

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: Машински материјали

Број индекса 528/2013

Катарина Р. Лазовић

КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ У ВОЈНОЈ ИНДУСТРИЈИ

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Нада Ратковић- ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да опише композитне материјале. То подразумева приказ основне структуре и карактеристика композитних материјала. Да прикаже детаљну поделу свих композита, са различитих аспеката поделе. Затим да опише укратко поступке добијања композитних материјала. Такође треба да наведе примену композита са посебним освртом на војну индустрију.

Препоручена литература:

- 1) Милорад Јовановић , Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић: Машински материјали, уџбеник, Машински факултет, Крагујевац 2003.
- 2) Филетин, Т., Ковачичек, Ф., Индоф, Ј.: Својства и примјена материјала, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 2002

Крагујевац, септембар 2018.

Ментор:

др Нада Ратковић, доцент

Резиме

Композитни материјали поседују добра својства чврстоће и специфичне крутости по чему су и познати. У раду је објашњено шта су композитни материјали, подела композитних материјала према врсти матрице, односно подела према врсти ојачивача као и структура композита. На основу основних подела композита могу се уочити нека заједничка својства које имају тако груписани композити. Да би се олакшала примена постојећих композитних материјала дат је и преглед досадашњих поступака њиховог добијања.

Описује се врста композита и њихове карактеристике које су повољније од карактеристика појединих других материјала. У даљем раду су објашњења својства композита који се примењују у војној индустрији.

За крај наведени су и илустративно приказани примери примене композитних материјала у војној индустрији.

Кључне речи: композитни материјали, матрица, ојачивач, влакна, војна индустрија

Abstract

Composite materials have good properties of strength and specific stiffness, as they are known. The paper explains what composite materials are, distribution of composite materials according to type of matrix, ie division by type of amplifier as well as structure of composite. Based on the basic division of the composite, some common properties of such grouped composites can be observed. In order to facilitate the use of existing composite materials, an overview of the previous procedures for obtaining them.

The type of composite and their characteristics are described which are more favorable than the characteristics of certain materials. The paper further explains the properties of composites used in the military industry.

Finally, examples of composite materials in the military industry are illustrated.

Key words: composite materials, matrix, amplifier, fibers, military industry

САДРЖАЈ

1. Увод.....	7
2. Композитни материјали кроз историју.....	8
2.1. Природни и први композитни материјали.....	8
2.2. Када је почела модерна индустрија композита.....	8
2.3. Развој у XX веку.....	8
3. Структура композитних материјала.....	10
4. Врсте и поделе композитних материјала.....	12
4.1. Подела композита на основу ојачивача.....	13
4.1.1. Композити са честицама.....	13
4.1.2. Композити ојачани влакнима.....	15
4.1.3. Подела влакана.....	17
4.2. Подела композита на основу матрице.....	22
4.2.1. Метални композити.....	24
4.2.2. Полимерни композити.....	25
4.2.2.1. Полиестерске смоле.....	26
4.2.2.2. Фенолне смоле.....	27
4.2.2.3. Полиимидне смоле.....	27
4.2.2.4. Винил естри.....	27
4.2.2.5. Бизмалеимиди.....	28
4.2.2.6. Полиестеримид.....	28
4.2.2.7. Поликетони.....	28
4.2.2.8. Пластомери.....	28
4.2.3. Керамички композити.....	29
4.3. Биокмползити.....	30

5. Својства композитних материјала.....	31
5.1. Метални композити.....	33
5.2. Полимерни композити	34
5.3. Керамички композити	35
5.4. Угљеник-угљеник композити.....	36
5.5. Хибридни композити.....	37
6. Добијање композитних материјла.....	38
6.1. Добијање композита са металном основом.....	38
6.1.1. Металургија праха.....	38
6.1.2. Поступци у чврстом стању.....	39
6.1.3. Ливење притиском.....	39
6.1.4. Ливење у получврстом стању.....	40
6.1.5. Инфилтрација метала под ниским притиском.....	40
6.1.6. Спреј поступак.....	41
6.1.7. Брзо очвршћавање	42
6.2. Добијање композита са полимерном основом.....	43
6.2.1. Намотавање.....	43
6.2.2. Ливење.....	44
6.2.3. ПТМ поступак.....	45
6.2.4. Напрскавање.....	45
6.2.5. Ручно полагање.....	46
6.2.6. Инфузија смоле.....	47
6.3. Добијање композита са керамичком основом.....	48
6.3.1. ЦВД напаравање.....	48
6.3.2. Усмерена оксидација метала.....	49
6.3.3. Производња SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом.....	50

7. Примена композитних материјала.....	51
8. Примена композитних материјала у војној индустрији.....	53
8.1. Комозитни материјли у војном ваздухопловству.....	54
8.1.1. B-2 Spirit.....	55
8.1.2. „F-117A`` Бомбардер.....	56
8.1.3. „F-35`` Ловац.....	57
8.1.4. „ A400M- Atlas	58
8.2. Ракетни лансери.....	59
8.2.1. „Шумадија`` ракетни систем.....	59
8.2.3. „Панцир`` ракета.....	60
8.2.2. M90 Стршљен.....	61
8.3. Наменска индустрија.....	61
8.3.1. Стрељчко оружје.....	62
8.3.2. Балистичка примена.....	64
8.3.3. Средства заштите.....	66
8.4. Композитни барути.....	67
9. Закључак.....	69
Литература.....	71

1. Увод

Композити су савремени материјали добијени спајањем два или више различитих материјала (компоненте, фазе) како би заједно имали нова својства, она својства каква не поседује ни један материјал сам за себе. Могу поседовати необичне тј. код других материјала неубичајене карактеристике (крутост, чврстоћа, маса, понашање при виским температурама, хемијска постојаност, тврдоћа,..).

Компоненте се међусобно не мешају нити растварају тако да се унутар композита јасно разликују две или више фазе.

Једна фаза се назива матрица, основа или везиво и она окружује и држи заједно групе влакана или фрагменте ојачивача.

Остале фазе у композитима се називају ојачивачи или побољшивачи и њихов задатак је да побољшају хемијске и физичке особине (механичке, триболошке, електричне).

Побољшивачи који пре свега појачавају механичке особине (јачину, тврдоћу) називају се ојачивачи.

Још увек не постоји опште прихваћена дефиниција композитног материјала али се из гледишта науке и инжењерства може одредити као систем материјала који се састоји од смеше (комбинације) два или више макро или микро чинилаца (материјала) који се разликују по облику и хемијском саставу и који се не растварају један у другом.

Али, са друге стране, посматрано на атомском нивоу – већина савремених металних легираних материјала и полимера би се могли назвати композитним материјалима јер се састоје од одвојених и посебних атомских група. На микроскопском нивоу обичан конструкциони челик који садржи феритну и перлитну структуру би био пример композитног материјала јер ферит и перлит су посебно уочљиви чиниоци, односно фазе овог челика.

У инжењерском пројектовању под композитним материјалима се подразумева материјал који се састоји од чинилаца у опсегу микро-макро величина, с тим да преовлађује опсег макро величина.

Циљ је да се побољшају структурне, физичке, хемијске или неке друге карактеристике појединих материјала.

У даљем делу рада ће бити дат историјски развој композитних материјала, неке од могућих подела композита, својства композитних материјала, начин њиховог добијања и примери примене композита.

2. Композитни материјали кроз историју

2.1. Природни и први композитни материјали

Постоје природни композити међу материјалима који су присутни у природи. Дрво је природан композит целулозних влакана у матрици од лигнина. Такође је кост природна мешавина калциумових влакана који су спојени заједно у природној матрици.

Још 1500. Године пре нове ере египћани су користили мешавину сламе и глине као материјал за производњу цигле.

Проналазак цемента (Роман цемент – срари Рим, Портланд цемент – савремена Енглеска) омогућава израду најпре обичног бетона (честице песка и камена повезане цементом), касније армираног (ојачаног челичним жицама,...) бетона, што су композитни материјали (данас) у масовној примени.

2.2. Када је почела модерна индустрија композита

Иако су композитни материјали били познати у различитим облицима током историје човечанства, историја модерних композита је вероватно почела 1937. Када су трговци из фирме „Onvens Kotning Fiberglas,, почели да продају фиберглас заинтересованим странама у САД. Фиберглас је пронађен готово случајно 1930. године, када је неки инжињер био заинтересован влакнима која су формирана током процеса израде стаклених флаша за млеко.

Фирма „ Onvens Kotning Fiberglas „ је основана 1935. године како би комерцијално искористила ову нову врсту влакнастих материјала. Јапанска компанија Нито Босеки је такође производила фиберглас и покушала да се пробије на тржиште влакана у Јапану и САД. Почетни производ од ових фино извучених влакана истопљеног стакла у облику плоча за изолацију (стаклена вуна), али ускоро следи и производња и продаја конструкционих материјала.

2.3. Развој у XX веку

Кроз историју развој композита је имао значајну улогу али исто тако треба нагласити да развој композитних материјала креће тек у двадесетом веку, и то као резултат појаве пластике као што је винил, полиестер, полистирен и слично. Ови полимери се појављују почетком двадесетог века и долази до убрзања процеса производње и употребе композита а нарочито од раних педесетих година па на даље.

Проналажена су нова влакна бор влакна постају доступна од 1965. године, арамидна влакна – Келвар које комерцијално нуди фирма ДуПонт од 1971. Године. Влакна направљена од полиетилена крајње високе молекулне масе су развијена почетком 1970. године. Ова влакна високих перформанси, заједно са стакленим и угљеничним влакнима, довели су до огромних промена у авиоиндустрији, аутомобилској индустрији, заштитним оделима-оклопима, спортској опреми и многим другим деловима.

Развој нових и побољшаних смола је такође допринео ширењу тржишта композита, посебно у деловима који раде у вишим температурама и где је потребна висока отпорност на корозију.

Долази и напредак у војној сфери који треба поменути. У питању је монголијски композитни лук који је омогућио монголима освајање огромних територија. За овај монголијски лук може се рећи да је дуго био најмоћније оружје заслужено за овакву доминацију.

У том периоду почиње масовна примена у индустрији и то аутомобилској, војној, авио, хемијској, прерађивачкој, итд. Изузетни помаци су додатно узрок развоја свемирских технологија и аеронаутике.

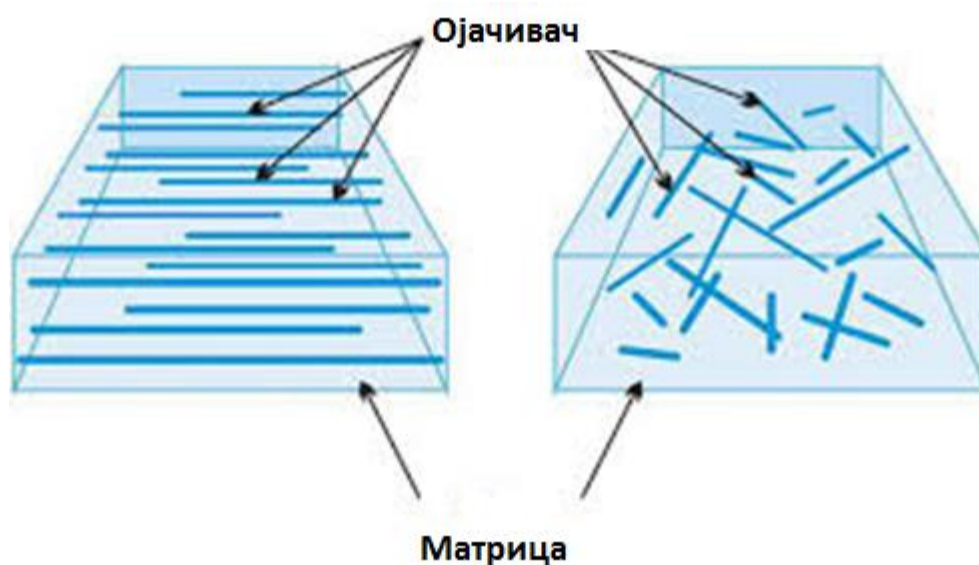
Данас је тржиште композита широко. Као што је недавно од стране СПИ Композит института највеће тржиште је још увек у саобраћају (31%) али и грађевинским конструкцијама (19,7%) поморству (12,4%) електричној и електронској опреми (9,9%), уређајима широке потрошње (5,8%) и тд. Композити су нашли своје место у свету и чини се да су стекли свој удео на тржишту, и то код различитих врста производа.

3. Структура композитних материјала

Композитни материјали су вештачки спој два или више материјала различитих својства у циљу добијања материјала таквих својства каква не поседује ни једна компонента сама за себе.[1]

Структура композита се састоји од:

- матрице и
- ојачивача.



Слика 1 Структура композита [1]

Према врсти материјала **матрица** може бити:

- полимерна,
- метална,
- керамичка.

Према врсти ојачања могу бити у виду:

- честица,
- влакана,

Укупно понашање композита одређено је на следећи начин:

- својствима материјала матрице и ојачивача,
- величином и расподелом конституената,
- волумним уделом конституената,
- обликом конституената,
- природом и јачином веза између конституената.

Предност композита у односу на друге материјале:

- мала гутина ,
- добар однос чврстоће и густине,
- добар однос еластичности и густине,
- дуготрајност.

Недостаци композитних материјала:

- висока цена израде,
- нема серијске производње,
- немогућност рециклирања.

4. Врсте и подела композитних материјала

Композити су вештачки произведени материјали који имају комбинацију конструкционих фаза. Једна фаза (матрица) је континуална и окружује остале (дисперзионе фазе). Задатак матрице је да повезује ојачиваче, штити од механичких оштећења (абразије) и штити од утицаја околине. Од матрице често зависи највиша радна температура с обзиром да је материјал матрице мекши и да се разграђује при нижим температурама него ојачивачи. Материјал матрице је дуктилнији у односу на материјал ојачивача и осигурава да у случају пукотина не би дошло до оштећења ојачивача.

Композити према врсти ојачивача (слика 2):

- Композити са честицама:
 - велике честице и
 - дисперзијом ојачани.
- Композити ојачани влакнима:
 - вискери,
 - влакна,
 - жице.
- Структурни композити:
 - слојевити композити (ламинати) и
 - сендвич конструкције.



Слика 2 Подела композита према врсти ојачања [1]

4.1. Подела композита на основу ојачивача

Влакна као саставни део полимерних композита имају функцију да повећају чврстоћу и крутост материјала матрице у циљу задовољавања одређених конструкцијских захтева. У принципу, влакна као носиоци оптерећења треба да буду што чвршћа и крућа. Због тога се за влакна преферирају материјали високе специфичне чврстоће и високе специфичне крутости.

