

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: 508/2014

Николија Г. Кривокућа Анђелковић

Композитни материјали

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| 1. др Нада Ратковић, ванр. проф. | Датум одбране: _____ |
| 2. _____ | Оцена: _____ |
| 3. _____ | |

Крагујевац, 2021. године

У овом раду кандидат треба да прикаже структуру композитних материјала са основним карактеристикама, њихову поделу, технолошке процесе производње итд.

Будући да је реч о комплексним материјалима треба посебно да опише различите врсте матрица и ојачивача. Такође треба да прикаже примену у различитим областима индустрије полимерних композитних материјала.

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.

Резиме

У овом дипломском раду ће бити описани композитни материјали. Први део рада се односи на историјски развој композитних материјала, структуру и класификацију композита. Биће описана њихова подела и начин добијања. На крају ће бити приказана примена композитних материјала у разним гранама индустрије.

Кључне речи: композитни материјали, полимерни композити, матрица, ојачивач

Abstract

Composite materials will be described in this paper. The first part of the paper deals with the historical development of composite materials, structure and classification of composite. Their division and method of obtaining will be described. Finally, the application of composite materials in various branches of industry will be presented.

Key words: composite materials, polymer composites, matrix, reinforcer

Садржај:

1. Увод.....	7
2. Историјски развој композитних материјала.....	8
3. Дефиниција и структура композитних материјала.....	9
3.1 Основа (матрица) композита.....	9
3.2 Ојачавајући елементи композита.....	10
4. Класификација композитних материјала.....	11
4.1 Честицама ојачани композити.....	11
4.2 Влакнима ојачани композити.....	13
4.2.1 Оријентација влакана.....	13
4.2.2 Подела влакана.....	14
4.2.2.1 Стаклена влакна.....	14
4.2.2.2 Угљенична влакна.....	17
4.2.2.3 Борна влакна.....	18
4.2.2.4 Арамидна влакна.....	18
4.3 Композити грађени од слојева.....	19
4.3.1 Ламинарни композити.....	19
4.3.2 Сендвич конструкције.....	20
4.4 Комбиновани (хибридни) композити.....	22
5. Подела композита на основу матрице.....	23
5.1 Композити са металном матрицом.....	24
5.1.1 Матрица од алуминијумских легура.....	25
5.2 Композити са полимерном матрицом.....	25
5.2.1 Пластомерне матрице.....	27
5.2.1.1 Полиамидне матрице.....	28
5.2.1.2 Поликарбонатне матрице.....	29
5.2.1.3 Полипропиленске матрице.....	30
5.2.2 Дуромерне матрице.....	30
5.2.2.1 Полиестерске смоле.....	31
5.2.2.2 Епоксидне смоле.....	32
5.2.2.3 Винил-естарске смоле.....	33
5.2.3 Еластомерне матрице.....	33

5.3. Композити са керамичком матрицом.....	34
6. Добијање композитних материјала	35
6.1 Добијање композита са металном основом	35
6.1.1 Металургија праха	36
6.1.2 Поступци у чврстом стању.....	36
6.1.3 Ливење притиском	37
6.1.4. Ливење у получврстом стању	38
6.1.5 Инфилтрација метала под ниским притиском	38
6.1.6 Спреј поступак	39
6.1.7 Брзо очвршћавање.....	39
6.2 Добијање композита са полимерном основом	41
6.2.1 Намотавање.....	41
6.2.2 Ливење	42
6.2.3 ПТМ поступак	42
6.2.4 Напрскавање	43
6.2.5 Ручно полагање	44
6.2.6 Инфузија слоја смоле.....	45
6.3 Добијање композита са керамичком основом	45
6.3.1 ЦВД напаравање	45
7. Примена композитних материјала	47
7.1 Примена композитних материјала у аутоиндустрији.....	48
7.1.1 Каросерија.....	48
7.1.2 Екстеријер.....	49
7.1.3 Ентеријер	50
7.1.4 Елементи испод поклопца мотора.....	52
7.2 Примена композитних материјала у поморству	53
7.3 Примена композитних материјала у војној индустрији	54
7.3.1 Војно ваздухопловство	54
7.3.2 Ракетни системи и техника	56
7.3.3 Наменска индустрија	57
7.3.4 Композитни барути.....	59
7.4 Примена композитних материјала у ваздухопловству.....	59
7.5 Примена композитних материјала у воденим спортовима	62

7.5.1 Опрема за пливање.....	62
7.5.2 Опрема за спортски риболов.....	63
7.5.3 Даске за сурфовање на води.....	65
7.5.4 Чамци за трке.....	65
8. Закључак	67

1. Увод

Материјали су свуда око нас. Они су део наше културе и свести као и основа за наше постојање. Неоспорно је да ништа не можемо направити без коришћења неког вида материјала.

Материјали у ствари представљају супстанцу прикладних својстава и користе се у конструкцијама, постројењима, уређајима и сл. Они који се користе у техници се најчешће називају „технички материјали“ и то су круте супстанце које саставом и структуром задовољавају дату примену.

Брзина развоја различитих научних дисциплина последњих година поставља високе захтеве за иновационим материјалима, као и техникама њиховог добијања. Примена конвенционалних материјала у различитим технолошким и биомедицинским апликацијама често не задовољава потребне стандарде (због лоших механичких својства, екотоксичности, слабе биолошке разградивости, немогућности минијатуризације, изазивања јаког имунолошког одговора итд.) због чега постоји све већа потреба за новим функционалним материјалима који по својим својствима надмашују постојеће. При дизајнирању нових материјала, нарочит акценат је стављен на комбинацију материјала различитих својстава и састава у циљу међусобног употпуњавања и постизања жељених својстава. Ту комбинацију различитих материјала називамо композитним материјалима.

Композитни материјали (композити) су материјали који се добијају комбинацијом два или више материјала. Тако се постигнута својства разликују од одговарајућих својстава сваког материјала посебно. Бетон и шперплоча су типични примери једноставних кополита, познати из свакодневне употребе. Иначе, композитни материјали се одликују ниском густином, имају добру чврстоћу, добру отпорност на удар, постојаност при повишеним температурама и отпорност на дејство агресивних средина.

2. Историјски развој композитних материјала

Композитни материјали представљају најстарији али уједно и најмодернији вид материјала. Још су давно људи схватили да користећи два или више различитих материјала могу створити нов материјал много бољих карактеристика од оних које има сваки материјал понаособ.

По том принципу су мешавином сламе и глине настали први грађевински објекти. Како се свет све више развијао, ова врста композита замењена је другим, бетоном. У почетку је бетон представљао мешавину песка, цемента и воде. Комбинацијом овог композита и челичних жица добио армирани бетон, материјал у широкој примени и данас.

Чамци, као први пловни објекти, настали су коришћењем трске као арматуре и битуменске смоле као везива, односно матрице. Овакав композит се и данас користи у неким деловима Африке и Азије.

Поред вештачки насталих композита постоје и композити које је сама природа створила. То је превасходно дрво које представља комбинацију целулозних влакана и лигнина. Поред дрвета ту су и кости настале мешавином калцијумових влакана који стварају природну матрицу.

Све већи развој композитних материјала је настао као потреба конструкција за што већом јачином и крутошћу а што мањом тежином.

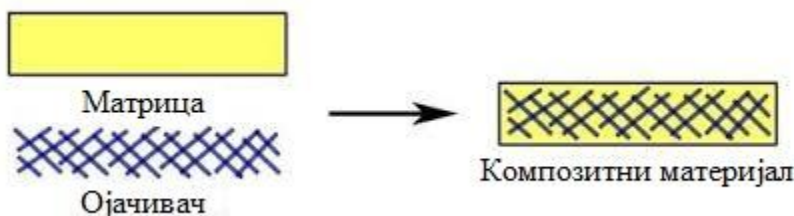
Развој и примена савремених композитних материјала почела је 50-их година прошлог века а данас се годишње производи око 10 милиона тона али се сваке године повећава за 5-10%.

3. Дефиниција и структура композитних материјала

Већина савремених технологија има потребу за материјалима чији су својства боља од својства легура, керамичких материјала или полимера. Пример за овакве материјале су свакако делови за авио индустрију који треба да испуњавају услов мале густине, велике чврстоће и крутости. Све ове захтеве испуњавају композитни материјали (композити) који представљају спој два или више материјала са различитим хемијским саставом чиме се добија комбинација својстава које немају појединачни елементи.

Структура композитних материјала (сл. 1) се састоје од:

1. Основе (матрице), која осигурава:
 - пренос напона на ојачавајуће елементе,
 - заштиту ојачавајућих елемената од спољашњих утицаја,
 - крутост и облик производа и др.
2. Ојачавајућих елемената, који дају:
 - високе механичке карактеристике материјалу,
 - топлотне, електричне и друге карактеристике.



Слика 1 : Структура композита [4]

3.1 Основа (матрица) композита

Као основе (матрице) користе се:

- метали - Al, Mg, Ti, Cu,...
- полимери – епоксиди, полиестри, полиамиди и силикони,
- керамика – SiC и Al₂O₃.

Задатак матрице је да држи ојачиваче заједно, штити композит од спољних утицаја средине и сл. То онда значи да се ојачивачи не могу самостално користити без матрице. Поред тога матрица распоређује оптерећење на ојачиваче и даје визуелни изглед

композита. Зна се да својство материјала зависи од његове структуре па самим тим својство композитних материјала зависи и од матрице и од ојачивача.

3.2 Ојачавајући елементи композита

Ојачавајући елементи (ојачивачи) могу бити:

- у облику честица и
- у облику влакана.

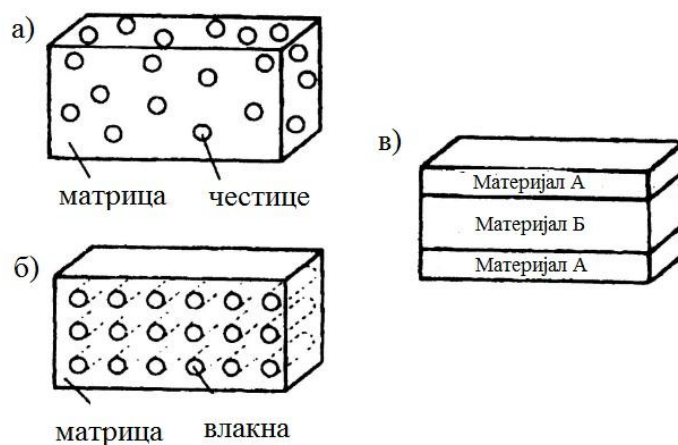
Ојачивачи су носиви елементи композита и обезбеђују високу чврстоћу, висок модул еластичности и отпорност на трошење. Најчешће се користе ојачивачи у облику влакана.

Улога ојачивача је да пренесе оптерећење а направљени су од различитих материјала, зависно од услова које композитни материјал треба да задовољи.

4. Класификација композитних материјала

Композити се могу класификовати у четири групе:

- композити ојачани честицама (Слика 2 а),
- композити ојачани влакнима (Слика 2 б),
- композити грађени од слојева (Слика 2 в) и
- комбиновани или хибридни композити.



Слика 2: Класификација композита: а) композити са честицама, б) композити са влакнима и в) композити са слојевима [3]

4.1 Честицама ојачани композити

Честицама ојачани композити представљају комбинацију матрице и честица различитог облика али сличних димензија у свим правцима. На карактеристике композита утиче величина и запремински удио честица. Како би композит испунио одређене захтеве, честице треба да буду мање од $1 \mu m$ пречника и равномерно распоређени у матрици. Удео честица у композиту је најчешће 30-40%.

Честицама ојачани композити могу се поделити у две групе:

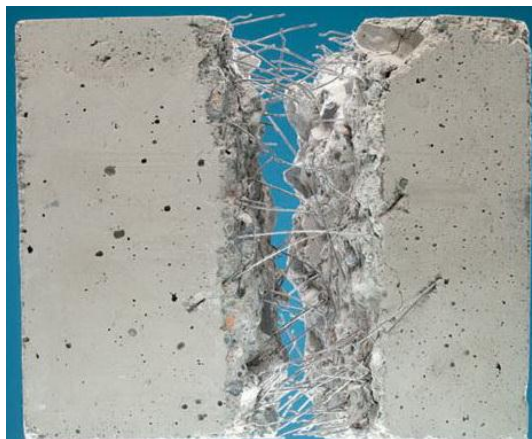
- композити са дисперзијом (малим честицама) - $< 0,1 \mu m$
- композити са великим честицама - $> 1 \mu m$

Један од представника ојачивача у облику малих честица је дрвно брашно и користи се за композите у аутоиндустрији. Врсте дрвећа које се користе су бор, јавор и храст. Најчешће се комбинују ове врсте као отпад у дрвној индустрији. Када се скупи одређена количина и врста, отпад се уситњава у посебним млоновима на одређену гранулацију. На слици 3 приказано је дрвно брашно.



