

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



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Конструкција пројектила и упаљача

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 544/2012

Никола З. Станојевић

КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ У АУТОМОБИЛСКОЈ ИНДУСТРИЈИ

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. др Нада Ратковић – ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране:_____

Оцена:_____

Резиме

Композитни материјали данас представљају алтернативу конвенционалним материјалима. Композитни материјали поседују добра својства чврстоће и специфичне крутости по чему су и познати. Технички посматрано, добијање композитних материјала је релативно скупо пошто нема серијске производње ове врсте. Користе се у аутомобилској индустрији због својих изразитих својства, као и због захтева аутомобилске индустрије.

У раду је објашњено шта су композитни материјали и структура композитних материјала. У наставку је приказана подела композитних материјала према врсти матрице, односно подела према врсти ојачивача.

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

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

Кључне речи: композитни материјал, матрица, ојачивач, аутомобилска индустрија, влакна.

Abstract

Composite materials today are an alternative to conventional materials. Composite materials have good properties of strength and specific stiffness, as they are known. Technically speaking, the production of composite materials is relatively expensive since there is no serial production of this kind. They are used in the automotive industry due to their distinctive properties, as well as due to the demands of the automotive industry.

The paper explains what composites materials are and the structure of those materials.

The type of composite and their characteristics which are more favorable than the characteristics of certain materials are described

In the conclusion, examples of composite materials in the automotive industry are illustrated.

Keywords : composite materials, matrix, hardener, automotive industry, fibers.

У оквиру овог рада кандидат треба да опише композитне материјале, а то подразумева детаљан приказ и аналогију структуре композита, основних карактеристика, општу и појединачну поделу композитних материјала, врсте матрица и ојачивача. Затим треба да представи поступке производње композита. Такође треба да наведе примену композита са посебним освртом на аутомобилску 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 2017.

Ментор:
др Нада Ратковић, доцент

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
3.1. Подела композитних материјала	11
3.2. Композити са честицама	12
3.2.1. Примена композита са честицама	13
3.2.1.1. Бетон	13
3.2.1.2. Метални композит са честицама	14
3.2.1.3. Абразиви	14
3.2.1.4. Тврди метал	15
3.2.1.5. Електрични контакти	16
3.3. Композити ојачани влакнима	17
3.3.1. Матрице	18
3.3.2. Влакна	20
3.3.2.1. Материјал влакана	22
3.3.2.1.1. Стаклена влакна	22
3.3.2.1.2. Арамидна влакна	23
3.3.2.1.3. Угљенична влакна	24
3.3.2.1.4. Борна влакна	26
3.3.2.1.5. Керамичка влакна	26
3.3.2.1.6. Метална влакна	27
3.3.2.1.7. Дрвена влакна	27
3.3.2.1.8. Јутена влакна	28
3.4. Структурни композити	29
3.4.1. Ламинатне контрукције (ламинати)	29
3.4.2. Сендвич конструкција	30
3.5. Метални композити ММЦ	31

3.6. Полимерни композити ПМЦ	32
3.6.1. Полиестерске смоле.....	33
3.6.2. Винил естри	33
3.6.3. Фенолне смоле	34
3.6.4. Бизмалеимиди.....	34
3.6.5. Полиимидне смоле	34
3.6.6. Полиетеримид.....	35
3.6.7. Поликетони	35
3.6.8. Пластомери.....	35
3.6.8.1. Аморфни пластомери	35
3.6.8.2. Кристалинични пластомери	36
3.7. Керамички композити ЦМЦ	36
3.8. Угљеник-угљеник композит	37
3.9. Хибридни композити	38
4. Добијање композитних материјала	39
4.1. Добијање композита са металном основом	39
4.1.1. Металургија праха.....	39
4.1.2. Поступци у чврстом стању	40
4.1.3. Високотемпературска синтеза	40
4.1.4. Ливење притиском.....	41
4.1.5. Ливење у получврстом стању.....	41
4.1.6. Инфилтрација метала под ниским притиском	42
4.1.7. Физичко таложење из гасовите фазе	42
4.1.8. Спреј поступак	43
4.1.9. Брзо очвршћавање.....	43
4.2. Добијање композита са полимерном основом.....	44
4.2.1. Намотавање	45
4.2.2. Ливење	46
4.2.3. Пултрудирање	46
4.2.4. ПТМ поступак.....	47
4.2.5. Напрскавање.....	48
4.2.6. Ручно полагање	48

4.2.7. Препрег	49
4.2.8. Инфузија слоја смоле	50
4.3. Добијање композита са керамичком основом	51
4.3.1. ЦВД напаравање	51
4.3.1. Усмерена оксидација метала	52
4.3.2. Производња SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом	53
5. Примена композитних материјала	54
6. Примена композитних материјала у аутомобилској индустрији	55
6.1. Примена композита који се налазе у аутомобилској индустрији	59
6.2. Композити у данашњој аутомобилској индустрији	63
6.3. Стање индустрије композита за 2017. годину	65
6.4. Аутомобили израђени од композитних материјала	66
6.4.1. Аутомобили нове генерације од композитних материјала	68
7. Закључак	70
8. Литература	71

1. Увод

Композити су материјали састављени компонената, углавном као њихова мешавина, како би заједно имали нова својства, тј. она својства која сваки материјал сам не би имао. Састављени су из најмање два материјала (компоненте, фазе). 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 побољшивачи и њихов задатак је да побољшају хемијска и физичка својства (механичка, триболошка, електрична).

Побољшивачи који пре свега појачавају механичка својства (јачину, тврдоћу) називају се ојачивачи.

Још увек не постоји опште прихваћена дефиниција композитног материјала али се са 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, термичке, хемијске или неке друге карактеристике појединачних 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 калцијумових 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 (Roman cement – стари Рим, Portland cement – савремена Енлеска) омогућава израду најпре обичног бетона (честице песка и камена повезане цементом), касније армираног (ојачаног челичним жицама, сајлама, ...) 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 „Овенс Корнинг фиберглас“ (Owens Corning Fiberglass Company), почели да продају фиберглас заинтересованим странама у САД. Фиберглас је пронађен готово случајно 1930. године, када је неки инжењер био заинтересован влакнима која су формирана током процеса израде стаклених флаша за млеко.

Фирма „Овенс Корнинг фиберглас“ је основана 1935. године како би комерцијално искористила ову нову врсту влакнастих материјала. Јапанска компанија Нито Босеки (Nitto Boseki) 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

Крајем ратних напора многе компаније које су биле активне у производњи ратног материјала су суочене са важним проблемом. Било им је потребно да брзо препознају нове производе за које би искористили своју стручност у развоју. Компаније као што су Голдсворт Инжењеринг (Goldsworthy Engineering) су покушале да добију подршку од компанија које производе фиберглас које би “спонзорисале” неке пројекте чији би саставни делови били од фибергласа.

Повећана тражња за аутомобилима логичан захтев за композите. До 1947. године комплетно композитно тело (каросерија) аутомобила је направљена и тестирана. Овакав аутомобил је био поприлично успешан и довео 1953. године до развоја Корвете (Corvette) која је направљена помоћу фибергласне предформе које су импрегниране смолом и обликоване у металним калупима. Једна иновација која заслужује посебну пажњу је ауто-авион развијен од Конвер Еркафт компаније (Convair Aircraft Company). Конвер је сматрао да многи пилоти желе да наставе са летењем, али такође да комбинују са породичним аутом. Дакле Корвер је направио аутомобил-авион од потпуно композитне каросерије (због уштеде тежине) на коју је могуће прикачити посебан склоп крила. Крила ће бити на располагању за изнајмљивање на разним аеродромима, тиме дозвољавајући возачу-пилоту да изнајме склоп крила на једном аеродрому, одлети на одмор на следећи аеродром, тамо скину крила, и пут наставе возећи ауто. Прототипови су направљени и успешно демострирани, колико би то било повољно данас можемо само да нагађамо.

Неки од производа израђени у послератном периоду се сада појављују на великим тржиштима композитних материјала. Ово укључује каде и туш кабине, некорозивне цеви, делови апарата, контејнере и намештај.

Проналажена су нова влакна: бор влакна постају доступна од 1965. године, арамидна влакна – Келвар (Kelvar®) које комерцијално нуди фирма ДуПонт (DuPont) од 1971. године, влакна направљена од полиетилена крајње високе молекуларне масе (ultra high molecular weight polyethylene) су развијена почетком 1970. године. Ова влакна високих перформанси, заједно са стакленим и угљеничним влакнима, довели су до огромних промена у: авио-индустрији, 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.

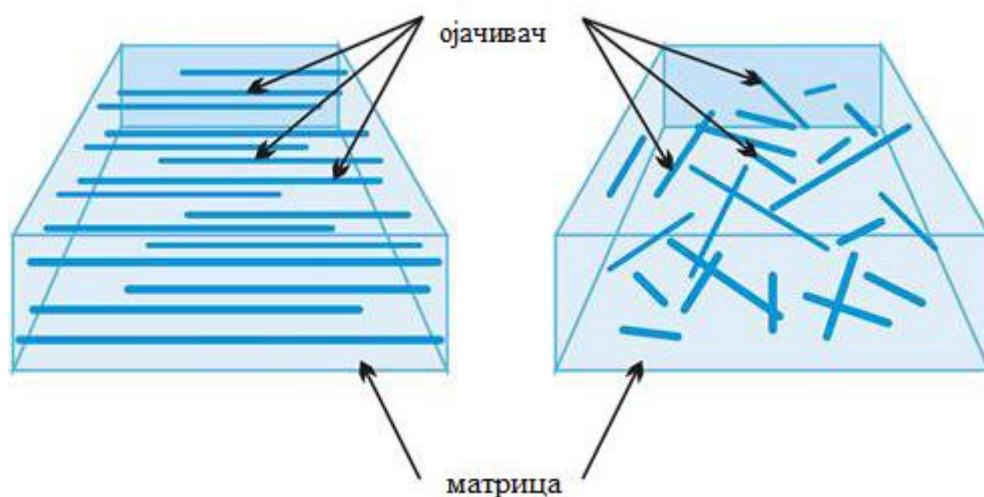
Данас је тржиште композита широко. Као што је недавно од стране СПИ Композит института (SPI Composites Institute), највеће тржиште је још увек у саобраћају (31%), али и грађевинским конструкцијама (19,7%), поморству (12,4%), електричној и електронској опреми (9,9%), уређајима широке потрошње (5,8%) и тд. Већина тржишта ће наставити да расте. Композити су насли своје место у свету и чини се да стекли свој удео на тржишту, посебно у производима који имају критичне перформансе.

3. Структура композитних материјала

Композитни материјали или укратко композити су вештачки спој два или више материјала различитих својства у циљу добијања таквих материјала који не поседује ни један од њих за себе. Таквим начином спајања постижу се боља својства као што су: крутост, чврстоћа, хемијска отпорност, тврдоћа, добро понашање на повишеним температурама [1].

Слика 1. приказује структуру композита који се састоји од :

- матрице и
- ојачивача.



Слика 1. Структура композита

Композите можемо поделити према врсти матрице и према врсти ојачања.

Понашање композита зависи од:

- својстава материјала матрице и ојачивача,
- величина и расподеле конституената,
- удела конституената,
- облика конституената,
- природе и јачине везе између конституената.

Предност композита у односу на друге материјале:

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

Недостаци композитних материјала:

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

3.1. Подела композитних материјала

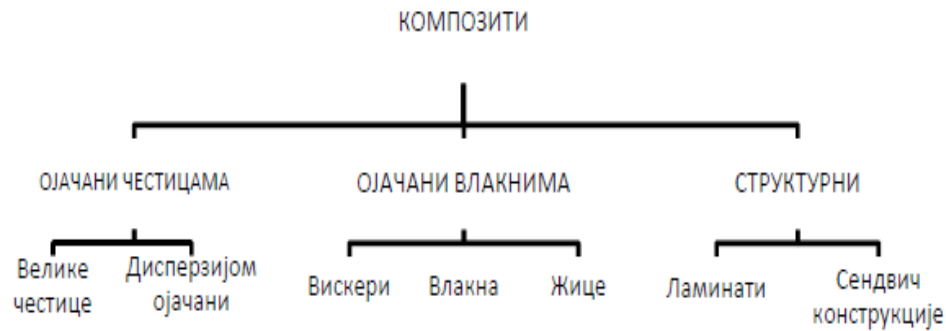
Композити према врсти матрице:

- метални,
- керамички и
- полимерни.

Ова подела се претпоставља на основу (матрице) композита, па тако постоје разне врсте композита који могу бити спој: метал-метал, метал-полимер, керамика-полимер, полимер-полимер, полимер-метал.