Композити ојачани влакнима према врсти влакана могу бити:

- композити са дисконтинуалним влакнима (имају случајно усмерена влакна),
- композити са континуалним влакнима (влакна могу бити усмерена у једном правцу, у више ортогоналних праваца или у више праваца који нису нужно ортогонална).

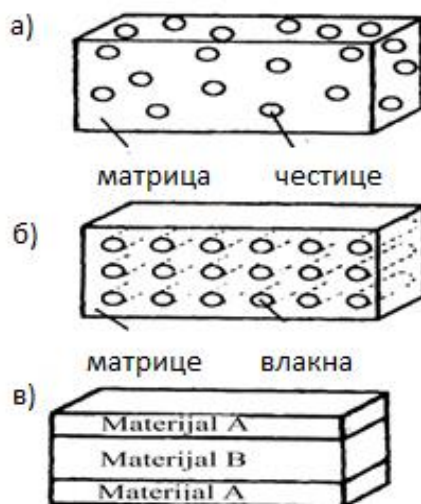
4.1.1. Композити са честицама

Композити ојачани са честицама (слика 3а) састоје се од матрице у којој су смештене честице различитог облика, али приближно истих димензија у свим смеровима. На својства ових композита веома утичу величина и волуменска количина. Да би се постигло жељено ојачање честице треба да имају пречник мањи од $1\mu m$. Волуменски део честица износи од 30 до 40%.

Примарни циљ композита са честицама је повећање отпорности на трошење и механичке отпорности при повишеним температурама.

Карактеристике честицама ојачаних композита су:

- висока отпорност на пузање,
- висока затезна чврстоћа на повишеним температурама,
- висока жилавост.



Слика 3 Композити са: а) ојачаним честицама, б) ојачаним влакнима, в) влакнасти[1]

Композити са честицама могу се поделити у две групе:

- композити са дисперзијом (малим честицама, честице $<0,1\mu m$)
- композити са великим честицама (честице $>1\mu m$)

Код композита са дисперзијом удео копозита се креће до 15%, а за композите са великим честицама тај удео је већ од 20%. Једна од најважнијих разлика између композита са честицама и оних са влакнима јесте у њиховој грађи.

Композити са честицама тј. њихова грађа и својства (чврстоћа, крутост итд) идентична су у свим смеровима, за разлику од композита са влакнима чија својства варирају због положаја влакна.

При собним температурама дисперзијом ојачани композити нису чвршћи од двофазних металних легура. Будући да до знатног омекшавања дисперзијом ојачаних честица не долази при прегрејавању, чврстоћа композита потпуно се снижава са повећањем температуре.[1]

Бетон је пример композита са великим чстицама који се састоји од мноштва чстица кје су међусобно повезане цементом. Њега одликују керамичка матрица (релативно скупа) и додатне керамичке честице (релативно јефтина). Матрица која повезује честице назива се цемент, а као додатак се користи песак или шљунак, док је веза последица хемијске реакције између цемента и воде.

Да би постигли оптиману чврстоћу и облик, смеша мора садржати одговарајуће пропорције адитива по правилу од 60% до 80%.

Добра структура постиже се помоћу ситне честице песка који попуњавају простор између крупних честица шљунка, смеси се додаје одређена количина воде. Везивање је непотпуно ако је количина воде мала, а ако је превелика добија се лошији бетон.

Композити са честицама се употребљавају и код алата израђени од тврдих метала где су керамичке честице распоређене у металној матрици (сл.4). Примењује се код плоча за резање и брушење, код електричних контаката, кочионих дискова и гума у аутомбилској индустрији.



Слика 4 Алати од тврдог метала [1]

4.1.2. Композити ојачани влакнима

Композити ојачани влакнима састоје се по правилу од високоефективних влакана, која су уложена или утопљена у матрицу, а граница између њих је јасно одређена.

Код композита ојачаних влакнима долази до изразитог побољшања чврстоће, жилавости, крутости услед уградње чврстих, крутих влакана у мекану матрицу. Влакна носе већи део оптерећења које материјал преноси, те осигуравају већу дуктилност и жилавост.

Влакна треба да имају следећа својства:

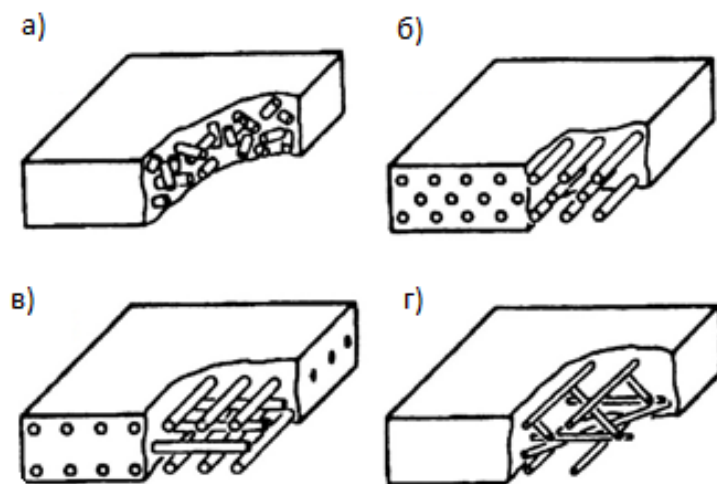
- високу затезну чврстоћу и крутост,
- малу масу и
- високу тачку топљења.

Најчешћа полимерна влакна су стаклена, арамидна и угљенична влакна.

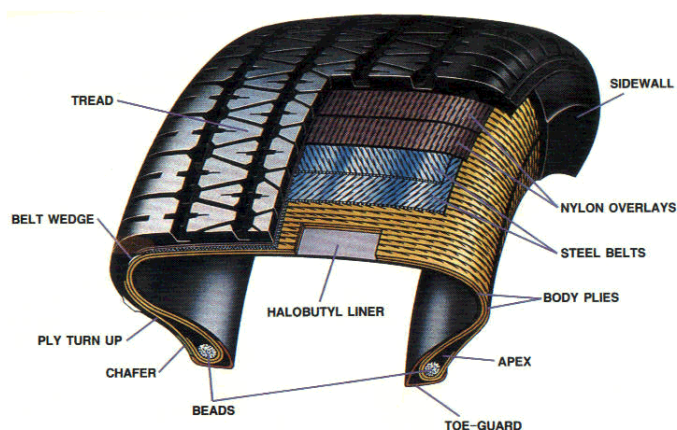
Влакнасти ојачивачи могу се поделити на :

- вискере,
- жице и
- влакна.

Вискери су танка кратка влакна (нити), керамичких монокристала високе чврстоће са великим односом дужине/пречника, прецизније до $10\mu m$ и дужине до $0,1m$. Због своје високе чврстоће вискери се не примењују у већој мери као средство за ојачање будући да су веома скупи. Вискери могу бити од графита, силицијум-карбида, силицијум-нитрида и алуминујум-оксида. Фине жице су релативно велике, типични материјали су челик, молибден и волфрам. Жице се примењују као ојачивачи у аутомобилским гумама. Расподела влакана битно утиче на својства влакнастих композита приказано на слици 5.



Слика 5 Распоред влакана за ојачавање: а) кратка влакна (вискери), б) дуга у једном правцу, в) дуга у два међусобна правца, г) дуга испреплетена [1]



Слика 6 Структура аутомобилске гуме са жицама као ојачивачима [1]

4.1.3. Подела влакана

Влакна по свом пореклу могу бити:

1) органског порекла:

- биљна:
 - влакна стабла: лан, јута, конопља
 - влакна листа
 - влакна плода: памук, кокос,
- животињска: длака, вуна, тетиве,

2) неорганског порекла:

- неорганска: метал, стакло, керамика, азбест,
- синтетичка: полиамид, акрил, полиолефин, спандекс/еластин/ликра,
- рециклирано ојачана:
 - на целулозној основи: свилена влакна, целулозна влакна, бамбусова вискоза,
 - на протеинској основи: протеини соје, итд.

Када је реч о полимерним композитима они се најчешће ојачавају стакленим, угљеничним или араמידним влакнима.

Стакло је врло популаран материјал за ојачавање из неколико разлога:

- лако се извачи из растопљеног стања у блику влакана велике јачине,
- економична је производња композита ојачаних стаклом,
- уграђивањем чврстих стаклених влакана у полимерну матрицу добија се композит врло високе специфичне чврстоће,
- могућност комбиновања стаклених влакана са различитим полимерним матрицама чиме се постиже хемијска инертност и омогућује примена у корозивној средини.

Стаклена влакна су беле боје или прозирна, високе су чврстоће, али нису крута, што делимично ограничава њихову примену. Подручје употребе стаклом ојачаних полимерних композита ограничено је температуром од највише 100°C. При вишим температурама већина полимера почиње да се деформише или долази до видљиве деградације својстава. За ваздухопловне примене користе се стаклена влакна високе чврстоће која у комбинацији са високотемпературском полимерном матрицом, као што су полиимидне смоле, могу поднети температуре до 300°C.

Стаклена влакна се производе најчешће од кварцног песка различитим поступцима и по правилу имају слабија механичка својства од угљеничних влакана. Врло су раширена у примени код механички мање захтевних конструкција због њихове мање цене. Могу се разликовати у својствима те се означавају као:

- **А-стакло** оваква су била прва произведена влакна, данас се врло ретко користе, високо алкално, добра хемијска отпорност, слаба електрична својства.
- **С-стакло** користи се због побољшане отпорности на киселине базе.
- **Е-стакло** најчешће коришћено, побољшана отпорност на влагу и блаже хемикалије, као и отпорност на утицај морске воде. Више од 50% свих стаклених ојачивача.
- **S-стакло** повећане чврстоће и модула еластичности, користе се код механички оптерећених конструкција где је потребна висока специфична крутост и чврстоћа.
- **D-стакло** ниска диелектрична константа, лоша механичка својства.
- **T-стакло** употребљава за рад на температурама до 1050°C, виша затезна чврстоћа R_m и модул еластичности E .

Осим стаклених влакана као ојачивачи могу се користити и **полимери и арамидна влакна** која су веома чврста и веома крута, врло доброг односа чврстоће и густине.

Постоји више врста арамидних влакана која се разликују по механичким својствима.

Полимерна влакна су једна од набројнији која су у потпуности вештачки створена. Међу њима су најпознатија Кевлерова влакна, а у последње време се користе и полиамиди због могућности коришћења и на повишеним температурама. Полимерна влакна се састоје од полимерних ланаца који се посебним поступцима издужују у правцу пружања влакана. Њихова својства су непосредна последица њихове микроструктуре. Будући да полимерни молекули стварају равни велике крутости, који су међусобно повезани водоничним везама, читав низ влакана је врло сличан радијалном распореду код угљеничног влакна.

Арамидна влакна чије име долази од ароматичних полиамида припадају групи пластомера, али за разлику од пластомера који се мешају и топе при повишеним температурама ова влакна су стабилна у подручју повишених температура. Арамидна влакна задржавају механичку отпорност при температурама од -200 до 200°C .

Влакна су карактеристичне жуте боје, хигроскопна, релативно слабе адхезионе везе са матрицом, скупља су од стаклених влакана, немагнетична, осетљива на ултраљубичасто зрачење као и на деловање киселина и база, али су релативно инертна према другим течностима и хемикалијама. Осим тога позната су по својој крутости и жилавости, отпорности на удар, отпорности на пузање као и на појаву замора.

Арамидна влакна користе се за ојачавање фенолне матрице у изради структурних елемената авиона бомбардера као што су на пример врата отвора за бомбе која морају бити чврста, отпорна на удар и незапаљива.

Трећу групу влакнастих ојачивача чине **угљенична влакна** која се најчешће користе за ојачање савремених полимерних композита. Разлози за то су:

- угљенична влакна имају највећу специфичну крутост и највећу специфичну чврстоћу од свих влакнастих ојачивача,
- висок модул еластичности и високу чврстоћу задржавају и при повишеним температурама,
- влакна су отпорна на влагу и низ течности, киселина и база,
- развијени су релативно јефтини поступци производње влакана и композита.

Угљенична влакна по својој структури нису у целости кристална, већ се састоје од графитних и некристалних подручија која не садрже тродимензионални распоред атома угљеника у облику хексагоналне кристалне решетке карактеристичне за графит.

Већина угљеничних влакана која се користе у авионским и другим конструкцијама су направљена из полиакрилонитритних влакана или из различитих смола процесом угљенификације, при чему се поступци производње могу значајно разликовати.

Влакна добијена из смоле генерално имају већи модул еластичности, али и мању чврстоћу при сабијању и затезању. Ова влакна су знатно више порозна, што додатно утиче на њихову чврстоћу. Влакна од смоле могу имати и добру електричну проводљивост, просечног су пречника $10\text{--}11\mu\text{m}$. У попречном пресеку, угљенична влакна могу имати радијални распоред, облик концентричних слојева, трансверзално изотопни или језгро и спољашњу љуску.

Према крутости ова влакна се могу поделити у четири групе:

- 1) стандардног модула еластичности (220 GPa)
- 2) средњег или прелазног модула еластичности (240 GPa)
- 3) високог модула елатичности (300 GPa)
- 4) ултрависоког модула еластичности (450 GPa)

Угљенична влакна ултрависоког модула еластичности поседују највишу крутост од свих влакнастих ојачивача, а она средњег модула еластичности највише су чврстоће међу свим познатим влакнима.

За ојачавање се користе угљенична влакна пречника између 4 и $10\mu\text{m}$ која могу бити континуална или резана. Влакна се уобичајено превлаче заштитним епоксидним слојем који побољшава адхезију са полимерном матрицом.

Композити са угљеничним ојачањем користе се за израду намотаваних кућица ракетних мотора као и бројних других конструкцијских елемената војних и комерцијалних летелица.

Осим стаклених, угљеничних и арамидних влакана, која су најчешћи ојачивачи полимерних композита, могу се користити и друге врсте као што су влакна бора, влакна на основу силицијум карбида (SiC) и она на бази алуминијум оксида (Al_2O_3). Композити са влакнима бора користе се у изради специфичних компоненат авојних авиона, али и за израду пропелера хеликоптера, док се SiC и Al_2O_3 влакна примењују у изради кућишта ракета.[1]

Посебну групу чине **борна влакна**. Ово су сама по себи композитна влакна будући да је посебним поступком напаравања бор нанешен на основно угљенично или волфрамово влакно.

