,8	1,8-3,2	2,2-3,6
Коефицијент термичке експанзије, $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	0,5-1,2 (паралелно)	2,2-2,8 (паралелно)	4,9	-2 (паралелно)
	7-12 (радијално)	7-12 (радијално)		59 (радијално)
Термичка проводљивост, $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	105		1,04	0,04

3.4.2. Стаклена влакна

Хемијски састав минералних стакала од којих су изграђена вештачка стаклена влакна чини SiO_2 са оксидима калцијума, бора, натријума и алуминијума (табела 3.2.). Ова стакла су обично аморфна, мада извесан удео кристаличности настаје при загревању на повишеним температурама. То доводи до смањивања чврстоће [4].

Табела 3.2. Састав стакла (%) за израду влакана [4].

Састав	Е стакло	Ц стакло	С стакло
SiO_2	52,4	64,4	64,4
$\text{Al(Fe)}_2\text{O}_3$	14,4	4,1	25
CaO	17,2	13,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
$\text{Na(K)}_2\text{O}$	0,8	9,6	0,3
Be_2O_3	10,6	4,7	-
BaO	-	0,9	-

Е стакла се најчешће користе као ојачање композита, јер се добро извлаче, имају добру чврстоћу, модул, електричне карактеристике и добру отпорност на спољне атмосферске утицаје. Ц стакла имају повећану отпорност на корозију, али су скупља и имају лошију чврстоћу. С стакла имају већи модул и скупља су, а примењују се за специјалне намене, на пример, у ваздухопловству, где је повећана цена прихватљива. Континуална стаклена влакна се производе топљењем и континуалним напајањем резервоара основном сировином, топљеним стаклом. Дно резервоара од платине са више стотина отвора омогућује да топљено стакло истиче кроз отворе услед гравитације. Тако се екструзијом аутоматски извлачи фини филаменти топљеног стакла кроз отворе. Стаклена влакна се вуку и намотавају на добош брзином од неколико хиљада метара на минут. Контрола пречника и механичких карактеристика влакана се регулише контролисањем хемијског састава, вискозитета растопа, пречника, дужине и брзине намотавања [4].

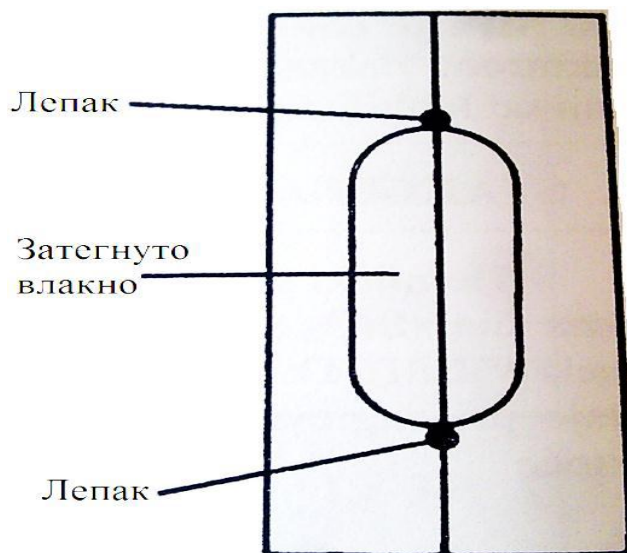
Чврстоћа и модул стаклених влакана су одређени тродимензионалном структуром изграђених оксида. Тродимензијалну мрежу чине тетраедри са атомима кисеоника у рогљевима тетраедра повезани јаким ковалентним поларним везама са атомима силицијума смештен у центрима татраедара. Катјони осталих присутних оксида метала Me^+ су јонским везама повезани са јонима кисеоника O^- . Ови јони нису директно укључени у мрежу. Структура везе и индивидуалних веза у може се мењати додавањем металних оксида и тако је могуће добити стаклена влакна са различитим хемијским и физичким особинама. Насупрот особинама угљених и арамидних, особине стаклених влакана су изотропне. Тако су Јоунгов модул у правцу влакана и онај управан на правац влакана исти. То је директна последица тродимензионалне мрежне структуре стаклених влакана [4].

Чврстоћа стаклених влакана зависи од услова добијања и испитивања. Свеже извлечена влакна са којима се врло пажљиво рукује да би се избегла оштећења површине влакана, имају чврстоћу од 3,5 GPa, са малом варијабилношћу појединачних мерења. Чврстоћа влакана опада када се влакна тестирају у влажној средини, услед апсорпције воде на површини влакана. До још значајнијег опадања чврстоће стаклених влакана долази кад стаклена влакна дођу у контакт са минералним киселинама. Чврстоћа и модул стаклених влакана су температурно врло зависне величине. Врло битан фактор који одређује чврстоћу стаклених влакана је њихово оштећење до којег долази због међусобног додира филамената у току операција процесирања. Прекривање влакана заштитним слојем у првим фазама поступка добијања влакана врши се прскањем влакана воденим раствором са емулзирајућим полимером. Извесно оштећење стаклених влакана које најчешће представљају fine површинске пукотине је неизбежно. Утицај ових површинских пукотина би могао да се смањи хемијским нагризањем, али то још увек нема практичног значаја. Нанети заштитни слој зависи од будуће примене влакана и има више функција (заштита површина влакана од оштећења, повезивање влакана и олакшавање манипулације са њима, хемијско везивање између влакана и матрице) [4].

Влакна која представљају ојачања конструкционих композита испитују се у статичким механичким тестовима затезања у којима се одређују затезне карактеристике (чврстоћа, модул и деформација кидања) [4]:

- монофиламента и
- затегнутих снопова (по могућности неувијених) влакана импрегнисаних смолом.

Приликом вршења испитивања, влакна се постављају у носач који је приказан (на слика 3.4.).



Слика 3.4. Носач за тест затезања са монофиламентом [4].

Прорачуном карактеристика затезања добијају се [4]:

- затезна чврстоћа;
- деформација кидања влакана;
- модул затезања влакана;
- кориговане вредности деформације кидања и модула еластичности и
- константа пропустљивости система.

4. Тефлон

Једна је од најотпорнијих пластичних маса према деловању агресивних средина је тефлон, јер је по бројним истраживањима отпорна према скоро свим агресивним срединама. Пластична маса ПТФЕ у пракси се назива и тефлон. Није стандардизована, а својства према нашој литератури су дата у **табели 4.1** [1].

Табела 4.1 Својства тефлона [1]

Својство	ПТФЕ Политетрафлуор- етилен	ПТЕП Тетрафлуор- етилен	ПЦТФЕ Полиортирфлуор- етилен
Гуситина. g/mm^3	2.1-2.3	2.15-2.16	2.11-2.13
Апсорбције воде. %	0.00	0.01	0.00
Температура топљења. $^{\circ}\text{C}$	-327*	285-295	270-310
Постојаност према топлоти. $^{\circ}\text{C}$	260	200	170-180
Температура стабилности облика 1.8 N/mm^2 . $^{\circ}\text{C}$	-	-	-
Температура омекшавања према Викату. $^{\circ}\text{C}$	-	-	-
Затезна чврстоћа. daN/cm^2	140-350	190-220	215-420
Издужење. %	200-500	250-350	75-250
Модул еластичности. daN/mm^2	350-700	351	1000-2000
Савојна чврстоћа. daN/mm^2	-	-	500-650
Тврдоћа по Роквелу (скала R)	50-60	60-65	-
Специфична топлота. kJ/K kg	0.9-1.0	1.10	1.16
Коеф. линеарог ширења. $10^{-5} 1/\text{K}$	9-10	8-12	4-6
Топлотна проводљивост. W/mK	0.19-0.24	0.19-0.23	0.12-0.16
Спец. запремински отпор. Ωcm	$>10^{18}$	-	-
Спец. површински отпор. Ωm	$>10^{13}$	$10^{11}->10^{13}$	-
Диелектрична чврстоћа. kV/mm	20-40	-	-
Диелектрична константа. 10^{-6} Hz	2	2.1	-

Својстава пластичне масе типа Hostaflon TF, познате немачке фирме HOECHST AG, који се производи у две групе квалитета, тј. " S-Polymerisate " (квалитети TF11, TF14, TF16 и TF17) и "Е Полумерисате" (а то су квалитети TFH atfvermittel1, TF VP 44, i TF VP 37) су:

- Густина	2,14 do 2,18 g/cm ³
- Затезна чврстоћа	330 do 500 daN/cm ²
- Модул еластичности, при затезању	7500 daN/cm ²
- Модул клизања	2700 daN/cm ²
- Увојна чврстоћа	1600 daN/cm ²
- Ударна жилавост, без зареза	нема лома;
- Ударна жилавост, са зарезом	16 daN/cm ²
- Ударна жилавост по изоду на 23 °C	3,0 daNcm/cm ²
на-57 °C	2,0 daNcm/cm ²
на +77 °C	6,0 daNcm/cm ²
- Тврдоћа по Викерсу	385
- Тврдоћа по Шору, D	55-59
C	85-87
- Тврдоћа по Роквелу (J)	90-95
- Тврдоћа по Кнупу	2,8
- Специфична топлота -за 0°C	0,23 kal/kg.grd
-за 50°C	0,25 kal/kg.grd
-Топлотна проводљивост	0,2 – 0,4 kal/m h grad
- Радна температура	-200 до +260°C
- Диелектрична константа 106Хз	2,1
- Диелектрична чврстоћа	20-80 kV/mm
- Специфични запремински отпор	1018 Ωcm
- Специфични површински отпор	1017 Ω

4.1. Подела тефлона - класификација

Постоји више врста тефлона који се разликују како по свом хемијском саставу и физичким особинама као и по начину примене у разним гранама индустрије. Према томе, у даљем тексту су обрађене његове врсте, особине и дате су њихове хемијске структуре [4].

4.1.1. Тефлон FEP

Тефлон FEP је флуорована етиленпропиленска негативно наелектрисана смоласта смеша која испуњава ASTM стандарде за FEP – флуороугљена ливења.. Познат је по својој доброј хемијској отпорности, добрим електричним особинама и добром употребном температуром до 200 °C . Поред тога ова врста тефлона обезбеђује изванредну чврстоћу на ниским температурама и отпорност на ватру. Боја му је прљаво

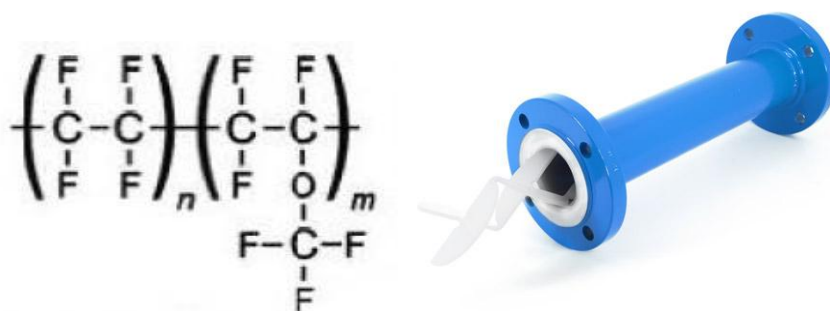
бела а рН вредност му је 10 , садржи приближно 6% стабилизатора и вискозност при собној температури му је приближно 25 сР. Пример производа израђеног од тефлона FEP је приказан на **слици 4.1** [4].