Композити према врсти ојачивача (слика 2):

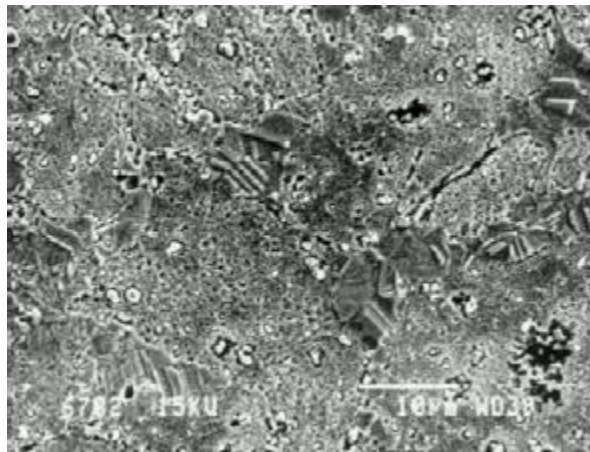
- Композити са честицама:
 - велике честице и
 - дисперзијом ојачани.
- Композити ојалани влакнима:
 - вискери,
 - влакна,
 - жице.
- Структурни композити:
 - слојевити композити (ламинати) и
 - сендвич конструкције.



Слика 2. Подела композита према врсти ојачања[1]

3.2. Композити са честицама

За ојачање композитног материјала могу се употребити не само влакна већ и тврде честице које су распоређене у меканој матрици (слика 3). Ова структура доста личи многим двофазним металним легурама. За уградњу дисперзионих честица, композити не користе фазну трансформацију [2].



Слика 3. Композит ојачан дисперзијом честица бор карбида B_4C , матрица је бакар

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 честица се креће до 15%, а за композите са великим честицама тај удео је већи од 20%.

Једна од најважнијих разлика између композита са честицама и оних са влакнима јесте у њиховој грађи. Композити са честицама односно њихова грађа (чврстоћа, крутост итд.) идентична су у свим смеровима, за разлику од композита са влакнима који често варирају због положаја влакна.

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

Својства дисперзијом ојачаних честица могу се побољшати:

- материјал који служи као дисперзија треба да буде оптималне величине, облика.
- дисперзирани материјал треба да буде мале растворљивости у материјалу матрице (нпр. Al_2O_3 не растапа се у алуминијуму, па је овај материјал ефикасан за легуру алуминијума, оксид бакра се на повишеним температурама топи у бакру, дакле $Cu - Cu_2O$ неће бити ефикасан),
- између матрице и дисперзованог материјала треба да постоји добра повезаност (слаба растворљивост материјала у матрици може допринети добрим и чврстим везама).

3.2.1. Примена композита са честицама

3.2.1.1. Бетон

Бетон је пример композита са великим честицама који се састоји од честица спојених цементом. Њега одликују керамичка матрица (релативно скупа) и додатне керамичке честице (релативно јевтина). Матрица која повезује честице назива се цемент (portland-cement), а као додатак се користи песак или шљунак, док је веза последица хемијске реакције између споменутог цемента и воде. Да би постигли оптималну чврстоћу и обликовање, 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.

Чврстоћа бетона се може повећати:

- ојачањем челичном „арматуром” – жицама ($d < 12mm$), шипкама ($d > 12mm$), мрежама и профилима. Арматура се поставља у бетон пре његовог очвршћавања,
- увођењем преднапрезања – челична арматура се поставља пре очвршћавања оптерећења (испод границе еластичности челика). Након што је бетон очвршћен армирање се демонтира [2].

3.2.1.2. Метални композит са честицама

Керамичке честице се додају металној матрици да би се постигле потребне карактеристике. Најчешће се као матрице користе Al легуре са додатком од 10% до 30% честица силицијумовог карбида (SiC) или честице алумунијум оксида (Al_2O_3) величине од $10 \mu m$ до $20 \mu m$. Ови композити су јевтинији, могу се заваривати, имају добра својства деформације (пластична деформација) и одвајање честица. Користе се за израду делова кочнице (слика 4), мотора, мењача моторцикла и аутомобила [2].



Слика 4. Пример метално композита са честицама [3]

3.2.1.3. Абразиви

Брусне (слика 5.) и резне плоче производе се од додатних, мањих или више ситних, врло тврдих честица алуминијум оксида (Al_2O_3), силицијум карбида (SiC) и бор нитрида (BN), повезаних стакленом или полимерном матрицом у чврсту плочу. Дијамантске честице су повезане металном матрицом. Код брусних и резних плоча морају и честице и матрице да буду добро узајамно повезане (како се честице оптерећене силама не би кидале

од матрице), тако да истрошене честице могу заменити нове честице из дубљи слојева плоче.



Слика 5. Брусна плоча [4]

3.2.1.4. Тврди метал

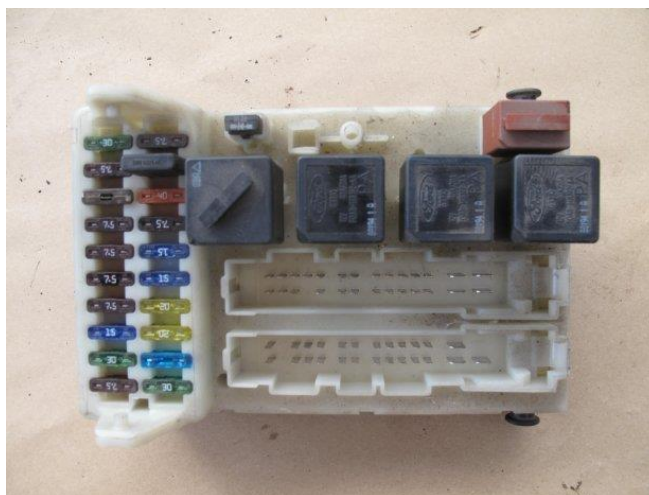
Тврди метали формирају чврсте керамичке честице распршене у металној матрици, на пример честице волфрам-карбида (WC) или честице кобалта (Co). Саме честице керамике су врло тврде али крте, па се од њих не могу израђивати плочице за обраду метала резањем. При изради волфрам-карбидних/кобалтних плочица за резање метала меша се прах волфрам-карбида (WC) и кобалта (Co). Формирана смеша се затим компресује у стаклене плоче које се затим греју изнад тачке топљења кобалта (Co). Хлађењем се добија коначан производ- тврда плочица (слика 6).



Слика 6. Плочице за обраду метала резањем [2]

3.2.1.5. Електрични контакти

Недовољно квалитетни електрични контакти (прекидачи) остварују лоше електричне контакте, греју се, варниче и троше. Због својих лоших особина електрични контакти се све више израђују од композитних материјала. Композит одговарајућег својства се формира са металном матрицом од сребра (Ag) која повезује метални адитив са честицама волфрама (W). У производњи електричних контактних делова, прво се под притиском на високој температури, израђују плочице од волфрама (W). Плочице се затим урађају у сребро (Ag) који попуњава поре (слика7) [2].

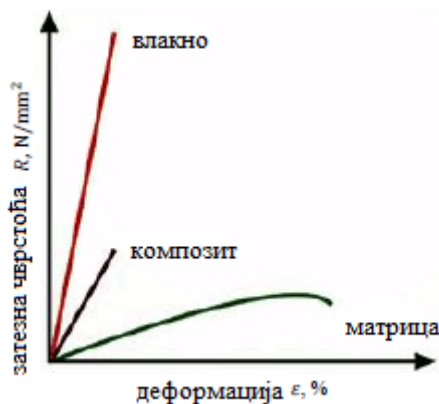


Слика 7. Приказ релеја [5]

3.3. Композити ојачани влакнима

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

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

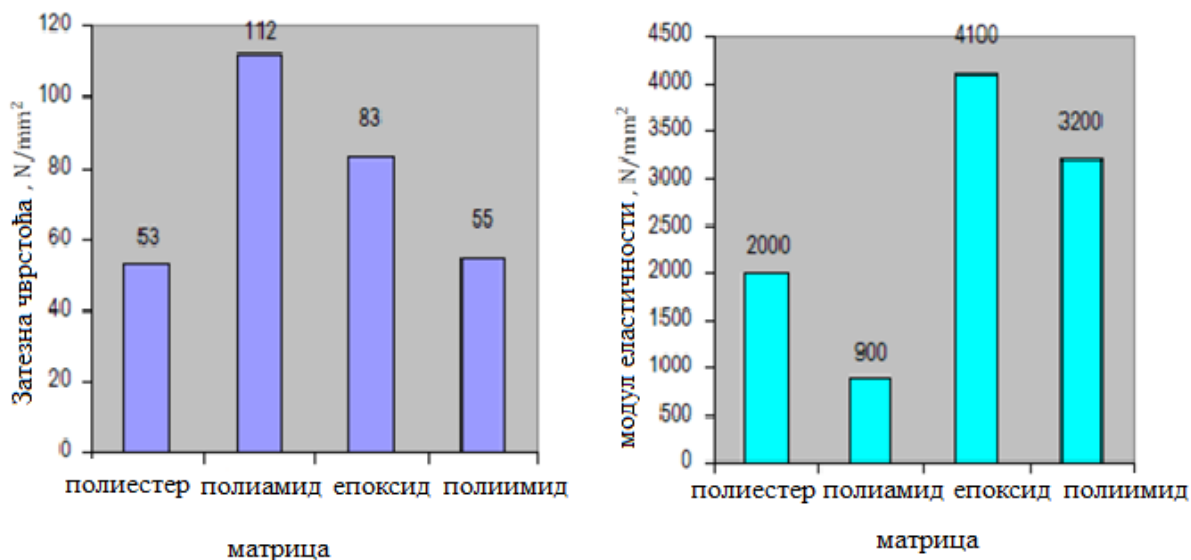


Слика 8. Својства матрице и влакана појединачно и композита

Композити са влакнима садрже ојачана влакна која могу бити у облику вискера, влакна и жица (типични материјали: челик, молибден, волфрам). 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 алуминијум – оксида. Фине жице су релативно велике, типични материјали су челик, молибден и волфрам. Жице се примењују као ојачивачи у аутомобилским гумама, при намотавању на рекет [2].

3.3.1. Матрице

Материјали матрица су чврсти и дуктилни како би моли да преносе оптерећење на влакна, а са друге стране спречити да пукотине између сломљених влакна напредују кроз цео композит. Матрица мора бити и довољно чврста како би допринела укупној снази композита. Полимери се могу примењивати до максималне температуре од 80°C. Са обзиром на понашање на високим температурама полимерне матрице могу поделити на пластомерне код који долази до промене под утицајем топлоте и дуромерне које се мењају на повишеним температурама. Дуромерне матрице се користе за захтевније структурне примене и најчешће коришћење епоксидне смоле које су отпорније на влагу и имају боља механичка својства у односу на пластомере (слика 9).



Слика 9. Вредност затезне чврстоће и модула еластичности за различите матрице

Улога и задатак матрица:

- комбинује влакна и преноси оптерећење, осигурава облик, дуктилност, крутост и жилавост контрукција,
- мора бити довољна чврста како би допринела укупној чврстоћи композита,
- обезбеђује добар квалитет површина,
- са својом дуктилношћу полимерна матрица повећава жилавост композита,
- обезбеђује заштиту ојачавајућих влакна од хемијских утицаја и меаничких оптерећења.

Преглед механичких својстава материјала дат је у следећој табели.

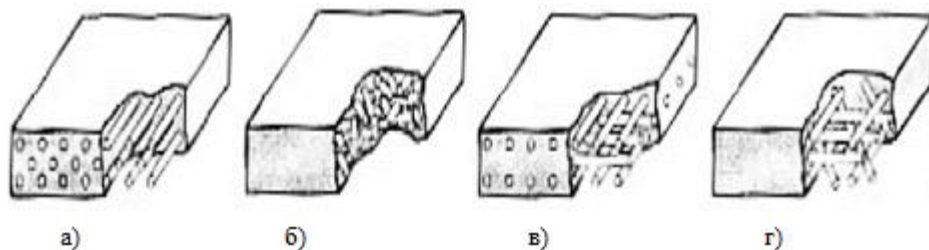
Табела 1. Механичка својства материјала матрице [2]

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	-

3.3.2. Влакна

Влакна су саставне компоненте композитних материјала. Треба да имају високу чврстоћу и крутост. Влакна као носиоци треба да буду што чвршћа, крућа и истовремено мале масе. За влакна се преферирају материјали високе специфичне чврстоће и високе специфичне крутости. Влакна се могу поделити на начине који је приказан на слици.