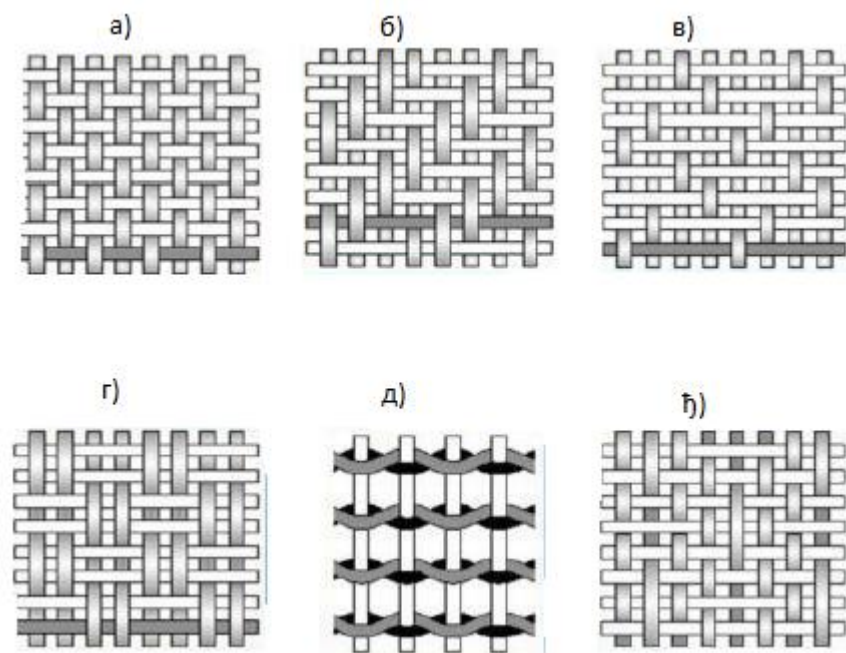
Борна влакна имају знатно већи пречник ($125\text{--}140\mu\text{m}$) у односу на друге врсте влакана (угљенично пречника $10\mu\text{m}$). Збох врло високе тврдоће бора, ови композити се врло тешко накнадно обрађују, што уз високу цену, главни разлог што су их у ваздухопловним конструкцијама потпуно истиснули композити са угљеничним влакнима. Борна влакна су се користила код првих авиона у којима су коришћени композити (амерички ловачки авиони F-14 Tomcat, F-15 Eagle из почетка 1970-тих).

Касније је бор коришћен као једно од првих влакана у композитима са металном матрицом, при чему је матрица алуминијумска или титанијумска.

Влакна од силицијум карбида производе с сличним поступком као борова влакна – напаравањем на језгру од угљеничног влакна. Ово су влакна посебно погодна за ојачавање метала као и ојачавање керамике у форми влакана од силицијум угљеника, силицијумовог нитрида или стакла. У другом облику ова влакна се израђују од полимера који садрже силицијум и угљеник. Једно од таквих влакана познато је под трговачким именом Nicalon. Ова влакна имају и својства полупроводљивости –отпор им је завистан од количине нечистоћа које садрже.

Осим појединачним влакнима ојчавање се може остварити и различитим тканинама тј. тракама направљених од влакана. Слојеви трака различито се усмеравају па у зависности од начина полагања и врсте ткања мењају се својства композита.

Ткање углавном представља начин преплитања нити под одређеним углом. Најчешће врсте ткања приказане су на слици 7.



Слика 7 Примери облика ткања влакна: а) Равно ткање, б) Рибља кост ткање, в) Савитљиво ткање, г) Двонитн ткање, д) Једнолично ткање око основе, ђ)Лажно једнолично ткање [1]

4.2. Подела композита на основу матрице

Својства матрице изузетно су важна за одређивање уздужне притисне чврстоће, попречне чврстоће као и међуслојне смицајне чврстоће и обично се каже да су ова својства условљена матрицом. У ваздухопловним конструкцијама, матрица мора бити отпорна и на погонско гориво, хидрауличне флуиде као и различите хемикалије које се користе при одржавању. За композите се тражи да добро подносе температуре до 150 °C, изузетно и до 200°C. Својства матрице најчешће одређују и својства композита као и ограничења у примени. У случају изложености композита хемијским или утицајима околине, матрица је она која је прва изложена смањењу механичких својстава, њена својства значајно одређују понашање композита. Врло је битно физичко својство температура преласка у чврсто стање-ГТТ која дефинише тачку преласка из вискозног у чврсто стање матрице. Ова температура бити дефинише коначна својства матрице. При употреби изнад ГТТ, својства матрице знатно се снижавају. Влага у композиту (понајвише матрици) знатно снижава ГТТ. Технологија израде композита знатно утиче на његова својства, јер мора осигурати добру везу влакана и матрице као и минималан удео шупљина и пукотина у композиту.

Улога и задатак матрице је:

- обједињава влакна и на њих преноси оптерећење, те обезбеђује облик, крутост и жилавост конструкције,
- мора бити довољно чврста како би допринела укупној чврстоћи композита,
- одваја појединачна влакна која се не могу самостално оптерећивати, те се на тај начин успорава ширење пукотине јер је спречено њихово напредовање између прекинутих влакана кроз цео композит,
- форми спољашњи облик композитне конструкције,
- осигурава заштиту ојачавајући влакна од хемијског утицаја и механичких оштећења,
- својом дуктилношћу полимерна матрица повећава жилавост композита,

Конституенти композита могу бити разнородни материјали: неметали, керамике и стакла, метали и легуре, полимери. У зависности од врсте конституената имамо:

- металне композите ММЦ,
- полимерне композите ПМЦ,
- керамичке композите ЦМЦ (Слика 8).



Слика 8 Групе матрица композитних материјала

Својства матрице дата су у табели 1.

Табела 1. Механичка својстванеких материјала матрице [1]

Врста матрице	Густина	Истежање	Затезна чврстоћа	Модул еластичности	Модул смицања
	ρ [g/cm ³]	ϵ [%]	Rm [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Полиестер	1,50	5	90	4,5	2
Винил естер	1,15	5	90	4	-
Епокси	1,40	8,5	130	6	2,2
Бизмалеимид	1,32	6,6	78	3,6	1,8
Полиамид	1,89	3	120	4,9	-
Полиестер имид	1,27	60	105	3	-
Полиамид имид	1,40	12-18	95-185	5	-
PPS	1,34	3	70-75	3,3	-
Полиетеретеркетон	1,32	150	92-100	-	-
Полисулфон	1,24	50-100	70-75	2,5	-
Полипропилен	0,90	300	25-38	1-1,4	-
Поликарбонат	1,20	50-100	45-70	2,4	-
Алуминијум	2,70	-	200	70	-
Ti-6Al-4V	4,50	-	1000	110	-
Боросиликатно стакло	2,30	-	100	60	-
MgO	3,60	-	97-130	210-300	-
Al ₂ O ₃	4,00	-	250-300	360-400	-
SiC	3,20	-	310	400-440	-

4.2.1. Метални композити

То су композити код којих је матрица метална. Као материјали матрице могу се користити разни метали попут суперлегура на бази никла и кобалта, титанових легура, као и лаквих магнезијумових и алуминијумских легура посебно погодних у ваздухопловству.

Ојачањем металне матрице ојачивачима у облику честица, континуалних и дисконтинуалних влакана мењају се својства матрице и оно што је веома значајно повећава се специфична чврстоћа и специфична крутост.

Материјали континуалних влакнастих ојачивача могу бити угљеник, силицијумов карбид, бор, алуминијум и тврди метали, док се као материјали дисконтинуалних влакана користе угљеник и алуминијум. Значајна предност металних композита у односу на полимерне је могућност њихове примене при знатно вишим радним температурама, међутим ови композити су значајно скупљи од полимерних па је њихова употреба прилично ограничена. Прерада композита са металном матрицом у начелу се састоји од најмање два корака. Први корак представља сједињење (уградња ојачивача у матрицу), а други је обликовање. У ту сврху развијене су многе методе од којих су неке прилично софистициране, док се метални композити са дисконтинуалним влакнима обликују уобичајеним поступцима као што су ковање, ваљање и екструдирање.

Предности композита са металном матрицом су:

- врло добра отпорност на трошење,
- врло добра својства на повишеним температурама,
- велика чврстоћа и крутост.

Недостаци композита са металном матрицом:

- компликована производња,
- врло висока цена – цена ће падати са већом употребом,
- недовољно података о карактеристикама материјала,
- лоша рециклажа.

Композити са металном матрицом могу се поделити на:

- композите са алуминијумском матрицом,
- композите са магнезијумовом матрицом,
- композите са титанијумовом матрицом,
- композите са бакарном матрицом,
- композити са матрицом од суперлегура

4.2.2. Полимерни композити

Полимерни композити састоје се од полимерне смоле као матрице и ојачивача углавном у облику влакана. Типично садрже релативно чврста, крута влакна у дуктилној и жилавој полимерној смоли. Врло често композити стакленог и угљеничног ојачања садрже крута и чврста, али крта влакна уграђена у полимерну матрицу, која није углавном ни крута ни чврста.

Када је реч о полимерима, они се деле у две велике групе: дуромере и пластомере.

Дуромери при загревању стварају иреверзибилне хемијске везе међу полимерним ланцима који су међусобно снажно умрежени. При поновном загревању они не мењају стање, већ остају крути све док се под деловањем високе температуре потпуно не разграде. Ово указује и на велики проблем при њиховој примени, који је данас све важнији: није их могуће рециклирати размекшавањем матрице већ само механички уситнити чиме се добијају ситне грануле које у себи садрже и влакна и матрицу.

За разлику од њих, пластомери имају својство да се при хлађењу стврдњавају, али се при поновом загревању размекшавају те их је могуће поновно обликовати.

Ово омогућује поправљање делова који су израђени од ових композита, као и њихово делимично рециклирање. Код пластомера је могућа одређена кристална структура, док су дуромери искључиво аморфни.

Они делови полимера (или они полимери) који су кристалне грађе имају већу густину, али и боља механичка својства и отпорност утицају растварача (што је узроковано смањеном молекуларном активношћу, односно већом уређеношћу молекула).

Дуромери су полимери који се најчешће користе у производњи композита због релативно ниже цене, ниских производних температура, ниске вискозности при производњи и доброг квашења влакана. Од њих, за композите високих механичких својстава, у ваздухопловним конструкцијама најчешће су коришћења епоксидне смоле због лаког кориштења, ниске цене, због својих извршних механичких својстава, добре хемијске постојаности, задржавања добрих механичких својстава и димензија при повишеној температури и влази. Добро реагују (остварују добру адхезију) с већином врста влакана. Будући да при производњи пролазе кроз период врло ниске вискозности, то им омогућава врло широке технике производње. Епоксиди су најчешће двокомпонентни, при чему се у процесу производње додаје очвршћивач који постаје саставни део структуре матрице. Након мешања епоксида и очвршћивача, под деловањем топлоте долази до стврдњавања што се догађа неколико сати.

Друга врста дуромера која се све више користи због отпорности на повишеним температурама јесу адициони полиамиди. Међу њима су најпознатији бизмалеимиди (БМИ) који поседују добре производне карактеристике но главни недостатак им је повишена кртост која се може смањити додавањем одговарајућих једињења (нпр. полисулфон, полиетеримид и др). Друге врсте ових једињења јесу ПМР-15 полиимидами са ГТТ од готово 300°C. Цианати су такође дуромери који су погодни за примену на високим температурама који имају ГТТ око 290°C. Одликују их добре карактеристике при примени у врућим и влажним условима (нешто слабије од епоксидне смоле) и висока тврдоћа. Врло су често коришћени и незасићени полиестери, најчешће у комбинацији са стакленим влакнима. Представник ових полимера су винил естер који је врло популаран због своје цене, отпорности на влагу, брзине и једноставности у изради композита.

Епоксидне смоле спадају у групу аморфних полимера које карактерише појава гумене (гел) фазе на вишим и стакласте фазе на нижим температурама. Епоксиди који полимеризирају на собној температури погодни су за коришћење на температурама до 50°C док се зависно од типа очвршћивача остале врсте епоксида обрађују на температурама између 120 и 180°C. Хемијске реакције које се при полимеризацији догађају јесу егзотермне па употреба велике количине очвршћивача (катализатора) или превисока температура полимеризације може довести до топлотне деградације матрице, а тиме и самог композита. Ово је разлог због којег се посебна пажња мора посветити изради калупа, посебно ако је реч о дебљим или већим деловима.

Да би им се променила механичка својства, епоксидима се могу додавати различите материје у сврху смањења вискозности приликом обраде, повећања издужења уз смањење модула еластичности, побољшање отпорности ширењу пукотина, промена густине и др. Њихов основни недостатак је инхерентна (природно спојив, нераздвојив) кртост праћена великом чврстоћом што се често побољшава додавањем пластомера. Главне предности епоксида јесу могућност подешавања својстава према постављеним захтевима, могућност контроле жилавости, лака и сигурна производња због мале количине штетних материја које се при томе ослобађају, мало скупљање, добра хемијска отпорност, добра димензиона и топлотна стабилност. Главни недостаци јесу виша цена производње у односу на нпр. полиестере (посебно специјалне врсте епоксида које се користе у ваздухопловству), осетљивост на влагу, споро полимеризирање, мала отпорност на нека органска једињења (нпр. органским киселинама и фенолима), релативно ниска температура примене.

4.2.2.1. Полиестерске смоле

Полиестерске смоле такође припадају дуромерима, а производе се егзотермним хемијским реакцијама при којим се незасићени полиестери мешају са релативно малом количином иницијализатора (катализатора). Као код епоксида, и овде материјал при полимеризацији прелази из течне, преко гел до чврсте фазе.

Главне предности ових материјала јесу мала почетна вискозност, мала цена полазних сировина, једноставна производња, отпорност атмосферским утицајима. С друге стране, полимеризација је врло егзотермна с високим скупљањем чиме се у процесу производње уносе значајна заостала напрезања, кртост, слаба хемијска отпорност на нека једињења (алкалима).

4.2.2.2. Фенолне смоле

Фенолне смоле настају полимеризацијом фенола уз помоћ нпр. формалдехида под посебним условима. Ови полимери исказују добру отпорност високим температурама као и отпорност горењу, која је последица аблативних својстава ових смола (при горењу изгарају слојеви материјала одређеном брзином стварајући слој угљеника) што им и јесте највећа предност при употреби. Недостаци су високи притисци при производњи потребни за полимеризацију као и велик број шупљина што знатно снижава механичка својства.

4.2.2.3. Полиимидне смоле

Полиимидне смоле имају предност врло високе температурске промене коју нема ни једна друга врста полимера, будући да им је ГТТ између 200-400°C.