Слика 4.1. Профилисано цево од тефлона FEP [9].

4.1.2. Тефлон PFA

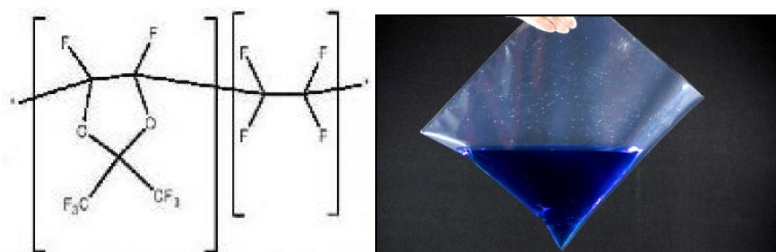
Перофлуоро-алокси алкани тј. Тефлон - PFA, је врста флуорополимера са особинама сличним политетрафлуоретилену. Разлика се огледа у томе што је могуће топити га помоћу конвенционалних метода убризгавањем и вијчаним истискивањем. Откривен је од стране DuPonta и продаје се по називу Тефлон PFA. Сличан производ је доступан и од фирме Daikin под именом Neoflon – PFA. Има сличну композицију као флуорополимер PTFE и PFA. Са њима дели многе особине као што су низак коефицијент и фрикције и нереактивност на хемикалије, али је много запаљивији од њих. Мекши је од PTFE и топи се на само 305 °C. Комбинација његових особина чини га погодним за широк варијетет употреба. Његова хемијска структура и део израђен од истог су приказани на **слици 4.2.** [4].



Слика 4.2. Хемијска структура и део од тефлона PFA (Миксер хемикалија) [8].

4.1.3. Тефлон FA

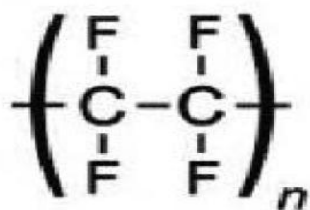
Тефлон – FA долази из породице аморфних флуорополимера. Ови материјали су слични аморфним полимерима по механичким особинама укључујући и снагу. Ови материјали су упоредиви са другим флуорополимерима у својим перформансама и у широком дијапазону температура, посебно у хемијској отпорности и изразитим електричним особинама. Овај полимер се разликује од других флуорополимера јер је растворљив у одређеним растварачима, има високу гасну пропустљивост, високо је компресиван, и има добру термалну проводљивост. Тефлон – AF има најнижи диелектрични коефицијент од свих познатих полимера као и најнижи индекс рефракције од свих познатих полимера. Хемијска структура и производ од тефлона – AF (кеса за чување хемикалија) су приказани на **слици 4.4.** [4] [8].



Слика 4.3. Хемијска структура и кеса од тефлона AF [8].

4.1.4. Тефлон PTFE

Тефлон – PTFE је политетрафлуоретилен са сјајним диелектричним особинама. Ово се посебно истиче на високим радиофреквенцијама, што га чини изузетним изолатором у кабловима и конекторима, а посебно се истиче као добар материјал за плоче са струјним колима какве се користе на фреквенцијама микроталасне пећнице. Због своје хемијске инертности не може бити учвршћен као еластомер. Зато што има низак коефицијент трења користи се највише тамо где постоји клизања машинских делова. Такође за ове апликације, у неким верзијама производње Тефлона, минерална уља или молибден дисулфат се користе као подмазивачи у калупима. Разни делови и хемијска структура Тефлона - PTFE су приказани на **слици 4.4.** [4] .



Слика 4.4. Хемијска структура и делови од тефлоноа PTFE [8].

4.2. Процес добијања Тефлона

Произвођачи Тефлона започињу производњу синтезом тетрафлуоретилена (TFE). Три једињења која га чине, флуорит, флуороводонична киселина, и хлороформ се мешају у комори за хемијске реакције и загревају се на температурама од 590 до 900 °C. Резултујући гас се тада хлади и дестилује ради отклањања свих нечистоћа. То је први корак у производњи тефлона. Касније се приступа методама за добијање различитих врста Тефлона од којих се сваки има неке јединствене особине које зависе од начина његовог добијања.

Тефлон је настао тако што је полимеризовао од хемијског једињења које се зове тетрафлуоретилен, тачније TFE. То је тетрафлуоретилен, термопластични материјал са добрим електроизолационим особинама, и исто тако високом хемијском и температурном отпорношћу. TFE је синтетизован из флуорита, хлороводоничне киселине и хлороформа. Ови састојци се комбинују под веома високим температурама, у процесу званом пиролиза. TFE је безбојни, безмирисни, нетоксични гас, али насупрот свим тим особинама веома је запаљив. Чува се као течност, на ниским температурама и ниском притиску. Услед тежине и компликација које се могу десити при његовом транспорту, компаније које производе Тефлон такође производе и сопствени TFE у склопу својих фабричких постројења. Процес полимеризације користи веома малу количину других хемикалија као иницијатора. Ипак могу се користити многобројни хемијски иницијатори ових процеса, као што су на пример амониум-персулфат, или

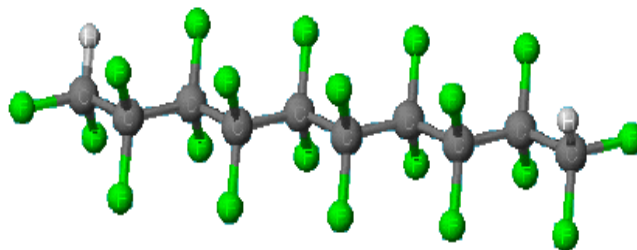
пероксид дисукциничне киселине. Други есенцијални састојак процеса полимеризације је вода [6].

Реакционо комора је испуњена пречишћеном водом и реакционим агентом тачније иницијатором, хемикалијом која ће покренути формацију полимера. Течни Тефлон је цевоводом повезан са реакционом комором. Када TFE дође у контакт са иницијатором, он почиње да полимеризује. Резултујући тефлон се формира у виду чврстих зрна која плутају по површини воде. Док се ово дешава реакциона комора се механички тресе. Хемијска реакција унутар коморе одаје топлоту па ако долази до хлађења циркулисањем хладне воде или друге расхладне течности унутар металног омота који се налази око спољне површине коморе. Контролни уређај аутоматски затвара довод TFE-а након што је достигнута одређена количина унутар коморе. Вода се исушује из коморе и оставља масу врпчастог тефлона који изгледа као рендани кокос. Следећи корак је да се осушени Тефлон ставља у млин. Млин га помоћу ротирајућих ножева претвара у конзистентно стање слично пшеничном брашну. Овај фини прах је тешко калупити, јер има „лош проток“, тачније не може бити обрађен у аутоматизованим машинама. Као и непросејано пшенично брашно такође има чвориће и ваздушне цепове, па тако произвођачи претварају овај фини прах у нешто веће грануле. То се ради процесом агломерације, и само по себи може бити одређено на неколико начина. Једна од метода је мешање тог телефонског праха са растварачем као што је ацетон, и мешање у ротирајућем бубњу. Зрна тефлона се лепе једна за друге формирајући мале куглице које се потом суше у пећи. Ове куглице се могу калупити у делове коришћењем разних техника. Међутим, тефлон се може продавати и у товарима већ калупљеним у тзв. полуге, то су чврсти цилиндри од Тефлона. Полуге могу бити високе око 1.5 метара, али се могу сећи на мање блокове потребне за даље калупљење. Да би се полуга формирала, зрна Тефлона се сипају у цилиндрични калуп од нерђајућег челика. После одређеног периода времена Тефлон се уклања са пресе и оставља неко време да се „одмори“ и затим се ставља у пећ на последњи корак производње који се зове синтеровање. Калупљени Тефлон се греје у пећи за синтеровање неколико сати, док постепено не достигне температуру од 360 °C која је изнад његове границе топљења. Честице тефлона се сједињују и материјал постаје геласт. Добијене полуге се тада могу транспортовати до муштерија које ће га по својим потребама рендисати и сећи на мање делове за даљу обраду у зависности од његове крајње употребе [6] [8].

Полимеризација Тефлона методом дисперзије води до добијања финог прашка или супстанце сличне пасти чија је примена најнефективнија код премаза и последњих обрада неких површина. TFE се уводи у реактор са водом заједно са хемијским иницијатором, и насупрот енергичном мешању, као у процесу суспензије, реакциона комора се само благо мућка, и Тефлон се формира у виду веома малих перлица. Одређена количина воде се отклања, или филтрацијом или дотеривањем хемикалија која узрокују да се перлице Тефлона оформе. Резултат овог процеса је добијање суспенције сличне млеку а то је Тефлон дисперзија. Може бити коришћена у течном стању посебно у потребе завршних фаза материјала, или може бити осушена у фини прах и коришћена за облагање метала [6] [9].

4.3. Хемијске особине

Тефлон је комерцијално име за флуоризоване полимере са понављајућим ланцем – (CF₂-CF₂)- у себи, (слика 4.5.).



Teflon, $-(CF_2CF_2)-$

Слика 4.5. Молекуларна структура Тефлона[8].

Тефлон је синтетички флуорополимер тетрафлуоретилена који налази широку примену у многим индустријским сферама због своје високе хемијске отпорности на многе реагенте као што су киселине, алдехиди, базе, естри, халогенизовани угљоводоници, кетони, минерална уља, алкохол, оксидујући агенси и многи други, једна од ретких ствари са којима Тефлон реагује су алкали растопљених метала и високо реактивни флуоризујући агенти.

Тефлон је чврсти флуороугљеник и као такав има високу молекуларну тежину састојану у целини од угљеника и флуора. Флуор је веома необичан елемент. Када је део молекула, одбија присуство других молекула, па чак и атома флуора у другим молекулима, али много више одбија присуство других врста молекула због јаких веза између атома флуора и угљеника па је то главни разлог што површина прекривена Тефлоном одбија скоро све што покушава за њу да се „ухвати“. Молекул Тефлона може прећи 30 000 далтона и тако материјал има јако велику густину јер је „спакован“ тако да формира јако тесну и штедљиву кристалну структуру. Међутим иако молекули имају јаке C-F везе они трпе диполне силе, а разлог томе је што флуор заузима регуларан распоред око атома угљеника тако да силе које се стварају потиру једна другу.

Тефлон је високо хидрофобан и липофобан, тачније супстанце тог карактера се не могу дуго задржати на његовој површини, јер има јако малу површинску енергетску вредност од 18.6 N/m^2 , па тако и у контакту са чврстим телима Тефлон има најнижи коефицијент трења од само 0.05-0.10. Тефлон је веома нереактиван и стога се често употребљава у изградњи цевовода за реактивне и корозивне хемикалије. Тамо где се користи као подмазивач, умањује трење, хабање и потребну енергију машине. Као што смо већ напоменули примена је веома широка, што ће у даљем тексту бити обрађено кроз примере.