Слика 3: Дрвно брашно [5]

Један од представника ојачивача у облику великих честица је свакако бетон. Бетон се састоји од великог броја честица повезаних цементом. Састоји се од керамичке матрице и керамичких честица. Цемент у овом композиту представља матрицу а песак и шљунак додатке. Веза се постиже хемијском реакцијом између цемента и воде. Уз додатак гвожђа добијамо армирани бетон (слика 4).



Слика 4: Армирани бетон [6]

4.2 Влакнима ојачани композити

Влакна ојачивача могу бити биљног и синтетичког порекла. Синтетичка влакна се чешће употребљавају због бољих својстава али то никако не значи да се природна не користе. При комбинацији чврстих и крутих влакана са меканијом матрицом настаје материјал веће чврстоће, жилавости, крутости и повећане чврстоће и густине. Код бирања влакана потребно је обратити пажњу на дужину, пречник и оријентацију влакана.

У односу на пречник разликујемо:

- вискере,
- нити и
- жицу.

Вискери представљају танка влакна $0,1-5\mu m$ у облику нити, најчешће кратка због лакшег мешања унутар матрице. Има изврсне механичке карактеристике као резултат правилне кристалне структуре.

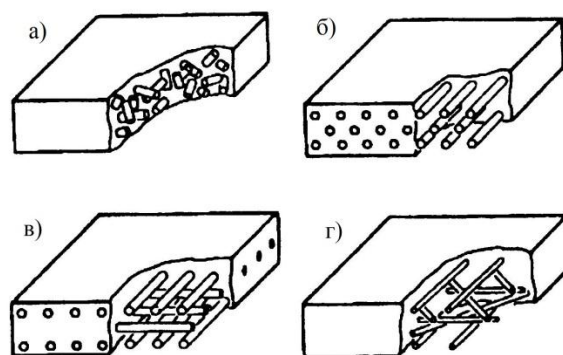
Нити имају већи пречник од вискера а мањи од жице. Имају одлична механичка својства с тим што су веома анизотропна.

Жице се користе у аутомобилским пнеуматичима тј. већином се примењују у аутомобилској индустрији.

4.2.1 Оријентација влакана

Влакна могу бити кратка, произвољно оријентисана (сл. 5а); дуга, у једном смеру (сл. 5б); дуга, међусобно управна (сл. 5в) и дуга, испреплетана (сл. 5г).

Композити са произвољно оријентисаним влакнима понашају се изотропно, али је ефекат ојачавања мали. Композити од влакана у једном правцу имају оптималне вредности чврстоће и крутости ако оптерећење делује у правцу влакана али су наведена својства лоша како је оптерећење управно на правац влакана. Како би се постигла добра својства у више праваца, користе се слојеви са различитом оријентацијом влакана (ткањем).



Слика 5: Оријентација влакана: а) кратка, произвољно оријентисана влакна, б) дуга, у једном смеру, в) дуга, међусобно управна, г) дуга, испреплетана [3]

4.2.2 Подела влакана

Влакна морају да испуне потребу за високом специфичном чврстоћом (количник чврстоће и густине) и специфичном крутошћу (количник модула еластичности и густине).

У композитним материјалима влакна могу да буду поликристална и аморфна и да имају облик:

- ровинга (благо увијених нити),
- ужета (уплетених нити),
- тканина (атлас ткања, сатенског или неке друге врсте ткања).

При производњи влакана користе се: стакло, угљеник, бор и арамид.

4.2.2.1 Стаклена влакна

Стаклено влакно представља вештачко влакно настало од растопљеног стакла извлачењем нити које се намотавају на брзоротирајућим ваљцима или центрифугалним поступком дувањем компримованог ваздуха. Захваљујући различитом хемијском саставу, постоје разне врсте стаклених влакана, са различитим својствима. То се постиже складним односом садржаја одређених оксида. Различите врсте стакла се означавају различитим словним ознакама:

- AR-стакло је алкално отпорно па се најчешће користи за армирање бетона,

- С-стакло има састав отпоран на хемикалије па се користи у производњи микровлакна у хемијској индустрији,
- у саставу D-стакла налази се одређени део боровог оксида, с обзиром на хемијску и топлотну отпорност поседују и посебна дијелектичка својства,
- Е-стакло има велики електрични отпор,
- од S-стакла и HS-стакла праве се влакна велике чврстоће и
- М-стакла имају високи Јунгов модул еластичности и садрже барилијев оксид.

Генерално, стаклена влакна су чврста, негорива, отпорна на хемикалије и добар изолатор. Међутим, веома су крута и крта али се потребна савитљивост постиже великом финоћом нити (пречина $<40\mu\text{m}$).

Стаклена влакна можемо поделити и према области у којој се примењују, па тако имамо:

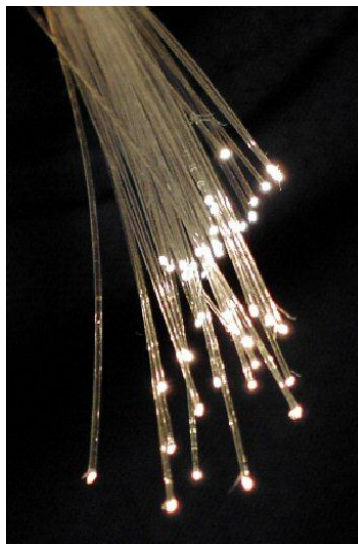
- Текстилна стаклена влакна се најчешће користе за разне врсте техничког текстила а могу бити власаста (кратка) или филаментна (неограничено дуга). Власаста влакна се користе за производњу предене пређе за плетење и ткање или за неткане текстиле као што су фитил, стаклена вуна, филц и сл. Филаментна влакна пречника $7-27\mu\text{m}$ се најчешће користе за израду неувијених мултифиламентних пређа за ојачавање композита.



Слика 6: Производ од текстилних стаклених влакана – стаклена вуна [7]

- Изолациона стаклена влакна се најчешће производе од Е и D-стакла и од њих се праве неткани текстили употребљавани у грађевинарству и индустрији (сл. 6).
- Стаклена микровлакна представљају врло фина власаста влакна. Користе се за микропорозне мембране у хемијској и прехранбеној индустрији.
- Шупља стаклена влакна се праве од S и HS-стакла и имају специјална морфолошка својства. Користе се као ојачивачи композита за прецизну технику.
- Оптичка или биоконституцијска стаклена влакна представљају комбинацију две врсте стакла различитих индекса лома где влакна формирају језгро и омотач.

Примењују се за специјалне светловоде у оптичким телекомуникацијама. При производњи мора се постићи потпуна чистоћа. На слици 7 приказана су оптичка влакна.



Слика 7: Оптичка влакна [8]

Стаклопластика (фиберглас) (сл. 8) представља композит састављен од стаклених нити међусобно повезаних синтетичком смолом. С обзиром да има добру чврстоћу, еластичност и отпорност на хемикалије може се користити и као замена за материјале као што су дрво, стакло, метал у бродоградњи, процесној индустрији, изради спортске опреме и сл.



Слика 8: Фиберглас [9]

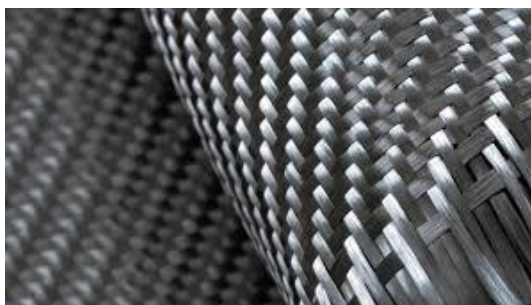
4.2.2.2 Угљенична влакна

Угљенична влакна, као што им и само име каже, имају велики удео угљеника, минимално 90%. Таква влакна се још чешће називају карбонска влакна или само карбон. Композити ојачани овом врстом влакана су лагани али веома издржљиви. Користе се тамо где је потребно задовољити услов велике издржљивости у односу на тежину као и велике чврстоће. Због своје скупе израде није врста композита који се масовно користи. Најчешће се употребљава у авио и аутомобилској индустрији мада има примену и у грађевинарству и производњи спортске опреме.

Пресек карбонских влакана (сл. 9) је кружан са пречником 5-10 μm и карактеристичне је црне боје. Настаје из других органских влакана, најчешће полиакрилонитних која имају висок ниво чврстоће али могу и од целулозних влакана. Процес производње ових влакана се изводи у две фазе. Прва је предобрада а друга карбонизација. Из материјала се одређеним поступцима уклањају сви хемијски елементи осим угљеника.

Најбитнија својства карбонских влакана су:

- велика чврстоћа (3000-5000N/mm²) и модул еластичности (код графитних влакана 200 000-450 000N/mm²),
- велика крутост,
- мала густина у односу на металне нити,
- одлична отпорност на топлоту,
- веома слаба запаљивост,
- хемијска инертност,
- отпорност на киселине и органске раствараче,
- добра топлотна и електрична проводљивост,
- немагнетичност,
- мала апсорпција рендгенских зрака,
- неупијање влаге,
- изврсна компатибилност.



Слика 9: Карбонска влакна [10]

4.2.2.3 Борна влакна

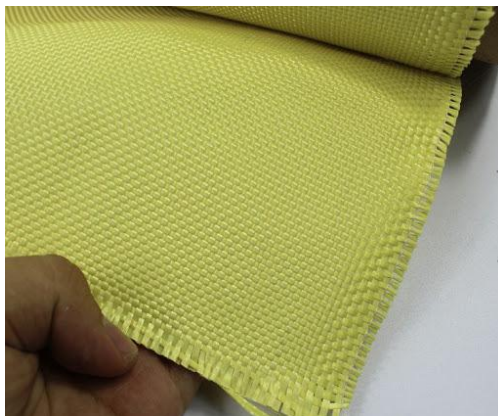
Ова врста влакна се добија напаравањем бора на волфрамска влакна и пречника су $0,01\text{mm}$. Како имају у основи волфрам, веома су чврста и крута. Ова влакна су постојана на високим температурама али имају већу густину од осталих влакана. Пречник им је $125\text{--}140\mu\text{m}$ што је знатно веће од пречника осталих. Због своје тврдоће композите ојачане овим влакнима је врло тешко накнадно обрађивати. Из тог разлога, и разлога високе цене, ова врста влакана је скоро потпуно избачена из авио индустрије а примат су преузела угљенична влакна.

4.2.2.4 Арамидна влакна

Арамидна влакна настала су 1965. године под називом Кевлер и произвела их је фабрика Du Pont. Добијају се од ароматичних полиамидних полимера ојачаних бензоловим прстеном. Постоје разни типови арамидних влакана а класификовани су по својим механичким својствима (Кевлер 29, 49, 149, где бројеви означавају модул еластичности). Ова влакна (сл. 10) су састављена од макромолекула која садрже ароматске групе повезане амидним или имидним везама.

Због своје мале густине, ова влакна имају највећу специфичну чврстоћу и крутост, али се њихова својства знатно смањују на температурама већим од 1000°C .

Недостаци арамидних влакана су осетљивост од УВ зрачења и апсорпција воде из влажне атмосфере. Та апсорпција може довести до увећања масе и до 7%. Предност је висока отпорност на пузање. Настају екструдирањем после кога долази прање и неутрализација влакана и на крају намотавање и паковање. Карактеристично су жуте боје.



Слика 10: Арамидна влакна [11]

4.3 Композити грађени од слојева

Композити грађени од слојева или структурни композити су састављени од хомогеног и композитног материјала чија својства не зависе само од својстава конструкционих материјала, већ и од њиховог распореда у композиту.

Две најчешће групе на које се могу поделити структурни композити су:

- ламинарни композити и
- сендвич конструкције.

4.3.1 Ламинарни композити

Ламинарни композити представљају материјал састављен од слојева повезаних у целину. Може да садржи најмање два слоја, а број слојева зависи од захтева датог композита. За карактеристике композита је веома важан распоред и оријентација слојева један у односу на други. Тај распоред уствари одређује његова својства.

Ламинарни композити се састоје од:

- врло танких превлака, од различитих материјала за различите функције које се наносе на основни материјал,
- дебљих заштитних површина,
- биметала,
- ослојених метала и
- ламината и влакнасто ојачаних композита у облику танких слојева.