Зависно од технологије производње, могу бити и дуромери (адицијски полиимиди), као и пластомери (кондензацијски полиимиди). Процеси производње су често врло комплексни јер укључују високе температуре и притиске па захтевају строго праћење параметара процеса како не би дошло до стварања експлозивних материја. Технологија производње укључује употребу препрега или РТМ (RTM - Resin Transfer Molding). У ваздухопловним конструкцијама користе се за кућишта млазних мотора или за конструкционе елементе ловачких авиона високих перформанси. Најквалитетнији од ових полимера имају ГТТ већу од 270°C, процесну температуру од преко 370°C, дуготрајну топлотну стабилност и изврсна механичка својства.

4.2.2.4. Винил естери

Винил естери су по својствима између епоксида и полиестера. Полимеризација се догађа на релативно ниским температурама (као код полиестера) а коначна својства дају добру хемијску отпорност, као код епоксида, уз једноставну производњу, боља механичка својства и боље везе између влакна и матрице у односу на полиестере. Ови материјали имају знатно веће трошкове производње него полиестери, знатно веће скупљање у односу на епоксиде.

4.2.2.5. Бизмалеимиди

Бизмалеимиди (БМИ) су високо умрежени полимери, по производњи врло слични епоксидима, иако могу имати нижу вискозност и боље квашење влакана. ГТТ им је између 180 - 320°C док је максимална температура при којој се могу користити до 150°C.

Ови су материјали изворно крути што се побољшава помоћу адитива. У односу на епоксиде, предност им је знатно боља топлотна стабилност што је важно у ваздухопловној примени код борбених авиона високих перформанси који лете великим брзинама и на великој висини. Бизмалеимиди који се користе код ових конструкција које имају ГТТ око 180°C, мада се не препоручује њихова употреба на температурама изнад 125°C, посебно у условима повећане влаге. Основни недостатак су знатно виши трошкови производње у односу на епоксиде. Данас БМИ композити у ваздухопловним конструкцијама све чешће замењују композите са угљеничном матрицом.

4.2.2.6. Полиетеримид

Полиетеримид (ПЕД) је аморфан еластомер високих механичких својстава. Димензионо је стабилан (због аморфне структуре), има изражено мало скупљање и високо изражену изотропију у упоређивању са већином полимера кристалне грађе. Висока ГТТ омогућава коришћење на температурама до 200°C. Хемијски је врло отпоран на велики број хемикалија и на атмосферске утицаје. Примену му ограничава врло велика вискозност у растопљеном стању.

4.2.2.7. Поликетони

Поликетони су група кристалиничних пластомера који имају изврсну топлотну отпорност. Међу њима се истичу полиетеркетон (ПЕК), полиетеркетонкетон (ПЕКК) па најчешће коришћени полиетеретеркетон (ПЕЕК). ПЕЕК има степен кристалиничности до 40%, добра механичка својства, отпорност према разређивачима и киселинама са изузетком концентрисане сумпорне киселине. Основни недостатак је врло висока цена производње. Пластомери могу бити произведени знатно брже јер повишену температуру није потребно одржавати дуже време. Неки од њих имају знатно вишу ГТТ, затим температуру примене од епоксида или бизмалеимида. Код пластомера је уочљиво текуће и знатна деформација при лому, тиме и знатно већа жилавост. Они испољавају и пузање при повишеним температурама и константним оптерећењем.

4.2.2.8. Пластомери

Пластомери су најшире класификовани као аморфни и кристалинични, мада сви испољавају кристалиничност у већој или мањој мери. Кристалинични еластомери показују знатно бољу отпорност утицајима горива, хидрауличких флуида и др. у односу на аморфне.

Аморфни пластомери показују велику испреплетеност полимерних ланаца, а при загревању те се везе раскидају и полимер се понаша као вискозни флуид.

Аморфни пластомери су и у одређеној мери осетљиви на разређиваче, па су знатно осетљивији на пузање и заморна оштећења него кристалинични. Пластомери су знатно мање склони упијању влаге, мање су осетљиви на ударна оштећења. Могу се у ограниченој мери поправљати поновним загревањем и заваривати. Но, температуре и притисци на којима полимеризирају су знатно виши у односу на дуромере.

Кристалинични пластомери својство кристалиничности поседују због веће или мање усмерености полимерних ланаца, мада комплетну кристалиничност није могуће постићи. При загревању, кристалиничне се фазе мешају и матрица постаје аморфна, вискозни флуид. Ови су полимери у ствари семикристалинични будући да садрже и кристалиничну и аморфну фазу. Производни услови битно утичу на степен кристалиничности - што је већа брзина хлађења кристалиничност је мања.

4.2.3. Керамички композити

Керамички композити имају високу отпорност према оксидацији и погодни су за рад на високим температурама. Проблем је што су ови материјали склони лому па због тог недостатка нису толико применљиви у пракси. Због појаве лома нису добри ни за коришћење где је потребна веома висока температура. Керамички композити се користе за израду делова у аутомобилској индустрији и у авио индустрији.

Побољшање ових композита се постиже на начин да се честице, влакна или вискери једног керамичког материјала уграде у матрицу која је од друге врсте керамике, на тај начин се жилавост повећава за око 10 пута. Примењују се код израде ножева за резне алате, тиме се продужује радни век алата, такође се израђују разни делови мотора у аутоиндустрији, турбине код авиона су такође израђене од овог материјала.

Код композита ојачаних керамичким вискерима успорење се заснива на заобљавању врха пукотине, премошћавању пукотине, апсорбовању енергије током затезања при чему се вискери одвајају од матрице или долази до прерасподеле напрезања у ивичним подручјима пукотине. Предност керамички ојачаних вискерима у односу на неојачане керамичке материјале је и у знатно мањем расипању чврстоће материјала. Осим тога, тако ојачани керамички композити изузетно су отпорни на појаву пузања и топлотне шокове узроковане наглим променама температуре.

4.3. Биокомпозити

Када се упореде са широко коришћеним стакленим влакнима, биљна влакна одликују се многим предностима, која су утолико вреднија јер се постижу без знатне промене или губитка механичких и акустичних својстава. Нижа цена већине биљних влакана један је од важнијих, ако не и главни разлог преласка на композите пуњене тим влакнима. Биљна влакна показују већу сигурност у случају судара јер се не ломе. Добри су акустични изолатори због шупље ћелијске структуре. Из истог су разлога такви композити и добри изолатори. Биљна влакна се лакше режу и слабије су абразивна према опреми за прераду од стаклених влакана. За разлику од стаклених влакана не утичу негативно на здравље корисника. Будуће да су пољопривредни производи, до биљних влакана се лако долази и доступна су у целом свету.

Биокомпозити су композитни материјали сачињени од:

- природних влакана (биљног или животињског порекла),
- синтетичких (вештачких) влакана и биополимера (настали прерадом биљака),
- од природних влакана и биополимера који су уједно и еколошки најповољнији композити и често се називају зелени композити.

ПРЕДНОСТИ:

- обновљиви извори,
- лака доступност,
- ниска цена и мали удео утроска енергије током производње,
- сигурнија за руковање и производњу у односу на синтетичка влакна,
- висока електрична непроводљивост,
- добра звучна изолација.

НЕДОСТАЦИ:

- тешко распршљиви у матрици,
- природна влакна су хигроскопна – упијају влагу,
- влакна почињу деградацију у распону од 90 до 200°C, па су температура обраде и избор материјала матрице ограничени,
- осетљиви су на труљење/деградацију из окружења,
- димензије влакана и механичка својства варирају од биљке до биљке,
- садња биљака за израду ојачивача смањује земљишта за садњу прехранбених сорти.

5. Својства композитних материјала

У табели 2 дат је однос матрица-ојачивач и могућност да се композитни материјали прикажу и на други начин.

Табела 2. Однос материјала матрице и ојачивача [2]

		МАТРИЦА			
		метална	полимерна	керамичка	угљенична
О Ј А Ч И В А Ч	метални	метално-метални	полимерно-метални	керамичко-метални	угљенично-метални
	полимерни	метално-полимерни	полимерно-полимерни	керамичко-полимерни	угљенично-полимерни
	керамички	метално-керамички	полимерно-керамички	керамичко-керамички	угљенично-керамички
	угљенички	метално-угљенични	полимерно-угљенични	керамичко-угљенични	угљенично-угљенични

Својства композита зависе од:

- својства конституената тј. матрица и ојачивача,
- величине и расподеле конституената,
- запреминског удела конституената,
- облика конституената,
- природе и јачини веза између конституената.

Упоредне физичке и механичке карактеристике композитних материјала дате су у табели 3.

Табела 3. Упоредна својства композитних материјала [2]

Својство	Композити		
	метални	полимерни	керамички
Густина [g/cm^3]	2-16	1-2	2-17
Температура топљења [$^{\circ}C$]	200-300	70-200	2000-4000
Топлотна проводљивост	висока	ниска	средња
Топотно издужење	средња	висока	ниска
Специфични топлотни капацитет	низак	средњи	висок
Електрична проводљивост	висока	врло ниска	врло ниска
Затезна чврстоћа [MPa]	100-2500	30-300	10-400
Модул еластичности [GPa]	40-400	0,7-3,5	150-450
Тврдоћа	средња	ниска	висока
Отпорност на корозију	средња-слаба	добра-средња	добра

Висока механичка својства влакана резултат су снажних међуатомских сила које владају у материјалима ниског атомског броја и мале густине. Код ових материјала није изражено пластично течење, као код метала, већ се лом догађа услед интегралног ефекта деловања микроскопских пукотина чији се број смањује што су мање димензије влакана.

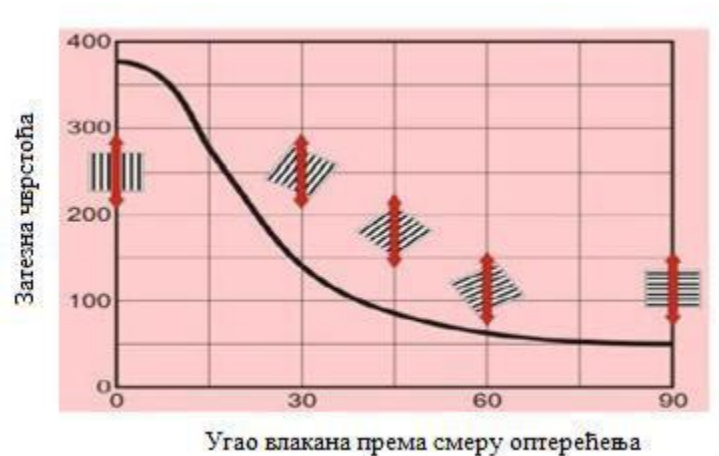
Код оваквих материјала је знатно више изражено одступање својстава од референтних вредности. Ова неуједначеност механичких својства представља велики проблем при прорачуну и изради композитних конструкција. Број микроскопских пукотина може бити знатно смањен технологијом израде влакана или заштитном превлаком око влакана.

Поступци који у себи укључују извлачење или вучење, због затезних напрезања у влакну имају позитиван утицај на усмереност кристала или структуре у правцу влакана.

Карактеристике композита са влакнима у великој мери зависи и од дужине влакана (сл.9) и од угла правца под којим делује оптерећење у односу на правац влакана (сл. 10). На слици 9 је дат пример код епоксидне матрице са Е стакленим влакнима.



Слика 9 Однос затезне чврстоће и дужине влакана (епоксидна матрица са 50% E стаклених влакана) [2]



Слика 10 Однос затезне чврстоће и угла влакана према смеру оптерећења (епоксидна матрица са 50% E стаклених влакана) [2]

5.1. Метални композити

Матрице: суперлегуре, легуре алуминијума, магнезијума, титана и бакра.

Ојачивачи: честице, дисконтинуална влакна и вискери (сецкана влакна од угљеника и алуминијума и честице алуминијума и угљеника, дијаманти), континуална влакна (угљеник, бор, алуминијум и тврди метали).

Предности:

- врло висока чврстоћа и крутост уз врло малу густину,
- висока топлотна и електрична проводљивост и ниска термичка проводност,
- врло добра отпорност на хабање.

Недостаци:

- сложена производња,
- врло висока цена – цена ће падати са ширењем примене,
- недовољно података о својствима материјала,
- још увек нема довољно смерница за конструисање овом врстом материјала,
- лоша рециклажност.

5.2. Полимерни композити

Полимерни композити ојачани стакленим влкнима – GFRP

Стаклена влакна:

- лако се производе,
- хемијски су отпорна,
- GFRP – до температуре од 200°C због полимерне матрице.

Употреба GFRP:

- аутомобилска индустрија,
- бродоградња,
- танкери.

Полимерни композити ојачани угљеничним влакнима – CFRP

Угљенична влакна:

- високи специфични модул и специфична чврстоћа чак и на високим температурама,
- пречник влакана: 4-10 μm ,
- премазан са епоксидном смолом за осигурано лепљење са матрицом.

Употреба:

- авионски делови,
- кућишта ракетних мотора,
- спортски реквизити.

Полимерни композити ојачани арамидним влакнима – AFRP

Арамидна влакна:

- пластомерни материјал,
- висока затезна чврстоћа, слаба чврстоћа на притисак,
- механички стабилан на температурама од -200 до 200°C,
- није отпоран на јаке киселине и базе.

Употреба:

- заштитна одећа (панцирни прслуци),
- спортски реквизити.

5.3. Керамички композити

Предности:

- стабилност на екстремно високим температурама,
- отпорност на топлотни шок,
- изузетна отпорност на корозију,
- велика тврдоћа,
- мала маса.

Недостаци:

- склоност кртом лому.

5.4. Угљеник-угљеник композити

Угљеник-угљеник композити су, како и само име говори, композитни материјали у којима су матрица и ојачивач од угљеника. Реч је о релативно новим и врло скупим материјалима. Разлог високе цене је у врло сложенем поступку производње којим се чиста угљенична влакна уграђују у поролизирану угљеничну матрицу.

Изразита својства ове групе композита су:

- пре свега висок модул еластичности и висока затезна чврстоћа,
- отпорност прма пузању,
- релативно висока ударна жилавост,
- висока топлотна проводљивост.

Њихов основни недостатак је склоност ка оксидацији при високим температурама ($>450^{\circ}\text{C}$). Из тог разлога потребна је заштита од оксидације која се постиже:

- модификацијом матрице, додавањем различитих инхибитора оксидације. Инхибитори могу бити B, Si, Zr.
- наношењем керамичких превлака (најчешће вишеслојне превлаке карбида, нитрида и оксида Si, Zr, Ta, Al).