У наведеној табела су основне карактеристике Тефлона (Табела 4.2.) [8].

Изолациони материјали	PTFE	PFA	FEP	AF
Температура топљења (°C)	+327	+310	+290	+360
Диелектрична вредност на 60Hz(20°C)	2.0	2.1	2.1	1.89
Густина $10^3\text{kg/m}^3(20^\circ\text{C})$	2.18	2.20	2.15	1.70
Специфична отпорност Ohm cm(20°C)	10^{18}	10^{16}	10^{18}	10^{16}
Отпорност на ломљење kV/mm(20°C)	20	25	25	36
Затезна чврстоћа МПа(20°C)	35-45	30	20-25	45
Тачка ломљења %(20°C)	350-400	300	250-300	150-300
Отпорност на хемикалије %(20°C)	Сјајна	Сјајна	Сјајна	Сјајна
Порозност %(20°C)	0.01	0.01	0.01	0.02
Отпорност на зрачење $\times 10^4\text{GY}$	0.02	0.02	0.02	200

4.4. Физичке особине

Тефлон се може наћи у чврстом, течном и гасовитом облику. Као гас је безбојан и нема мирис. Као сви незасићени флуороугљеник веома је подложен нуклеофилним ударима. Нестабилан је при разлагању на С и CF_4 и склон је формирању експлозивних пероксида у контакту са ваздухом. На собној температури је чврст и бео са густином од око 2.2 g/cm^3 . У течном стању може постојати само ако му је основа вода, а тачка топљења му је 327°C .

У даљем тексту следе његове најистакнутије особине које га чине веома погодним за многе употребе али у првим редовима за индустријску:

Отпорност на многе хемикалије

Ово укључује озон, хлор, сирћетну киселину, амонијак, сумпорну и хлороводоничну киселину. Једина позната хемикалија која утиче на тефлонске материјале су растопљени алкални метали и високо реактивни флуоризујући агенти.

Отпорност на временске услове и УВ зрачење.

Има сјајну отпорност на УВ зраке и лоше временске услове. Доза радијације коју подноси, тачније коју може да апсоргује је $2-7 \times 10^4$ радона. Одсуство кисеоника повећава отпорност на радијацију за фактор од минимум 10. Отпорност на електроне и гама зрачење је релативно слаба.

Нелепљивост

Веома мало чврстих супстанци ће се трајно залепити за тефлонску подлогу. Док лепљиви материјали могу показати одређену склоност ка лепљењу, скоро све супстанце се веома лако отклањају. Тефлон је једина позната површина за коју геко гуштер не може да се „залепи“.

Одличне перформансе на екстремним температурама

Привремено може остати непромењен на температури од $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на криогеним температурама до $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$, тачније његова хемијска својства неће бити промењена. Почетна тачка топљења је на $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), а секундарна тачка топљења је на $342\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Мали коефицијент трења

То је однос сила потребних да би две површине клизиле једне преко друге. Мала цифра означава малу отпорност и глатко руковање. Коефицијент трења је генерално у распону од 0.05-0.20 и зависи од терета, брзине кретања и врсте Тефлона који се користи.

Неквасивост

Тефлон има особину да одбија воду и масноће, па је тако чишћење доста олакшано.

Изузетне диелектричне способности

Тефлон има високу диелектричну јачину на много различитих фреквенција (5Hz до 10 GHz) низак фактор расипања и високу површинску отпорност. Диелектрична јачина је висине волтаже коју изолациони материјал може да поднесе пре него што дође до његове дисфункције. Последица томе што има мали фактор расипања јесте то да се веома мали проценат електричне енергије апсоргује и губи у случају његовог присуства на изолационом материјалу. Висока отпорност површине се односи на електрични отпор између супротних страна на површини изолационог материјала [9].

4.5. Примене Тефлона

Тефлон има најнижи коефицијент трења међу свим конструкцијским материјалима. Једнакост између статичких и динамичких коефицијената трења чини да Тефлон има широку употребу у разним врстама радних машина, посебно у јединицама са великим коефицијентима трења као што су клизни лежајеви, покретни заптивци клипних прстенова, итд. Где у његовом присуству није потребан подмазивач или пак

врло мало ако се ради у корозивним условима. Присуство Тефлона у јединицама за рад које стварају трења између својих радних делова побољшава рад зупчастих трансмисија и директно доприноси њиховој истрајности, обезбеђује стабилну експлоатацију у окружењу не баш погодном за одређене машинске делове, као што су висок вакуум и криогене температуре. Тефлон се може користити и у виду пасте, као мазива, постоје машински делови од Тефлона, пресвлаке за зидове посуда, алата итд. Сходно томе постоји више врста облика у којима се Тефлон може наћи на тржишту, у зависности од врсте индустријске потребе [8].

Тефлон као средство за подмазивање.



Слика 4.6. Паковање тефлонског подмазивача [8].

Један од примера су делови камере, вентили, пластична опрема. Код система који захтевају ниску почетну снагу без клизања при раду или код система који су дуже време неактивни (сигурносни вентил и славине), Тефлон као адитив повећава њихово очување чак до 40 % и обезбеђује безбедан квар ако ни један други подмазивач не успе у својој намени. Паковање тефлонског подмазивача за суво подмазивање дат је на **слици 4.6** [19].

Тефлон је сјајан изолатор на високим температурама. Тефлонске цеви и изолације за жице се производе у разним бојама и уобичајно су клизаве на додир (**слика 4.7.**). Изолација је непропусна за топлоту и хемикалије које се стандардно користе у таквим индустријама, ипак ове изолације се избегавају тамо где постоји могућност да се оне оштете у контакту са оштрим врховима [20].



Слика 4.7. Тефлоном изоловане жице [8].

5. Карактеристике стрељачког оружја

У току развоја и експлоатације стрељачког оружја уочена су његова општа својства која је оно морало имати независно од врсте и типа. Познавање система општих карактеристика оружја помаже да се правилно оцене модели оружја и поставе смернице за њихово усавршавање. Такође, тиме се лакше решавају проблеми експлоатационих захтева како при модификацијама постојећег оружја, тако и при пројектовању новог. Може се рећи да су тактичко-технички захтеви у ствари жељена својства, а својства реализовани захтеви постављени пред ново или модификовано оружје [11].

Осим општих, постоје и тзв. посебне карактеристике, специфичне за конкретан тип или врсту оружја. Тако се нпр. посебне карактеристике револвера разликују од посебних карактеристика аутомата или јуришних пушака. Опште карактеристике стрељачког оружја могу се поделити у четири основне групе:

- борбене
- конструкционе,
- употребне (експлоатационе)
- производно-економске [11].

5.1. Борбене карактеристике

Под борбеним карактеристикама оружја сматрају се таква својства оружја која карактеришу могућност ватреног дејства на противника уз нормалан безотказни рад. Борбене карактеристике оружја обично се оцењују са три стране: моћ оружја, маневарске способности и поузданости дејства оружја [11].

Моћ оружја мери се укупном количином енергије коју имају испаљена зрна при удару у циљ у јединици времена. Дакле, она може бити дата изразом:

$$M = E_{\text{пр}}$$

где су: $E = \frac{MV_c^2}{2}$ - енергија зрна на циљу

M- маса зрна

V_c - брзина зрна на циљу

Како се маса зрна при гађању из исте врсте оружја сматра константном, енергија на циљу се повећава само на рачун брзине зрна на циљу. Уколико се удаљеност до циља не мења, брзина зрна на циљу зависи искључиво од почетне брзине зрна на устима цеви и од балистичких својстава зрна која су одређена обликом зрна. Наиме, што је савршенији облик зрна, то је већа његова брзина и енергија на циљу. Повећањем даљине гађања смањује се брзина зрна на циљу, а тиме и моћ оружја. Повећањем практичне брзине гађања повећава се моћ оружја. Због тога се аутоматска оружја сматрају моћним оружјима, посебно она са великом вероватноћом погађања. Али, прецизност аутоматског оружја је мања од неаутоматског и полуаутоматског јер на растурање погодака на циљу додатно утичу и осцилације цеви оружја. Због тога се настоји да се рафална паљба ограничи на 2-3 метка у рафалу [11].

Повећањем вероватноће погађања расте и моћ оружја. Вероватноћу погађања карактерише прецизност оружја. Она зависи од много параметара који узајамним дејством изазивају тзв. растурање погодака.

У састав моћи оружја улазе балистичка својства оружја:

- дејство зрна на циљу,
- ефикасност гађања,
- ефикасни домет оружја и
- брзина[11]

Под дејством зрна на циљу сматра се ефекат који прави зрно испаљено из датог типа оружја и погађа задати циљ на одређеној удаљености. Како је реч о оружју чија је основна намена онеспособљавање живе силе противника, практично је занимљиво, пре свега, убитачно дејство зрна које обезбеђује уништавање живих циљева нарушавањем животних функција организма [11].

Ефикасност гађања у пракси се оцењује на основу слике растурања погодака у зависности од врсте оружја. Одлучујући утицај на растурање погодака при рафалној паљби има стабилност оружја, односно способност оружја да сачува свој положај (правац цеви) који му је дат пре првог опаљења [11]

Ефикасни домет представља скуп својстава оружја које карактеришу могућност ефикасног гађања у зависности од даљине. Ефикасни домет зависи од:

- крајњег домета зрна,
- стварног домета,
- брисаног домета и
- нишанске даљине[11].

Крајњи домет лета зрна одражава крајње могућности употребе одређене врсте оружја. За оцену стрелачког оружја данас се ова карактеристика не узима у обзир.

Стварни домет представља даљину гађања на којој је сачувана задата ефикасност гађања (вероватноћа погађања и дејство на циљу).

Брисани домет је даљина гађања при којој висина трајекторије не прелази висину циља. Нишанска даљина одговара највећем подеоку на нишану. Нишанска линија условљава стварни домет оружја.

Брзина гађања представља број опаљених метака у јединици времена. Постоји практична и теоријска брзина гађања. Под појмом практична брзина гађања подразумева се брзина гађања која се може постићи у борбеним условима при гађању из датог модела оружја уз задату тачност и прецизност, узимајући у обзир и губитак времена за нишањење, пуњење оружја, отклањање моћућих застоја који се појаве у току гађања и пренос ватре с једног циља на други [11]

Под покретљивошћу оружја подразумева се његова преносивост - транспортабилност, пренос ватре и могућност примене у различитим условима. Преносивост – транспортабилност се обезбеђује ограничењем масе и димензија оружја и борбеног комплета, али и погодношћу за транспортовање. Маса оружја представља најважнију карактеристику оружја. Оцена конструкције оружја по овој карактеристици може се извршити на основу коефицијента искоришћења метала [11].