Израђује се са циљем да се:

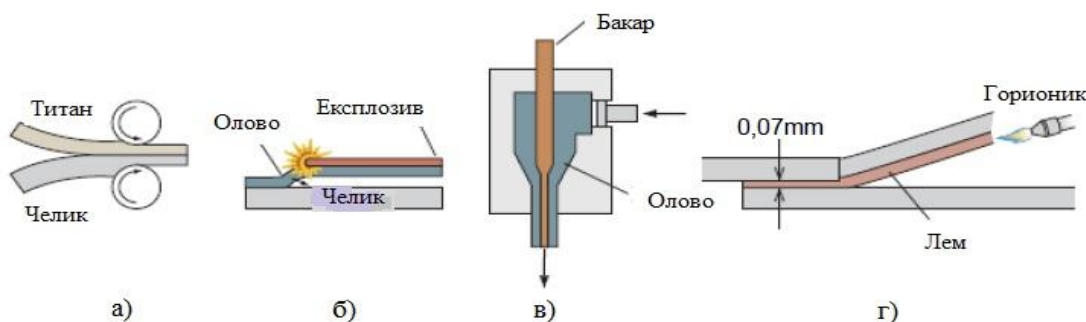
- повећа отпорност на корозију,
- повећа абразивна отпорност,
- повећа чврстоћа влакнасто ојачаних композита у више равни,
- обезбеде различити коефицијенти линеарног ширења.

Предности ламинарних композита:

- потребна велика енергија удара за стварање оштећења,
- непропустљивост,
- ниски трошкови производње.

Недостаци ламинарних композита:

- већи трошкови производње,
- тежи су у односу на сендвич конструкције,
- мања отпорност на увијање,
- отежана рециклажа.



Слика 11: Шематски приказ техника за израду ламинарних композита:
а) ваљање; б) експлозивно заваривање; в) извлачење; г) тврдо лемљење [12]

Технолошки поступци добијања ламинираних композита приказана је на слици 11. То су ваљање, екструзија, лемљење, заваривање експлозијом итд.

4.3.2 Сендвич конструкције

Сендвич конструкције (панели) представљају један вид структурних композита. Састоје се од два спољашња слоја високе чврстоће а мале дебљине између којих је налази језгро. Спољашњи слојеви трпе већа оптерећења изазвана попречним савијањем. Израђују се најчешће од алуминијума. Језгро служи да раздвоји спољашње слојеве и да пружи отпор на деформације и смицање. Има облик пчелињег саћа и производи се од стаклених влакана, арамидних влакана и папира које повезује епокси смола.

Предности сендвич конструкција:

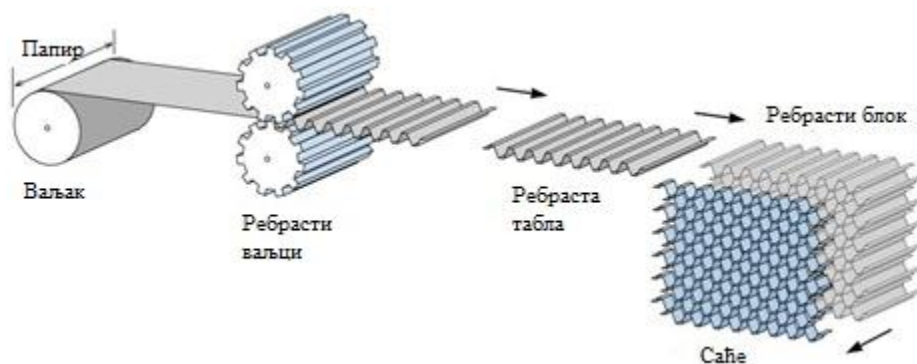
- мала оштећења на површинским и подповршинским слојевима се лако уочавају,
- добра отпорност на увијање,
- најповољнији однос чврстоће и тежине,
- добро термоизолационо средство.

Недостатци сендвич конструкција:

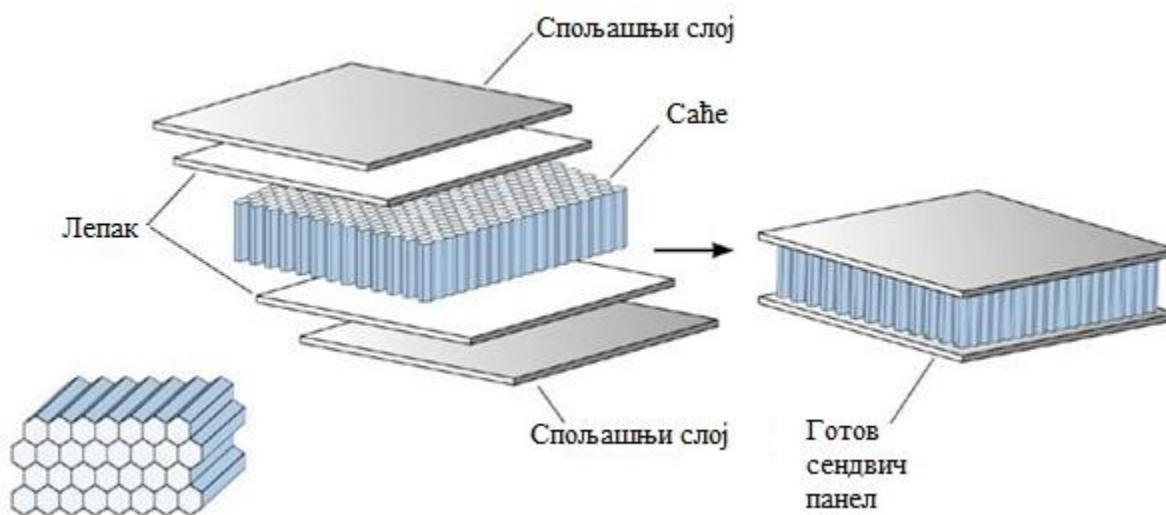
- могућност протока течности након оштећења,
- оштећења се јављају и код малих удара.

- поправке заптивањем су теже изводљиве,
- високи трошкови производње.

На слици 12 је приказан процес производње саћа а на слици 13 готов сендвич панел.



Слика 12: процес производње саћа



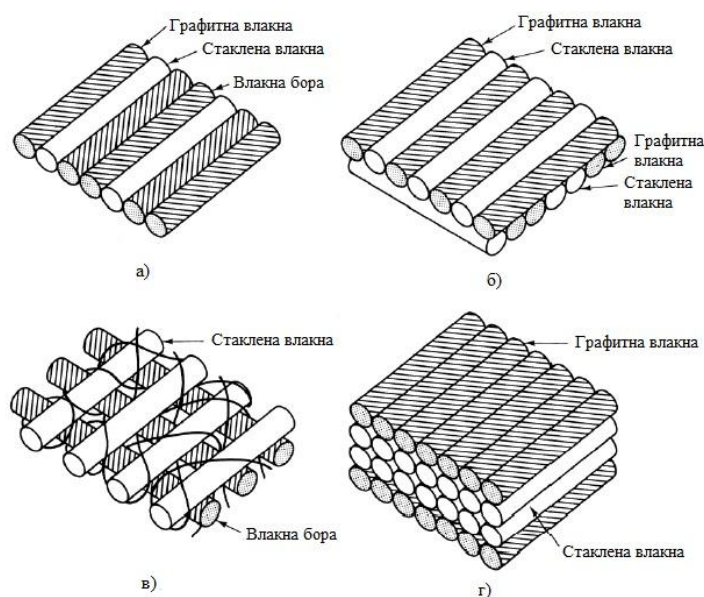
Слика 13: Сендвич панел

4.4 Комбиновани (хибридни) композити

Хибридни композити се добијају комбинацијом две или више врсте влакана за ојачавање у једној матрици. Предност ових композита је знатно боља комбинација својстава у односу на композите ојчане само једном врстом влакана.

За добијање ове врсте композита могу се комбиновати разне врсте влакана и матрица али најчешће коришћен композит је са полимерном матрицом и угљеничним и стакленим влакнима.

Шема хибридних композита приказана је на слици 14.



Слика 14: Хибридни композити (предавање 10б)

5. Подела композита на основу матрице

Тип матрице директно утиче на структуру композита од које зависе физичко-механичка, хемијска, динамичка, термичка, електрична, магнетна и друга функционална својства.

Матрице могу бити металне (ММС), полимерне (РМС) или керамичке (СМС). Карактеристични материјали који се најчешће користе као матрице:

- Метали: Al, Ti, Cu, Mg легуре, суперлегуре итд.
- Полимери: полиестерске смоле, винилестерске смоле, епоксидне смоле, PA, PP, ABS, PPS, PEEK, PEI итд.
- Керамике: Al₂O₃, SiC, ZrO₂ итд.

Матрица код влакнасто ојачаних композитних материјала служи да:

- међусобно повезује влакна,
- делује као посредник који преноси и распоређује спољашња оптерећења на влакна,
- заштити влакна од механичких оштећења и хемијских утицаја средине,
- спречи ширење кртог лома од влакна до влакна.

Основна својства представљена упоредно дата су у табели 1.

Табела 1: Упоредна својства материјала [13]

Својства	Метали	Полимери	Керамике
Густина (Mg/m ³)	2-16	1-2	2-17
Температура топљења (°C)	200-3500	70-200	2000-4000
Топлотна проводљивост	висока	ниска	средња
Топлотна растегљивост	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

5.1 Композити са металном матрицом

Код ове врсте композита матрица је сачињена од метала, тако да је самим тим обезбеђено повећање радне температуре. За израду матрице најчешће се користи алуминијум, титан, бакар, легуре магнезијума, суперлегуре и др (таб. 2).

Предности металних матрица:

- врло висока чврстоћа и крутост уз врло малу густину,
- висока топлотна и електрична проводљивост,
- ниска топлотна деформација,
- врло добра отпорност на хабање,
- добра својства на високим температурама.

Недостатци металних матрица:

- компликована производња,
- висока цена (падаће са ширењем примене),
- недовољно података о својствима материјала,
- недовољно смерница за конструисање,
- лоша рецикличност.

Табела 2: Примена композита са металном матрицом

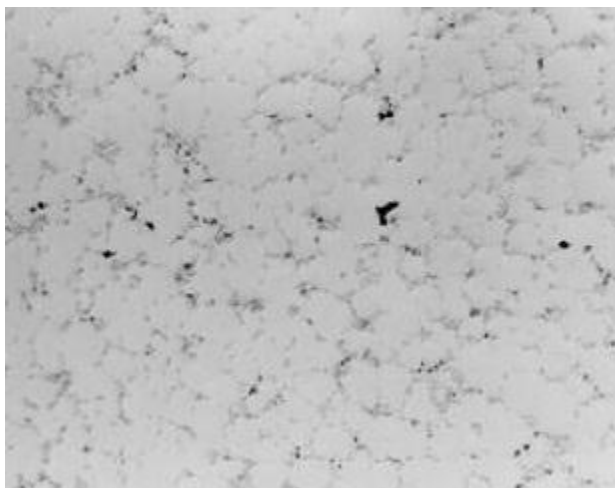
Влакно-матрица	Примена
Графит-алуминијум	За израду компоненти сателита, ракета и хеликоптера
Графит-магнезијум	Структуре космичких летилица и сателита
Графит-олово	Плоче акумулатора
Графит-бакар	За електричне контакте
Бор-алуминијум	За израду компресорских лопатица и носећих структура
Бор-магнезијум	За носеће структуре антена
Бор-титан	За израду лопатица фена млазних мотора
Al ₂ O ₃ -алуминијум	Суперпроводнички успоривачи у нуклеарним реакторима
Al ₂ O ₃ -олово	Плоче акумулатора
Al ₂ O ₃ -магнезијум	Конструкција преноса код хеликоптера
SiC-алуминијум, титан	За израду компоненти излжених високим температурама
SiC-супер легуре	За израду компоненти мотора излжених високим температурама

5.1.1 Матрица од алуминијумских легура

Матрице од алуминијумске легуре (АМС – Aluminium Matrix Composites) заузимају највећи удео на тржишти ММЦ материјала. Удео ове матрице у композиту иде и до 70%.

Матрица може да се ојача честицама (РАМС), вискерима или кратким влакнима (SFAMC), континуалним влакнима (CFAMC) или нешто дебљим нитима (MFAMC). Модул еластичности, чврстоћа, крутост, отпорност на хабање, снижавање се може повећати за чак 70% додавањем ојачања.

РАМС материјали се најчешће ојачавају керамичким честицама оксида, карбида или борида (Al_2O_3 , SiC или TiB_2) (сл. 15).



Слика 15: Алуминијум ојачан TiB_2 честицама

Од алуминијумске легуре ојачане Al_2O_3 честицама направљена је клипњача мотора. Има већу отпорност и механичка својства од челичне, маса јој је смањена за 42%. Клип и Хондин блок мотора су направљени од композита са матрицом од алуминијумских легура ојачане влакнима.

5.2 Композити са полимерном матрицом

Полимерни композити имају ниску цену израде и бројна механичка побољшања па из тог разлога представљају групу композита која се најчешће користи. Структура саме матрице утиче на хемијску и термичку отпорност композитног материјала а такође и утиче на механичка и физичка својства.