Примењује се у ракетним моторима и конструкцијама савремених војних авиона (Сл.11).



Слика 11 Вишенаменски војни авион МиГ 29 [4]

5.5. Хибридни композити

Хибридни композити се добијају употребом више врста влакана, као ојачивача у јединственој матрици. Велика предност оваквих композита је знатно боља комбинација својстава, него што је то код композита ојачаних само једном врстом влакана. Постоје разне комбинације влакана и матрица, али ипак најчешће се користе угљенична и стаклена влакна у полимерној матрици. Угљенична влакна имају релативно високу чврстоћу и крутост и ниску густину, али и високу цену која често ограничава њихову примену. Насупрот њима стаклена влакна имају лошија механичка својства, али им је цена знатно повољнија. Комбиновањем споменутих влакана добија се композит веће чврстоће и жилавости, и релативно повољне цене. Због великог броја начина слагања влакана у матрици, својства ових композита могу бити врло различита. Тако, на пример, влакна могу бити усмерена у једном смеру или орјентисана у различитим смеровима, ламинати се могу слагати у различитим правцима при чему је сваки слој састављен од другог типа ојачивача. Хибридни композити се примењују у спортској опреми, разна ортопедска помагала, као и код разних делова у аутомобилској индустрији. На слици 12 је приказан примери предмета израђених од хибридног композита [3].



Слика 12 Разни делови израђени од хибридног композита [3]

6. Добијање композитних материјала

6.1. Добијање композита са металном основом

Поступци добијања композита могу се поделити на примарне и секундарне.

Примарним поступцима композити се добијају синтерованем од материјала матрице и ојачивача. Ојачивач се уграђује у матрицу на потребним местима и у потребним количинама, при чему се стварају одговарајуће везе.

Секундарни поступци су сви остали поступци за прераду примарног композита у готов производ. У зависности од коначног производа (облика, састава, жељених својстава) и примењеног начина производње оба поступка се могу одвијати истовремено.

Поступак добијања композита зависи од начина инфилтрације фазе ојачивача, као и према врсти и облику фазе ојачивача. Механичке карактеристике, хемијски састав матрице и ојачивача (дебљина и дужина влакана, начин слагања и размештај влакана, величине, облика и распореда честица) одређују избор поступка производње. Потребно је познавање термодинамичких процеса и могућих реакција матрица-ојачивач, радне температуре, ради избора оптималног поступка производње композита.

Многи ојачивачи и матрице нису компатибилни и не могу се прерадити у композите без прилагођавања њихових својстава. Постоје композити где је веза ојачивач-основа слаба и неопходно ју је ојачати. Са друге стране треба избегавати прекомерну активност на међуграници (која може ослабити карактеристике материјала у додиру) – посебно код реактивних саставних елемената. Решење се постиже адекватном површинском обрадом, превлаком ојачивача или прилагођавањем састава матрице.[5]

6.1.1. Металургија праха

Металургијом праха се остварује повезивање праха са честицама, плочицама или вискерима ојачивача. Два (или више) праха се мешају, понекад и уз помоћ везива. Керамичке честице које треба да осигурају високу чврстоћу композита су реда величине $5\mu m$, док је градација праха легуре матрице (алуминијум или магнезијум) од $20-40\mu m$. Разлика у величини честица прахова омогућава стварање непрекинуте мреже малих керамичких честица око већих зрна матрице. Тако настају многоструко нехомогена подручја. Стварањем мреже настала порозност се мора попунити растопљеном легуром матрице током попуњавања (топло пресовање).

6.1.2. Поступци у чврстом стању

Ови поступци се одвијају при нижим температурама, где постоји могућност боље контроле термодинамичких процеса. Главни поступци за добијање композита у чврстом стању су дифузионо спајање материјала у облику танких слојева и синтеровање.

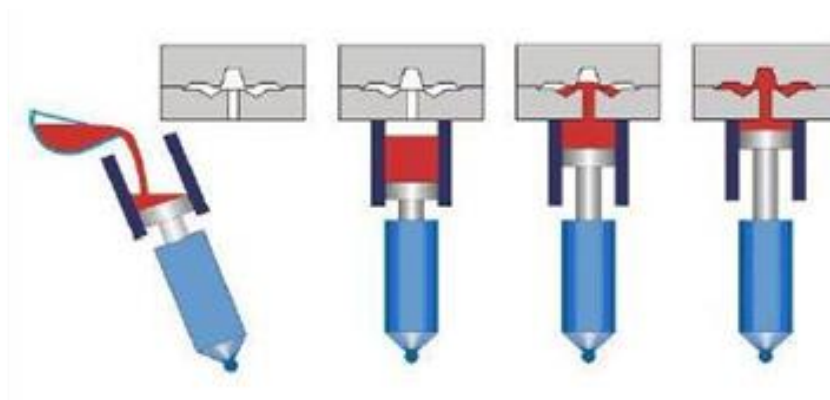
Процеси наношења матрице у којима се материјал матрице наноси на влакно, укључује електрохемијско привлачење, плазма спреј поступак и физичко таложење из гасовите фазе. После процеса наношења одвија се дифузно спајање на повишеној температури и високом притиску.

Степен дифузије мора бити ограничен због могућег пораста нежељених кртих фаза на контактної међуповршини. Један од начина ограничавања дифузије је истискивање слоја влакана и матрице кроз алат. Такође се може применити и топло ваљање, при чему се деформације морају ограничити како би се спречило померање влакана ојачивача и избегла оштећења. Повишене температуре се користе ради олакшаног течења матрице, али се мора избећи прекомерно загревање које може довести до хемијске реакције влакана. Недостатак ових поступака је што захтевају чисте површине пре покушаја самог спајања. Неопходно је претходно чишћење самог материјала и одвијање поступка у вакууму.

6.1.3. Ливење притиском

Ливење притиском подразумева утискивање порозне керамичке форме у прегрејан калуп, који ће се касније испунити течним металом. Помоћу притиска течни метал улази у керамичку форму при чему настаје чврст композит. Током овог поступка долази до истовременог очвршћавања основе уз остваривање чврсте граничне површине ојачивач-основа. Предност описаног поступка је у томе што се добија компактан композитни материјал минималне порозности. Поступак смањује утрошак материјала и енергије производећи делове завршне мере и нуди способност селективног ојачавања елемената.

Овај поступак је приказан на слици 13.



Слика 13 Ливење притиском [3]

6.1.4. Ливење у получврстом стању

Ливење у получврстом стању је поступак где се метална основа у фази процеса у којој се одвија инфилтрација ојачивача у металну основу налази у получврстом стању. Овај поступак добијања композитних материјала је сличан ливењу мешањем, са разликом што се честице мешају у метал који је у получврстом стању. Потребно је снажно мешање получврстог материјала, а не благо као код ливења мешањем. Проблеми који су се јављали при коришћењу металне основе у течном стању довели су до пораста интереса за истраживањем начина добијања композитних материјала са металном основом у получврстом стању.

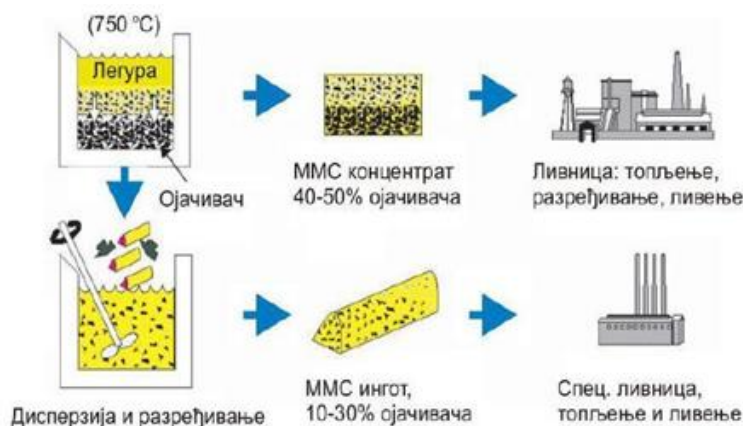
6.1.5. Инфилтрација метала под ниским притиском

Инфилтрација метала под ниским притиском је поступак у власништву фирме AMLI, познат под различитим заштићеним именима. Првим развијеним поступком композити се производе инфилтрацијом слоја честица Al_2O_3 растопљеним металом који је изложен оксидационој атмосфери. Материјал матрице насталог композита је састављен од смеше продуката оксидационе реакције и неоштећене алуминијумске легуре.

Овим поступком добијају се готови облици и својства композита који могу задовољити одговарајуће специфичне намене.

Овом поступком производи се материјал који се касније може претапати и користити у ливницама за производњу делова од алуминијумске ММЦ. Поступак обухвата

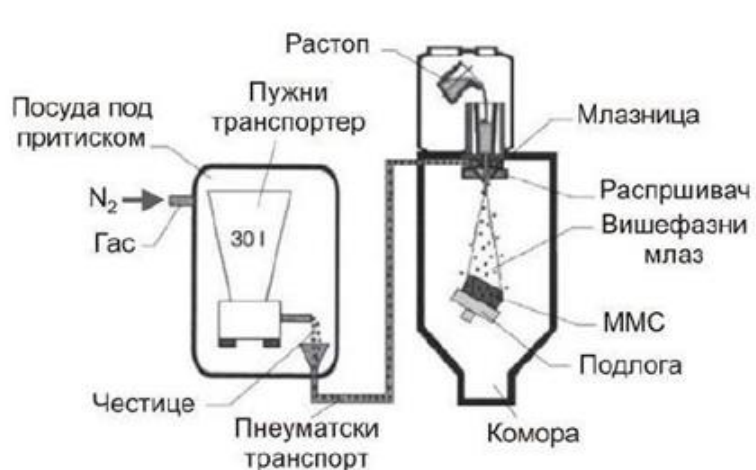
инфилтрацију алуминијума у масу керамичких честица за ојачање, што је приказано на следећој слици (слика 14).



Слика 14 Шема производње ММЦ-а Primex инфилтрацијом [3]

6.1.6. Спреј поступак

Спреј поступак укључује атомизацију растопа (стварање засебних капљица), бризгање капљица растопљеног метала кроз дизне и скупљање и очвршћавање получврстих капљица на одговарајућој подлози. Шематски приказ овог поступка дат је на слици 15.



Слика 15 Спреј поступак [3]

Оваквим поступком метална легура се топи индуктивним загревањем и излива у загрејану посуду. Растоп тече према гасном распршивачу. Гасни млаз велике брзине

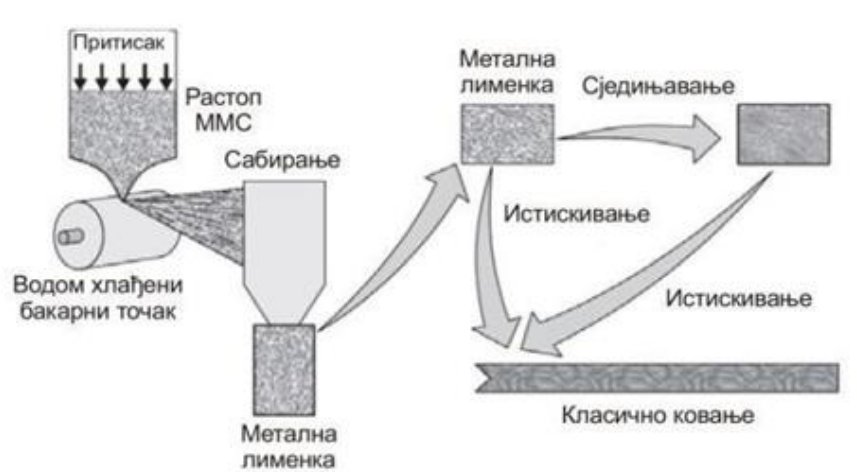
распршује метал у ситне капљице које се снажно убрзавају према подлози. На подлози капљице очврсну и стварају талог формирајући тако приближно коначне облике.

Брзина очвршћавања није тако велика, чиме се постижу две предности:

- директна производња предходних облика и
- директно укључивање ојачивача у припадајућу матрицу.

6.1.7. Брзо очвршћавање

На величину зрна композита добивених ингот технологијом може утицати растојање између честица, ако је пораст зрна онемогућен сударањем честица. Код метала осетљивих на пораст зрна коначна величина зрна понекад је превелика – што погоршава механичке карактеристике материјала. Због тога се при развоју низа инжењерских легура користио поступак брзог очвршћавања за постизање жељене микроструктуре (слика 16).



Слика 16 Поступак брзог очврчавања [3]

Микроструктура ових легура карактерише се уједначеним саставом, уситњеним микро саставним елементима, високим степеном презасићености и задржаним метастабилним фазама.

Постоје три начина коришћења брзог очвршћавања у производњи композита:

- атомизација,
- добијање трака и
- добијање листића.

6.2. Добијање композита са полимерном основом

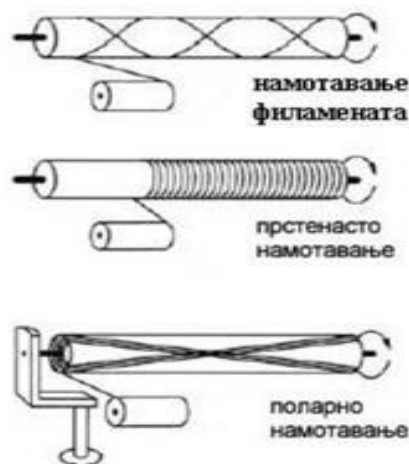
Влакнима ојачани композити полимерне матрице могу се произвести различитим методама, од којих су најчешће: намотавање, ливење, РТМ поступак, полтрудирање, напрскавање, ручно полагање, вакуумско спајање.

6.2.1. Намотавање

Намотавање је поступак при којем се континуална влакна која служе као ојачивач намотавају на модел тако да обликују шупљи део (слика 17). Влакна се најпре воде кроз течност која садржи смолу, а затим се континуално намотавају на цилиндрични модел, често применом аутоматизоване опреме за намотавање. Постоји више типова намотавања:

- навртањем,
- прстенасто и
- поларно.

Након наношења низа слојева следи отврдњавање у пећи или при собној температури, после чега се модел одстрањује. Као алтернатива могу се намотавати танки сводови. Намотавањем се постиже врло висок однос чврстоће и густине као и високи степен оријентисаности влакана. Најчешће намотаване конструкције су оплате ракетних мотора, резервоари и др.