Поузданост дејства оружја представља свеукупност карактеристика која показују безотказни рад оружја, његов животни век и неосетљивост на спољне утицаје и оштећења. Уз појам поузданости рада чести појмови који ближе одређују поузданост

су: безотказни рад механизма, безбедност при руковању оружјем, борбена живавост као и животни век [11].

Безотказни или сигуран рад механизма аутоматике је једно од најважнијих експлоатационих својстава оружја и најчешће се оцењује бројем застоја на 1000 опаљених метака.

Било који застој у раду оштро смањује борбене карактеристике оружја. Тежи се да се број застоја сведе на минимум, што се постиже детаљним полигонским испитивањима уз веома оштре захтеве за успешност конструкције.

Безбедност при руковању оружјем се постиже коришћењем висококвалитетних материјала – челика за израду делова оружја и израдом поузданих конструкцијских детаља применом различитих сигурносних механизма.

Већа борбена живавост оружја се постиже одсуством склопова и делова чија функција лако може бити нарушена дејством ударног таласа, зрна или парчади, а такође и заштићеношћу виталних склопова оружја од механичких оштећења у току борбе.

Животни век оружја карактерише дуговечност нормалног рада оружја и његових делова. Дуговечност оружја се постиже применом високолегираних челика за израду одговарајућих делова оружја, хромирањем цеви, строгим дефинисањем правила експлоатације и сл [11].

5.2. Конструкционе карактеристике

У конструкционе карактеристике могу се убројати следеће карактеристике:

- принципијелна шема рада
- специфичности конструкције склопова и делова (тип аутоматике, врста затварача итд.),
- димензије оружја о борбеном и маршевском положају,
- маса оружја,
- једноставност конструкције.

Једноставност конструкције је веома важан захтев за жељени тип оружја. Она даје велике предности оружју, не на штету претходно набројаних карактеристика. Једноставност конструкције омогућава:

- скраћење времена обуке корисника,
- нарочито у рату,
- убрзавање технолошког процеса склапања оружја и
- снижење цене оружја, што је веома важно при масовној производњи [11].

5.3. Употребне (експлоатационе) карактеристике

Експлоатационе карактеристике оружја треба да обезбеде једноставан, удобан и незаморан рад са свим механизмима оружја и безбедност гађања, а такође, и рад аутоматике и руковање оружјем у жељеним условима употребе [11].

На ове карактеристике утичу:

- чврстоћа делова на које директно делује притисак барутних гасова,
- немогућност да у току гађања дође до одвајања делова на које директно делује притисак барутних гасова и

- степен безбедности од повређивања при свакодневном руковању оружјем.

На лакоћу и удобност руковања утичу:

- величина неопходних сила и енергије које стрелац треба да примени и потроши у току руковања оружјем и
- ниво дејства оружја на самог стрелца: трзањем, звуком, барутним гасовима, ударним таласом и сл.[11].

У експлоатационе карактеристике спада још и једноставност руковања оружјем која обезбеђује најједноставније одржавање оружја у току свакодневне експлоатације и једноставно и поуздано пуњење у различитим условима [11]

5.4. Примена полимерних композита у стрељачком наоружању

Војна индустрија је на прагу револуције материјала који ће се користити за израду стрељачког наоружања, што јачих, лакших и дуже трајнијих делова оружја, а кључ ове револуције јесу полимерни композитни материјали. Већина наоружања се и даље граде скоро у потпуности од челика, као што су већ више од једног века. Рад војне индустрије са композитним материјалима обухвата композите са металним матрицама, керамичким матрицама и угљеник-угљеник композите, поред полимерних матрица.

Један од основних карактеристика које треба да задовоље делови изграђени од полимерних композита је отпорност на топлоту. Топлота је једна од основних појава која се јавља у току процеса рада оружја и она је чест узрок хаварије система. Поред тога делови морају да издрже притиске који се јављају[7].

Данас се све више тежи да се металне компоненте замени са полимерним композитима чиме се смањује тежина, која представља један од важних утицајних фактора током експлоатације оружја. Полимерни композити доносе и друге предности, као што је недостатак корозије, повећање укупне снаге и отпорност на временске услове [7].

Тестирање нових материјала се врши у комбинацији са стандардним стрелиштима и технологијом 21. века. Није довољно да само знати како је полимерни композит лаган, већ морамо да знамо како ће се полимерни композит понашати у самом окружењу. Тако се током конструисања морају испитати и друге излазне карактеристике, на пример: „Направи се пиштољ од 500 грама и 500 грама лакши од предходног, али мора да се види шта се жртвује зарад тога. Оружја премале масе теже је контролисати и већи трзај је усмерен на раме стрелца, оптику и друге додатке на оружју, али оно представља и велика одговорност, јер ће то оружје користити много људи. Зато се током процеса развоја директно испитују карактеристике оружја у средини у којој ће бити експлоатисане и на крају тражи оптимално решење које ће бити у оквиру тактичко-техничких захтева будућег оружја. Дизајнирање материјала у лабораторији се разликује од тестирања у условима експлоатације (морају да буду отпорна на спољне загађиваче, животну средину, на напоне, насилно кретања, и сурових услова складиштења). Компјутерски модели омогућују предвиђање понашања материјала и одредити његове слабости како механичких карактеристика материјала, тако и самог дизајна. Тестирања за која су некада биле потребне године, данас су потребни месеци, уз помоћ компјутерског моделирања и напредне технологије [8].

Делови изграђени од полимерних композита се примењују у оружју за војне, цивилне и спортске намене. Све већи је потенцијал једноставних и поузданих решења виталних делова оружја израђених од полимера. Тежи се да што већи број делова буде изграђен од полимера. Полазећи од пушака, као и код већина опрема, лидери војске

желе да пушка буде лакша, али трајнији и са што бољим карактеристикама у односу на тренутне. Са појавом Пикатини шине, калибара муниције, стандардизованих и нових пластичних материјала, јуришна пушка је еволуирао изнад очекивања.

Када се узме у обзир помак конвенционалних ратова сукоба ниског интензитета, дошло се до радикалних промена у начину израде пушака и њиховог дизајнирања. То објашњава зашто пушке које су се појавиле у протеклој деценији нису само препознате као изазовне идеје, већ су у реалном систему наоружања универзалне са изменљивим деловима [8].

Када је први пут произведена полимер-челична пушка са хромираном цеви и гасног клипна система била је прескупа за масовну примену у војсци, али приступачана за мање специјалне јединице. Почетак изградње ових пушака пратило је коришћење најмодерније опреме и материјала, због чега су биле веома скупе, али данас је опрема „сазрела“, а цена је дошла на ниво са кога се може понудити целој војсци.

Данас основни делови пушака који се израђују од полимерних композита су:

- кундак;
- магацин;
- облога цеви;
- пиштољски рукохват;
- пикатини шине и
- сандук.

Материјали који се користи најчешће за израду кундака су: дрво и полимер. Данас због развоја разноврсних полимерских композита, због мале тежине и бољих карактеристика, дрво се све више потискује из примене у оружју. Најчешће се дрвени кундаци израђују од ораховине и букве. Мана дрвених кундака је уколико се дрво не одржава како треба долази до појаве дефеката на кундаку, а такође се деформише услед утицаја влажности. Као резултат тога, дрво додирује цев, и може да има негативан утицај на прецизност. Невидљиви ефекти савијања кундака могу бити подједнако деструктивни [9].

На основу мана дрвених кундака кренуло се у изради кундака од полимерских матрица са стакленим влакнима (**слика 5.1**). Овакви кундаци су релативно лаки и не утичу на еколошке услове. Полимерски кундаци су изузетно чести и представљају најфлексибилније кундаке. Кундаци за чију израду се користи полимер се још називају и синтетички кундаци и по свом квалитету се могу доста разликовати од произвођача до произвођача. Исто тако, квалитет кундака у многоме зависи од којих синтетичких материјала су направљени. Ако је материјал квалитетнији, онда је наравно и цена доста већа. Чак, цена може бити већа и од дрвених кундака.



Слика 5.1. Приказ могућих решења склапања и расклапања кундака, као и приказ конструкцијских решења таквих кундака [11].

Због отпорности на влагу у екстремним климатским условима, полимерни кундаци имају супериорну прецизност. Максимални резултати су постигнути у погледу квалитета.

Остале особине су:

- изузетно поуздани;
- водоотпорни;
- отпорни на огреботине;
- конзистентан облик;
- функционални;
- несаломиви;
- једноставни за руковање.

Предност пластичних кундака је то што су често јако јефтини и лагани (мање материјала је потребно да се обезбеди потребна јачина кундака).

Пластични кундаци имају предност над дрвтом, када је реч о стабилности. Дрвени кундаци могу да се деформишу услед промена у влажности и могу се исто тако проширити услед промене температуре. Примена лака на дрвеним кундацима може смањити утицај ових проблема, али синтетички кундаци су још увек најстабилнији. Пластични кундаци су популарни не само зато што су јефтинији, већ и зато што на њих не утиче влага као што је то случај код кундака направљених од ораховог дрвета. Њихови недостаци, како наводе поједини стручњаци, су: осетљивост на температурне промене, екстремне услове и недостатак ригидности који негативно утиче на

прецизност пушке. Али опет, поред свих ових мана, остаје чињеница да су пластични кундаци добри за практичну примену [12].

На слици 5.2 и 5.3 приказани су кундаци израђени су од ливених полимерских композита са различитом констукцијом, који се углавном користе у специјалним јединицама због својих подесивоти - универзалности (лако прилагођавање ергономији војника), преклапају се на леву страну и на чијим крајевима се налази гумени апсорбери.



Слика 5.2. Телескопски кундак – типа М-4 (могућност подешавања по хоризонтали, са четири дужине развлачења) од полимерске матрице са стакленим влакнама и са опружним апсорбером [12].



Слика 5.3. Кундак од полимерске матрице са стакленим влакнама, који има могућност подешавања образине по висини [12].

Магацини се такође уместо челика или легуре алуминијума израђују од полимерних композита са полупровидним телом (како би се имала боља прегледност броја метака унутар магацина) или мат црног полимера. Њихова основна намена је да обезбеди допремање метака до самог механизма за окидање и опаљивање. Тако да полимерни композити морају бити отпорни на све услове експлоатације оружја како би сачували целовитост магацина и обезбедили допремање метака.

Магацини се деле на:

- Неодвојиви и
- Одвојиви.

1. Оквири (прави и закривљени) и
2. Добоши (аксијални, радијални и спирални).

На **слици 5.4 и 5.5** су приказани неки од примера магацина који су израђени од полимерних композита.



Слика 5.4. Оквири израђени од полимерних композита са полупровидним телом и мат црним полимером [13].



Слика 5.5. Добоши израђени од полимерних композита са провидним телом.

Облоге се израђује од полимерних композита са стакленим влакнима, чиме су својом лакоћом и одличним карактеристикама потиснуле облоге израђене од древета или других металних легура (алуминијумске, челичне). На **слици 5.6** су приказане облоге цеви од полимерних композита са стакленим влакнима.



Слика 5.6. Разне облоге цеви [14].