У зависности од тога које се промене спроводе у процесу прераде разликујемо:

- термопластичне и
- термоумрежавајуће (термореактивне) полимерне матрице.

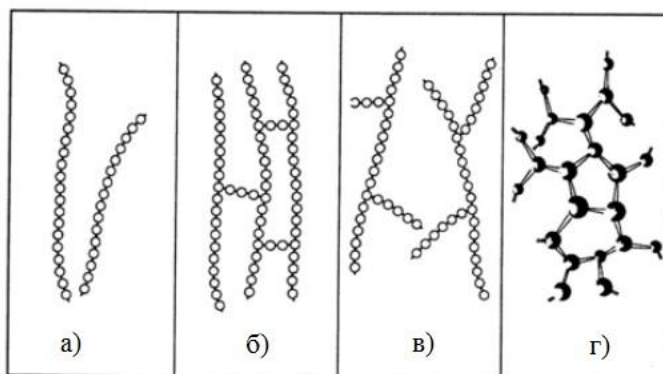
Структура полимера се састоји од малих молекула (мономера) који образују дугачке ланце који се називају макромолекули.

Ови ланци органског порекла могу да имају $10000-10000000g/mol$ молекуларну масу. У првобитном стању при производњи или преради полимери су пластични, тј. могу се пластично обликовати, а пре коначном облику су крути.

Осим тога што се користе за израду матрица, полимери се могу користити и као ојачивачи у облику влакана или честица.

Физичке карактеристике полимера не зависе само од молекуларне масе и облика, већ и од разлике у структури самих ланаца. Постоје неколико различитих молекуларних структура полимера (сл.16):

- линеарни,
- попречно везани,
- разгранати,
- умрежени.



Слика 16: Структура полимера: а) линеарни; б) попречно везани; в) разгранати; г) умрежени [13]

Линеарни полимери (сл. 16а) су они код којих се понављају јединице, односно удружују заједно на крају ланца. Ови дуги ланци су флексибилни и могу се посматрати као маса шпaгeтa, где сваки круг на слици представља јединицу која се понавља. За линеарне полимeрe карактеристичнe су Van der Waals везе и водоничнe везе између ланаца. Неки важнији полимeри са линеарном структуром су полиeтилeн, поливинил хлорид, полистирен, полиметил метакритил, најлон и флуороугљеници. [13]

У **попречно везаним полимерима** (сл 16б) суседни линеарни ланци се спајају један са другим у различитим позицијама помоћу ковалентних веза. Процес попречног везивања се достиже или током синтезе, или помоћу нереверзибилне хемијске реакције. Обично је ово попречно везивање праћено додатком атома или молекула који су ковалентно везани за ланац. Многи гумени еластични материјали поседују овај тип везе. [13]

Разгранати полимери (сл. 16в) су синтетизовани тако да буду разгранати у страну где се ланци даље повезују са основним ланцима других молекула. Гране које се сматрају да су део основног ланца полимера, могу настати као резултат реакције са стране до којих долази током синтезе полимера. Ефикасност паковања ланца се смањује формирањем грана што резултује смањењем густине полимера. Полимери који формирају линеарну структуру такође могу бити и разгранати, нпр. високо густо полиетилен (HDPE) је примарно линеаран полимер, док је ниско густо полиетилен (LDPE) разгранат кратким ланцима. [13]

Умрежени полимери (сл. 16г) настају тако што мултифункционални мономери формирају три или више активних ковалентних веза, правећи тродимензионалну мрежу. Практично, полимери са веома јаким везама такође се могу сматрати умреженим полимерима. Овакви материјали имају веома добра механичка и термичка својства, а то су нпр. епоксиди, полиуретани и фенолформалдехиди. [13]

Између матрице и влакана мора да постоји чврст спој како код оптерећења не би дошло до одвајања. Разликујемо три врсте матрица:

- пластомерне матрице,
- дуромерне матрице,
- еластомерне матрице.

5.2.1 Пластомерне матрице

Пластомери су у индустрији један од најзаступљенијих полимера (90% производње) па су самим тим и пластомерне матрице незаобилазне. При високим температурама они омекшавају што олакшава даљу прераду. Из тог разлога производња пластомерних матрица је јефтина. Пластомерне матрице су отпорне на ударе и оштећења јер имају жилаву структуру.

Пластомерне матрице које се најчешће користе у индустрији су:

- полиамидне матрице,
- поликарбонатне матрице,
- полипропиленске матрице.

Свака од ових матрица се користи у зависности од тога каква је својства потребно задовољити.

5.2.1.1 Полиамидне матрице

Полиамиди (најлони) представљају врло често и на разне начине коришћен материјал у свакодневници. Свестраност полиамиду омогућавају његова врло повољна својства. Како својства произилазе из структуре материјала, полиамиди припадају групи кристалних пластомера. Аморфна подручија дају му еластичност а ламеларни кристали чврстоћу, крутост, отпорност на хабање, хемијску и топлотну постојаност.

Као и већина полимерних материјала, полиамиди имају веома висок ниво електроизолације.

Недостатак композита са полиамидном матрицом представља његова хигроскопност. То значи да ће након неког времена почети да упија влагу из околине што проузрокује смањење његових својстава.

Додавањем стаклених влакана у полиамидну матрицу повећава се чврстоћа, крутост, отпорност на топлотне деформације и абразивно трошење композита. Овакав композит има карактеристичну црну боју (слика 17).



Слика 17: Полиамид ојачан стакленим влакнима, држач резервног точка [4]

Друга врста композита са полиамидном матрицом су ојачана угљеничним влакнима. У односу на композите ојачане стакленим влакнима ови композити имају нешто нижу затезну чврстоћу и модул еластичности али знатно бољу специфичну затезну чврстоћу. Остала својства су скоро идентична, укључујући и боју.



Слика 18: Полиамид са угљеничним влакнима [4]

На слици 18 приказан је зупчаник направљен од полиамидне матрице ојачане угљеничним влакнима. Код израде оваквих зупчаника се употребљавају дугачка угљенична влакна због чега површина изгледа другачије него код осталих композита ојачаних овим влакнима.

5.2.1.2 Поликарбонатне матрице

Поликарбонати су група термопластичних полимера који у својим хемијским структурама садрже карбонатне групе. Поликарбонати који се користе у инжењерству су чврсти, жилави материјали, а неке врсте су оптички прозирне. Лако се обрађују, обликују и термоформишу. Због ових својстава, поликарбонати имају много примена.

Поликарбонат је издржљив материјал. Има високу отпорност на удар али малу отпорност на огреботине. Изузетно је прозиран за видљиву светлост, чак и више од неких врста стакала.

Најчешће се користи у електро индустрији због добрих изолационих карактеристика. Други највећи корисник поликарбоната је грађевинска индустрија, за куполаста, равна или закривљена застакљења.

Користи се још за израду CD-ова, фарова за аутомобиле, непробојних стакала, широког спектра амбалаже за течности (сл.19) и сл.



Слика 19: Балон направљен од поликарбоната [14]

5.2.1.3 Полипропиленске матрице

Композити са полипропиленском матрицом се најчешће ојачавају стакленим влакнима. При производњи оваквих композита мора се веома водити рачуна о адхезији између матрице и ојачивача јер у супротном неће бити постигнута одговарајућа чврстоћа и стабилност композита.

Полипропилен има добре механичке карактеристике и због тога има широку примену. Од њега се производе цеви, лабораторијско посуђе, контејнери, арматуре, кућишта итд. Може се производити у облику влакана која служе за израду вештачких тканина.



Слика 20: Конопац израђен од полипропиленских влакана [15]

5.2.2 Дуромерне матрице

Дуромери су полимери који се састоје од густо просторно умрежених макромолекула. Имају високу чврстоћу, тврдоћу и топлотну постојаност. Процес умрежавања почиње када су компоненте измешане при собној или при повишеној температури. Током умрежавања постоје течно стање, полу-умрежено и потпуно умрежено стање [4].

Најчешће дууромерне матрице које се користе су:

- полиестерске смоле,
- епоксидне смоле,
- винил-естерске смоле.

5.2.2.1 Полиестерске смоле

Ова смола се формира приликом обраде алкохола посебне намене. Основни материјал је полиестер. Да би се убрзао процес очвршћавања, користе се специјализовани растварачи и инхибитори. Зависно од тог где се примењује, може имати различиту структуру и својства. Додатни премаз такође побољшава карактеристике производа. Полиестерске смоле карактеришу ниска механичка својства и ниска цена због чега је материјал све популарнији.

Овакве смоле се активно користе у изградњи објеката, аутомобилској индустрији, бродоградњи и производном процесу spremника за хемијска једињења. Компоненте полиестера помешане са стаклом формирају једињење високе чврстоће.

Полиестерска смола се такође налази у саставу вештачког камена. Пластика произведена овом компонентом користи се у производњи прозора, туш кабина, преграда и декоративних елемената (сл.21). Ова врста смоле је лака за фарбање.

За разлику од епоксидне смоле, полиестерка има већу практичност. За стврдњавање није потребан посебан услов и температура. Рад са њима се не сматра дуготрајним а сам материјал је јефтинији.

Полиестер не емитује токсичне елементе, једноставан је за употребу а за рад са њим није потребно неко посебно знање. Недостатак производа од полиестерске смоле је запањивост.



Слика 21: Производ од полиестерске смоле [16]

5.2.2.2 Епоксидне смоле

Епоксид се односи на материјале синтетичког порекла. У свом чистом облику није погодан за употребу јер није у стању да самостално уђе у чврсто стање. За учвршћивање додаје се специјални учвршћивач у жељеној пропорцији.

За правилну употребу морате знати предности и недостатке епоксида. Смола овог порекла је веома цењена због својих карактеристика чврстоће. Отпорна је на агресивне хемикалије као што су киселине и базе.

Предности епоксидних смола укључују: умрено скупљање, велику отпорност на хабање као и одличну чврстоћу. Процес очвршћавања се одвија на широком распону температура али препоручени интервал је 18-25°C.

Ова врста смоле се користи како у индустрији тако и код куће. Опсег њихове примене постаје све шири захваљујући стварању нових композиција са оптималним својствима. Мешањем различитих врста епоксидних смола и очвршћивача може се добити финални производ са потпуно различитим карактеристикама.

Смоле епоксидног типа се првенствено користе као материјал за лепљење површина дрвета (сл. 22), коже, метала и других непорозних материјала. Такав састав је тражен у електроници, инжењерству и авијацији. Стаклена влакна, која се активно користе у грађевинарству, такође су израђена од епоксида. Смола се користи за хидроизолацију пода и зивода, споља и унутра. Готови производи од стаклопластике након брушења и додатне обраде су популани у уређењу ентеријера.

Неправилан избор количине учвршћивача негативно утиче на квалитет готовог производа. Пре свега, смањује се његова чврстоћа и отпорност на хемикалије.



Слика 22: Епоксидна смола коришћена за лепљење дрвета [17]

5.2.2.3 Винил-естарске смоле

Винил-естарске смоле се производе реакцијом између епоксидне смоле и незасићене монокарбоксилне киселине. У суштини они садрже базу од полиестерске смоле ојачане епоксидним молекулима у кичми молекуларног ланца. Користе и пероксиде за очвршћавање.

У широком опсегу вискозности, винил-естри су на средини између полиестера и епоксидних смола, пре додавања стирена. Проређивање утиче на обрадивост и чврстоћу-смањује чврстоћу али олакшава четкање и прскање.

Винил-естри су толерантнији на истезање од полиестера. То их чини способнијим да апсорбују ударе без штете. Мање су осетљиви на утицај околине (температуру и влажност) од полиестера.

Ове смоле имају широку примену када је битнији квалитет од високе цене. Најчешће се употребљавају за делове аутомобила, фасаде зграда, као ојачања мостова, у војним и ваздухопловним апликацијама итд.

5.2.3 Еластомерне матрице

Еластомерне матрице се највише примењују у аутомобилској индустрији. Чак 45% сваког пнеуматика садржи мешавину природног и синтетичког каучука.

Природни каучук се добија као млечна маса из одређене врсте гуменог дрвета. У тако добијену масу се додају киселине које очвршћавају материјал и избацују вишак непотребне воде. Синтетички каучук се добија као дериват нафте.

Композит настао мешавином ових каучука је мекан и лепљив а при нижим температурама тврд и ломљив па се као такав не може користити. Због тога му се додају адитиви који повезују молекуларне ланце у поступку вулканизације.

Производ таквог поступка је гума. Еластичан, савитљив и жилав материјал који има велику чврстоћу и отпоран је на абразију и бубрење. Зависно од врсте адитива, добија се гума постојана на ниским или високим температурама (зимска и летња гума).

5.3. Композити са керамичком матрицом

Керамика је као материјал отпорна на високе температуре и пузање. Недостатак керамике у односу на метал је што је она склона кртом лому.