На слици 10. су приказани различити начини расподеле влакнастих ојачала



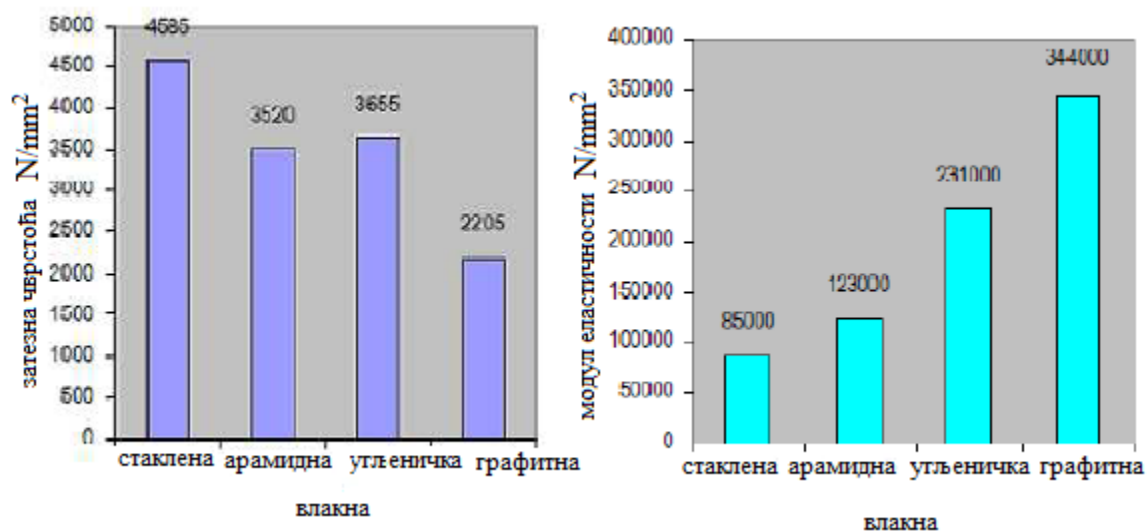
Слика 10. Различити начини расподеле влакнастих ојачивача: а-континуална једносмерна влакна, б- случајно усмерена дисконтинуална влакна, в- ортогонално распоређена влакна и г- вишесмерно усмерена влакна.

Влакна треба да буду чврста, крута, мале масе а такође треба да имају високу тачку топљења. Зависности од расподеле влакна варирају својства композита. У случају континуалних једносмерних влакана својства композита могу бити врло анизотропна тако да је чврстоћа у смеру влакна веома велика, а вертикално на њих значајно нижа. Код композита ојачаним кратким влакнима, влакна могу бити или усмерена или случајно распоређена.

Основни задаци влакана:

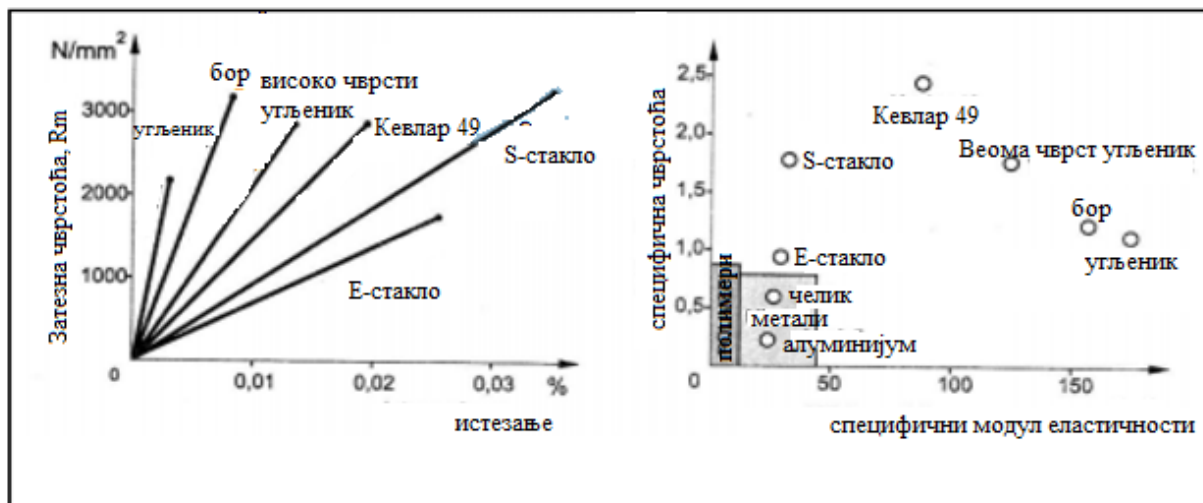
- прихватају оптерећење – код композита влакна носе од 70% до 90% оптерећења,
- обезбеђују чврстоћу, крутост и високу стабилност,
- обезбеђују електричну проводљивост или изолацију у зависности од употребе композита.

На сликама 11. и 12. дата су нека механичка својства влакана.



Слика 11. Затезна чврстоћа Слика 12. Модул еластичности разних влакна

На слици 13. је приказан дијаграм чврстоће неких влакана у зависности од материјала.



Слика 13. Дијаграм чврстоће за различита влакна

3.3.2.1. Материјал влакана

Данас се употребљавају разни материјали за израду влакана. Када је реч о полимерним композитима они се најчешће израђују од стаклених, угљеничних или арамидних влакана. Они најчешће чине 60% до 70% запремине композита.

Осим стаклених, угљеничних влакана и арамидних влакана, која се најчешће користе, могу се користити и друге врсте као што су влакна бора, влакна на основи силицијум карбида (SiC) или она на бази алуминијум оксида (Al_2O_3). Композит са влакнима бора користи се доста у војној индустрији [6].

3.3.2.1.1. Стаклена влакна

Стакло је врло популаран материјал за ојачавање из неколико разлога:

- лако се извлачи из растопљено стања у облику влакана велике јачине,
- економична је производња композита ојачана стаклом,
- уграђивање 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 или прозирне боје, високе су чврстоће, али нису крута што делимично ограничава њихову примену. Подручије упоребе стаклом ојачаних полимерних композита ограничено је температуром од највише 200°C. При вишим температурама већина полимера почињу да се деформишу или долази до видљиве деградације својства. 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 механичких мање захтевних конструкција због њихове мање цене. Могу се знатно разликовати по својствима те се означавају као:

- А-стакло - оваква су била прва произведена влакна, данас се врло ретко користе,
- Ц-стакло - користе се због побољшане отпорности на киселине и базе,
- Е-стакло – најчешће коришћено, побољшава отпорност на влагу и блаже хемикалије, као и отпорност на утицај морске воде. Више од 50% свих стаклених ојачавача,
- С-стакло - повећава чврстоћу и модул еластичности, користи се код механичких оптерећенијих конструкција где је потребна висока специфична крутост и чврстоћа,
- Д-стакло – ниска диелектрична константа, лоша механичка својства,
- Т-стакло – употреба за температуре до 1050°C, виша затезна чврстоћа и модул еластичности.

Познати су многи примери примене стаклених влакана ојачаних полимерних композита: кућишта (кабине) возила, трупови бродова, цеви, индустријски подови. Аутомобилска индустрија све више примењује стаклена влакна како би смањили тежину возила [2].



Слика 14. Изглед стакленог влакна [7]

3.3.2.1.2. Арамидна влакна

Осим стаклених влакана као ојачала могу се употребљавати и арамидна (полимерна) влакна која су високе чврстоће, имају добар однос снаге и густине. Арамидна влакна су једина синтетичке природе. Прва арамидна влакна произведена су 1965. године у лабораторији компаније Du Pont под називом „Kevlar”. Влакна су позната и под трговачким називом (Nomex). Постоје различити типови арамидних влакна (Кевлар 29, 49, 149) која се разлику по меаничким својствима. Арамидна влакна задржавају меаничку отпорност при температурама од -200°C до 200°C . У последње време се употребљавају и арамидна влакна од полиимида због могућности коришћења на температурама преко 300°C . Влакна су карактеристичне жуте боје, хигроскопна, релативно слабе адхезионе везе са матрицом, скупља су од стаклених влакана, немагнетична, осетљива на ултраљубичаста зрачења 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 производњу непробојних прслука, спортских артикала, гуме, ужади, као замена азбеста код аутомобилских кочница, као и код авиона где се израђују врата која морају бити чврста, отпорна на удар [6].



Слика 15. Арамидна влакна [8]

3.3.2.1.3. Угљенична влакна

Угљенична влакна се данас најчешће користе за ојачање савремених полимерних композита. Разлози су следећи:

- 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 течности, киселине и базе,
- развијени су релативно јефтини поступци производње влакна 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 хексаоналне кристалне решетке карактеристичне за графит.

Прва угљенична влакна била су направљена из Rayon-а, али поступак је био избачен због малог процента угљеника који се на тај начин добијао, као и због слабих механичких својстава.

Према основним механичким карактеристикама, угљенична влакна се класификују као НМ (високог модула еластичности), HS (високе чврстоће), IM (усмереног модула еластичности), понекад се користи и ознака UHM (врло висок модул еластичности).

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 еластичности (300 GPa),
4. ултрависоког модула еластичности (450 GPa).

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

За ојачавање се користе угљенична влакна пречника између 4 и $10 \text{ }\mu\text{m}$ која могу бити континуална или резна. Влакна се уобичајено превлаче заштитним епоксидним слојем који побољшава адхезију са полимерном матрицом [6].



Слика 16. Цев израђена од угљеничног влакна [9]

3.3.2.1.4. Борна влакна

Посебну област чине борна влакна, она су сама по себи композитна влакна будући да је посебним поступком направљена, бор нанесен на основно угљенично или волфрамово влакно. Борова влакна имају знатно већи пречник (од $125\ \mu m$ до $140\ \mu m$) у односу на другу врсту влакна (нпр. угљенична влакна до $10\ \mu m$). Због врло високе тврдоће бора, ови композити се врло тешко накнадно обрађују, што је уз високу цену главни разлог њихове мање употребе. Касније су бор влакна коришћена у композитима са металном матрицом при чему је матрица била од алуминијума или титана [6].

3.3.2.1.5. Керамичка влакна

Влакна од силицијум карбида (SiC) производе се сличним поступком као и борна влакна, направљена на језгру од угљеничног влакна. Ова су влакна погодна за ојачање метала као и за ојачавање керамике у структури од силицијумовог карбида. У другом се облику ова влакна изађују од полимера који садржи силицијум и угљеник, једно од таквих влакна познато је под називом „Nicalon”. Ова влакна имају и својство проводљивости, отпор им зависи од количине нечистоћа које садрже. Ницалон влакна су знатно јефтинија од влакана произведених CVD поступком, али нису погодна за примену на повишеним температурама [6].



Слика 17. Керамичко влакно са жицом

3.3.2.1.6. Метална влакна

Метална влакна могу бити у облику вискера, металне вуне и жице. Најчешће се користи челик, волфрам, молибден. Постиже се висока чврстоћа и жилавост композита. Примењују се код металних композита, бетона и код ојачавања аутомобилских пнеуматика.

3.3.2.1.7. Дрвена влакна

У последње време је све већи интерес за употребом влакна биљног порекла као замена за неких до сада споменутих влакна. Дрвена влакна (бор, јасен, храст, јута и тд.) су нека од влакна која се највише употребљавају. Ова влакна нуде бројне предности као што су економска и еколошка. Постала су неоподна јер индустрија композита тражи све већу количину стаклених влакана. У поређењу са стакленим влакнима постижу нижу продуктивност, мања механичка својства, мању отпорност на влагу. Предност је мања густина, мања цена и лакше рециклирање [6].



Слика 18. Дрвена влакна [6]

3.3.2.1.8. Јутена влакна

Јута је слична конопљи, има високи садржај лигнина у стабљици. Узгаја се у Пакистану, Бангладешу и на подручју Каспијског језера. Употребљава се за израду врећа, простирки, а некад се употребљава за израду линолеума. Данас се јута све више користи у аутомобилској индустрији и у изради биокompозита. Биљка јуте у раздобљу два или три месеца израста од 1,8m до 2m у висину и нема гране. Стабљика јуте је прекривена са дебелом кором, која садржи влакна. Након што јута израсте, иста се сече, веже се у снопове и држи под водом неколико дана како би стабљике почеле трулити и влакна се почела одвајати од коре. Јутена влакна имају средњу специфичну чврстоћу и крутост. Својства влакана зависе од величине, зрелости и врсти обраде издвајања влакана, док густина и чврстина зависе од унутрашње структуре и хемијског састава влакана.



Слика 19. Снопови јуте [10]

3.4. Структурни композити

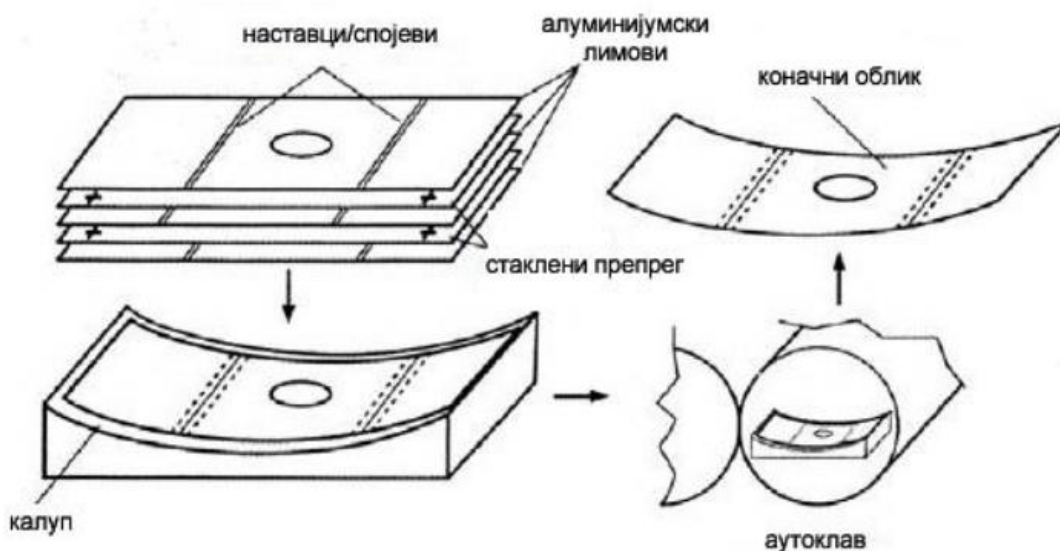
Слојевити композитни материјали и сендвич конструкције могу се једном речи назвати „структурни композити”. Структурни композити су састављени од хомогеног, композитног материјала чија својства не зависе само од својстава контрукционих материјала, већ и од фориме контрукције.