Пиштољски рукохвати се готово увек израђују од полимерних матрица са стакленим влакнима и материјал мора да оптерећења која се јављају током експлоатације (силе изазване стиском шаке, тежином пушке и услед пада пушке на сам

рукохват). На **слици 5.7** су приказана нека од решења пиштољских рукохвата која се користе.



Слика 5.7. Примењена решења пиштољског рукохвата [13].

Пикатини шина служи да би се на њу додала додатна опрема, такође се израђује од полимерних композита и задатак јој је да сигурно причвршћује додатну опрему за само оружје (**слика 5.8.**). Неопходно је да издржи све силе и моменте који делују на њу, тако да полимерни композити са својим карактеристикама то испуњавају.



Слика 5.8. Приказ стандардне Пикатини шине од полимерних композита [14].

Сандук, такође може да се изради од специјално отпорних полимерних композита, али поред полимера у већој мери је од легуре алуминијума. Тако је за пушку

„Beretta ARX 100“ сандук направљен од лаке пластике, познате као техно полимерска пластика (слика 5.9.).



Слика 5.9. Пушка „Beretta ARX 100“ са полимерским сандуком [14].

Као што је приказано полимерски композити имају велики дијапазон примењености у изради стрелачког наоружања. Поред примене у самој изради делова оружја, полимерни композити се користе као заштитне превлаке металних површина. Тако су у току израде ултра модерне пумп сачмаре „Remington Model 887 Nitro Magnum Tactical“ користили проверена и доказана знања и решења, конструктори су овде употребили армор локт поступак, којим су специјално отпорним полимером, пресвукли све металне спољашње површине (слика 5.10.). Цев и сандук су уместо спољашње заштите брунирањем, потпуно прекривеним одговарајућим, доста дебелим слојем отпорног полимера. Од истог полимера, који може да буде у црном или камуфлажном дезену израђени су кундак и подкундак Модела 887. Зоне које долазе у додир са руком стрелца су специјално рељефно дизајниране, како би се омогућио што чвршћи хват.



Слика 5.10. Пумпара „Remington Model 887 Nitro Magnum Tactical“ пресвученом специјално отпорним полимером [14].

Што се тиче пиштоља, основни делови који се израђују од полимерних композита су:

- рам и
- оквир.

Један од првих пиштоља код којег је рам направљено од полимера, а не од метала као код садашњих пиштоља био је немачки „Heckler & Koch VP70 9 mm“. Тежина пиштоља без магацина износи 820 грама, што је лакше од већине тадашних пиштоља (слика 5.11.) [15].



Слика 5.11. Пиштољ „Heckler & Koch VP70 9 mm“. чији је рам израђен од полимера [14].

Рам се углавном израђује ливењем полимерских композита, тако је рам пиштоља „Smith&Wesson MP 9 Shield“ израђен од полимера „zytel“ ојачаног стакленим влакнима (слика 5.12).



Слика 5.12. Пиштољ „Smith&Wesson MP 9 Shield“, чији је рам израђен од полимера „zytel“ ојачаног стакленим влакнима [16].

Оквир пиштоља се такође израђује од ливења полимерских композита (слика 5.13).



Слика 5.13. Пиштољски оквири изграђени од полимерских композита [16].

У овом делу рада представљени су делови оружја које фабрика „Застава оружје“, производи [18].

„Застава оружје“ од полимерских композита изађује следеће делове оружја:

- кундак;
- пиштољски рукохват;
- оквире;
- облоге цеви;
- пикатини шине и
- корице пиштоља [8].

Ови делови се раде у сарадњи са фабриком за производњу делова од пластике „21. Октобар“ у Крагујевцу, а као материјал се користи полимер ојачан стакленим влакнима. Тако је на пушци М21 од полимера израђени кундак, пиштољски рукохват, оквир и облога цеви (слика 5.14).



Слика 5.14. Пушка М21 са полимерним кундаком, пиштољским рукохватом, оквиром и облогом цеви [8].

Поред оваквих концепција, делови се изарђују и према следећем дизајну (Слика 5.15.):

- а – кундак са подесивом образином;
- б – пиштољски рукохват и
- ц – облога са Пикатини шином.



Слика 5.15. Полимерски кундака, пиштољски рукохвата и облоге са Пикатини шином за пушку М21 [8].

Поред М21 делове од полимера израђује за далекометне пушке М93 „Црна стрела“ (слика 5.16.) и М12 „Црно копље“ – подесива образина и пиштољски рукохват је од полимера (слика 5.17.), али и на ловачком карабини М70PS кундак је изграђен од полимера ојачаног стакленим влакнима (слика 5.18.) [8].



Слика 5.16. Далекометна пушка М93 „Црна стрела“ са кундаком, пиштољским рукохватом и облогом од полимера [8].



Слика 5.17. Кундак далекометне пушке М12 „Црно копље“ са полимерним пиштољским рукохватом и подесивом образином на кундаку од легуре алуминијума [8].



Слика 5.18. Ловачки карабин М70PS са кундаком од полимера на чијем крају се налази гумени апсорбер [8]

6. Карактеристике муниције

Метак 7,62 mm са обичним зрном је намењен за уништавање непријатеља ватром у блиској борби на даљинама до 50 m (при гађању из пиштоља), односно до 200 m при гађању из аутомата [10].

Метак се састоји из следећих елемената: зрна, чауре, барутног пуњења и иницијалне каписле [10].

Зрно има следеће делове: кошуљицу и језгро. Врх кошуљице је код сваке врсте зрна овалан, а остали део цилиндричан. Кошуљица је изграђена од томбака, а језгро од легуре олово-антимон. На задњем крају кошуљица је повијена, тако да њени крајеви улазе у језгро, чиме се обезбеђује присна веза између кошуљице и језгра.

Чаура је од месинга. За разлику од осталих врста чаура код муниције за пиштољ и аутомате (чије су чауре од цилиндричног облика), овде се плашт чауре завршава грлићем. На задњем крају чауре, постоји венац за олакшано избацивање чауре после гађања. На данцету чауре (у средини), направљено је удубљење (за смештај иницијалне каписле), са два отвора за пролаз пламена од иницијалне каписле ка барутном пуњењу. На средини овог удубљења постоји наковањ[10].

Барутно пуњење код ове врсте метка је од нитроцелулозног барута (NC-03).

Иницијална каписла има чанче, фулминатску смешу и покривку. Каписла се утискује у лежиште у чаури одређеним притиском, а спој се лакира у циљу херметезације.

Технички подаци за муницију 7,62 mm дати су у **табели 6.1.**

Табела 6.1. Техничких података калибра 7,62 mm[10]

Назив елемента	Материјал	Тежина (gr)	Дужина (mm)
Зрно	Тимбак, олово	5,5	14
Чаура	Месинг (Ms)	4,6	25
Барутно пуњење	NC-03	0,5	-
Иницијална каписла (K-4,5)	-	0,15	2,2
Комплетан метак	-	10,8	35
Школски метак	Месинг, пластична маса	10,8	35

Балистички подаци за муницију 7,62 mm су дати у **табели 6.2.**

Табела 6.2. Балистичких података за муницију 7,62 mm[10].

Назив оружја	V_o (m/sec)	Брзина гађања (met/min)	Прецизност
7,62 mm Пиштољ	405-435	-	Од 11 погодака 10 мора бити у кругу $D=25$ cm
7,62 mm Аутомат М49	440-510	1580-1650	$R_s=5$ cm
7,62 mm Аутомат М49/57	490-510	1000	$R_s=5$ cm
7,62 mm Аутомат М56	485-515	500-600	$R_s=5$ cm
7,62 mm Аутомат М41"PPŠ"	480-490	800-110	$R_s=5$ cm
7,62 mm Аутомат М43"PPŠ"	490-510	500-1100	$R_s=5$ cm

Муниција 7,62 mm израде, упакована је у дрвене сандуке, који се могу транспортовати у пољском или брдском транспорту. Ремонтована муниција пакована је искључиво у сандуцима за брдски транспорт.

У сандуке за пољски транспорт паковање муниције је по следећем:

- 70 метака упаковано је у картонску кутију димензија: 90x70x40 mm
- 45 картонских кутија по 70 метака (3150 метака), упаковано је у цинчану кутију димензије: 465x225x115 mm. Тежина ове кутије са мецима износи 35 kg [10].

Обележавање бојевих метака извршено је жиговима на данцету чауре. Ови подаци наносе се при извлачењу чауре у току израде. Са једне стране дати су иницијали произвођача (PPU, PG), а са друге година израде чауре (59 или 1959) [10].

Обележавање амбалаже бојеве муниције извршено је по следећем:

На картонској кутији од 70 метака, налепљења је етикета следећег садржаја:

70 ком

Метак ТТ – 7,62 mm

За пиштољ и аутомат

PG6018

Барут: NC-03, MBL591

6.1. Композитни полимери код муниције

Године 1960. компанија „КТW“ је покушала да развије метак са бољим карактеристикама продирања. Њихов циљ био је да развију нову муницију која ће бити способна да изврши пробој мета сачињених од тврдих материјала, као што су нпр. ветробранско стакло, полицијски панцири... Уобичајно Пиштољски меци који су у великој мери направљени од олова, имају проблем деформације на удару у тврду подлогу, као што су врата аутомобила или ветробранско стакло. Мање су ефикасна када су деформисани. Конвенционални меци сачињени од олова су већином постајали

деформисани и мање ефективни после удара у тврд материјал. Тада су одлучили да метак пресвуку слојем Тефлона, што би га учинило чвршћим и знатно побољшало радни век пиштоља очувањем његових цеви преко смањења трења између метка и цеви, смањења хабања. Такође, овакав вид муниције је познат у свету као „панцирна муниција“ или „убица полицајаца“ која је коришћена осамдесетих година у САД-у. Тефлон има најнижи коефицијент трења међу свим конструкцијским материјалима, па се због тога користи највише као превлака. „КТW“ је престао да производи ове метке деведесетих година двадесетог века. Међутим, постоје и други произвођачи који своје метке превлаче са другим супстанцама, као што су молибден дисулфид, восак, итд. [10].



Слика 6.1. Муниција превучена тефлоном (панцирни метак).