Слика 17 Приказ намотавања филамената, прстенастог и поларног намотавања [3]

Предности:

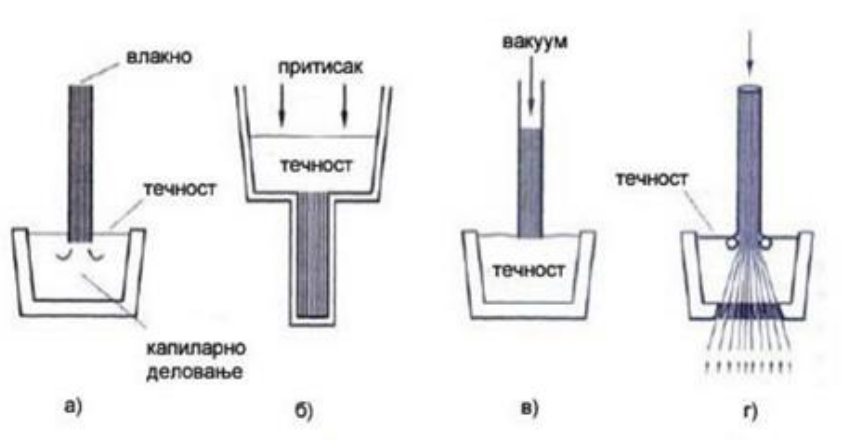
- врло брза и економична метода,
- контрола брзине намотавања,
- може се регулисати удео смоле на влакнима,
- трошкови су мањи због тога што се троше појединачна влакна, а не ткања,
- могу се добити одлична механичка својства композита ако се влакна послажу у смеру деловања оптерећења.

Недостаци:

- облици производа који се добијају су ограничени,
- поређати влакна на различите облике није увек лако,
- трошкови дела на коју се намотава могу бити високи у случају израде великих делова,
- спољашња површина производа није увек естетски прихватљива,
- прилично неодређена спољашња површина делова искључиво конвексног облика.

6.2.2. Ливење

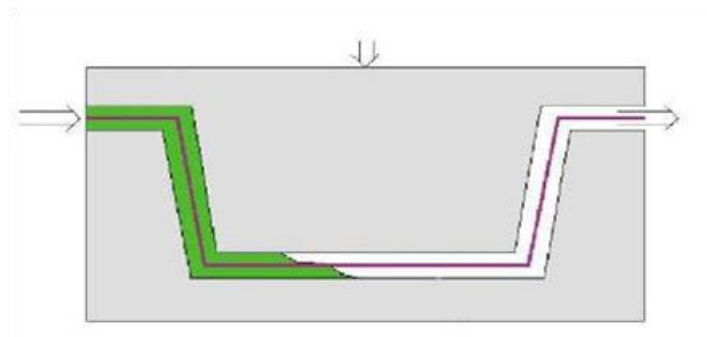
Полимерни композити могу се произвести различитим поступцима ливења. У зависности од начина како се течност полимерне смоле уноси међу влакна разликује се капиларно ливење, ливење под притиском, вакуумско инфилтрирање или континуално ливење (слика 18).



Слика 18 Производња композита ливењем а) капиларно ливење, б) ливење под притиском, в) вакуумско инфилтрирање, г) континуално ливење [3]

6.2.3. РТМ поступак

На слици 19 приказан је начин ливења под притиском познат као РТМ поступак. Полимерна смола улива се под млазом у калупну шупљину и распоређује око ојачивача, а након полимеризације постављене загревањем, калуп се уклапа и добија се производ готовог облика.



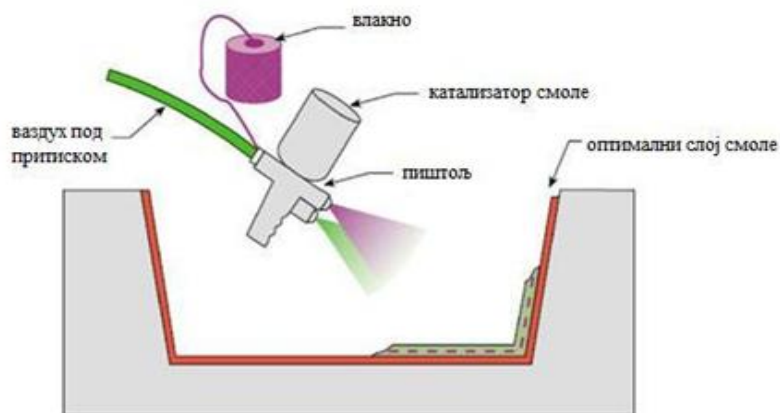
Слика 19 РТМ поступак [3]

На овај начин могу се лити епоксидне, полиестерске, винилестерске и фенолне смоле, а као ојачивачи користе се разна влакна.

Предност РТМ технике су: велики запремински удео ојачивача, ниски садржај ваздуха, добри радни услови као могућност аутоматизације процеса, одличан изглед завршне површине, док су недостаци: веома сложен и велики алат, висока цена алата и ограничење на производе малих димензија.

6.2.4. Напрскавање

Влакно улази у ручни пиштољ у којем се сече на мање комадиће и додаје у струју текуће смоле. Таква се мешавина напрскава у калуп где очвршћава у атмосферским условима. Као материјал матрице се углавном користе полиестери, док се за ојачавање користи искључиво стаклени ровинг.

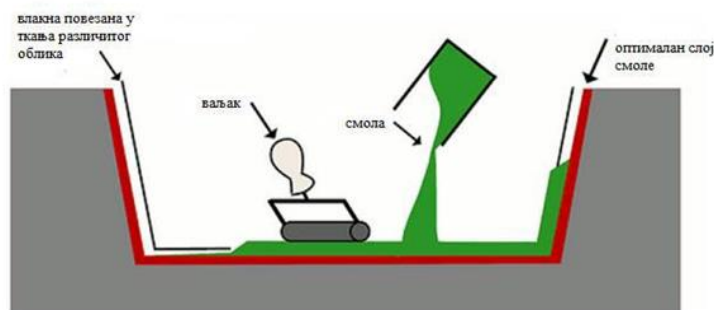


Слика 20 Приказ поступка напрскавања [3]

Недостаци поступка су да производ садржи нешто већу количину смоле тако да имају већу масу. За ојачање се користе само кратка и сечена влакна, тако да коначни производ има ограничена механичка својства. Смола мора имати малу вискозност како би се могле напрскати, а то најчешће иде на штету механичких и топлотних својства. Предност је у широкој примени поступка већ низ година, што је то врло јефтин начин таложења влакана и смоле, а и мали је трошак израде алата.

6.2.5. Ручно полагање

Влакна повезана у ткања различитог облика стављају се у калуп. На њих се наноси смола која се импрегнира у ојачања помоћу ваљака (слика 21). До очвршћавања долази при атмосферским условима. Матрица: сви материјали – полиестери, винил естри, епоксидне смоле, феноли. Сви типови влакана (проблеми се једино могу јавити у случају тежих арамидних влакана које је теже натопити ручно).



Слика 21 Поступак ручног наношења [3]

Предности:

- врло једноставан поступак који се примењује већ дуже време,
- мали трошкови израде алата,
- велики избор врста материјала и добављача,
- удео влакана је већи.

Недостаци:

- квалитет поступака у великој мери зависи од способности радника,
- смоле обично имају мању молекуларну масу, што значи да могу бити штетнији од производа са већом молекуларном масом,
- проблем је уклањање стирена насталог из полиестера и винил естера, морају користити смоле мале вискозности што знатно утиче на својства.

6.2.6. Инфузија слоја смоле

У калуп се постављају сува ојачања између којих се постављају слојеви смоле која је у полукрутом стању. Смола се налази на специјалном папиру. Помоћу вакуум пумпе се извлачи ваздух након чека следи загревање чиме се смола доводи у текуће стање и даље испуњава простор између ојачања. Приказ поступка дат је на слици 22.

Предности:

- производња еколошки прихватљивих композита са великим уделом влакана,
- добра механичка својства која се приписују крутом иницијалном стању полимера,
- мањи трошкови него у случају препрегова,
- мања је могућност појаве подручја која нису испуњена смолом.

Недостаци:

- примењује се једино у авио индустрији,
- потребна је пећ и вакуумско паковање,
- алат мора издржати температуре од 60-100°C.



Слика 22 Приказ поступака инфузије слоја смоле [3]

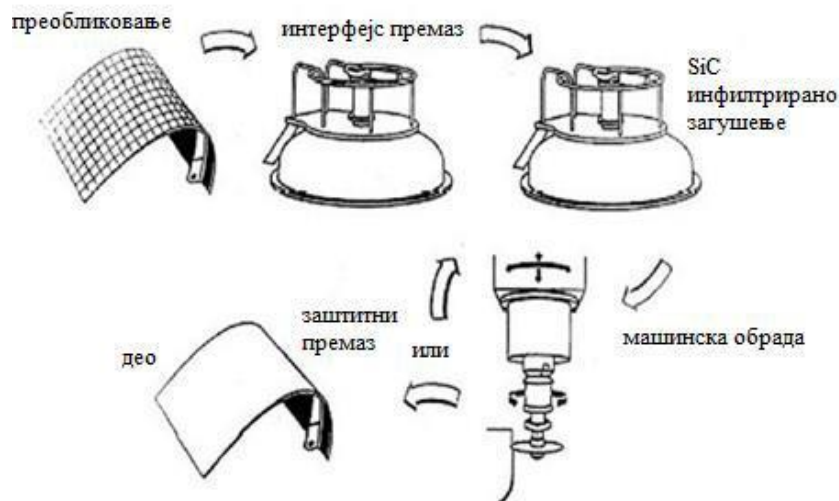
6.3. Добијање композита са керамичком основом

За добијање композита са керамичком основом користе се поступци:

- ЦВД напаравање,
- усмерена оксидација метала,
- производња SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом.

6.3.1. ЦВД напаравање

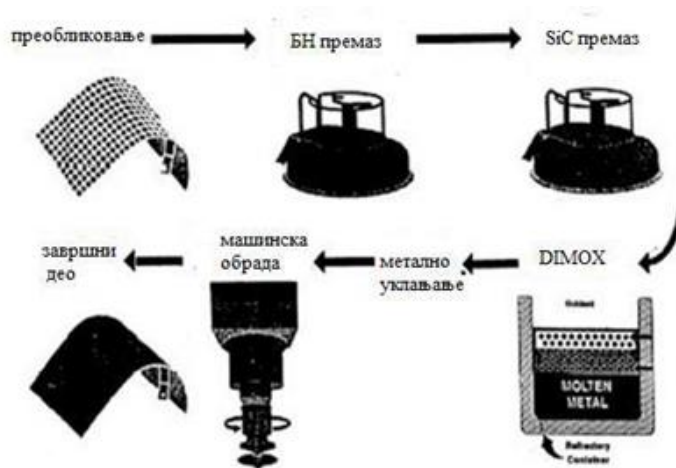
Хемијско напаравање је хемијски процес који се користи за производњу високе чврстоће, високих перформанси чврстог материјала. Процес се често користи у индустрији полупроводника за производњу танких филмова. У типичном, подлога је изложена једном или више испарљивих гасова, који реагују и/или распадају се на површини подлоге. ЦВД се такође користи за производњу синтетичких дијаманата. Приказ самог поступка дат је на слици 23.



Слика 23 Приказ поступка ЦВД напаравање [3]

6.3.2. Усмерена оксидација метала

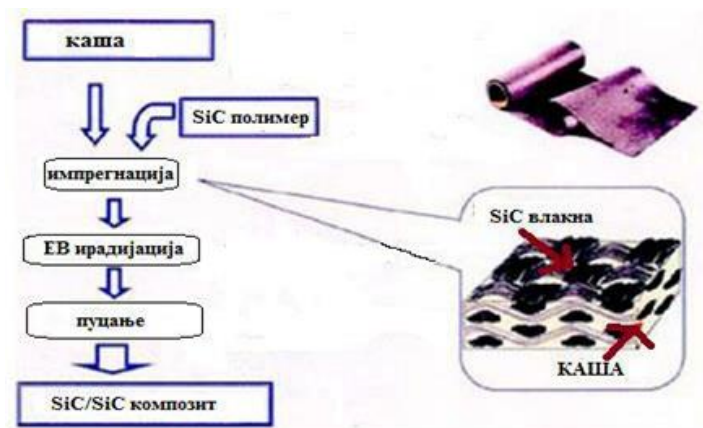
Најпре се ЦВД поступком напаравања наноси превлака на ојачивач. Након тога се ојачивач са превлаком ставља у растопљени метал у реактивној атмосфери кисеоника при чему долази до стварања $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ матрице. Шематски процес приказан је на слици 24.



Слика 24: Приказ поступка усмерене оксидације метала [3]

6.3.3. Производња SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом

Суспензија од PCS (поликарбосилан) и PVS (поливинилсилан) импергнира се у SiC тканину. Након тога полимерни материјал се умрежава под деловањем снопа електрона. Пиролизом долази до трансформације полимера у керамику, као што је дато на слици 25.