Појављују се у два основна облика: ламинатне контрукције (слојевите) и сендвич конструкције. Ламинатне контрукције су грађене само од ламинатних слојева и смоле, а сендвич контрукције чине језгра спојена између два танка хомогена или ламинатна слоја. Пошто су језгра и спољни слојеви посебни делови са различитим својствима, међусобним повезивањем чине целину.

3.4.1. Ламинатне контрукције (ламинати)

Слојевити композити или ламинати садрже више слојева ојачања положених матрицу. Ламинати су осим у врло специфичним случајевима још увек анизотропни, али разлика између својства за различите смерове није толико значајна као код композита са једносмерним влакнима.

На основу овог приступа развијају се ламинати са тако оријетисаним слојевима који осигурају најбоља својства у смеру деловања оптерећења. Тиме се остварује уштеда на материјалу, према томе и на тежини, што је фактор од примарне важности.



Слика 20. Поступак слагања ламинатне конструкције

Након полагања влакана лимови се међусобно спајају и после обликовања у калупу материјал се излаже повишеној температури и притиску како би полимерна смола омекшала и полимеризовала чврсто везујући алуминијумске слојеве. Механичка својства оваквог композита одређена су смером оријентације влакана у појединим слојевима [2].

3.4.2. Сендвич конструкција

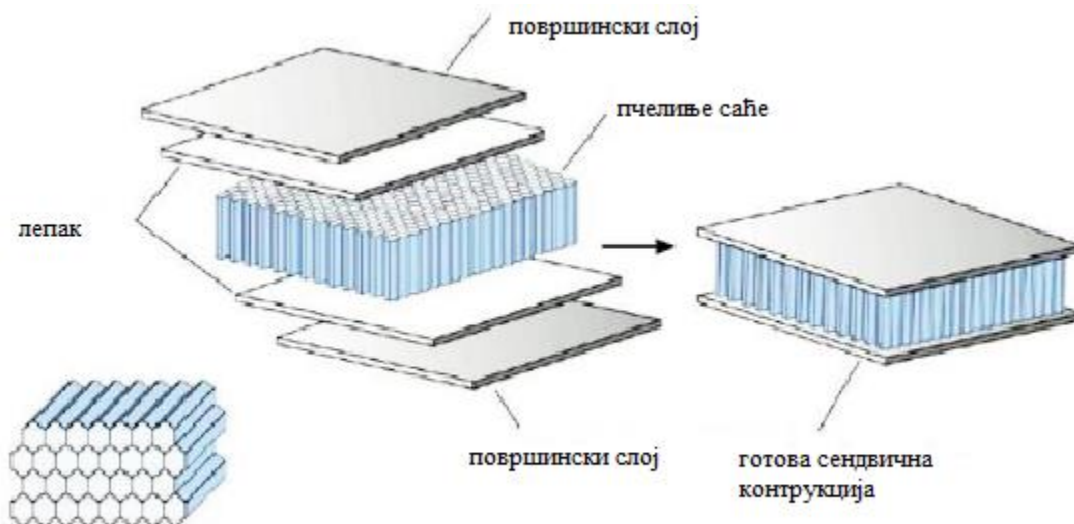
Композити сендвич конструкције спадају у групу структурних композита. Састоје се од два чврста и крута танка слоја између којих се налази материјал који чини језгро. Спољни слојеви и језгро су повезани лепком током производње, где се лепак може сматрати структуром композита. На слици (слика 21) је приказана сендвич конструкција композита која се састоји од површинских слојева и језгра у облику пчелињег саћа.

Својства сендвич конструкције:

- мала маса,
- добра затезна чврстоћа,
- добра отпорност на ватру,
- висока специфична чврстоћа и крутост.

Као материјал језгра користе се :

- полимерне пене, од поливинила,
- алуминијум или полимерни композити,
- дрво (балза, кедар).



Слика 21. Приказ сендвич конструкције у облику пчелињег саћа

Површински слојеви могу бити направљени од материјала веће чврстоће и крутости. За спољне слојеве преферирају се легуре алуминијума, полимерни композити ојачани влакнима, титанове легуре и челик [2].

3.5. Метални композити ММЦ

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 лаких магнезијумових и алуминијумских легура. Ојачањем металне матрице ојачивачима у облику честица, континуалних влакна мењају се својства матрице и оно што је веома значајно повећава се специфична чврстоћа и специфична крутост.

Материјали континуалних влакнастих ојачивача могу бити угљенична, силицијумова, карбидна, борна и тврдих метала, док се као материјали дисконтинуалних влакана користе угљеник и алуминијум. Ови метални композити могу се користити при знатно вишим температурама, међутим ови композити су значајно скупљи од полимерних, па је њихова употреба прилично ограничена.

Прерада композита са металном матрицом се састоји од 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 софистицирање, док се метални композити са влакнима обликују уобичајеним поступцима као што су ковање, ваљање и екструдирање. Примена композита са металном матрицом је веома заступљена у аутомобилској индустрији (слика 22) где се делови мотора праве од алуминијумске легуре и угљеничних влакана. Направљен део је веома лаган, отпоран на трошење и термички стабилан [11].

Предности композита са металном матрицом су:

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

Недостаци композита са металном матрицом су:

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

Композити са металном матрицом се могу поделити на:

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



Слика 22. Цилиндар болида формуле 1 [12]

3.6. Полимерни композити ПМЦ

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.

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 температуре 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 попраћена 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.

3.6.1. 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).

3.6.2. Винил естри

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.

3.6.3. 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.

3.6.4. 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.

3.6.5. 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. Основна предност им је стабилност и одлична механичка својства на високим температурама, високог квалитета произведених компоненти, отпорност према већини хемикалија, док је недостатак цена и сложеност производње.

3.6.6. 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 кристаличних полимера. 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.

3.6.7. Поликетони

Поликетони су група кристаличних пластомера који имају изврсну топлотну отпорност. Међу њима се истичу полиетеркетон (ПЕК), полиетеркетонкетон (ПЕКК) па најчешће коришћени полиетеретеркетон (ПЕЕК). ПЕЕК има степен кристаличности 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 текућење и знатна деформација при лому, тиме и знатно већа жилавост. Но, они испољавају и пузање при повишеним температурама и константним оптерећењем.

3.6.8. Пластомери

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

3.6.8.1. Аморфни пластомери

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 кристалични. 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.

3.6.8.2. Кристалинични пластомери

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.

3.7. Керамички композити ЦМЦ

Керамички композити имају високу отпорност према оксидацији и повољни 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 израду 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. На (слици 23) је приказан део турбине израђен од керамичких композита.

Ова врста композита има најмању примену, зато што нису довољно истажени, мада је и процес производње доста скуп [11].



Слика 23. Део турбине израђен од керамичких композита

3.8. Угљеник-угљеник композит

Угљеник ојачан угљеничним влакнима је један од најнапреднијих материјала. Реч је о материјалу код кога је и матрица и ојачивач од угљеника. Релативно су нови материјали и њихова израда је скупа што онемогућује широку примену. Разлог њихове високе цене је врло сложен поступак производње, којима се чиста угљенична влакна уграђују у угљеничну матрицу. Добра својства ових композита јесту велика затезна чврстоћа и модул еластичности на високим температурама (преко 2000°C). Главни недостатак је појава оксидације при раду на високим температурама. Ови композити се примењују код врхунским аутомобила, за израду турбина и као материјали отпорни на трошење у авионској техници [11].



а)

б)

Слика 24. Примена угљеник-угљеник композита а) Унутрашњи део аутомобила,
б) Спортски аутомобил

3.9. 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 веома различита. Тако, на пример, влакна могу бити усмерена у једном смеру или орјентисана у различитим смеровима, ламинати се могу слагати из различитих правцу 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 25) је приказан пример израде од хибридног композита [13].



Слика 25. Разни делови израђени од хибридног композита [13]

4. Добијање композитних материјала

4.1. Добијање композита са металном основом

Поступци добијања композита могу се поделити на примарне и секундарне.

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

У општем случају 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 [14].

4.1.1. 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 градијација 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). Ако полазни прах лако оксидише, врло фини субмикронски оксиди могу се концентрисати на границама зрна значајно смањујући

жилавост изворног материјала. Поступак обухвата: просејавање брзо очврслих честица, спајање честица са фазом или фазама за ојачање са или без везива, очвршћивање смеше ојачивача и матрице на око 75% густине, истискивање гаса и завршно сједињавање истискивањем, ковањем, ваљањем или неком другом топлом обрадом.

Технологијама металургије праха могуће је добити много различитих композитних материјала са металном основом врхунског квалитета. Висока цена производње, међутим, ограничава примену ових технологија.

4.1.2. 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.

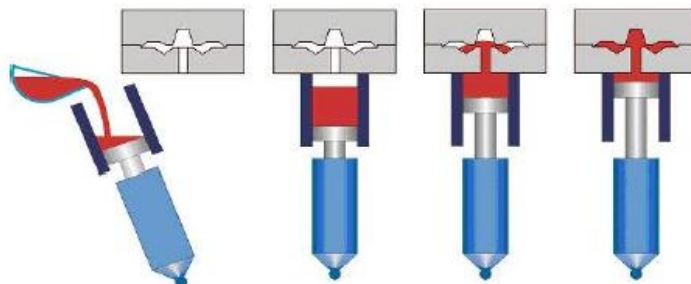
Степен дифузије мора бити ограничен због могућег пораста нежељених кртих фаза на контактної међуповршини. Један од начина ограничавања дифузије је истискивање слоја влакана и матрице кроз алат. Такође се може применити и топло ваљање, при чему се деформације морају ограничити како би се спречило померање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

4.1.3. Високотемпературска синтеза

Високотемпературска синтеза топлим пресовањем је релативно јефтин и једноставан процес којим се могу производити композити са малом порозношћу и тродимензионалном структуром између интерметалних слојева и металних матрица. Истовремено дејство притиска и реакције синтезе омогућују смањење порозности произведеног материјала и контролу геометрија пора као и равномерну расподелу честица у металној матрици.

4.1.4. Ливење притиском

Овај поступак је приказан на следећој слици.



Слика 26. Поступак ливења притиском [14]

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.

4.1.5. 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.

4.1.6. Инфилтрација метала под ниским притиском

Инфилтрација метала под ниским притиском је поступак у власништву фирме Ам Линксајд, 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 продукта оксидационе реакције и неоштећене алуминијумске легуре. Овим поступком добијају се готови облици и својства комозита који могу задовољити одговарајуће специфичне намене.

Овом поступком производи се материјал који се касније може претapati 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 27).



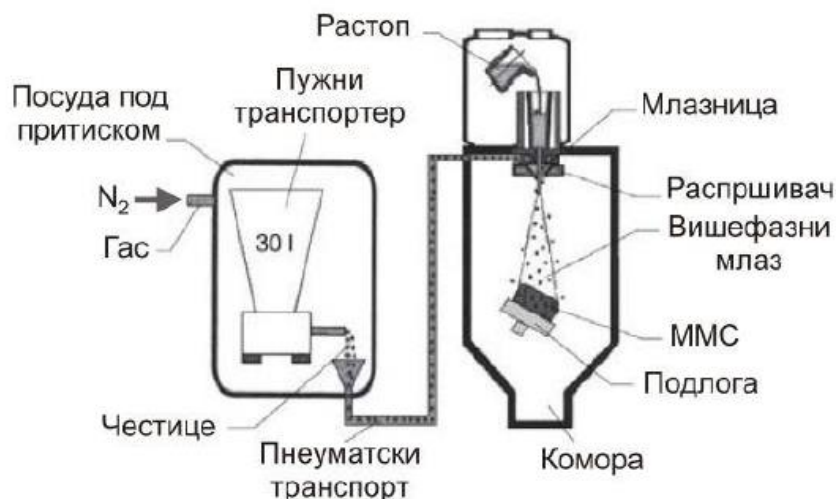
Слика 27. Шема производње ММЦ-а Primex инфилтрацијом [14]

4.1.7. Физичко таложење из гасовите фазе

Физичко таложење из гасовите фазе обухвата низ поступака укључујући испаравање електронских снопова. Таложење и електропревлачење су поступци којима се производе композити узастопним наношењем слојева матрице на влакна ојачивача. ПВД технике захтевају много мање загревање влакана од инфилтрације растопљеним металом. Температуре површине су обично испод 200°C.