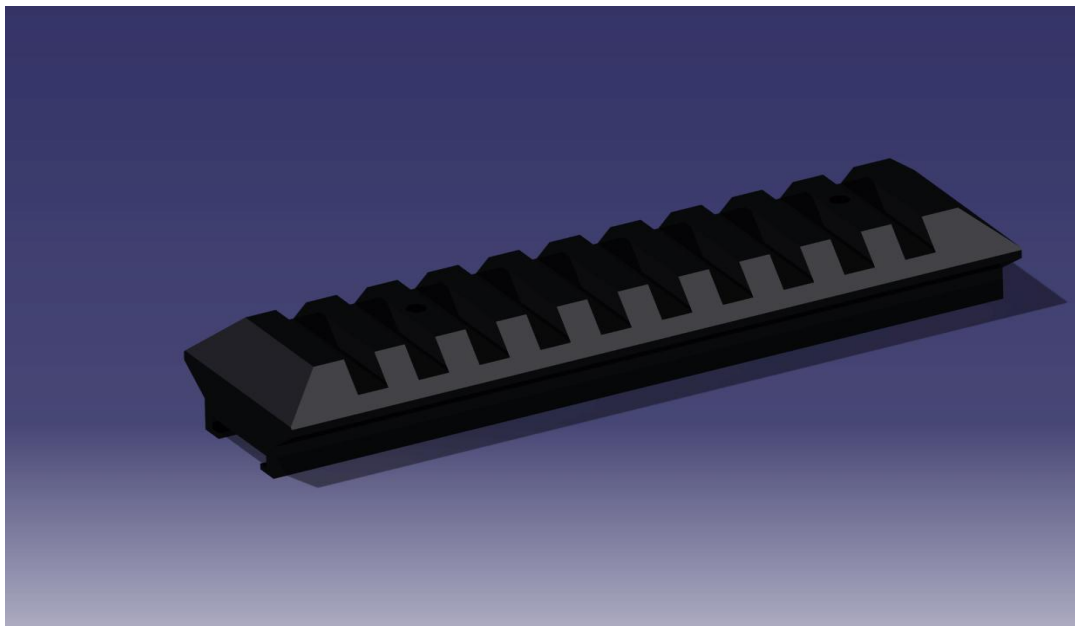


Слика 6.2. Метак са полимерним врхом.

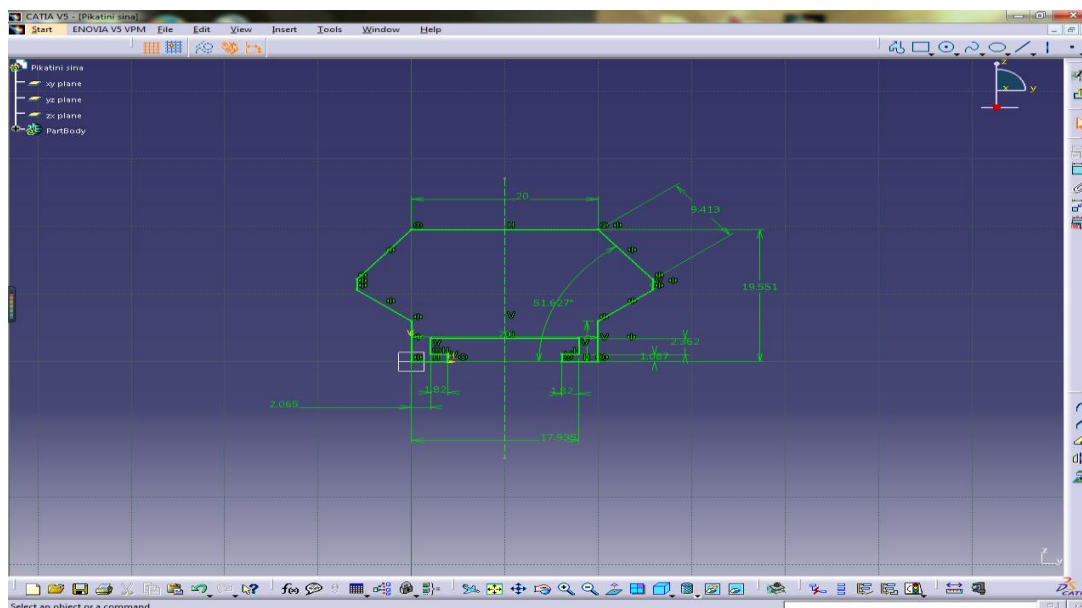
Муниција код које се користи Тефлон је специјално дизајнирана за изузетно прецизан гађање великог домета. Полимерни врх појачава прецизност и подстиче разорно ширење при удару у циљ. Такође повећава балистички коефицијент и стабилизује метак у лету. Према подацима произвођача, муниција код које се користи полимери (Тефлон) су у великој мери смањује тежину и коструктивне цене. Кошуљице од полимера (Тефлона) 11,5 до 20% лакше су од менсигане кошуљице.

7. Примери моделираних делова

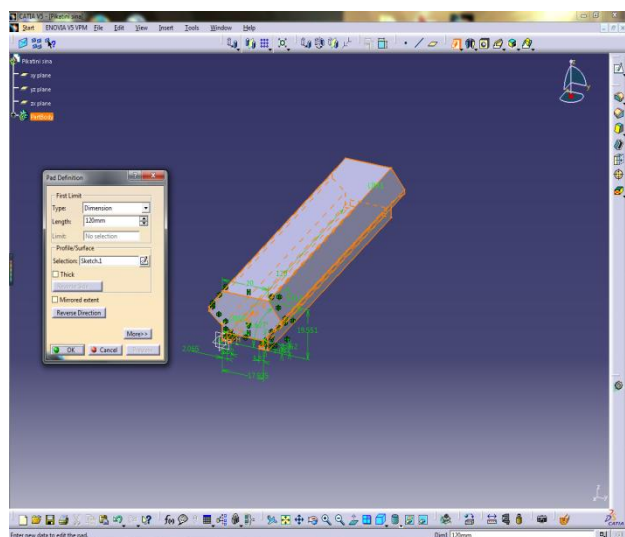
Пикатини шина која служи да би се на њој окачила додатна опрема, у оквиру овог дела рада илустровано је моделирање од полимерних композита и задатак јој је да сигурно причвршћује додатну опрему за само оружје. Неопходно је да издржи све силе и моменте који делују на њу, тако да полимерни композити са својим карактеристикама то испуњавају.



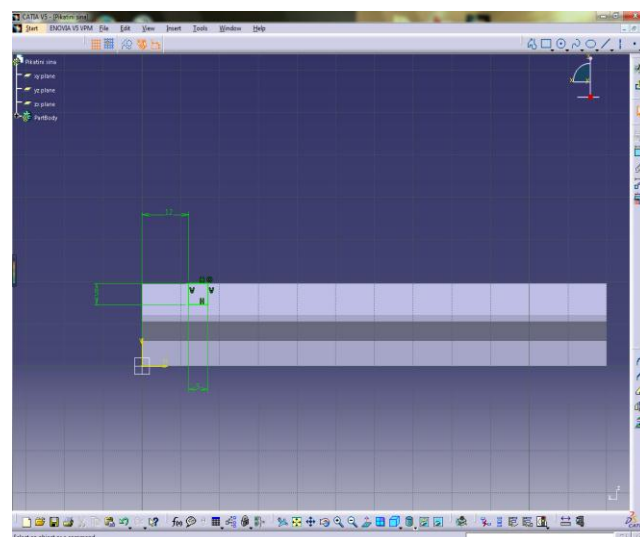
Слика 7.1. Приказ Пикатини шине.



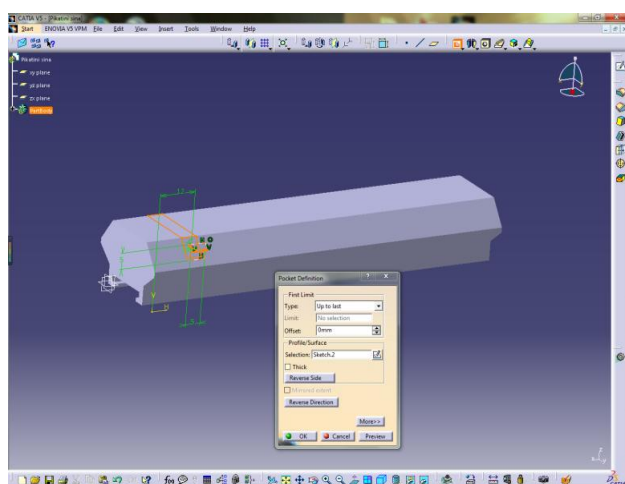
Слика 7.2. Моделирање почиње отварањем „Sketch-a“ у XZ равни у којој се црта контура тј. база предмета.



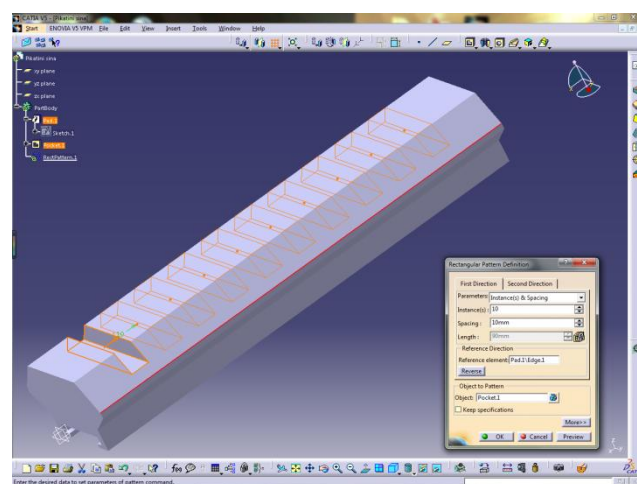
Слика 7.3. Функцијом „Pad“ добијамо део од 120 mm.



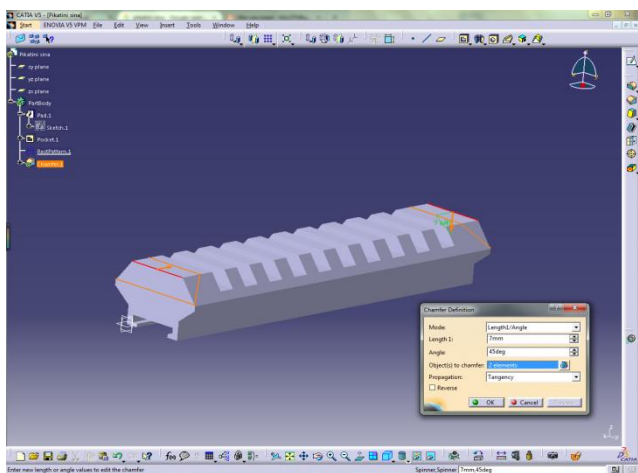
Слика 7.4. Црта се на бочној површини квадрат у „Sketch-у“.



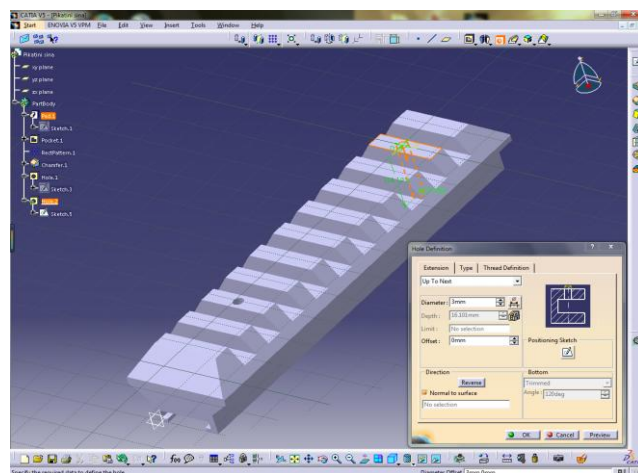
Слика 7.5. Функцијом „Pocket“ правимо ребро.