Слика 25 Приказ поступка производње SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом [3]

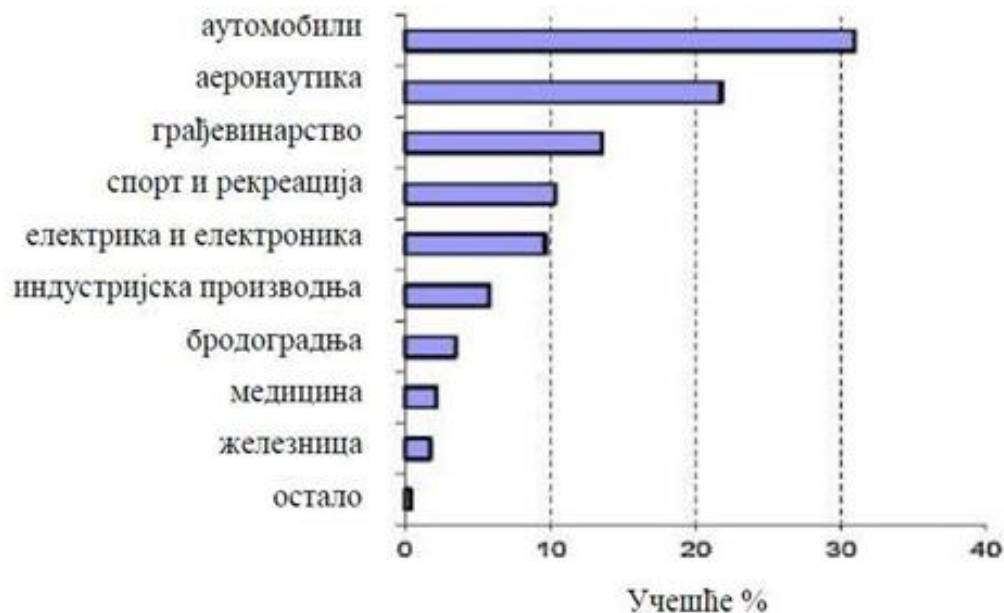
7. Примена композитних материјала

Побољшана својстава композитних материјала пружају могућност њихове широке примене. У последњим деценијама направљено је мноштво нових са неким изузетно корисним својствима. Пажљивим избором материјала ојачивача и матрице и производног процеса којим се они спајају, могу се добити композити са својствима потребним за специјалне примене. Користе се у:

- аутомобилској и камионској индустрији,
- авионској (конструкциони делови путничких авиона, једрилице, куполе, усмеривачи ваздуха, крилца, вертикални стабилизатори, кракови елисе хеликоптера, пропелери, вратила трансмисије, дискови кочница ваздухоплова),
- свемирској (стартне ракете, резервоари, млазнице, облоге за улазак у атмосферу) индустрији;
- грађевинарству (бетони, малтери, цигле, блокови, покривачи, облоге, пунила, лепкови, унутрашњи зидови, врата, намештај, каде, туш-кабине, телефонске кабине),
- спорту: спортска опрема (одећа, обућа, подлоге, реквизити: мотке, рекети за тенис и сквош, штапови за пецање, скије, штапови за скок преко мотке, једра, једрилице, даске за једрење, даске за сурфовање, лукови и стреле, атлетска копља, заштитне кациге, оквир бицикла, опрема за голф, опрема за спортско веслање),
- електронској индустрији (електрична изолација делова, изолација од утицаја електромагнетних таласа, подлоге склопки, подлоге штампаних кола, оклопи, кућишта, поклопци, сателитске антене, радарске антене, куполе, врхови ТВ торњева, канали за каблове, ветрењаче),
- општем машинству (зупчаници, лежајеви, заштитни поклопци, кућишта редуктора, дизалице, руке робота, наплатци, летве за ткање, цеви, делови плоче за цртање, боце за компримовани гас, цеви за морске платформе, радијални пнеуматици),
- бродоградњи (бродови лебдилице - ховеркрафти, бродови за спасавање, патролни бродови, мале рибарице, рибарски бродови, опрема за искрцавање, миноловци, регатне бродове, бродове за забаву, кануи, јахте, глисери),
- медицини (замене за природне органе: вештачке кости, вештачки залиски срца, дентални елементи и закрпе),
- железничкој (чеони делови локомотива, конструкциони делови, вагони, врата, седишта и унутрашње преграде путничких вагона, кућишта вентилатора, кабине жичара), [7]

- војној индустрији – за израду оружја (рукохвати, кућишта, рамови, нишани, ракетни лансери), средстава заштите (заштитне маске, наочаре, обућа, оклопи), транспорту идр.

На слици 26 је дат процентуални удео композитних материјала у разним врстама индустрија које их користе.



Слика 26 Удео композитних материјала у индустријским производима [7]

8. Примена композитних материјала у војној индустрији

Многе савремене технологије захтевају материјале са комбинацијом својства коју немају ни легуре, ни керамички материјали ни полимери. Примена композитних материјала у војној индустрији има велики значај, пошто су се ови материјали показали као веома успешни. Као пример компоненте авионских конструкција где се од материјала захтева мала густина, велика чврстоћа и велика крутост. Оваква својства имају композитни материјали који представљају комбинацију два или више материјала са различитим својствима у микро или макроскопској размери. Композитни материјали су доказали своју употребљивост у високим технологијама, и њиховим даљим усавршавањем њихова примена је све шири и сложенија. Пажљивим избором материјала ојачивача и матрице и производног процеса којим се они спајају, могу се добити композити са својствима потребним за специјалне примене.

Примењују се у многим гранама војне индустрије као што су:

1) Војно ваздухопловство

- Епоксидна смола ојачана угљеничним влакнима (смањење масе за 13%, повећана крутост 30%, одсуство корозије, велика отпорност на замор, смањен број делова, смањен радарски одраз).

2) Ракетни системи, ракетна техника

3) Наменска индустрија

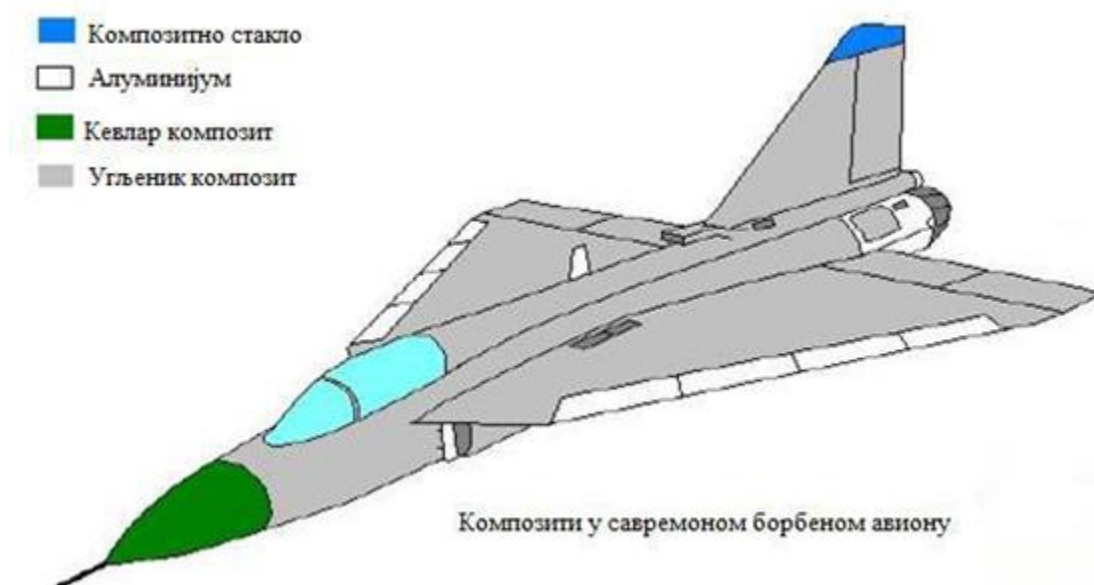
- Стрељачко оружје,
- Балистичка примена и
- Средства заштите.

4) Композитни барути

8.1. Композитни материјали у војном ваздухопловству

Композитни материјали су доказали своју употребљивост у високим технологијама употребљеним при конструисању и изради борбених авиона као што су: F-117A, F-18, V22, F35 Stealth Fighters, као и B-2 Bomber.

Влакнасти комозитни материјали користили су се на војним авионима још од шездесетих гдина али је њихова употреба у цивилној авијацији почела седамдесетих. Реч је углавном о ограниченој примени на некој од секундарних делова као што су панели на излазној ивици крила или неким деловима вертикалног репа.



Слика 27 Учешће композитних материјала код савремених борбених авиона [12]

Композитни материјали су најважнија група материјала у авиоиндустрији и представљају комбинацију две или више органске или неорганске компоненте.

Упркос чврстоћи и малој специфичној маси композитни материјали нису без мана. Поједини материјали апсорбују влагу и тешко је пронаћи оштећења на њихвој структури а и сама цена може бити изузетно висока због начина израде и веома скупих машина које се користе у процесу производње. Поређења ради, насупротив композитима, алуминијум се лако производи и поправља, док се браници од композитних материјала углавном после удеса морају заменити.

8.1.1. B-2 Spirit

B-2 Spirit је тешки бомбардер стелт технологије, способан да носи и конвенционално и нуклеарно оружје. Први пут је коришћен за време НАТО бомбардовања СРЈ. Авион је у облику троугла, са спљоштеном кабином. Нема реп, има 2 млазна мотора која „извиру“ из крила и тако повећавају аеродинамичност. Авион је двосед, мада постоји могућност да им се прикључи инжењер лета. Тежак је 188 тона, носи 90 тона горива и може понети 34,5 тона наоуражања. За његов лет је потребно ангажовати око 15 ловаца као и Авакс да га наводи, а у случају несреће олупина мора одмах да се бомбардује.

На примеру „невидљивог“ бомбардера композитни материјали су успешно примењени у производњи примарних конструкцијских елемената и на тај је начин анулирана нешто већа маса летелице настала превлачењем оплате специјалним материјалом који апсорбује радарско зрачење. Приказан је на слици 28.

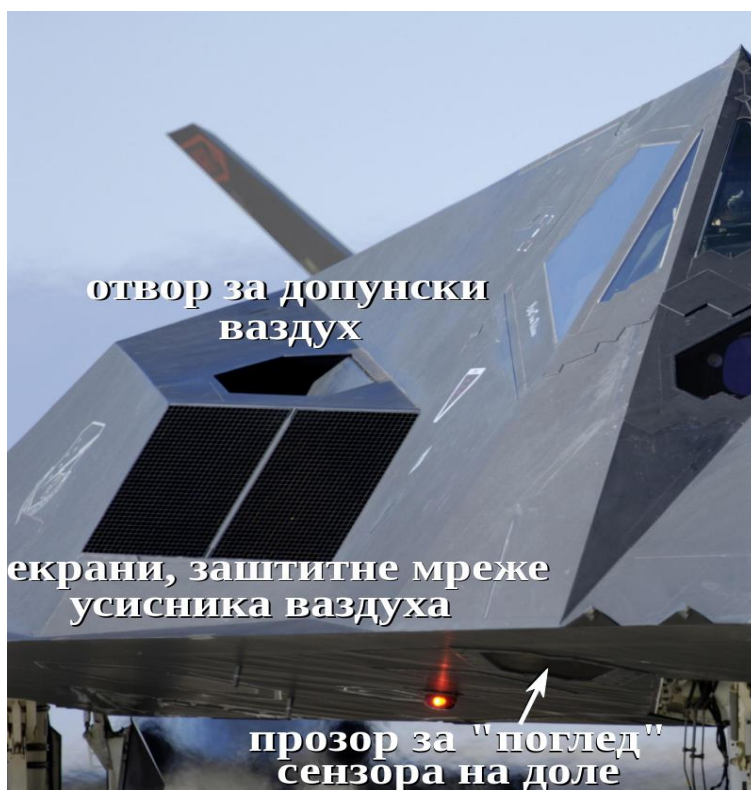


Слика 28 Бомбардер B-2 Spirit [12]

8.1.2. „F-117A” Бомбардер

F-117A је једносед, тактички бомбардер, намењен за ноћна дејства ваздух-земља, без радара је. Први је у свету, оперативни авион, пројектован да користи „стелт“ технологије за мали радарски одраз. Обликован је да скрене и „распе“ радарске сигнале и на тај начин му се значајно умањује радарски пресек.

Усисници ваздуха се простиру иза кабине, изнад кореног дела крила. Имају правоугаони облик са косим улазним пресеком и заштитном мрежом екраном, од композитног материјала са микроталасним својствима, приказани на слици 29.



Слика 29 Заштитна мрежа усисника ваздуха од композитних материјала код крила бомбардера F-117A [12]

8.1.3. „F-35`` Ловац

„F-35`` је једномоторни вишенамени борбени авион пете генерације са умањеном уочљивошћу. Намен је за превласт у ваздушном простору, борбу против циљева на земљи и мору, као и за извршавање задатака извиђања.

Употреба композитних материјала на војним авионима највише је одмакла на америчком ловцу нове генерације F-35. Процена је да је готово две трећине летелице направљено од композитних материјала. Поред мање масе, летелица има и смањени радарски одраз тзв. (невидљиви) слика 30.

Предности у односу на тренутну генерацију ловачких авиона:

- издржљивост, лако се уочава технологија за смањење уочљивости првенствено облога од композитних влакана преко опште змаја авиона, уместо тешког одржавања облоге од специјалних боја које се тренутно користе,
- интегрисана авионска опрема и фузија сигнала сензора која комбинује информације при искљученим и укљученим групама сензора,
- висока брзина преноса сигнала укључујући умреживање и оптичка влакна,
- аутономна глобална логистичка провера, аутономни логистички информациони систем и аутоматско одржавање система за управљање,
- хидраулички систем авиона није класичан.



Слика 30 Амерички ловац F-35 [12]

8.1.4. „A400M-Atlas“

A400- је четворомоторни турбо-пропелерски транспортни авион. Дизајниран је тако да значајно повећа капацитет терета и квалитет авиона у односу на старије верзије. Простор за терет дугачак је 17,71m те 4m широк и 3,85m. Крила су израђена од карбонских влакана, на сваком крилу су по два турбопропелерска мотора која се okreћу у супротним смеровима.

Ова велика четворомоторна летелица је намењена војним корисницима, као платформа за искакање падобранаца и транспорт материјала. Процњено је да 20% структуре ове летелице која је први пут полетела 2009 године израђено од напредних композитних материјала. Приказан је на слици 31.



Слика 31 Авион „A400M-Atlas“ [12]

8.2. Ракетни лансери

8.2.1. „Шумадија“ (ракетни систем)

Ракетни систем „Шумадија“ је намењен за уништавање површинских циљева непријатеља као што су: војне базе, аеродроми, луке и лучка постројења, важни транспортни чворови и раскрснице фабричка постројења и други важни копнени непокретни објекти на даљинама до 285km. Ракетни систем „Шумадија“ је организован у основној форми батерије, са могућношћу да свако возило може дејствовати независно.

„Шумадија“ је вођена ракета која је у првом делу путање балистичка јер иде до 90km у висину, практично пробија атмосферу, а онда у последњем делу путање има инерциони навигациони систем.

Основни подсистеми ракете система Шумадија су: бојева глава, управљачка секција са инерциним навигационим системом и одсеком за вођење, ракетни мотор и секција ротирајућег стабилизатора. Бојева глава је разорно распрскавајућа укупне масе 200kg снабдевана са контактним и близинским упаљачем. Ракета има свој лансирни контејнер који је направљен од комбинације композитних материјала и челика, а систем је постављен на Казимову шасију са 4 до 6 контејнера, слика 32.



Слика 32 „Шумадија“ ракетни систем [13]

8.2.2. „Панцир” ракета

Ракета је конструисана на основу борбеног искуства из Сирије, и намењена је опремању хибридних ракетно-топовских система противваздухопловне одбране „Панцир”. Њена основна функција је ефективна борба против изразито малих и брзих циљева, као што су нпр. беспилотне летелице или ракете испаљене из вишецевних лансера. Због својих минијатурних димензија, ова ракета је од стране противваздухопловних посада на систему „Панцир” већ добила свој препознатљиви надимак-ракета „ексер”. Развој система ПВО кратког домета и брзе реакције, којег су Руси у међувремену до максимума усавршили, и којима тренутно нема премца у свету.