Новим методама, код којих се честице или вискери једног керамичког композита уграђују у другу врсту керамике, добија се композит који има и до 10 пута већу ломну жилавост од обичних керамичких материјала. Честице или вискери спречавају напредовање пукотине.

Код композита ојачаних керамичким вискерима успоравање се постиже заобљавањем врха пукотине, премештавањем пукотине и апсорпцијом енергије током затезање.

Предност вискерима ојачаних керамика у односу на неојачане је и знатно мање расипање чврстоће материјала. Осим тога, тако ојачани керамички композити изузетно су отпорни на појаву пузања и термичке шокове настале наглим температурним променама.

Керамички материјали имају широку примену. Користе се за израду грађевинске опеке, црепова, санитарних уређаја, алата за сечење метала, ватросталних облога ложишта, ветробрана и стакала возила, свећица мотора (сл. 23), магнетним меморијс, сензора и др.



Слика 23: Свећица аутомобила са керамичком изолацијом [18]

6. Добијање композитних материјала

6.1 Добијање композита са металном основом

Композити се могу добити на два начина, примарним и секундарним поступцима.

Примарни поступци представљају синтеровање материјала матрице и ојачивача. Материјал је такав да се ојачивач уграђује у матрицу тамо где је неопходно и у одговарајућим количинама и на тај начин се стварају потребне везе.

Секундарни поступци представљају све остале поступке којима се примарни композит перађује у финални производ. Зависно од коначног облика, састава, жељеног својства и начина производње могу се паралелно користити оба поступка.

Добијање композита зависи од више фактора и то од:

- начина инфилтрације фазе ојачивача,
- према врсти ојачивача,
- према облику фазе ојачивача.

Одабир поступка производње зависи од механичких карактеристика и хемијског састава матрице и ојачивача. Да би избор поступка производње композита био оптималан морају се добро познавати термодинамички процеси, радна температура и могућа реакција између матрице и ојачивача.

Компатибилност између матрице и ојачивача није увек могућа па је пре саме производње композита потребно прилагодити њихова својства. Са друге стране код неких композита веза је слаба па се мора ојачати. Ојачавање се постиже одговарајућим површинским обрадама, превлакама ојачивача или прилаагођавањем састава матрице.

Композитни материјали са металном матрицом се могу добити:

- металургијом праха,
- поступцима у чврстом стању,
- ливењем притиском,
- ливењем у получврстом стању,
- инфилтрацијом метала под ниским притиском,
- спреј поступком и
- брзим очвршћавањем.

6.1.1 Металургија праха

Металургија праха или прашкаста металургија је технологија производње конструкцијских и других делова од металних прахова. При томе се одвијају два поступка:

- компактовање - збијање металног праха у жељени облик и
- синтеровање - повезивање честица праха у чврсту масу.

Механичка својства производа су углавном једнака а у неким случајевима и боља од производа истог хемијског састава израђена резањем струготине, ваљањем или ковањем. Производи настали методом металургије праха имају малу површинску храпавост и велику тачност димензија.

У овој металургији се најчешће користе прахови челика, алуминијума и гвожђа. Поред њих користе се још и прахови бакра, легура бакра, суперлегуре на бази никла и кобалта, ватроотпорни материјали (молибден и волфрам) као и карбиди метала.

Предности металургије праха су:

- масовна производња делова без додатне обраде скидања струготине,
- тачније димензије делова него код ливења,
- равномерна ситнозрнаста микроструктура,
- могу се обликовати метали тешко обликовани другим поступцима,
- губитци матријала су мали,
- могућност израде производа од смеше међусобно нетопливих метала,
- аутоматизацијом се постиже велика производност.

Недостатци металургије праха су:

- висока цена опреме и алата,
- скупи прахови,
- проблеми при складиштењу прахова (корозија, опасност од пожара),
- ограничени облици који се могу производити.

6.1.2 Поступци у чврстом стању

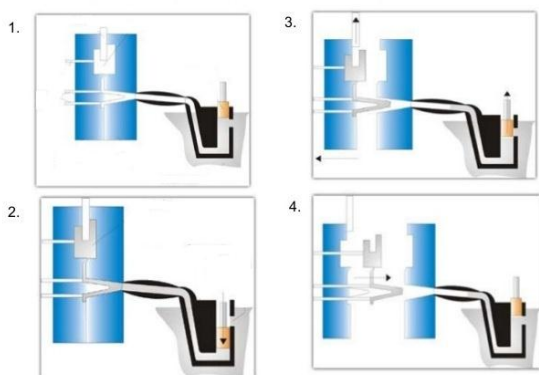
Ови поступци се одвијају при нижим температурама, где постоји могућност боље контроле термодинамичких процеса. Главни поступци за добијање композита у чврстом стању су дифузионо спајање материјала у облику танких слојева и синтеровање.

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 дифузионо спајање на повишеној температури и високом притиску.

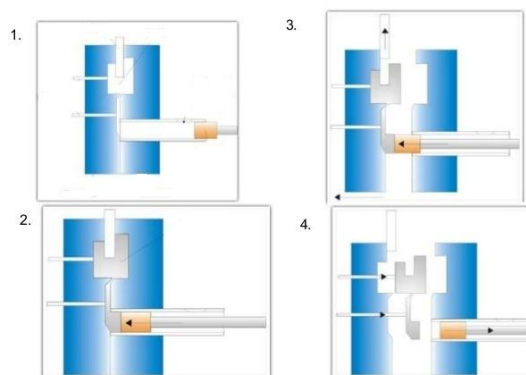
Степен дифузије мора бити ограничен због могућег пораста нежељених кртих фаза на контактної међуповршини. Један од начина ограничавања дифузије је истискивање слоја влакана и матрице кроз алат. Такође се може применити и топло ваљање, при чему се деформације морају ограничити како би се спречило померање влакана ојачивача и избегла оштећења.

6.1.3 Ливење притиском

Ливење притиском или калупно ливење представља поступак код кога се растопљени материјал под великим притиском убризгава у одговарајући калуп. Калуп се састоји од две спојене матрице. Већина одливака се израђује од обојених метала, најчешће цинка, бакра, алуминијума, магнезијума, олова и легура на бази калаја. Зависно од тога који се метал лије, користе се машине са топлом (слика 24) и хладном комором (слика 25).



Слика 24: Ливење под притиском у топлој комори



Слика 25: Ливење под притиском у хладној комори [19]

Калупови за ливење представљају велики финансијски издатак па је овакав вид производње рентабилан једино у серијској производњи. Само ливење под притиском је једноставан процес и састоји се из четири фазе.

Најчешће коришћене легуре за ливење под притиском су: цинк, алуминијум, магнезијум, бакар, олово и калај.

6.1.4. Ливење у получврстом стању

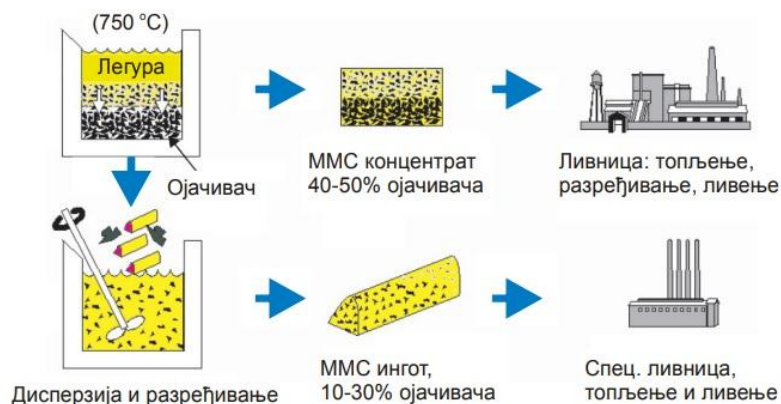
Ливење у получврстом стању је поступак где се метална основа у фази процеса у којој се одвија инфилтрација ојачивача у металну основу налази у получврстом стању. Овај поступак добијања композитних материјала је сличан ливењу мешањем, са том разликом што се честице мешају у метал који је получврст. Потребно је снажно мешање 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 ове врсте ливења.

6.1.5 Инфилтрација метала под ниским притиском

Инфилтрација метала под ниским притиском је поступак, власништво АМ LANXIDE-а, познат под различитим заштићеним именима. Првим развијеним поступком композити се производе инфилтрацијом слоја честице 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 производи са својствима композита која могу задовољити одговарајуће специфичне намене. Новијим поступком производи се материјал који се каније може претапати и користити у ливницама за производњу делова од алуминијумског ММС-а. Поступак обухвата инфилтрацију алуминијума у масу керамичких честица за ојачање (сл. 26)[20].



Слика 26: Шема производње ММС-а инфилтрацијом [20]

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.

Овим поступком метална легура се топи индуктивним загревањем и излива у загрејаној посуди (сл.27). Растоп тече кроз излаз на дну према гасном распршивачу. Гасни млаз велике брзине распршује метал у ситне капљице које се снажно убризгавају 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 претходних облика и
- директно укључивање ојачивача у припадајућу матрицу [20].



Слика 27: Шематки приказ спреј поступка [20]

6.1.7 Брзо очвршћавање

На величину зрна композита добијених ингот технологијом може утицати растојање између честица, ако је пораст зрна онемогућен сударањем честица. Код метала осетљивих на пораст зрна као што је магнезијум, коначна величина зрна понекад је превелика, што погоршава механичка својства материјала. Због тога се при развоју низа инжењерских легура користио поступак брзог очвршћавања (сл.28) за постизање жељене микроструктуре.

Микроструктура ових легура карактерише се:

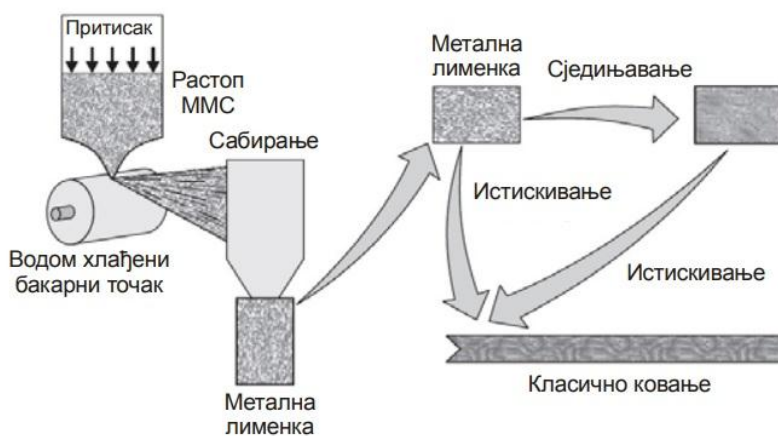
- уједначеним саставом,
- уситњеним микросаставним елементима,
- високим степеном презасићености и
- задржаним метастабилним фазама.

Три су начина коришћења брзог очвршћавања у производњи композита:

- атомизација,
- добијање трака и
- добијање листића

Последњи начин је најперспективнији јер довољно велика брзина очвршћавања омогућава добијање листића дебљине око $40-60\mu m$. Листићи добијени овим начином широки су и дугачки $6-8mm$ и имају мали однос површина/запремина. Листићи се могу директно сјединити у композитни производ без даље промене величине.

Траке захтевају даљу обраду ради смањења њихове величине што може довести до запрљаности и оксидације [20].



Слика 28: Поступак брзог очвршћавања [20]

6.2 Добијање композита са полимерном основом

Влакнима ојачани композити полимерне матрице могу се произвести различитим методама, од којих су најчешће: намотавање, ливење, ПТМ поступак, напрскавање, ручно полагање, инфузија слоја смоле и др.

6.2.1 Намотавање

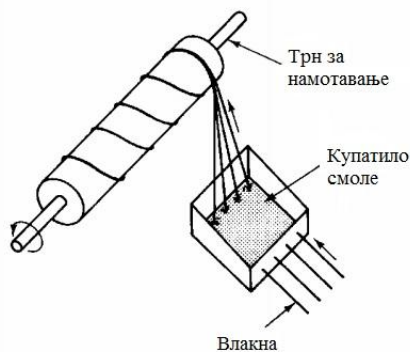
Намотавање представља врло једноставан поступак код кога се ојачана влакна намотавају око ротирајућег језгра и очвршћују како би се добило шупље тело. Овај процес се одвија на посебно дизајнираним машинама. Машине које имају и до шест степени слободегибања омогућавају различите врсте намотавања као и брзину и угао намотавања, температуру смоле и напрегнутост влакана.

Влакна се намотавају око језгра све док се читаво не прекрије. Након тога се, у зависности од жељених карактеристика, намотавају следећи слојеви под различитим угловима. Угао намотавања се мења у односу на осу језгра.