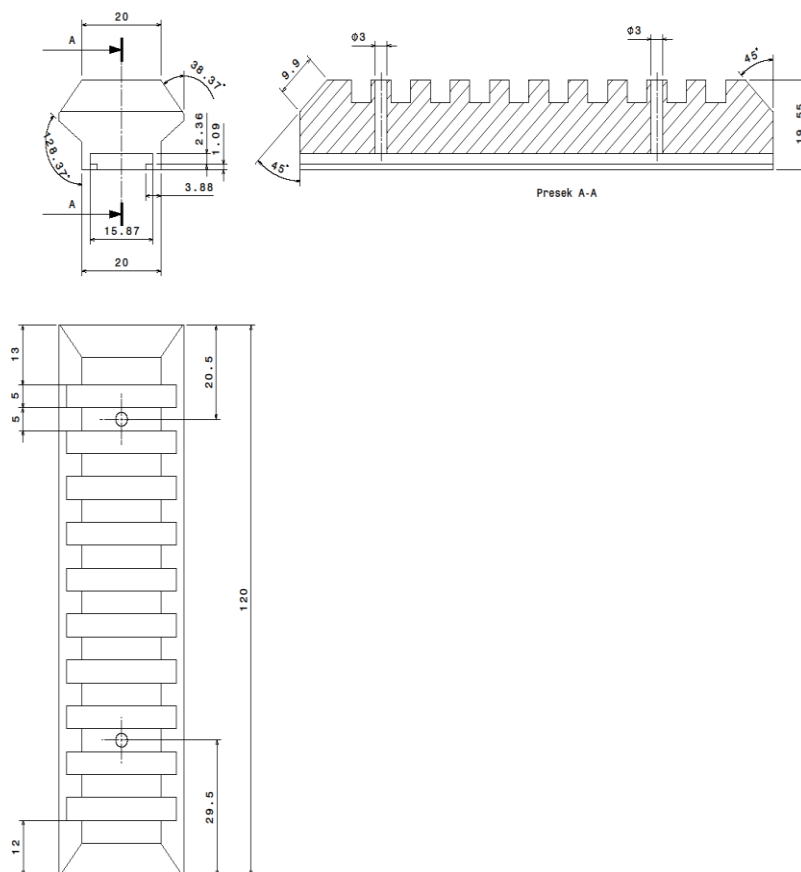
Слика 7.6. Функцијом „Rectangular pattern“ добијамо ребра за ојачање.



Слика 7.7. Функцијом „Chamfer“ обарамо ивице.



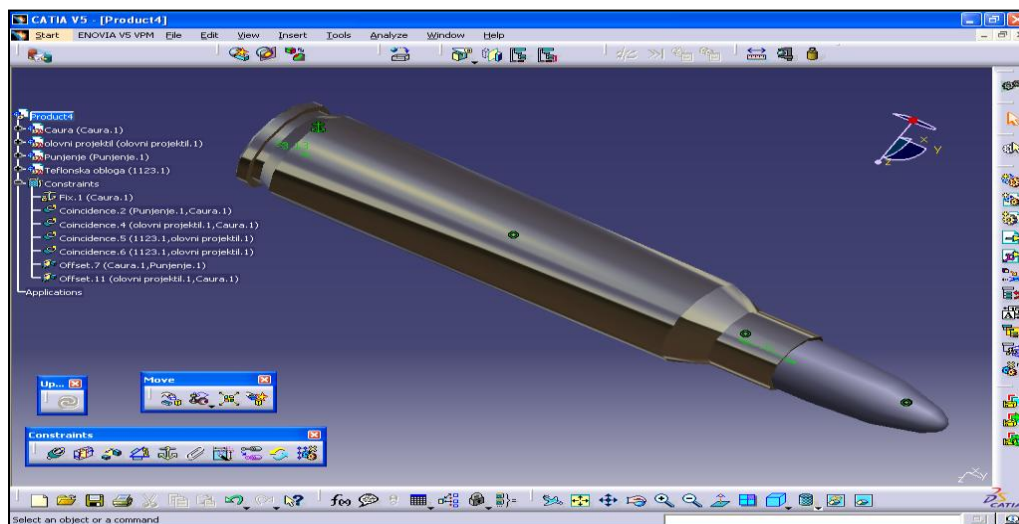
Слика 7.8. Са опцијом „Hole“ добијамо рупе за ојачање.



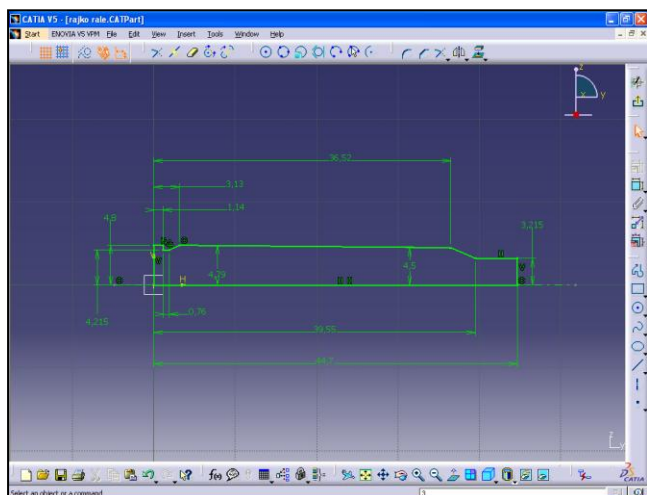
Слика 7.9. Технички цртеж Пикатини шине.

7.1. Пример моделираног метка 7,62 mm

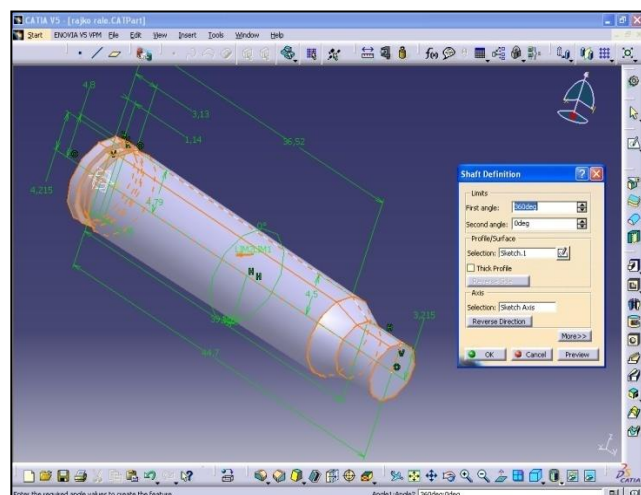
Други склоп, метак калибра 7,62 mm чији је пројектил обложен тefлоном (слика 7.10.), има за циљ угрожавање и одузимање људскога живота.



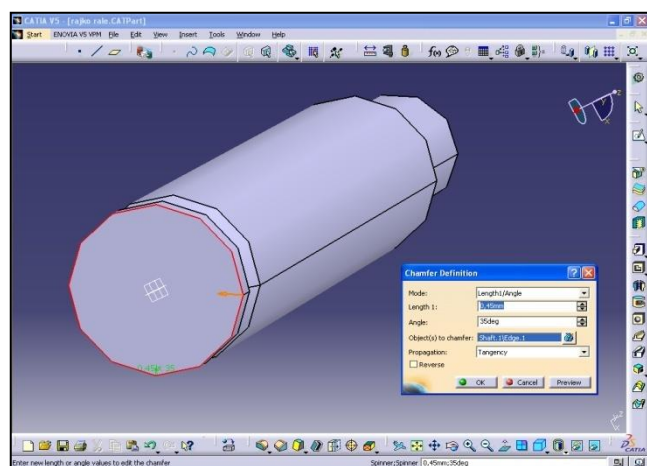
Слика 7.10. Приказ готовог панцирног метка.



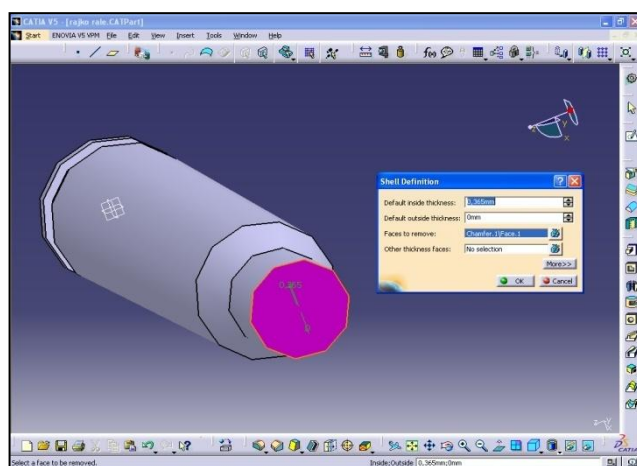
Слика 7.11. Нацртана скица.



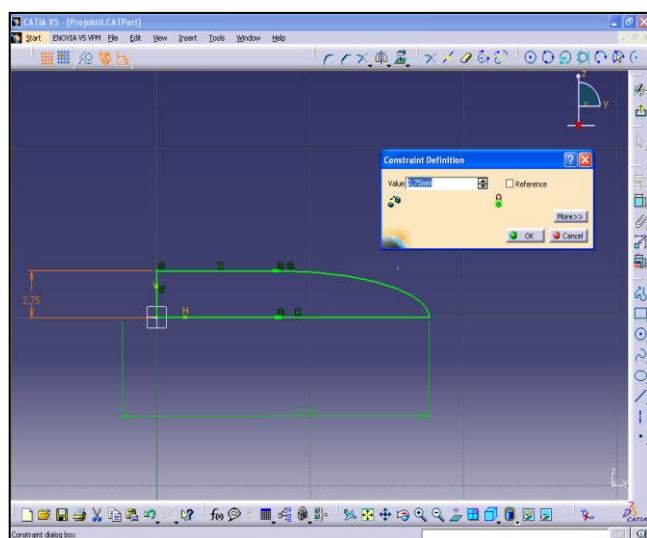
Слика 7.12. Геометијско тело добијено функцијом „shaft“.