Перспективна, навођена противваздухопловна ракета малих димензија намењена опремању ПВО система „Панцир”, први пут је демонстрирана на међународном војно-техничком форуму „Армија-2017”. Нову ракету је конструисала чувена тулска компанија АО „Конструкторское бюро приборостроения”. Њена основна функција је борба против свих врста беспилотних летелица, али и система високо-прецизног оружја какве су нпр. артиљеријске гранате различитих калибра.

Што се тиче конструкције саме ракете, зна се да је она обложена корпусом који је направљен од композитних материјала. Мотор је изузетно јак и има ограничено време трајања, после чега ракета по инерцији лети ка циљу. Предвиђено је да се у један ракетни лансер уклопе четири ове ракете. Теоријски, један противваздухопловни ракетни систем „Панцир-С” може да буде наоружан са 32 „ексер-ракете”.



Слика 33 „Панцир” ракета [13]

8.2.3. М90 Стршљен

М90 Стршљен је ручни бацач ракета намењен уништавању оклопних возила, заклона и непријатељске живе силе. Производња је почела 2002. године. Израђен је од композитних материјала и ојачане пластике и намењен за једнократну употребу. Како је стандардни против-оклопни лансер М80 Зоља, сличне функције али недовољних капацитета у условима модерног ратовања, М90 са релативно малом масом (13kg) и великом пробојношћу (800mm) представља одговор конструктора на појачану заштиту и јачину оклопа савремених оклопних возила.

Стршљен је употребљен у грађанском рату у Сирији. Приказан је на слици 34.



Слика 34 Ручни бацач ракета М90 Стршљен [13]

8.3. Наменска индустрија

Композитни материјали су широко заступљени у наменској индустрији чија примена знатно доприноси њеном даљем усавршавању. Примењују се код стрељачког оружја, за израду рукохвата од композита, за израду носача пушака, облоге цеви као и код холографских нишана.

8.3.1. Стрељачко оружје

Стрељачко оружје је специјално пројектована справа која великим брзинама испалјује, један или више пројектила, користећи добијену потисну кинетичку енергију гаса ослобођеног у делићу секунде сагоревањем експлозива, односно пуњења, у метку, односно цеви.

Захтеви који се постављају:

- крутост,
- отпорност на хабање,
- мала маса

Примена:

- подкундак, кундак,
- рукохват, ојачање цеви,
- футроле.

Застава М21- је савремена јуришна пушка која се производи у фабрици наменских производа Застава оружја у Крагујевцу. Јуришна пушка М21 калибра 5,56mm намењена је за уништавање незаштићених и балистичким прслуком заштићене живе силе на даљинама до 500m. Коришћењем подцевног бадача граната врло успешно се могу уништавати лакше оклопљена борбена и неборбена возила. Намењена је да замени Заставу М70 која је стандардна аутоматска пушка Војске Србије, слика 35.

Направљена је од композитних материјала од којих је направљен оквир и замењени дрвени делови који су присутни код ранијих модела заставиних оружја.



Слика 35 Застава М21[14]

М 16- Пушка М-16 је замишљена као свестрано вишенаменско оружје. У стрелачком воду може бити класична јуришна пушка, снајпер или лаки пушкомитраљез. Могућа је монтажа оптичког нишана, потцевног бадача граната, ножица и разбијача пуцња, а скривач пламена на устима цеви омогућава испаливање тромблонских мина. На ручици за ношење која је истовремено и задњи нишан, налази се и шина за монтажу оптичког нишана. Функционише на принципу позајмице барутних гасова. Затварач је ротациони.

Рукохват је ергономски и израђен је од композитних пластичних маса. Технологија израде највећег броја делова се углавном своди на ливење и пресовање, па нема много делова који се раде скупом машинском обрадом, што снижава трошкове производње и чини је веома подесном за масовну производњу слика 36.



Слика 36 Приказ М16 [14]

Рукохват пиштоља - Примена композитних материјала у производњи оружја значајно је помогла њеном даљем развоју. Пиштољи као основно средство наоружања и заштите, које користе све специјалне јединице подлеже разним модификацијама. Уградњом композита у рукохват доприноси лакшем руковању оружјем, такође је и цена оружја знатно нижа.



Слика 37 Пиштољ са рукохватом од композита [14]

Холографски нишани јесу врста неувеличавајућих рефлексних нишана који функционишу као трансмисиони холограми осветљени диодним ласером, најчешће црвене или зелене боје, који омогућава постојану и оштру слику нишанске кончанице, која је најчешће представљена танком линијом круга са тачком у средини. У питању су нишани без одређене жижне даљине слика 38.

Најчешће се израђују од квалитетних композитних материјала, или алуминијумске легуре, што их чини лаганим и прилично отпорним на ударце. Модерни холографски нишани могу одржати слику нишанске кончанице у било ком делу екрана чак и када је спољашње-предње стакло механички оштећено или веома запрљано.



Слика 38 Холографски нишан [14]

8.3.2. Балистичка примена

Композитни материјали:

- епоксидна смола ојачана арамидним или влакнима,
- фенолна смола ојачана арамидним влакнима и
- винилестер ојачан арамидним влакнима.

Захтеви који се постављају:

- механичке карактеристике,
- што мање густина и
- балистичка отпорност

Највећа примена:

- оклоп борбених возила, бродова и авиона и
- антишрапенска заштита борбених возила.

Борбено возило са оклопом од композита- представља моторно возило заштићено оклопом и наоружано. Намењено за различите борбене намене, за уништавање непријатељске живе силе и борбених средстава, као и за вођење противоклопне борбе, борбе против циљева у ваздушном простору, превоз и борбу пешадије, извиђање, осигурање, командовање и везу.

Челични оклопи су замењени композитним оклопима, који за исту масу пружају бољу заштиту, што омогућава тенку да буде лакши од тенка истог степена заштите од челика или боље заштићеним за исту тежину тенка слика 39.



Слика 39 Борбено возило са оклопом [15]



Слика 40 Брод са компонентама од композитних материјала [15]

8.3.3. Средства заштите

Заштитна маска- средство за заштиту човека (лица, очију, респираторног, дигестивног и нервног система) од радиолошке, хемијске и биолошке контаминације гасовима, паром, чврстим и течним агенсима и честицама прашине. Користи се у мирнодопским и ратним условима. Формацијски је обавезна у заштити од хемијских удеса у превозу опасних материја и индустрији, у гашењу пожара, у полицијским и војним снагама. Обавезан је део појединачне опреме сваког ватрогасца, полицајца и војника. Поставља се на главу. Анатомски је обликована лицу и захваљујући својој флексибилности се помоћу затезних трака, једноставно одговара сваком појединачном облику главе, штитећи херметички лице, очи, нос и уста од спољних утицаја, слика 41. [16]



Слика 41 Заштитна маска [16]

Заштитни штитови и шлемови

Штит је оруђе за одбрану, намењен је да се препречи ударац. Штит се обично носи у руци. Направљен је од композитних материјала. Користи се свуда у свету за петебе војске и полиције, приказани на сликама 42 и 43.



Слика 42 Заштитни оклоп [16]



Слика 43 Заштитни шлем [16]

8.4. Композитни барути

Од 1950. године појављују се течни полимери који у таквом стању могу да приме знатно више чврстих компонената, а да задрже способност ливења. Очвршћавање долази након неког времена и његова брзина се може регулисати. На овакав начин се могу излити пуњења великих димензија, што је велика предност у односу на хомогена горива. Период развоја ракетних горива од 1950. године може се поделити у два дела:

- први период од 1950. до 1965. године када су се производила композитна горива произвођена са везивом на бази полисулфида и полиуретана,
- други период од 1965. године до данас када се као везива углавном користе полибутадијени са функционалним групама, затим кополимери бутадијена и акрилна киселина.

Ова нова врста полимера даје еластомерна везива са знатно бољим перформансама: примају више оксиданаса и могу се користити на веома ниским температурама. Значајан тренутак у историји композитних ракетних горива јесте и почетак употребе амонијум-перхлората, као оксиданаса, уместо дуго времена коришћеног амонијум-нитрата. [9]



Слика 44 Композитни барут [9]

Од композитних барута (сл.44) тражи се да има:

- Висока енергетска својства, дефинисана специфичним импулсом (однос потиска ракетног мотора са потрошњом барута у јединици времена). Како повећање специфичног импулса захтева повећање садржаја оксиданса у барутном саставу, том повећању треба приступити веома обазриво, јер састави са високим садржајем оксиданса су и веома снажни експлозивни,
- повећану густину која обезбеђује повећану тежину пуњења ракетног мотора,
- механичка својства која омогућују да барутни блок може издржати напрезање којима је изложен за време складиштења и у експлоатацији:
- да буде отпоран на извијање под сопственом тежином у вертикалном положају,
- да је отпоран на температурске промене,
- да издржи притисак припале, који је увек виши од нормалног притиска при раду мотора.

Можемо закључити да за разлику од хомогених колоидних барута у којима активне компоненте (нитроцелулоза и нитроглицерин) имају и оксидативне и редуктивне карактеристике, код композитних барута оксиданти и редуктанти су међусобно физички одвојени и повезани у чврст блок неким везивом.

9. Закључак

Класични материјали претежно поседују добра хемијска и физичка својства (механичка, триболошка, електрична). Међутим, најчешћи је случај да поседују и неко одступање у потребним својствима које значајно ограничава област примене материјала (нпр. непостојаност на високим/ниским температурама, у агресивној средини, корозиона отпорност итд). Истраживање нових материјала је увело у употребу композитне материјале као материјале који имају најмање „непожељних“ својстава.

Истраживања у области композитних материјала имају за циљ да побољшају структурне, термичке, хемијске или неке друге карактеристике појединачних материјала или да се изради предмет који има оптималан однос производна цена-захтеване карактеристике, чиме би се значајно снизила цена готовог производа.

У овом раду је дат преглед историјског развоја индустријских композитних материјала, најзначајнијих тренутака од тридесетих година прошлог века до данас. Из истог се види да је главни окидач био ратни напор да се произведе боље и јефтиније борбено средство, а да су се последице тога (по завршетку рата, у мирнодопској производњи) осетиле у производњи квалитетне и јефтине „робе широке потрошње“.

Такође је дат увид у поделе композитних материјала. Поделе се могу извести на онолико начина на колико је могуће посматрати жељена својства композита. Овде су приказане основне поделе при чему су посматрани само ојачивачи или само матрице. Даљим укрштањем ових подела може се добити нови велики скуп детаљнијих подела и на основу ојачивача и матрице.

Будућност композитних материјала се креће према наноматеријалима. Нова истраживања композита се не односе само на изналажење нових основа и ојачивача, примену и комбиновање до сада истражених чинилаца, већ и на нова молекуларно структурна истраживања матрица, микрочестица и микровлакана ојачивача и њихово заједничко деловање која ће досадашње и садашње материјале послати у историју.

Технологија израде још увек је главни недостатак и повезана је са тим што ова врста материјала није економски прихватљива за свакодневну употребу и ширу употребу у свим гранама индустрије.

Композитни материјали који се примењују у војној индустрији значајно су допринели производњи, лакшем руковању, коришћењу и управљању средствима.

Војна индустрија је једна од занимљивих грана инжењерства где свакако још пуно напора треба уложити да би гране примене (ваздухопловство, ракетни системи, оружје, средства транспорта и заштите) биле још савременије и спремне новим модификацијама у циљу бољих резултата. Свакако треба споменути безбедоносни аспект свих тих производа.

Оно што је важно истаћи на крају овог рада је да не постоји најбољи материјал већ за одговарајућу намену постоји одговарајући материјал.

Литература

- [1] Милорад Јовановић, Вукић Лазих, Драган Адамовић, Нада Ратковић: Машински материјали, уџбеник, Машински факултет, Крагујевац 2003.
- [2] Филетин, Т., Ковачичек, Ф., Индоф, Ј.: Својства и примјена материјала, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 2002.
- [3] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A102/datastream/PDF/view> 02.08.2018.
- [4] http://repozitorij.fsb.hr/948/1/13_05_2010_Marin_Vlahovic_-_DIPLOMSKI_RAD.pdf 04.08.2018.
- [5] <https://dr.nsk.hr/islandora/object/sfsb%3A146/datastream/PDF/view> 08.08.2018.
- [6] http://repozitorij.fsb.hr/1318/1/20_05_2011_Danijel_Tomasic_-_Diplomski_rad_-_PDF_-_600_dpi.pdf 13.08.2018.
- [7] <https://www.google.rs/search?client=opera&tbm=isch&q=Удео+композитних+материјала+у+индустријским+производима&spell=1&s> 13.08.2018.
- [8] <https://www.google.rs/search?client=opera&tbm=isch&sa=1&ei=yZyfw-a4L8OWsAfGmrj4Dw&q=kompозитни+materijali+u+masinstvu&oq=kompозит> 18.08.2018.
- [9] <https://www.slideshare.net/zoranmiljakovic/11asmasinski-materijali> 18.08.2018.
- [10] <http://www.neg.co.jp/en/product/ep/ltcc> 21.08.2018.
- [11] <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:23/preview> 23.08.2018.
- [12] https://www.google.rs/search?client=opera&biw=1320&bih=627&tbm=isch&sa=1&ei=5vmGW7efDufgsAeRw6dg&q=kompозитни+materijali+u+vojnоm+vayduhoplovstvu&oq=kompозитни+materijali+u+vojnоm+vayduhoplovstvu&gs_l=img.3...27.08.2018 23.08.2018.
- [13] <https://www.google.rs/search?client=opera&biw=1320&bih=627&tbm=isch&sa=1&ei=6fmGW57vDZCckwW2hqaQCg&q=raketni+sistem> 29.08.2018.
- [14] <https://www.google.rs/search?client=opera&tbm=isch&q=Удео+композитних+материјала+у+производњи+оружја&spell=1&sa=X&ved=0a> 04.9.2018.
- [15] https://www.google.rs/search?q=borbena+vozila+sa+oklopom+od+kompозита&client=opera&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjnrpXmicLdAhVMK1AKHdSFBgEQ_AUICigB&biw=1326&bih=627 04.09.2018.

[16] <https://www.google.rs/search?client=opera&tbm=isch&q=kompozitni+materijali+u+zaštitni+m+oklopom+i+slemovima&spell=1&sa=X&ved> 10.09.2018.

[17] D. Hull: An Introduction to Composite Materials, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1992.

[18] R.M.Jones: Mechanics of composite materials, Taylor & Francis, 1999