Зависно од угла намотавања разликујемо:

- ободно намотавање (под углом од 90°) и
- вијчано намотавање (под осталим угловима).

Поред поделе у односу на угао, намотавање можемо поделити и на суво и мокро намотавање. Код мокрог намотавања влакна пролазе кроз купку (сл. 29) од смоле а ако су влакна импрегнирана слојем смоле онда је то суво намотавање. Најчешће се примењује суво намотавање, мада су процеси врло слични.



Слика 29: Мокро намотавање влакана [21]

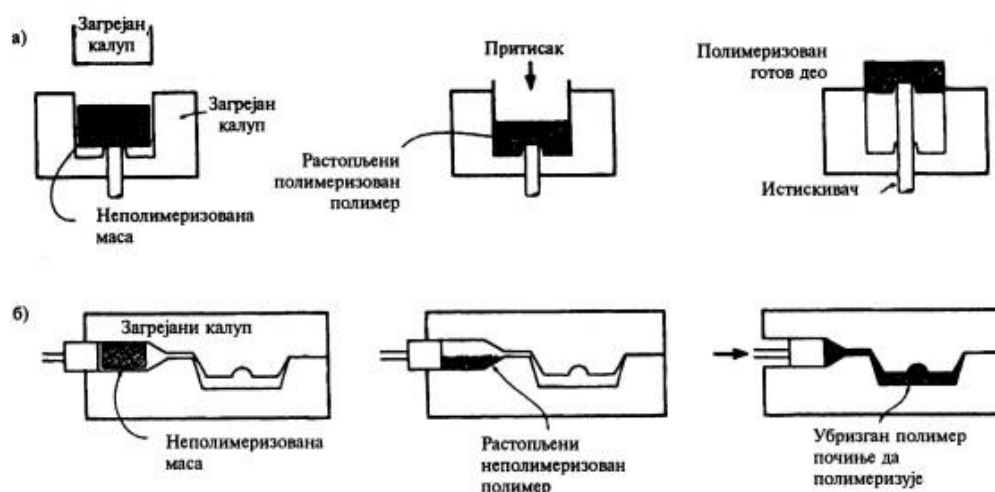
6.2.2 Ливење

Постоје различите врсте ливења композита са полимерном матрицом. Најчешће коришћени поступци су:

- ливење под притиском и
- ливење преношењем.

Ливење под притиском (пресовање) (сл. 30а) се изводи тако што се полимер у чврстом стању убацује у загрејан калуп. Због великог притиска и високе температуре полимер се топи, попуњава шупљине и поприма облик калупа.

Ливење преношењем (сл. 30б) изводи се у двоструким коморама. У првој комори се полимер загрева и доводи у течно стање након чега се убризгава у другу у којој добија коначни облик.



Слика 30: Ливење композита: а) ливење под притиском
б) ливење преношењем [22]

6.2.3 ПТМ поступак

Код ПТМ поступка ливења, полимерна смола се под млазом улива у калуп и распоређује око ојачивача. Након полимеризације услед загревања, калуп се уклапа и добија се готов производ.

Овом методом се могу лити епоксидне, полиестерске, винилестерске и фенолне смоле а као ојачивачи користе се разна влакна.

Предности ПТМ поступка:

- велики запремински удео ојачивача,
- ниски садржај ваздуха,
- добри радни услови,
- могућност аутоматизације процеса,
- одличан изглед завршне површине.

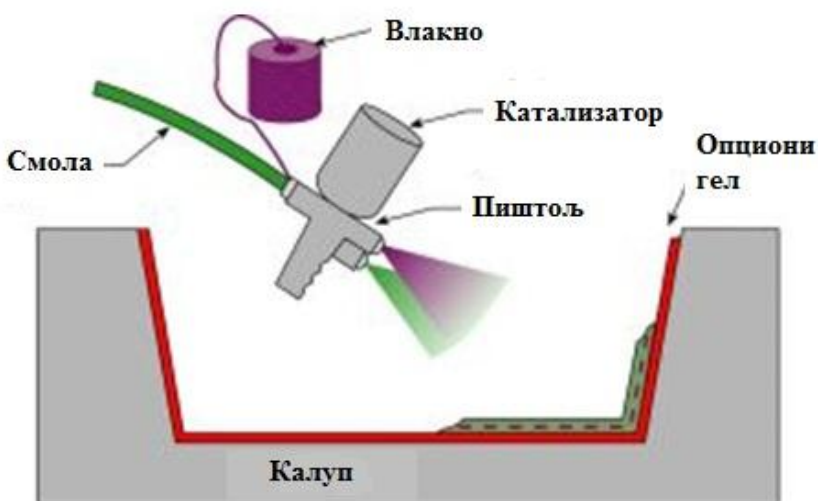
Недостаци су:

- веома сложени и велики алати,
- висока цена алата,
- ограничење на производе малих димензија.

6.2.4 Напрскавање

Ручно напрскавање (сл. 31) се изводи тако што се калуп прво обложи једним слојем па се специјалним пиштољима наноси истовремено и основа (полиестерска смола) и влакна (најчешће стаклена). Влакна се исецају у самом пиштољу.

Сам поступак је јефтин па је самим тим погодан за велике радне предмете. Из разлога ручног наношења овај поступак није погодан за веће серије.



Слика 31: Поступак напрскавања [23]

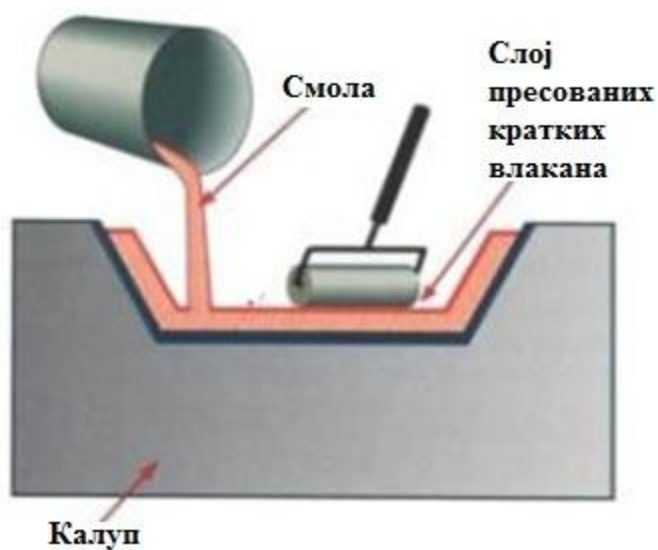
Предности поступка напрскавања су: широка примена поступка дужи низ година, јефтин поступак и мали трошкови израде алата.

Недостаци овог поступка су: садржај веће количине смоле, користе се само кратка и сечена влакна, мала вискозност смоле која штети механичким и топлотним својствима.

6.2.5 Ручно полагање

На обложен калуп се прво наноси слој пресованих кратких влакана (најчешће стаклених) а након тога основа (полиестерска смола). Након тога се смола ручно ваља ваљком (сл. 32).

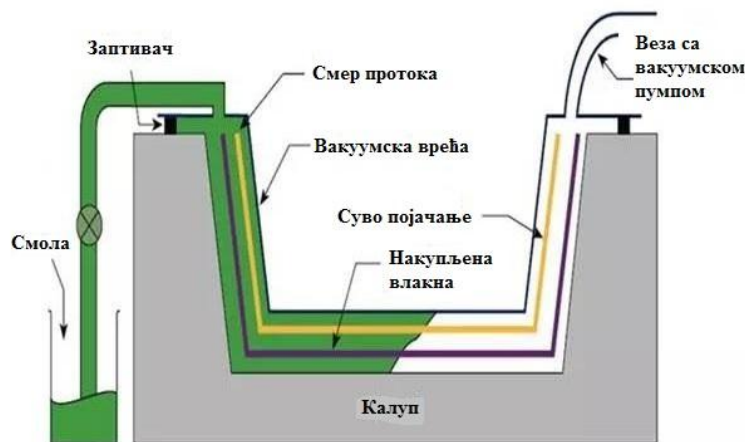
Као и напрскавање, поступак је погодан за велике радне предмете као што су чамци, базени и слично али искључиво у малим серијама.



Слика 32: Поступак полагања [23]

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 чега следи загревање чиме се смола доводи у текуће стање и даље испуњава простор између ојачања. Приказ поступка дат је на слици 33.



Слика 33: Шематски приказ инфузије слоја смоле [24]

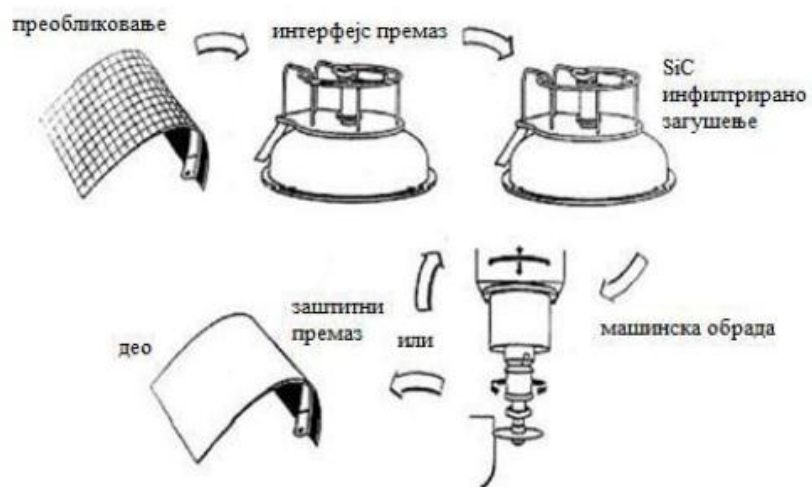
6.3 Добијање композита са керамичком основом

Поступци који се користе при добијању композита са керамичком матрицом су:

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

6.3.1 ЦВД напаривање

Хемијско напаривање је хемијски процес који се користи за проиводњу 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.



Слика 34: Поступак ЦВД намотавања

7. Примена композитних материјала

Обзиром да се композитни материјали све више производе и усавршавају, очекивано је да ће се њихова примена проширити на већи асортиман производа (сл. 35). Раније се у приручницима само укратко спомињала употреба у ваздухопловству. Код пројектовања авиона траже се материјал са повољним односим чврстоћа-тежина. Чврстоћа у комбинацији са малом тежином резултује мању потрошњу горива. Ово је изузетно важно у производњи авиона, свемирских летилица и аутомобила.

Ваздушна и копнена возила нису једини производи који имају корист од повољног односа тежина-чврстоћа. Изолација електричних водова мора бити лагана а опет довољно чврста да поднесе напрезање код затегнутости између стубова. Ако се користе класичне методе ојачања смањује се проводљивост. Зато се поступак са челичним нитима у језгру кабла боље решење. Ова комбинација доприноси већој проводљивости при истој тежини по јединици дужине.

Композити се најчешће примењују у:

- аутоиндустрији,
- поморству,
- војној индустрији,
- авиоиндустрији,
- геађевинарству,
- воденим спортовима,
- стоматологији итд.



Слика 35: Примена полимерних композита у САД 2001. године

7.1 Примена композитних материјала у аутоиндустрији

Примена композитних материјала у аутоиндустрији је постала незамењива. Готово је немогуће замислити аутоиндустрију без њихове употребе. Најчешће компоненте возила у којима се примењују композити су:

- каросерија,
- екстеријер,
- ентеријер,
- елементи испод поклопца мотора и др.

7.1.1 Каросерија

У овој групи углавном се употребљавају епоксидне смоле ојачане стакленим или угљеничним влакнима. Каросерија од полимерних композита у данашње време је популарна међу супер аутомобилима који уз изузетне спецификације и најбоље перформансе често одузимају дах својом појавом. Висока чврстоћа, висока тврдоћа, уз изузетно малу масу најбитнија су својства за такву врсту каросерије. Трошкови израде овакве каросерије су веома велики, па се зато употребљава само у возилима којима су таква својства битна, дакле у спортским аутомобилима намењеним за трке, обезбеђују убрзање, брзину и поузданост. Прави пример је аутомобил Lexus LFA који има каросерију коју чине 65% полимерни композити на бази епоксидне смоле ојачане угљеничним влакнима (сл.36). Тим потезом, каросерија је олакшана за 100kg што је изузетно велика бројка [4].



Слика 36: Каросерија Lexus LFA [4]

Нешто јефтинија варијанта каросерије, а опет изузетно добрих и сличних својстава као и угљеничним влакнима ојачана, је стакленим влакнима ојачана епоксидна смола. Код модела Audi R8 (сл. 37) употребљена је управо та врста композита али је маса смањена нешто мање него код Lexus-a, само 31,5kg [4].