4.1.8. Спреј поступак

Спреј поступак укључује атомизацију растопа (стварање засебних капљица), бризгање капљица растопљеног метала кроз дизне и скупљање и очвршћавање полуврхних капљица на одговарајућој подлози. Шематски приказ овог поступка дат је на слици 28.



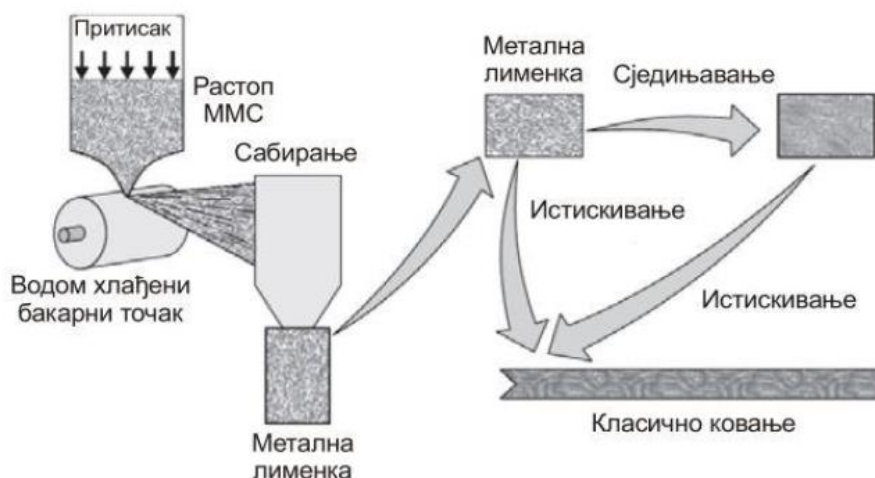
Слика 28. Спреј поступак [14]

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.

4.1.9. 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 29).



Слика 29. Поступак брзог очвршћавања [14]

Микроструктура ових легура карактерише се уједначеним саставом, уситњеним микро саставним 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 40-60 μm . Листићи добијени овим начином широки су и дуги 6-8 m и имају мали однос запремина/површина. Листићи се могу директно сјединити у композитни производ без даље промене величине. Траке захтевају даљу обраду ради смањења величине, што може довести до задрљаности и оксидације.

4.2. Добијање композита са полимерном основом

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

4.2.1. Намотавање

Намотавање је поступак при којем се континуална влакна која служе као ојачивач намотавају на модел тако да обликују шупљи део (слика 30). 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 30. Приказ намотавања филамената, прстенастог и поларног намотавања

Предности:

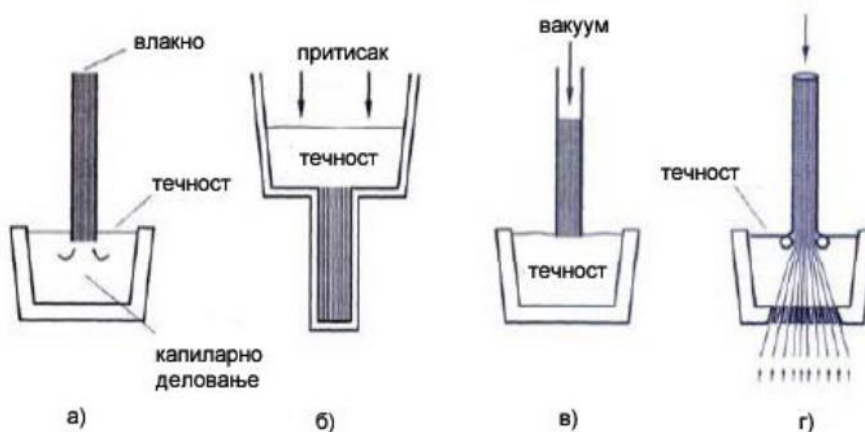
- врло брза и економична метода,
- контрола брзине намотавања,
- може се регулисати удео смоле на влакнима,
- трошкови су мањи због тога што се троше појединачна влакна, а не ткања,
- могу се добити одлична механичка својства композита ако се влакна послажу у смеру деловања оптерећења.

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.

4.2.2. Ливење

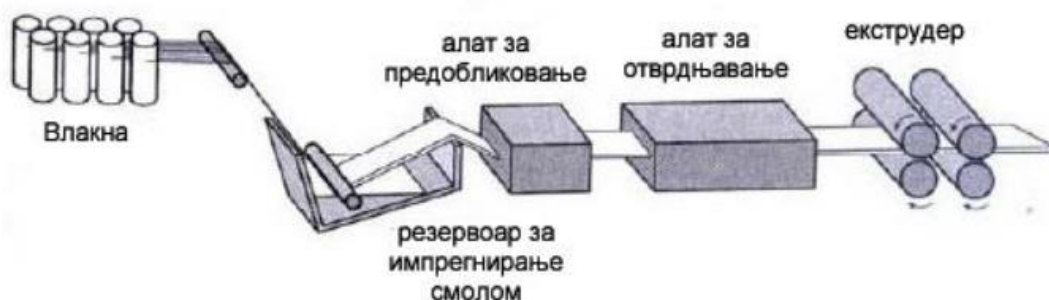
Полимерни композити могу се произвести различитим поступцима ливења. У зависности од начина како се течност полимерне смоле уноси међу влакна разликује се капиларно ливење, ливење под притиском, вакуумско инфилтрирање или континуално ливење (слика 31).



Слика 31. Производња композита ливењем а) капиларно ливење, б) ливење под притиском, в) вакуумско инфилтрирање, г) континуално ливење [14]

4.2.3. Пултрудирање

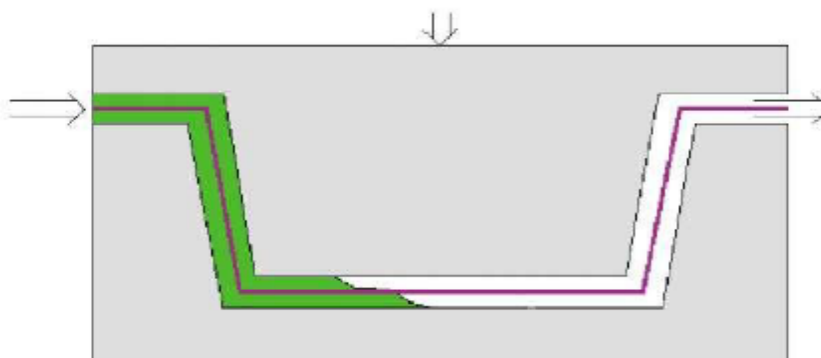
Пултрудирање се примењује за производњу композитних производа константног попречног пресека. Овим поступком (шематски приказан на слици 32),сноп континуалних влакана претходно импрегриран дуромерном смолом провлачи се кроз алат одговарајућег облика. Затим следи отврдњавање чиме се добија коначни облик. Уређај за извлачење вуче производ кроз алате и тиме одређује брзину процеса.



Слика 32. Приказ поступка пултрудирања [14]

4.2.4. ПТМ поступак

На слици 33 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.



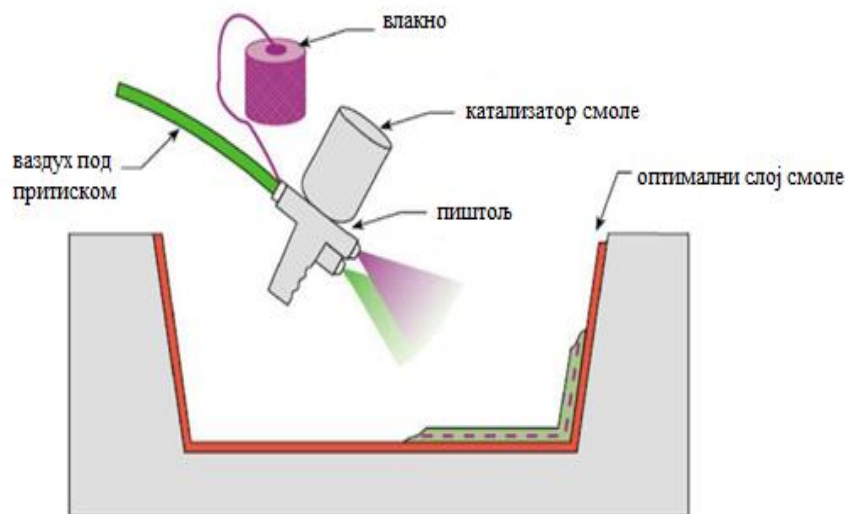
Слика 33. ПТМ поступак [14]

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.

4.2.5. 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.



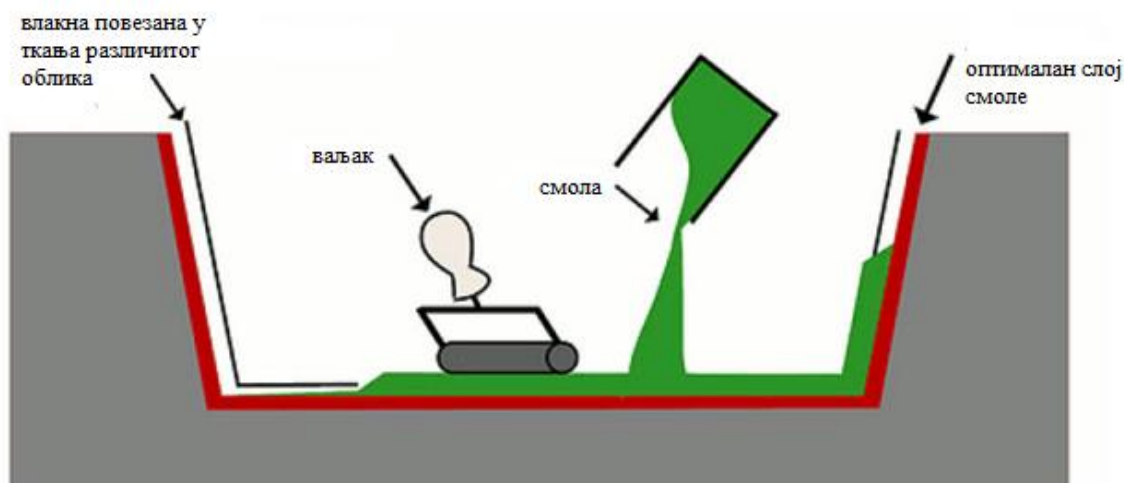
Слика 34. Приказ поступка напрскавања

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. Проблем може представљати и удео стирена који је у неким случајевима и законом ограничен.

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.

4.2.6. 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 35). 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 35. Поступак ручног наношења смоле [14]

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.

4.2.7. Препрег

Различита влакна или ткања се предимпрегнирају смолом. Тако добијени облици се најчешће замрзавају како би се могли складиштити дуже време. Смола која се користи није потпуно у чврстом стању тако да је препрег на додир мало лепљив.

Након тога се препрези аутоматски полажу у калуп, вакуумски се пакују и загревавају на 120-180°C. Ако је за постизање бољих својстава композита потребан нешто виши притисак све се то ставља у аутоклав (слика 36).

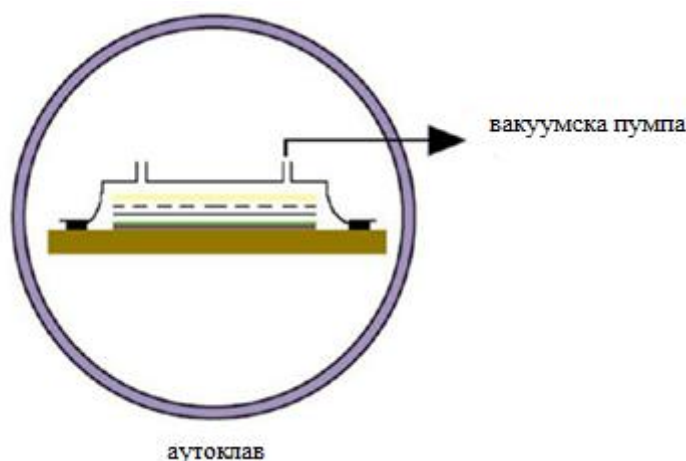
Матрице: епоксиде смоле, полиестри, феноли и високотемпературни пластомери као што су полиимидаи.

Предности:

- могуће је врло прецизно подешавање удела влакана и смоле,
- материјали су потпуно еколошки прихватљиви,
- могуће је импрегнирање и смола високе вискозности чиме се значајно утиче на механичка и топлотна својства композита,
- могућа је аутоматизација целог процеса.

Недостаци:

- трошкови материјала су већи,
- материјал се укрути у аутоклавама које су прилично скупе и ограничених су димензија.



Слика 36. Препрег

4.2.8. 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 37.