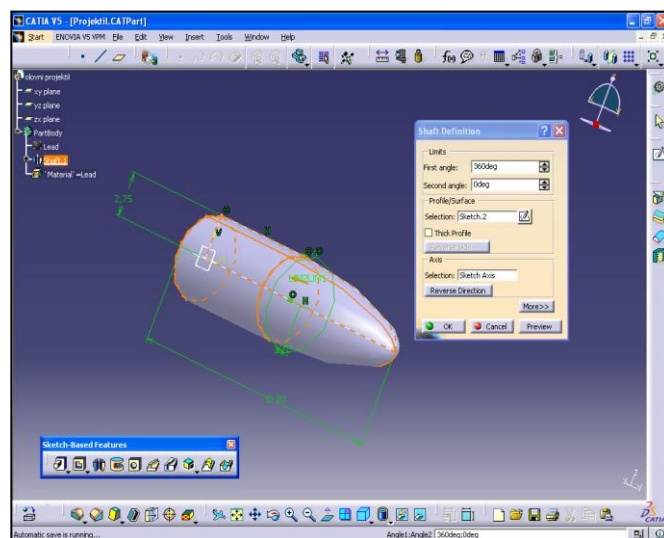
Слика 7.13. Обарање ивица функцијом „Chanfer“



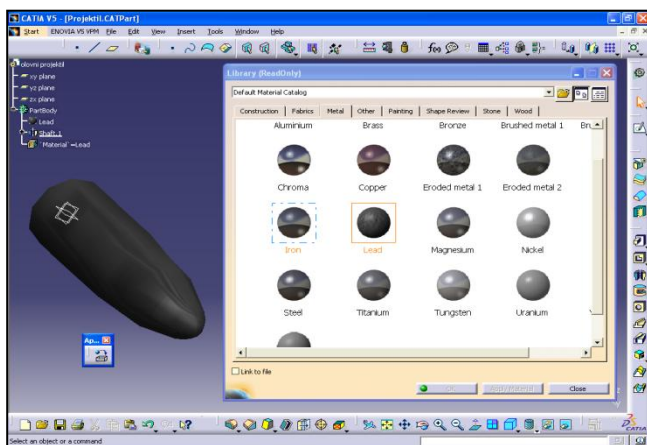
Слика 7.14. Прављење „шкољке“ функцијом „Shell“



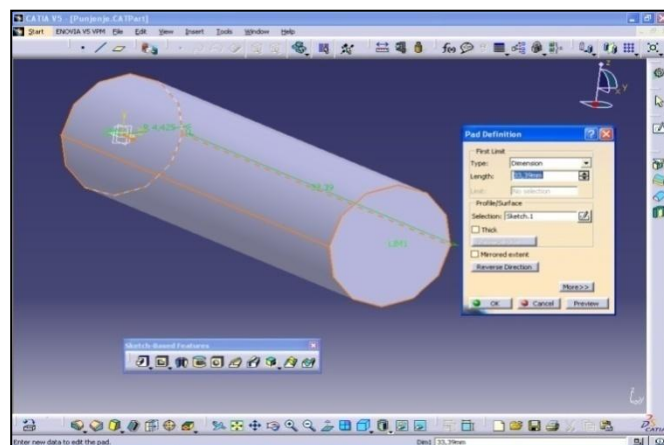
Слика 7.15. Скица оловног дела пројектила



Слика 7.16. Стварање оснометричког дела функцијом „Shaft“.

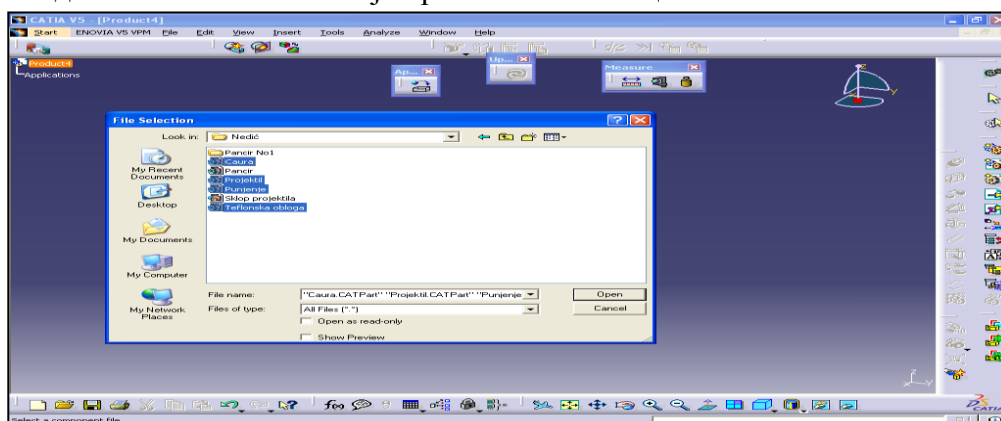


Слика 7.17. Додељивање материјала (Олова „Lead“) функцијом „Apply material“



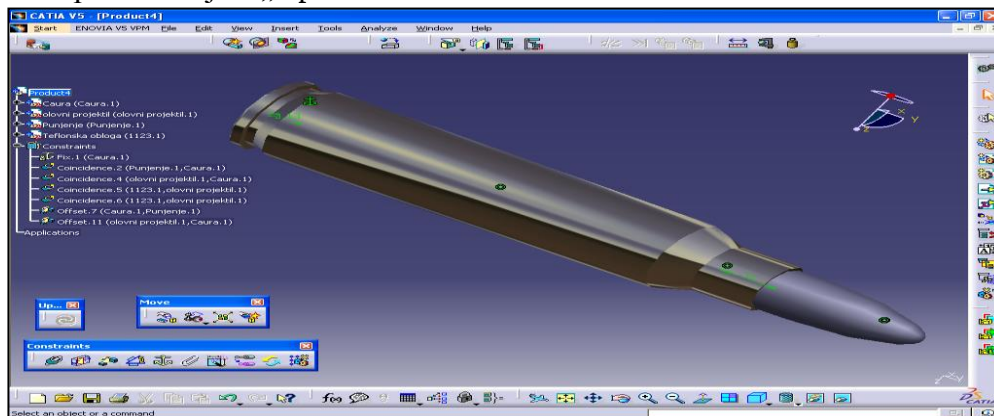
Слика 7.18. Барутно пуњење добијено „ekstrudovanjem“

Склоп метка добијамо, најпре морамо покренути модул „Assembly Design“ тако што ћемо у падајућем менију „Start“ изабрати подопцију „Mechanical Design“ па потом „Assembly Design“. Након поменутог одабира, потребно је увести геометрију, односно већ постојеће делове склопа као што је приказано на слици 7.19.



Слика 7.19. „Убацавање“ већ постојећих елемената

Када се убаце потребни елементи, ради лакшег рада, потребно је распоредити их тако да су сви видљиви, уз помоћ опције „Manipulation“. Код осносиметричних делова, пожељно је користити команду „Coincidence Constrain“ да би се осе датих делова „поклопиле“. Сва потребна ограничења се налазе у палети „Constraints“. Њихова активација се врши опцијом „Upload“.



Слика 7.20. Склоп панцирног метка.

8. Закључак

Од самог открића полимера па до данас њихово усавршавање и производња константно расту, чиме су добили велику примену како у цивилним сектору тако и у војној индустрији. У почетку су били скупи због компликоване производње (неусавршене технологије) па су се углавном користили у војној авијацији (која је то компензовала мањом потрошњом горива, због лаке конструкције), али са усавршавањем технологије и полимера са додавањем одређених сегмената (**полимерни композити**) нашли су примену у наоружању и муницији.

Огроман број слободних влакана (постојећих врста) и матрица смоле омогућавају готово неограничену слободу и креативност у инжењерингу оптимације материјала за било коју примену.

Кључне предности полимерних композита у војним апликацијама су:

- минимално одржавање;
- отпорност на корозију;
- само подмазивање (специјализована композита);
- дуг век трајања (уколико је заштићен УВ индекс);
- мала тежина (у поређењу са алтернативама) - нарочито важно за ваздушну-транспортну опрему (као што је замена оклопа за „Хамере“);
- променљивост физичких својстава у зависности од специфичности апликације;
- радар – невидљиви и
- ниска термичка потпис.

Постоје и друге предности које су специфичне за поједине полимерне композите, а посебно зависне од ојачавајућих влакана која се користе.

Сам тренда „смањења“ трошкова одабраних оружаних снага има ће велики утицај на фирме које се баве производњом делова за одбрамбену намену. Због тога је покренута иницијатива интеграције војних и цивилних фирми која имају заједнички интерес у производњи одговарајућег производа, а такође се овим приступом могу смањити трошкови сировина и произведених добара (разних прототипова). Овим поступком ће се само повећати примена полимерних композита, а што већом применом тежиће се ка усавршавању технологија производње и самих материјала.

Данас се све више тежи да се металне компоненте замена са полимерним композитима чиме се смањује тежина, која представља један од важних утицајних фактора током експлоатације оружја. Полимерни композити доносе и друге предности, као што је недостатак корозије, повећање укупне снаге и отпорност на временске услове. Тако се захваљујући развоју полимерних композита производе оружја чија је концепција сачињена са чак и до 85 % делова који су израђени од полимерних композита. У будућности ће наставити усавршавање оружја и да се њени метални делови у потпуности заменили савременим – полимерним композитима.

У раду су приказани примери моделираних делова, који су израђени од композитних полимера. Пикатини шина која служи да би се на њој окачила додатна опрема, такође се израђује од полимерних композита и задатак јој је да сигурно причвршћује додатну опрему за само оружје. Метак 7,62 mm који је пресвучен слојем Тефлона, што га чини чвршћим и знатно побољшан радни век пиштоља очувањем његових цеви преко смањења трења између метка и цеви, смањења хабања.

Имајући у виду предности полимерних композита, њихова будућност за војне примене је осигурана. Обим производње од више егзотичних-скупих сировина као што су угљенична влакна смањује трошкове и убрзава коришћење ових материјала.

Литература

1. др Богдан Недић, Владислав Ђукић, „Пластичне масе“, Машински факултет, Крагујевац, 2004. године
2. Sandra K. Young, Frederick L. Beyer, and Matthew S. Bratcher, „Exploiting Polymer Nanomaterials Technology for the U.S. Army's Objective Force“, САД, Април 2002. године
3. др Момчило Севановић, „Влакнима ојачани полимерни композити“, Маšински fakultet Београд, 2002. Март 2016
4. U.S. Department of Commerce, „Critical Technology Assessment of the U.S. Advanced Composites Industry“, (Washington, DC: U.S. Government Printing Office), Децембар 1993. године, пп.27-49
5. Making Teflon stick, <http://www.whitetroun.net/Chuck/Teflon/teflon.htm>, Март 2016
6. http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2004/October/Pages/Army_Resea_rchers3380.aspx Март 2016.
7. www.zastava-arms.rs, Март 2016.
8. Seminarski rad – Tefloni kao tehnički materijali.pdf , <http://www.scribd.com>
9. TS1-1, M-715 Municija knjiga prvi deo, Miroslav Ristić, Vojna akademija Beograd 1974 god.
10. Konstrukcije automatskog naorужanja, Aleksandar Kari, Vojna akademija Beograd.
11. <http://www.dizajnzona.com/forums/index.php?showtopic=23005&mode=threaded&pid=629520>. Март 2016.
12. okvir+puske&espv=2&biw=1366&bih=677&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAYQAUoAWoVChMIjOfcq6jfyAIVBlcaCh0FguK#imgrc=V7tpiQucU-VnSM%3A, Март 2016.
13. www.majkasvihoruzja.com, Март 2016.
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Heckler_%26_Koch_VP70, Март 2016.

15. Teflon, <http://webphysics.davidson.edu/faculty/dmb/PY430/Friction/teflon.html>, Mart 2016.
16. Teflon-coated bullet, April 2009, <http://en.wikipedia.org/wiki/Teflon-coatedbullet>, mart 2016.