Слика 37: Каросерија Audi R8 [4]

7.1.2 Екстеријер

Кад је екстеријер у питању, првенствено се мисли на бранике, поклопце мотора, врата и остале облоге које се могу видети на аутомобилима. На Corvetti Stingray из 2014. (сл. 38) смањена је маса употребом композит полиамида ојачаних угљеничним влакнима на поклопцу мотора, делова крова, блатобранима, браницама као и заштитним деловима шасије. Тиме је смањена маса за 30% а јасно је да смањење масе увек значи већу искоришћеност, мању потрошњу горива којег има све мање. Исто тако примећено је како су зазори између блатобрана и браника мањи, што значи да је производња прецизнија.



Слика 38: Corvetti Stingray [4]

Иако се чини да су полимерни композити релативно скупа технологија за примену у свакодневним аутомобилима, Ford је својим прототипом за модел Focus (сл. 39) доказао да ће таква врста материјала с временом бити устаљена и у аутомобилима за шири круг купаца. Истраживањима је доказано да ће употребом композитног поклопца мотора постићи већу сигурност путника и пешака у случају незгоде. Исто тако смањењем масе, пропорционално се смањила потрошња горива што значи да су захтеви задовољени и да идеја неће остати на прототипу.



Слика 39: Ford-ов поклопац мотора ојачан угљеничним влакнима [4]

Као што је био случај код каросерије, постоји и јефтинија верзија делова екстеријера ојачана стакленим влакнима, која је нешто лошијих својстава од делова ојачаним угљеничним влакнима па је складно томе и нижа цена. Упркос томе маса је и даље нижа него код истих делова произведених од металних материјала. Први разлог увођења композита је свакако маса а на масу се надовезује и постојаност на корозију. Она аутоматски повлачи јефтиније одржавање и нема потребе ни за каквим премазима.

7.1.3 Ентеријер

У претходном поглављу описана је употреба композита за израду спољашњег дела врата аутомобила, па исто тако постоје унутрашњи делови врата произведени од полипропиленске матрице ојачане стакленим влакнима. Маса је смањена уз боља својства затезне чврстоће. Битна ставка је и постојаност при вишим температурама, будући да су модерни аутомобили испуњени електроником, па зато често кроз делове врата иду различите електричне инсталације. Из разлога сигурности материјал мора бити постојан при високим температурама. Будући да су панели врата вричвршћени вијцима за спољну оплату врата, обрађена је пажња и на тај сегмент. Приликом причвршћивања вијцима

панел се не оштећује. Отклањањем тог проблема, нестао је и проблем с неугодним звуковима приликом неправилног подешавања вијака. На слици 40 приказана је унутрашња оплата врата за Chrysler Jeep Liberty израђен од полипропилена ојачаног стакленим влакнима. Овим производом је фабрика Faurecia interior systems номинована за награду у области иновација.



Слика 40: Унутрашња оплата врата за Chrysler Jeep Liberty [4]

Природна влакна су у садашњости највећу примену пронашла управо у ентеријеру аутомобила. Претежно се употребљавају влакна лана и конопље у комбинацији са полипропиленском и полиамидном матрицом. Зависно од жеља купаца и цене аутомобила могућа је и комбинација наведених матрица с дрвним брашном. Таква верзија унутрашњих оплата врата је нешто јефтинија и има задовољавајућа својства за ту примену. Заправо су све унутрашње оплате израђене управо од таквог композита. Наравно, посебна клијентела има на располагању и угљеничним влакнима ојачане матрице које уз изузетно малу масу нуде и егзотичан изглед који је заправо најчешћи разлог производње таквих панела.

Шкољке седишта неких аутомобила зависно од опреме такође су израђене од композита ојачаног влакнима. На пример, у Opel Insigniji OPC (сл. 41) шкољка седишта је израђена од полиамида ојачаног стакленим влакнима, чиме је постигнута 45% мања маса него код модела са обичним седиштима. Композит је изузетно чврст па је захваљујући том својству дебелина зида само 2mm. Споменута седишта су добила сертификат организације независних стручњака за здравље леђа AGR.



Слика 41: Седиште Opel Insigniји OPC [4]

7.1.4 Елементи испод поклопца мотора

Испод поклопца мотора налази се много делова за које се углавном сматра да су пластични а заправо је један део њих направљен од полимерних композита. Пример је поклопац главе мотора код Audi A8, израђен од полиамида ојачаног стаклним влакнима. Примарна функција поклопца главе мотора је заштита главе мотора.

Испод поклопца мотора крије се и кутија довода ваздуха која такође може бити од полипропилена ојачаног стакленим влакнима чија је примена до 120°C. Отпорна је на хемикалије, добро подноси вибрације и мале је масе. Постоји и верзија са угљеничним влакнима, али угљенична влакна се углавном користе због естетике. Употребљава се и полипропилен у комбинацији са влакнима конопље и од њега се претежно праве чепови за антифриз, уље (сл. 42) и средства за прање стакла и фарова.



Слика 42: Чеп од полипропилена ојачан влакнима конопље [4]

7.2 Примена композитних материјала у поморству

Захваљујући знању као и примени висококвалитетних материјала, а посебно врхунских технологија развијених у склопу војних програма, све више се то знање и вештине са војних преливају у цивилни сектор, па и на област бродоградње.

Ако прихватимо тврдњу да је челик и заштитни слој од оксидације композит грађен од слојева, онда је то сигурно најзначајнији композит који се примењује у поморству.

У свету постоји велики број пловних објеката од полиестерске или епоксидне смоле ојачане стакленим влакнима. То су прво била спортско-рекреативна пловила а данас се гради све више туристичких и привредних пловних објеката од овог материјала, дакле композита са влакнима. На слици 43 приказан је туристички чамац са кабином направљен од полипропилена.



Слика 43: Чамац са кабином [25]

Код израде средстава за спасавање: чамци, сплавови, колуту и појасеви за спасавање (сл. 44), данас се искључиво користе композити израђени од стаклопластике (смоле ојачане влакнима) и слојасти текстилни материјали пуњени пенопластима.



Слика 44: Прслук за спасавање [26]

За крај треба споменути и да су лагане спољне цеви платформи за подморска бушења такође израђене од композитних материјала па се данас може бушити на дубинама до 300m захваљујући управо тим материјалима од пластичне масе ојачане влакнима.

7.3 Примена композитних материјала у војној индустрији

Композитни материјали су доказали своју употребљивост у високим технологијама, и њиховим даљим усавршавањем њихова примена је све шира 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:

- војно ваздухопловство,
- ракетни системи и техника,
- наменска индустрија,
- композитни барути.

7.3.1 Војно ваздухопловство

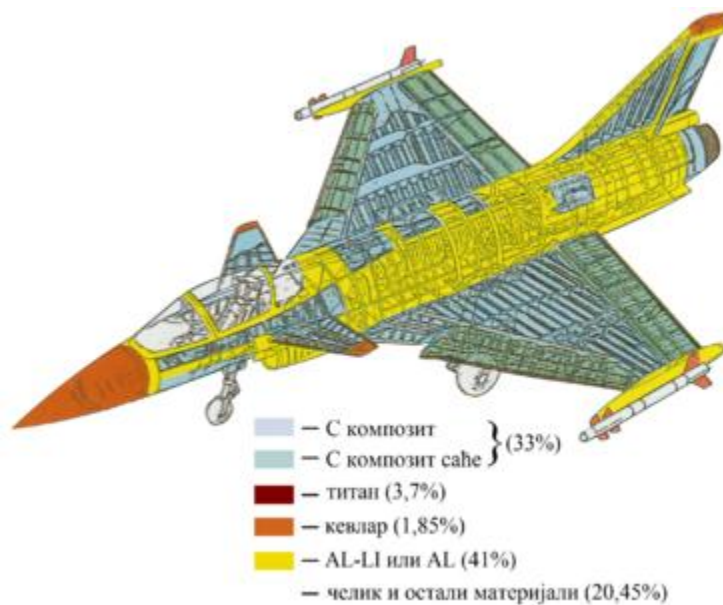
Композитни материјали су доказали своју употребљивост у високим технологијама употребљеним при конструисању и изради борбених авиона као што су: F-117A, F-18, V22, F35 Stealth Fighters, као и B-2 Bomber.

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 (сл. 45).

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 недостатака. 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 скувих машина које се користе у процесу производње. Поређења ради, насупрот

композитима, алуминијум се лако производи и поправља, док се браници од композитних материјала углавном после удеса морају заменити.



Слика 45: Примена композитних материјала код борбених авиона [27]

На примеру В-2 Spirit бомбардера (невидљивог) (сл. 46), 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.



Слика 46: В-2 Spirit бомбардер [28]

Употреба композитних материјала на војним авионима највише је одмакла на америчком ловцу нове генерације F-35 (сл. 47). Процена је да је готово две трећине летелице направљено од композитних материјала. Поред мање масе, летелица има и смањени радарски одраз.



Слика 47: Борбени авион F-35 [29]

A400M-Atlas је четворомоторни турбо-пропелерски транспортни авион. Процењено је да 20% структуре ове летелице која је први пут полетела 2009. године израђено од напредних композитних материјала.

7.3.2 Ракетни системи и техника

Композитни материјали су нашли широку примену у области ракетних система и ракетне технике. Како овај вид констукције треба да има велики домет веома је бита конструкција самих ракета. Предност композитних материјала је њихова мала маса у односу на чврстину па су идеални за ове врсте конструкција.

Ракетни системи који у својој конструкцији имају композитне материјале а користе се у Војсци Србије су:

- ракетни систем „Шумадија“,
- ракета „Панцир“,
- РБР М90 Стршљен,
- ПАСАРС,
- ракетни систем „Огањ“ и др.

Против-авионски самоходни артиљеријско ракетни систем (ПАСАРС) (сл. 48) је систем који је први пут приказан 2016. године као прототипски модел. На овом систему композитни материјали су коришћени како у ентеријеру тако и у екстеријеру. Унутрашњост кабине је обложена полимерним композитима (смоле ојачане влакнима). Са спољашње стране преко армоксних плоча (које ткође представљају композитни материјал) премазује се посебна врста смоле у комбинацији са материјалима од винила. Овакав композитни материјал повећава отпорност плоча на пушчана зрна.



Слика 48: Возило ПАСАРС

7.3.3 Наменска индустрија

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

Застава М21 је савремена јуришна пушка која се производи у фабрици наменских производа Застава оружја у Крагујевцу (сл. 49). При њеној производњи користе се композитни материјали од којих је направљен оквир и замењени дрвени делови који су присутни код ранијих модела заставиних оружја.



Слика 49: Пушка марке Застава М21 [30]

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.

Холографски нишани (сл. 50) јесу врста неувеличавајућих рефлексних нишана који функционишу као трансмисиони холограми. Најчешће се израђују од квалитетних

композитних материјала, или алуминијумске легуре, што их чини лаганим и прилично отпорним на ударце.



Слика 50: Холографски нишан од композитних материјала [31]

Заштитна опрема војника је у великој мери направљена од композитних материјала. Ту спадају маске за заштиту лица и респираторних органа од хемикалија, дима, органских честица и сл., панцири, шлемови, наочари, штитови и др (сл. 51).



Слика 51: Заштитна опрема од композитних материјала

7.3.4 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.

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.

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.

Слика 52 представља композитни барут одговарајуће гранулације.



Слика 52: Композитни барут [32]

7.4 Примена композитних материјала у ваздухопловству

Авиони се већином израђују од метала, углавном алуминијума и његових легура. Данас се, међутим, стручњаци радије опредељују за композитне материјале засноване на угљеничним влакнима.

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

Појавом „Boing 777“ (сл. 53), авиона који је у својим структурним деловима садржао велике површине од композитних материјала, стечена су нова искуства. Од тада се, у цивилном сектору, композитни материјали користе у великој мери за израду важних делова структуре авиона, чиме се постиже уштеда у маси летелице.



Слика 53: Boing 777 [33]

„Airbus A380“ (сл. 54) је пројектован тако да су његова крила већим делом израђена од композитних материјала, чиме се остварује уштеда горива од готово 17% у поређењу са сличним авионима.



Слика 54: Airbus A380 [34]

У сталној потрази за новим решењима у пројектовању летилица, конструктори су често ограничени на тренутно доступне материјале. Открићем композитних материјала заснованих на угљеничним влакнима, конструктори су добили материјал чији је један од важних параметара изузетна чврстоћа и постојаност из велике уштеде масе – до 20% у

поређењу са до сада коришћеним материјалима. Код војних летилица, применом композитних материјала постижу се боље маневарске способности.

Цивилни сектор је касније увидео предности композитних материјала. Али, висока цена горива и повећана еколошка освешћеност довели су до тога да су велики светски произвођачи летилица почели да користе предности употребе композита. Нижа маса летилице утиче на смањење потрошње горива а самим тим и на емисију издувних гасова. Захваљујући својству да пластична структура захтева мање спојева помоћу закивака, долази до побољшавања аеродинамичких својства и смањује трошкове производње.