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 37. Приказ поступака инфузије слоја смоле [14]

4.3. Добијање композита са керамичком основом

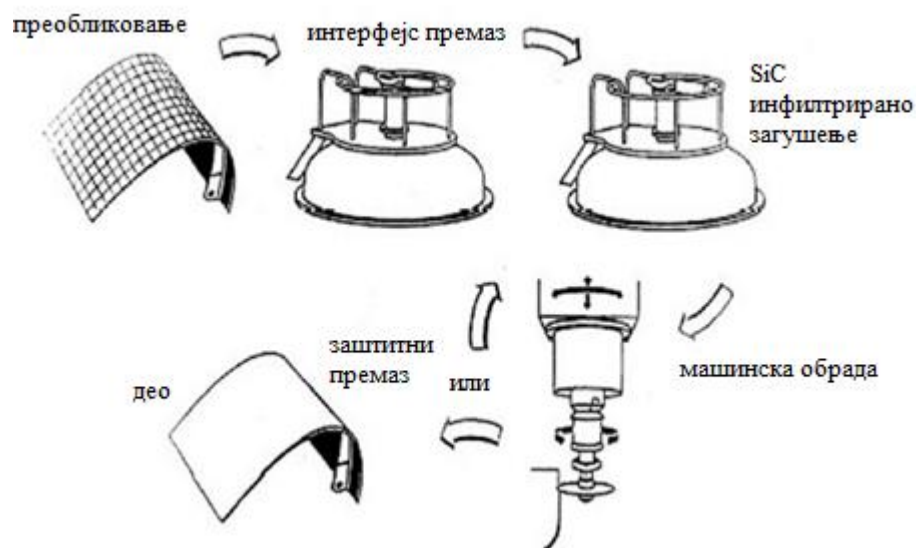
За добијање композита са керамичком основом користе се поступци:

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

4.3.1. ЦВД напаривање

Хемијско напаривање 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.

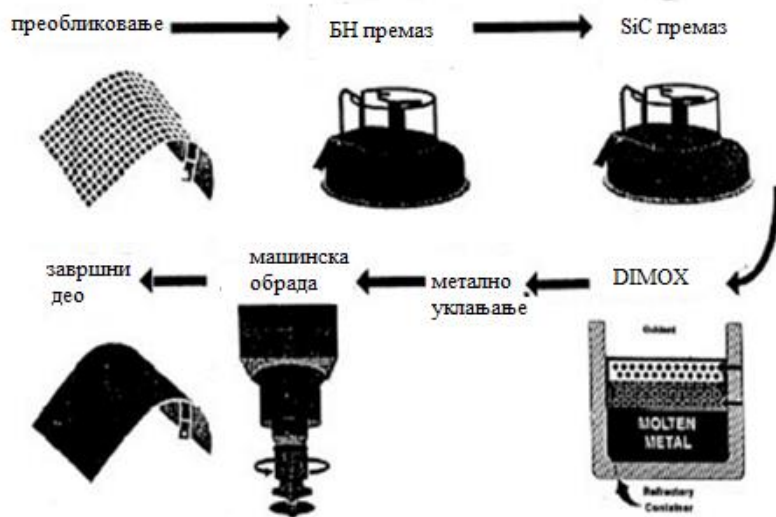
ЦВД се такође користи за производњу синтетичких дијаманата. Приказ самог поступка дат је на слици 38.



Слика 38. Приказ поступка ЦВД напаравање

4.3.1. Усмерена оксидација метала

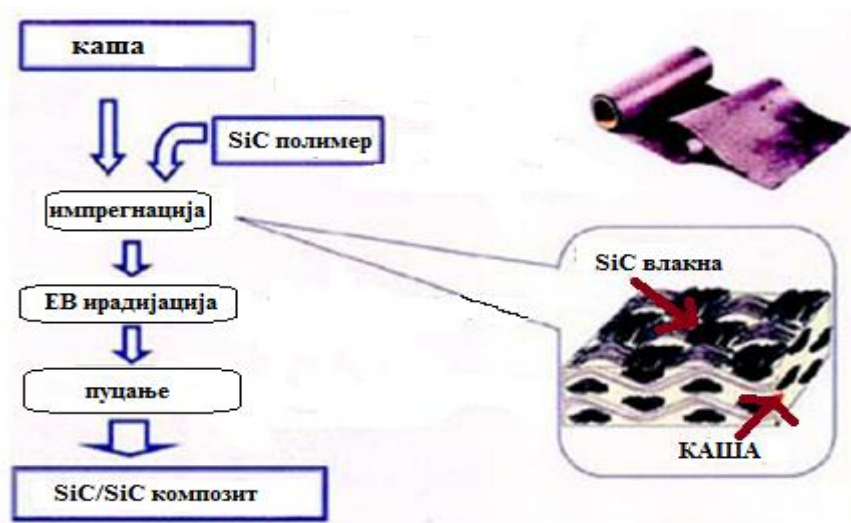
Најпре се ЦВД поступком напаравања наноси превлака на ојачивач. Након тога се ојачивач са превлаком ставља у растопљени метал у реактивној атмосфери кисеоника при чему долази до стварања $Al-Al_2O_3$ матрице. Шематски процес приказан је на слици 39.



Слика 39. Приказ поступка усмерене оксидације метала

4.3.2. Производња SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом

Суспензија од PCS (поликарбосилан) и PVS (поливинилсилан) импергнира се у SiC тканину. Након тога полимерни материјал умрежава под деловањем снопа електрона. Пиролизом долази до трансформације полимера у керамику, као што је дато на слици 40.



Слика 40. Приказ поступка производње SiC/SiC композита импрегнацијом полимера и пиролизом [14]

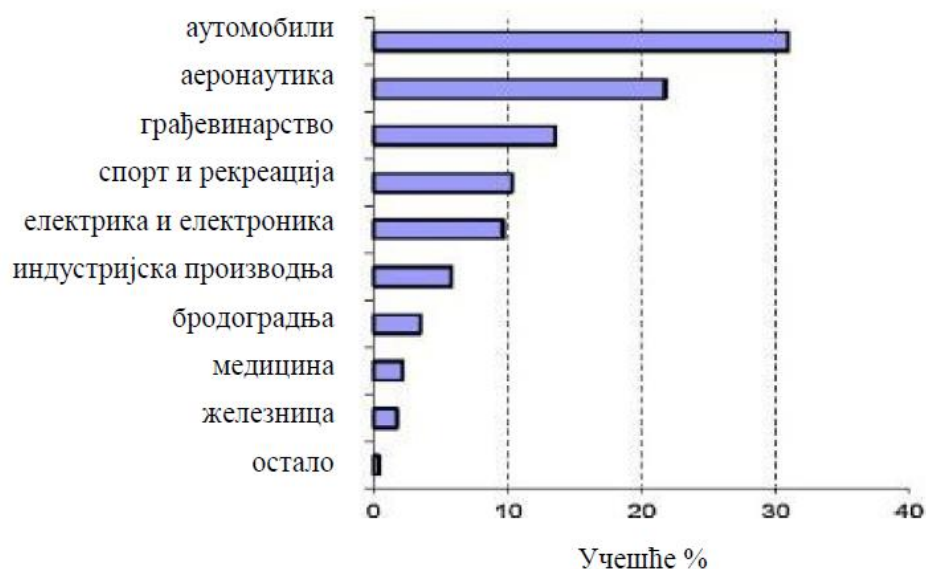
5. Примена композитних материјала

Побољшана својстава композитних материјала пружају могућност њихове широке примене. Упоследњим 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 индустрији,
- авио индустрији,
- грађевинарству,
- спортској опреми,
- електронској индустрији,
- бродоградњи,
- медицини,
- војној индустрији.

На слици 41. је дат удео композитних материјала у различитим индустријама.



Слика 41. Удео композитних материјала у разним индустријама [15]

6. Примена композитних материјала у аутомобилској индустрији

Материјали који се користе у аутомобилској индустрији треба да задовоље различите захтеве као што су мала маса, добра отпорност на трошење, имају велику чврстоћу, малу цену, добра сигурност, морају бити еколошки прихватљиви (могућност рециклирања). Од почетка аутоиндустрије, па све до данас материјали који су се употребљавали при изради аутомобила су се стално мењали. У почетку материјали су били претежно од челика и гвожђа док се данас у све већој мери употребљавају нове врсте материјала као што су композитни материјали, полимери. Неки од ових материјала имају знатно боља својства од челика и гвожђа и њихова маса је значајно мања.

Табела 2. Примена материјала у аутомобилској индустрији [16]

	1965	1985	1995	2003
Материјал	Масени удео, %			
Композити и полимери	2	10	13	15
Алуминијум	2	4,5	6,5	7
Олово, бакар, цинк	4	3	3	3
Челик и Гвожђе	76	68	63	61
Остали материјали	16	14,5	14,5	14

Смањење масе

Аутомобилска индустрија константно тражи нове начине како да што више смањи масу возила у сврху смањења потрошње горива и тиме повећа очување околине од повећања штетних гасова. Решење за то могу бити композитни материјали којима се може заменити коришћење челика а тиме смањити и маса возила до 35%. Такође композитни материјали се могу користити и као замена за делове од алуминијума.

Према истраживању које је рађено, структура возила направљеног од нормалног материјала као што су челик и алуминијум, биће 500 kg и потрошња ће бити 10 литара на 100 km. Ако се контрукција израђује помоћу HSS (челик високе чврстоће), његова тежина ће бити око 350 kg (смањење око 30%) у овом случају возило ће трошити око 9,58 литара на 100 km, што значи повећање ефикасности горива за 4,2%. У трећем случају ако се контрукција израђује од композитних материјала тада ће њена тежина бити око 270 kg (смањење тежине око 42%), а возило ће потрошити 9,31 литара на 100 km, то значи 7% повећање ефикасности горива.

Цена

Разлог због чега се челик и легуре метала још увек највећим делом користе за израду аутомобила јесте њихова ниска цена у односу на композитне материјале. Композитни материјали као новија врста материјала још увек нису довољно истражени, па је њихова цена и производња доста тежа а самим тим и скупља.

Типичан пример је компанија БМВ која је користила композитне материјале за израду кровова уместо до тада коришћеног алуминијума. Овај резултат је смањио тежину од 1,1 kg по крову а тиме је и била уштеда око 5,5 до 7,0 USD по једном крову. Ово је коначно износило око 21,000 USD годишње (око 3000 израђених кровова годишње).

Сигурност

На следећој слици је приказана употреба одређених влакана.



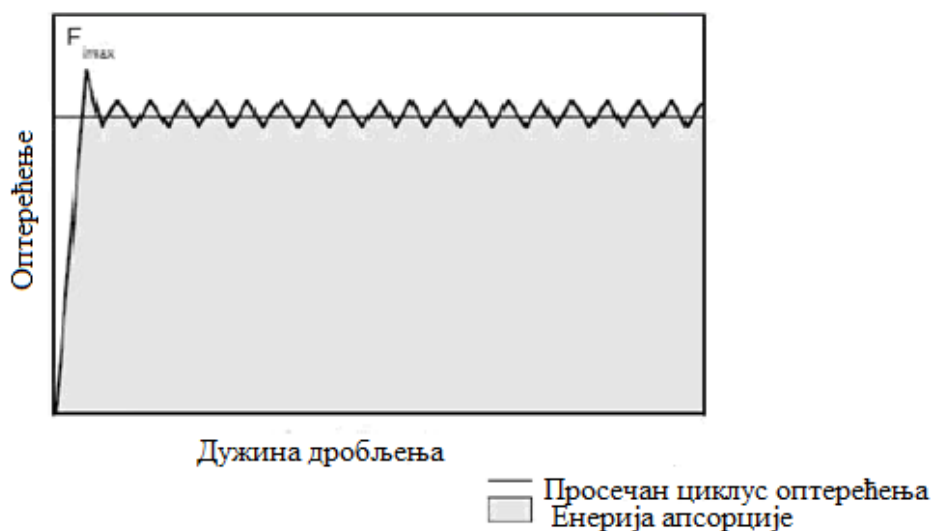
Слика 42. Примена карбонских и стаклених валакана [17]

Сигурност аутомобила можемо поделити у две фазе:

- отпорност на судар,
- отпорност на продирање.

Код судара материјали морају имати способност апсорпције енергије који осигуравају продирање оптерећења. Код отпорности на продирање материјали морају бити довољно чврсти уз одређену разтезљивост да заустави друге препреке које би ударили у аутомобил и уништили тај аутомобил. Ипак садашњи тренд у аутомобилској индустрији је увођење композитним материјалима који побољшавају економичност (потрошња горива, маса аутомобила). Карактеристика већине композита је мала дуктилност и ломљивост што доводи до питања да ли треба користити композите на местима које су изложене ударцима услед прометних несрећа.

Специфична апсорпција енергије материјала мора да има добру отпорност на хабање или безбедност услед дејства несреће. Дијаграм на слици 42. показује идеалан циклус дужине дробљења структуре у случају судара.



Слика 42. Специфична енергија апсорпције

Специфична енергија апсорпције дата је следећим изразом:

$$S.E.A. = \frac{W}{V \cdot q}$$

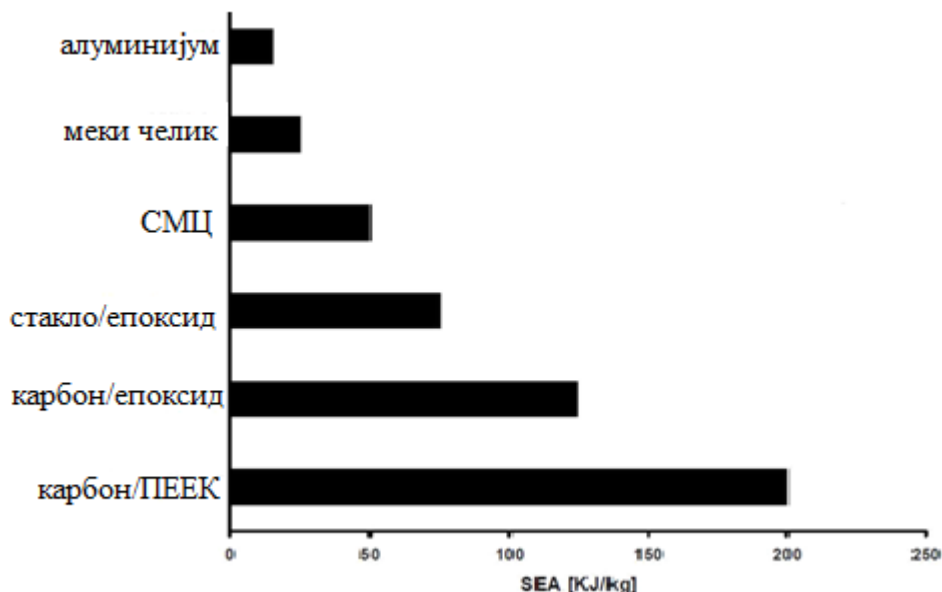
Где је:

W - укупна апсорпција енергије,

V – дробљење материјала,

q – густина материјала.

На следећој слици 43. је приказано упоређивање специјалана енергија апсорпције за метале и композите:



Слика 43. Приказ употребе материјала

Вредност SEA за алуминијум износи око 25 KJ/kg , а за челик је негде око 35 KJ/kg . За стакло/епоксид та вредност износи око 75 KJ/kg , а за карбон/епоксид износи око 120 KJ/kg , док је највећа вредност за карбон/ПЕЕК око 200 KJ/kg . То доказује да је структура израђена са композитним материјалом 6-8 пута сигурнија од структуре израђене од метала.

Рециклажа

Једно од најважнијих питања свих индустрија па тако и аутомобилске индустрије је питање рециклаже. Најбитнија питања данас су заштита ресурса, смањење емисије CO_2 и рециклажа су у сталном порасту. Код истраживања нових врста материјала и побољшање постојећих материјала креће се са претпоставком да се ти материјали касније могу у што већем проценту рециклирати. Данас постоје специјалне фабрике које се баве скупљањем и прерадом старих аутомобила који нису више за употребу. Код рециклаже аутомобила потребно је прво разврстати различите врсте материјала који се даље шаљу у специјалне фабрике на даљу прераду. Важно је и испуштање уља која се налазе у аутомобилу као што су уље у мотору и уље у мењачкој кутији. Треба уклонити и акумулатор ако се налази у таквом аутомобилу.

6.1. Примена композита који се налазе у аутомобилској индустрији

Композити који се примењују у аутомобилској индустрији су:

- метални композити (Al легуре, Cu легуре, Mg легуре),
- полимерни композити ојачани угљеничним влакнима,
- керамички композити,
- угљеник-угљеник композити.

Својства металних композита:

- велика чврстоћа и крутост,
- велика електрична проводљивост,
- добра отпорност на трошење,
- добра својства на високим температурама,
- лоша рециклажа.

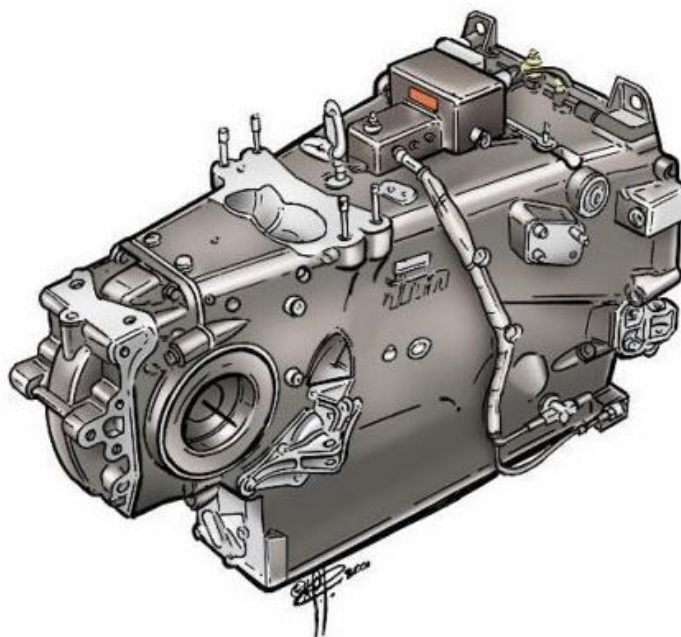
Композити од алуминијумских легура имају широку примену у аутомобилској индустрији код производње шасија и структура каросерије. Употреба алуминијумских легура може смањити тежину возила. Ове легуре су отпорне на корозију. Имају низак модул еластичности, те не могу заменити челичне делове, па ти делови се морају поново контруисати како би се постигла иста механичка својства. Употреба алуминијумских легура у аутомобилској индустрији је порасла у протеклим годинама. Ове легуре се користе за производњу клипова, цилиндричних глава, такође се користе код шасија и користе се за производњу спољних додатака као што су врата возила.

На следећој слици је приказан део направљен од алуминијумских легура.



Слика 44. Клипњака направљена од алуминијумске легуре [18]

Композити од магнезијумских легура су такође веома лаки и њихово коришћење је све чешће у аутомобилској индустрији. Оне су за 33% лакше од алуминијума, а 75% лакше од челика. Имају доста недостатака у поређењу са другим легурама. Њихова затезна чврстоћа приближно једнака алуминијумским легурама, али модул и тврдоћа магнезијумских легура је мања од алуминијумских легура, а коефицијент топлотног ширења је већи. Магнезијумске легуре имају изузетне предности у односу на алуминијумске легуре у производњи и дужем животном веку. Због своје ниске чврстоће чист магнезијум се не користи, већ се користи комбинација са алуминијумом и цинком [19].



Слика 45. Делови мењачке кутије направљене од магнезијумских легура

Композити од бакарних легура се примењују на местима где се захтева топлотна проводљивост и чврстоћа на високим температурама. Примена ових композита у аутомобилској индустрији је веома широка. Примењује се за делове који се троше и раде при високим температурама.

Делови који се израђују од бакарних легура:

- делови мотора,
- делови мењача,
- кочиони системи.

На следећој слици 46. је приказан део израђен од бакарних легура.



Слика 46. Блок мотора од бакарних легура

Својства керамичких композита:

- стабилност на веома високим температурама,
- отпорност на промену температура,
- добра отпорност на корозију,
- велика чврстоћа,
- мала маса.

Примена керамичких композита је у најмањој мери заступљена у аутомобилској индустрији због својих недостатака и тешког начина производње. Замена материјала заснованих на гвожђу са керамиком нуди могућност значајног смањења масе. У случају великог оптерећења, керамика има одличну отпорност на хабање и корозију. Од керамичких композита се производе кочиони системи, вентили аутомобилског мотора. На следећим сликама 47 и 48 су приказани неки делови од керамичких композита [19].



Слика 47. Пример кочионог система



Слика 48. Пример вентила аутомобилског мотора

Композити ојачани угљеничним влакнима можда су само добили потисак који им је потребан да надмаше челик као материјал за производњу аутомобила. Примена угљеничних влакана је популарна у производњи неких од најквалитетнијих аутомобила. На слици 49. је приказан аутомобил McLaren MP4-12C који је направљен од угљеничних влакана. Цене производње ових аутомобила је веома велика, али ће годинама њихова цена падати. Аутомобилска индустрија види композите од угљеничних влакана као талас будућности при производњи аутомобила који су еколошки прихватљиви. Разлог је зато што би ови аутомобили били доста лакши него сада а и потрошња горива би се смањила. Тако да би у будућности могли видети велики број возила произведени овом методом. Последњих деценија показали су нам колико је напредовала производња аутомобила. Ови материјали су показали да су изузетно издржљиви на високим температурама. Наредне године би требале да се покажу интересантим, посебно када су у питању композитни материјали са угљеничним влакнима и возила која су створена њиховом употребом [20].

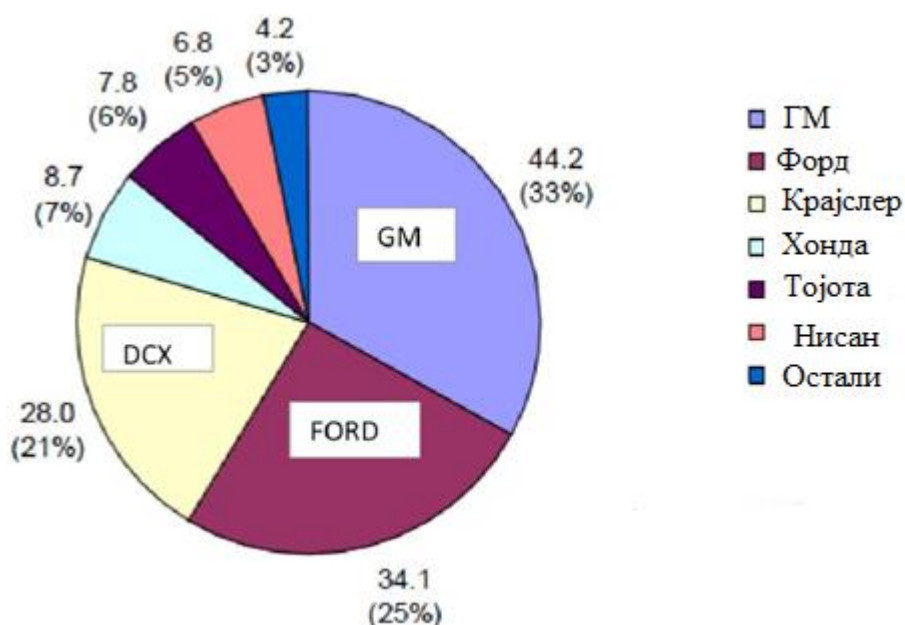


Слика 49. Аутомобил McLaren MP4-12C направљен од угљеничних влакана

6.2. Композити у данашњој аутомобилској индустрији

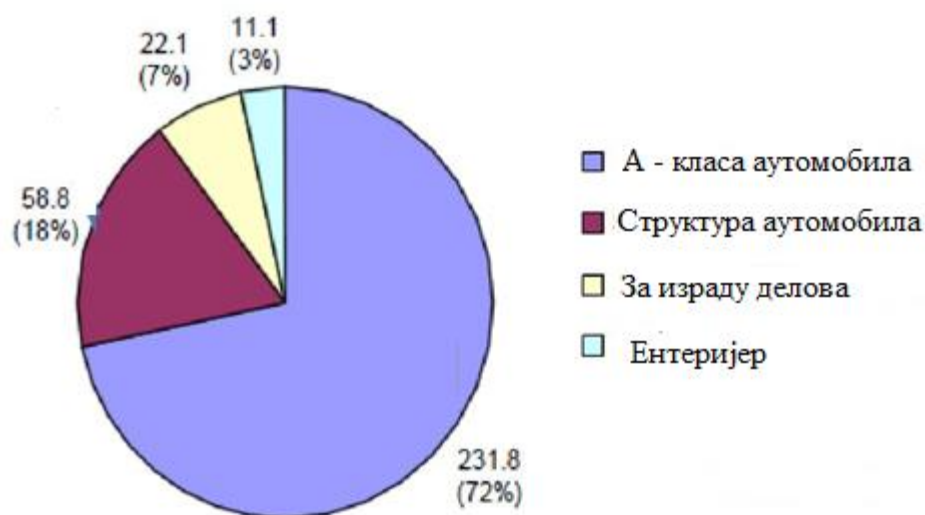
Аутомобилске компаније у данашњој индустрији присељене су да траже нове начине и иновације у производњи аутомобила/камиона због велике конкуренције. Аутомобили би данас требали имати све погодности које је потребно за купца по нижој цени. Ово је довело до употребе композитних материјала у конструкцији шасије, ентеријера, електричних компонената итд. Због тога постоје више могућности данас, а такође ће бити и у будућности у аутомобилској индустрији. На следећој слици је приказује количину композита који користе аутомобилске компаније 2007. године.

Главни произвођачи тада су били General Motors (33%), Ford (25%) и Daimler Chrysler (21%) који користе композитне материјале (слика 50).



Слика 50. Приказ коришћења композитних материјала у аутомобилској индустрији 2007. Године

На следећој слици 51 је приказана употреба композита у аутомобилу. Око 72% композита се користи за спољни изглед А-класе аутомобила, 18% се користи за структуру аутомобила, 7 % композита се примењује за израду делова који се налазе испод хаубе, 3% се користи за израду ентеријера.