Почетком деведесетих „Boing“ је, у сарадњи са „Bell“-ом, развио летилицу која комбинује предност хеликоптера у погледу вертикалног полетања и слетања са брзином класичног авиона са турбо-пропелерском погонском групом. Модел је назван „V-22 osprey“ (сл.55). Удео композитних материјала у његовој градњи износи 50%. Летилица је 2007. године ушла у употребу у војсци САД. До данас је произведено 107 примерака.



Слика 55: V-22 osprey [35]

Компанија „Airbus“ је на летилицы „A380“ крила израдила применим композитних материјала. Овај летећи цин се данас може упоредити само са својим знатно мањим „колегом“ „Boing-ом 747“ у односу на кога има готово 17% нижу потрошњу горива при чему има већи максимални долет за готово 700km, а на том растојању може да превезе скоро 300 путника више. Несумњиво је да су композитни материјали коришћени у изради ове летилице један од фактора нижих оперативних трошкова.

На пољу војних летилица, „Airbus“ ради на пројекту транспортног авиона „A400M Atlas“ (сл. 56). Ова велика четворомоторна летилица је намењена војним корисницима као платформа за скакање падобранаца и транспорт материјала. Процене су да је око 20% структуре ове летилице, која је први пут полетела децембра 2009. године, израђено од напредних композитних материјала.



Слика 56: „A400M Atlas“ [36]

7.5 Примена композитних материјала у воденим спортовима

Развој полимерних материјала довео је до радикалних промена у дизајнирању и конструкцији бродова и остале опреме за водене спортове. Две, вероватно најважније промене које су увели полимерни материјали биле су у погледу смањења трошкова и повећању однос чврстоће наспрам масе. Промене су почеле с применом трупа брода ојачаних стакленим влакнима, а даљи развој обухватио је велики распон полимерних материјала који укључују угљенична и армидна влакнима, ојачане материјале и круте пене. У воденим спортовима композитна влакна се најчешће користе код опреме за:

- пливање,
- спортски риболов,
- сурфовање на води,
- трке чамаца и др.

7.5.1 Опрема за пливање

Данас пливање у спортском контексту се не може замислити без напредних материјала, који су углавном полимерни композити. Најбољи доказ колико модерни материјали утичу на резултате у спортовима, овде се то односи на пливање, је податак да је у раздобљу између 2008. и 2009. године у ери полиуретанских (ПУР) одела постављено више од 200 светских рекорда. Будући да су крајем 2009. године од актуелних светских рекорда само два постављена пре 2008. године и то рачунајући и женску и мушку конкуренцију заједно, постало је упитно колико заправо резултат зависи од самог пливача, а колико од напретка материјала који се примењује у изради пливачке опреме. То је

довело до тога да је међународно пливачко управно тело забранило употребу пливачких одела на бази полиутерена, што је означило повратак „обичних“ текстилних одела.

Високо технолошке пливачке тканине су научно напредни материјали који се употребљавају за израду купаћих костима у такмичарским воденим спортовима као што је пливање и триатлон. Материјали који се употребљавају су „ликра“ што је комерцијални назив за поли(естер-уретански) каучак (АУ), полиамид (ПА) и полиуретан (ПУР) који имају својство смањења отпора између пливача и воде. Материјал има својства која омогућују повећање клизања пливача кроз воду (опонашајући кожу морских животиња) и смањење упијања воде у поређењу с уобичајеним оделима. Неке компаније тврде да њихове тканине смањују отпор и више од отпора који настаје између коже пливача и саме воде. Да би постигли што боље резултате дизајнирана су такмичарска одела која покривају руке и ноге. Пример таквог пливачког одела је Fastskin на слици 57.



Слика 57: Пливачко одело Fastskin LZR [37]

7.5.2 Опрема за спортски риболов

Полимерни композитни материјали се примјењују у спортском риболову и то за израду риболовачких кајака, бродова и наравно за израду рибарских штапова. Рибарски штапови се израђују од стаклених влакана (ређе за примену у спорту) и угљеничних влакана која служе као ојачања, док се за матрицу употребљавају различите смоле, од којих најчешћу примену имају епоксидне смоле. Употребом стаклених влакана добијају се риболовачки штапови који су релативно јефтини, не захтевају одржавање, имају просечну масу и добру чврстоћу.

Угљенична влакна се чешће употребљавају за израду риболовачких штапова за примену у спорту. Угљенична влакна састоје се од дугих чврсто испреплетених ланаца угљеничних атома. Неколико хиљада влакана се увијају и тако праветворе пређу (конац),

који се може користити у том облику или се може исткати тканина. Густина угљеничних влакана је знатно мања од густине челика што их чини погодним за израду врло лаганих производа.

Добри риболовачки штапови (сл.58) генерално говорећи имају високи модул еластичности, високу чврстоћу и средњи удео влакна у композиту. Угљенична влакна су флексибилна, мале масе, незапаљиве, поседују високу хемијску постојаност и добру топлотну и електричну проводљивост.



Слика 58: Риболовачки штапови од карбона [38]

Бродови за риболов израђују се од композита ојачаних стакленим влакнима, док се за матрицу примењује дрво или нека смола (епоксидна-винил-естерска смоле дају најбоља својства). Бродови за риболов разликују се у уделу дрво/стаклена влакна у композиту. Тим композитом се израђују само одређени делови као што су састави греда или палуба. Дрво садржи влагу па се зато може ширити и сужавати што након одређеног времена може довести до одвајања ламинатне структуре. Зато су неки произвођачи, као што је Triton Boats, у потпуности избацили дрво из употребе (сл. 59). Дрво је замењено с језгром од полиуретана, који се за разлику од дрвета не разграђује, хемијски се вежу са стакленим влакнима и на њега не утичу климатске промене. Предност им је и у томе што су такви композити лакши и чвршћи од већине ламината са дрво/стаклена влакна.



Слика 59: Triton чамац за риболов [39]

7.5.3 Даске за сурфовање на води

Сурфовање на води је спорт у којем је циљ „вожња“ на таласима према обали, уобичајно користећи даску за сурфовање. Сурфовањем на води први су се бавили становници Хаваја и Полинезије. У 20. веку спорт се је проширио на Калифорнију и Аустралију, а након тога и на остатак света.

Даске за сурфовање се производе од структурног композита. Све даске за сурфовање примењују платно од стаклених влакна, а тип конструкције се обично одређује према врсти смоле и пене која се употребљава.

Даске за сурфовање се данас производе с одвојивим кобилицама (сл. 60), што омогућује да свака особа може изабрати кобилицу с карактеристикама које им одговарају.



Слика 60: Даска за сурфовање са кобилицом [40]

7.5.4 Чамци за трке

Материјали који се употребљавају за израду чамаца, као и већина материјала за спортску употребу, слични су као и материјали који се користе у ваздухопловној и свемирској индустрији. Сви произвођачи чамаца примењују исте композитне материјале, разлика је начину употребе тих материјала и њиховој количини у самом производу. Структурни интегритет чамца осигурава спољашњи танак слој који се израђује из слојева

композитне тканине као што су: угљенична влакна, стаклена влакна или арамидна влакна (познат под именом Кевлер).

Угљенична влакна се најчешће употребљавају за израду спортских чамаца, због својег односа чврстоће наспрам масе. Угљенична влакна су јача ако су израђена из једног дела што веће дужине. Што је дужи једноделни део то је завршна конструкција чвршћа. У различим деловима чамца се употребљавају различита угљенична влакна зависно од захтева које морају задовољити. Зато се врло мала, густо плетена угљенична влакна због своје савитљивости и способности да уђу у наборе примењују за скучена места као што је сам крај прамца или крме. Део који се налази у средини састоји се од влакна која су усмерена у једном смеру, што ламинат чини изразито крутим у једном смеру [41].

8. Закључак

У сталном истраживању материјала који би били мале густине, а да поседују велику издржљивост на различите врсте оптерећења и да поседује адекватну вредност модула еластичности, учињени су многи напори који су довели до технолошког развоја савремених материјала. Те критеријуме су испунили композитни материјали. Предност композита је та што се код њих најчешће користе најбоља својства саставних материјала и често се постижу такве карактеристике које саставни материјали појединачно уопште не поседују. Такође, предност композитних материјала, у односу на класичне материјале, је висока вредност специфичне чврстоће и специфичног модула, што доприноси изради делова знатно мање масе, а то је веома важно тамо где је маса делова од великог значаја.

Истраживања у области композитних материјала имају за циљ да побољшају структурне, термичке, хемијске или неке друге карактеристике појединих материјала или да се израде предмети који имају оптималан однос производне цене и захтеваних карактеристика, чиме би се значајно снизила цена готовог производа.

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 микровлакна ојачивача и њихово заједничко деловање које ће досадашње 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 али су такође и допринели да се ова врста материјала све више уводи и у цивилну употребу.

Оно што је на крају важно истаћи је да не постоји један универзални материјал за који можемо рећи да је најбољи већ да одређену намену постоји одговарајући материјал.

Литратура:

- [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://ironlady003.wordpress.com/2014/05/12/kompozitni-materijali/>
- [4] http://repozitorij.fsb.hr/6239/1/%C5%A0poljar_2016_Diplomski%20rad.pdf
- [5] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/sumfak%3A1946/datastream/PDF/view>
- [6] <https://spravljanjebetona.com/2014/01/24/mikro-armirani-beton/>
- [7] <https://uradi-sam.rs/vune/staklena-vuna-5cm--18m2.html>
- [8] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Fibreoptic.jpg>
- [9] <https://cen.acs.org/materials/inorganic-chemistry/s-fiberglass-does-delicate-material/96/i38>
- [10] <https://geek.hr/znanost/clanak/znanstvenici-proizvode-ugljicna-vlakna-iz-biljaka-umjesto-iz-nafte/>
- [11] <http://ba.cnweavingmachine.com/info/aramid-kevlar-cloth-weaving-machine-31281716.html>
- [12] https://nastavnimaterijalvtz.files.wordpress.com/2018/12/predavanje_kompozitni_materijali.pdf
- [13] <https://uvidok.rcub.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/3100/Doktorat.pdf?sequence=1>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Polycarbonate_water_bottle.JPG
- [15] <https://www.navidiku.rs/firme/polipropilen>
- [16] <https://icansew.ru/wp-content/uploads/2019/62859.jpg>
- [17] <https://epoksi.shop/epoksi-smola-za-livenje-epoxy-sto-sa-riverom-i-vodopadom/>
- [18] <https://mlfree.com/sta-sve-mora-da-izdrzi-svecica/>
- [19] <https://www.slideshare.net/miroslavastevanovic/livenje-ukratko>
- [20] <http://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/3652/Disertacija.pdf>
- [21] https://nastavnimaterijalvtz.files.wordpress.com/2019/10/glava_14_2.pdf
- [22] <https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/05/plasticni-materijali/>

- [23] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Kompozitni%20materijali/pred%207%20ojacani%20>
- [24] <http://www.planeta.rs/49/10aeronautika.htm>
- [25] <http://www.mojaladja.com/forum/index.php?topic=1358.0>
- [26] <https://eshop.navodi.com/prodavnica/brodaska-spasilacka-oprema/prsluk-za-spasavanje-30-40kg/>
- [27] <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8>
- [28] <https://aviationtrivia.info/northrop-grumman-b-2-spirit.php>
- [29] <https://californiacapitalairshow.com/usaf-f-35-lightning-ii-demo-fb/>
- [30] <https://www.zastava-arms.rs/automatska-puska-m21/>
- [31] <http://ba.sabertacticalsupply.com/dot-sight/holographic-sight/holographic-red-dot.html>
- [32] <https://www.pinterest.com/pin/831054937460533133/>
- [33] https://eo.wikipedia.org/wiki/Boeing_777
- [34] <https://edition.cnn.com/travel/article/airbus-a380-birth-and-death/index.html>
- [35] https://en.wikipedia.org/wiki/Bell_Boeing_V-22_Osprey
- [36] https://www.wikiwand.com/en/Airbus_A400M_Atlas
- [37] <https://www.newitts.com/speedo-fastskin-lzr-pure-intent-openback-kneeskin>
- [38] <https://www.sportskiribolov.co.rs/spro-forcepro-tele-60-rs>
- [39] <https://www.wiedasmarine.com/inventory/v1/2019/Triton-Boats/Aluminum/Bass-Aluminum/17-TX/Base---10906711?format=print>
- [40] https://www.suncandan.rs/user/camci-na-naduvavanje/daska-za-surfovanje-aqua-marina-vapor/67_3590_233536_1_0_0/item.jsp
- [41] http://repozitorij.fsb.hr/4775/1/Leljak_2015_zavrsni_preddiplomski.pdf