Слика 51. Композити у аутомобилу

БМВ, Мерцедес, Ламборђини и остали врхунски произвођачи аутомобила су се обавезали да ће повећати употребу композитних материјала у својим возилима како би смањили тежину. Крајслер је поставио циљ да смањи тежину за 10% за све своје modele и тражи материјале од угљеничних влакана. Крајслер и Тораи индустрија (Toray Industries), раде на развоју нових делова од композитних материјала. СГЛ група (SGL Group) је објавила да је продаја композита порасла за 6%. У заједничкој сарадњи са БМВ (BMW) повећана је производња карбонских влакана за њихова возила. Угљенична влакна ће се производити у САД, док ће делови произведени од стране БМВ у Немачкој. Тораи је један од водећих светских произвођача угљеничних влакана, који је поставио аутомобилску индустрију као приоритет у производњи угљеничних влакана. McLaren користи композите од угљеничних влакана од 2004. године када је покренута серијска производња њихових спортских аутомобила. Њихов модел MP4-12C поседује седиште направљено да заштити возача аутомобила. Ламборђини је тако изјавио да ће више користити композитне материјале у њихове конструкције. Реконструисани Murcielago LP670-4 SV је лакши за око 100 kg применом композитних материјала. Шевролет је представио 2011. године Z06 Carbon Limited Edition Corvette, која се састоји од поклопца од карбонског влакана, кровног панела. Међутим 2011. године Corvette ZR1 носи још више садржаја од угљеничних влакана, која је лакша око 15,4 kg.

6.3. Стање индустрије композита за 2017. годину

Највеће могућности за раст у аутомобилској индустрији постоје у телекомуникационим апликацијама, где композити држе само пар процената тржишног удела данас. Потражња за лаким материјалима се повећава пошто произвођачи настоје да пруже потрошачима привлачна и забавна возила која истовремено испуњавају регулаторне захтеве за економичност и сигурност. Челик све више губи тржишни удео, пошто произвођачи тражили економичне методе смањења тежине возила. Упркос вишим трошковима у односу на челик, алуминијум је у протеклој деценији добио скоро 10% већег тржишног учешћа у главним деловима возила, пошто су произвођачи постали спремнији да плате премије за уштеду тежине. Произвођачи који траже још агресивније смањење тежине почели су експериментисати са композитима од угљеничних влакна, иако коштају неколико пута више од челика и алуминијума. Један од најбољих примера је БМВ који је склопио партнерство са произвођачем угљеничних влакна СГЛ (SGL), за производњу њихових електричних и хибридних возила i3 и i8, који имају каросерије од композитних материјала. БМВ је модел i3 произвео око 30,000 примерака овог модела, а продат је по нижој цени од планиране. Процењује се да је само платформа i3 потрошила око 10 милиона фунти годишње што представља велику победу за индустрију. Након производње i3 модела, БМВ је представио модел 2016. године (7 серија). Јединствена комбинација композита са металима, постављају скупи композитни материјал управо тамо где ће највише користити аутомобилу у односу на цену и перформансе. БМВ 7-серија аутомобила је за 3% лакша од претходне серије (око 40 kg), што помаже у остваривању циљева економичности горива.

Thermoset CFRP се бори да постигне значајан продор на тржиште конструкција тела аутомобила из два основна разлога:

- трошкови делова,
- време циклуса.

У току су значајни напори на сваком од ових разлога и остварен је велики напредак. Међутим у циљу постизања широког прихватања у индустрији, потребно је да се деси неколико ствари. Прво, широко се верује да ће трошкови угљеничних влакна падати, у наредним годинама. На крају, материјал мора бити потпуно рециклиран на крају свог живота [21].

6.4. Аутомобили израђени од композитних материјала

Lola-Drayson B12/69EV

Овај аутомобил је направљен од рециклираних композитних материјала. Овај аутомобил је направљен да покаже потенцијал у мотоспорт индустрији. Лола је направљена да би се такмичила у FIA Formula E World Championship у серији за електрична возила. Овај аутомобил је направљен 2013. године [22] (слика 52).



Слика 52. Приказ Lola-Drayson B12/69EV [23]

BMW i8 Spyder

Овај аутомобил је направљен од угљеничних влакна. Место где возач и сувозач седе је израђено из једног дела, овај аутомобил је произведен 2016. године. Од 0 до 100 *km/h* достиже са само пет секунди, његова максимална брзина је око 250 *km/h*. Ентеријер овог возила изгледа одлично. Цена овог аутомобила је око 150,000 долара [22] (слика 53).



Слика 53. Изглед BMW i8 Spyder [24]

TEEWAVE AR1

Са масом од само 846 *kg* укључујући и батерију, овај електрични спортски аутомобил поседује композите од угљеничних влакна. Овај аутомобил је дизајниран од јапанског произвођача угљеничних влакана Тораи (Toray). Овај аутомобил је скоро потпуно израђен од композитних материјала. Од 0 до 100 *km/h* аутомобил стиже за 11 *s*, максимална брзина је 147 *km/h*. Произведен је 2011. године [22] (слика 54).



Слика 54. Изглед TEEWAVE AR1 [25]

GTA Spano

Ово је шпански аутомобил који је конструисан у Валенсији од стране компаније ГТА Мотор (GTA Motor). Почео је тајни пројекат 2005. године, конструисан је 2010. године. Каросерија овог аутомобила је израђена од композитних материјала. Овај аутомобил је представљен у више серија а најјачи је са 925 КС, од 0 до 100 *km/h* овај аутомобил убрзава за 2,9 *s*, максимална брзина је око 370 *km/h*. Цена овог аутомобила је око 1,5 милиона евра [26] (слика 55).



Слика 55. Изглед аутомобила GTA Spano [26]

6.4.1. Аутомобили нове генерације од композитних материјала

Lamborghini centenario

Овај серија аутомобила је направљена у част стогодишњице свог оснивача Ferruccio Lamborghini. Centenario је у потпуности направљен од композитног материјала од карбонских влакана. Сви делови овог аутомобила су супер лагани и дизајнирани су за аеродинамичку супериорност. Ваздух пролази кроз канале унутар кућишта на предњем делу, као и на бочним странама, побољшавајући проток ваздуха до задњег дела и обезбеђивање бољег хлађења. Овај аутомобил има јединствен управљач који повећава покретљивост при малим брзинама. При великим брзинама аутомобил има веома добру стабилност. Пирели је развио специјале гуме за овај модел аутомобила, предњи и задњи обруч је развијен од кованог и мелевеног алуминијума. Кочиони механизам овог аутомобила је направљен од карбонских керамичких влакана. Аутомобил поседује V12 мотор са природним усисавањем, који ће до 100 km/h достићи за 2,9 s. Највећа брзина овог аутомобила је 347 km/h, цена овог аутомобила је 1,9 милиона долара. Овај модел ће бити направљен само у 20 примерака, који ће бити испоручени 2017. године [27] (слика 56).



Слика 56. Изглед аутомобила centenario [27]

McLaren MSO Carbon

Овај модел је ограничен на само 25 модела, сви су већ продати и базирани су на моделу 675LT Spider, овај модел је приказан на међународним сајму аутомобила у Женеви 2016. године . Модел је веома лаган и има око 40% више делова од угљеничних влакана у односу на стандардни аутомобил. Као и код модела 675LT Spider, предњи браник, бочним крилима, доњим бочним улазима, блатобрани, задња хауба, задњи браник су направљени од угљеничних влакана са сјајном завршном обрадом материјала. Поред тога овај модел је опремљен са електричним увлачењем кровне конструкције која је изграђена од композитних материјала. Аутомобил поседује турбо V8 мотор, који има 666 КС, од 0 до 100 *km/h* достиже за 2,9 с. Цена овог аутомобила је око 335,000 долара [28] (слика 57)



Слика 57. Изглед McLaren MSO Carbon [28]

7. Закључак

Композитни материјали као релативно нова врста материјала, имају многе предности у односу на конвенционалне материјале. Композитни материјали се могу дизајнирати према захтевима који се појављују на појединим деловима, односно склоповима који се израђују од ове врсте материјала. Недостаци једне фазе се могу поправити додавањем друге фазе, а то и јесу композитни материјали, спој две фазе, матрице и ојачавача. Због повољних својства који се могу добити мешавином тих фаза, у будућности свакако треба развити нове методе и унапредити постојеће технологије израде ове врсте материјала како би се они могли почети примењивати и у серијској производњи. 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 аутомобилској индустрији су много лакши у односу на конвенционалне материјале што коначно доводи до очувања околине. Тиме што би аутомобили постајали све лакши и трошили мање горива.

Будућност аутомобила тежи електричним аутомобилима који минимално загађују околину па су им композитни материјали потребни због смањења масе на возилима што је опет повезано са смањењем потрошње и очувања околине. Свакако би се исто тако требали више употребљавати и биокompозити (полимерна матрица ојачана биљним и животињским влакнама) који могу заменити неке композитне материјале који се при изради појављују штетне и опасне ствари. Како позитивна, тако и негативна крајња својства код композитних материјала такође зависе од расподеле и врсте ојачала који се примењују код појединих врста композита.

Аутомобилска индустрија је једна од занимљивих грана инжењерства где свакако још пуно напора треба уложити да би аутомобили у будућности били што сигурнији, имали што мању потрошњу. Свакако треба споменути еколошки аспект свих тих производа.

8. Литература

1. Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић: Машински материјали, уџбеник, Машински факултет, Крагујевац, 2003.
2. Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J.: *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
3. https://www.google.rs/search?q=disk+automobila&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwje8NqpsLPWAhXjDcAKHVAAtAXYQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=RIJJQ80Yrn1vpM:
4. https://www.google.rs/search?q=brusne+ploce&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjg3v3DsLPWAhVGPRoKHaACvEQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=E9_dz4wVorvhvM:
5. https://www.google.rs/search?q=elektricni+releji&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjSzoetsbPWAhXjD8AKHaCPClwQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=xWleQJXVHMETPM:
6. Smojver, I.: *Mehanika kompozitnih materijala – interna skripta*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.
7. https://www.google.rs/search?q=staklena+vlakna&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif9c-ssrPWAhXjBsAKHfRtCK0Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=d58TNq5ON-H8BM:
8. https://www.google.rs/search?q=aramidna+vlakna&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiOsbvbsrPWAhVILsAKHYDD68Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=KrEn1R_GZ9F0cM:
9. https://www.google.rs/search?q=ugljeni%C4%8Dna+vlakna&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiXruuBs7PWAhXmDcAKHf-QCFUQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=3_MRx5ku0I-GlM:
10. https://www.google.rs/search?q=jutena+vlakna&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwivu5Sos7PWAhWGPBQKHxqoABAQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=tRmrPX4Ad7gWnM:
11. Filetin, Tomislav; Kovačiček, Franjo; Indof, Janez: *Svojstva i primjena materijala*. Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2007.,
12. Filetin, Tomislav: *Autorizirano predavanje*
URL: http://titan.fsb.hr/~tfiletin/en/data/_uploaded/clanci/Filetin_Bilten%202_09.pdf
13. Stojanović, Blaža; Ivanović, Lozica., *Primjena aluminijskih hibridnih kompozita u automobilskoj industriji*,
14. <https://dr.nsk.hr/islandora/object/sfsb%3A146/datastream/PDF/view>
15. https://www.google.rs/search?q=Удео+композитних+материјала+у+индустријским+производима&client=opera&hs=L25&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiWif-cusjUAhWmNJoKHZmCCDUQ_AUICygC&biw=1366&bih=658
16. URL: <http://www.sfsb.unios.hr/>
17. URL: http://adsves.weebly.com/uploads/2/1/8/2/21829402/9569143_orig.jpg

18. https://www.google.rs/search?q=klipnjaca+motora+audi&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj3Luht7PWAhXHOhQKHVd1BmYQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=vyrHC2dod0VpDM:
19. <https://www.linkedin.com/pulse/materials-automotive-body-chassis-structure-pooyan-nayyeri>
20. <http://www.3mb.asia/composite-materials-in-the-automotive-industry/>
21. <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2017/01/composites-industry-report-2017/8/>
22. <https://www.materialstoday.com/composite-industry/comment/10-composite-innovations-in-the-automotive-industr/>
23. https://www.google.rs/search?q=Lola-Drayson+B12/69EV.&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjY0sfd4LHWAhWHlxoKHUsQByIQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=vJZRrP6OrR2_qM:
24. https://www.google.rs/search?q=bmw+i8+spyder&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjD2cu74LHWAhVDtBoKHaKrBnkQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=HnDoP5Cjv83YIM:
25. https://www.google.rs/search?q=TEEWAVE+AR1.&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjm-I6k57HWAhXLExoKHY9_C7sQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=cW9dkaeBBbSPyM:
26. https://en.wikipedia.org/wiki/GTA_Spano
27. <https://www.compositestoday.com/2016/08/lamborghini-unveil-its-centenario-roadster/>
28. <https://www.compositestoday.com/2016/06/mclaren-creates-limited-edition-mso-carbon-series/>