

Композитни материјали – структура, особине и примена

Лозница, 2016.

САДРЖАЈ

1. Увод	3
2. Врсте композитних материјала.....	5
2.1 Композитни материјали са зрнастиим ојачивачима	5
2.2 Композитни материјали са влакнастим ојачивачима	6
2.2.1 Оријентација, димензије и густина влакнастих ојачивача	6
2.2.2 Материјали за израду влакнастих ојачивача.....	8
2.2.3 Материјали за израду матрица	10
3. Структура композитних материјала	11
3.1 Производња композитних материјала	12
4. Примена композитних материјала.....	14
4.1 Композитни материјали у ваздухопловству.....	14
4.2 Употреба композитних материјала у медицинске сврхе	15
5. Закључак	17
Литература	18
Списак слика	19
Списак табела	19

1. Увод

Савремене потребе човечанства и развој нових технологија условиле су потребу за бројним новим материјалима. Материјали који су деценијама задовољавали технолошке критеријуме замењени су новим материјалима са бољим својствима. Процењује се да данас постоји више од 70.000 различитих материјала. Сви они су добијени различитим технологијама комбинацијом само 114 елемената периодног система, највећим делом, различитим комбинацијама 76 метала. Поред знања из области класичне физике, хемије и биологије, која су годинама била основ развоја техничких материјала, данас се технологије материјала ослањају на савремена истраживања и нова знања области квантне физике што условљава појаву нових термина као што су техничке материје или нано материјали.

Технички материјали обухватају широк дијапазон различитих материјала насталих услед потреба машинске, грађевинске, електронске и других индустрија. Зависно до својих карактеристика, машински материјали се могу класификовати као: метали (укључујући легуре), затим полимери и еластомери, керамички материјали и стакла, течне материје (нафта, бензин, ацетон ...) и технички гасови. Најзаступљенији од њих су свакако метални, полимерни и керамички материјали, међутим у последње време све већи удео међу машинским материјалима заузимају више-компоненти, односно композитни материјали. Традиционални природни композитни материјал је дрво, које се састоји до влакана целулозе који се налазе у природној смоли, а најстарији вештачки композитни материјал је армирани бетон, који се састоји од цемента, агрегата и челичне арматуре.

Избор материјала који ће бити употребљени у производњи неког дела зависи од њихових својстава:

- Физичких својстава (боја, сјај, специфична тежина, односно густина, температура топљења, електрична, топлотна и звучна проводност, феромагнетна својства).
- Хемијска својства (топлота сагоревања, енталпија формирања, токсичност, хемијска стабилност у датој средини, запаљивост, отпорност на корозију).
- Технолошка својства (машинска и термичка обрадивост, ливкост, ковност, закаљивост, заварљивост).
- Механичка својства (својства отпорности, могућност деформације и тврдоћа).

До данас није произведен материјал који би поседовао сва од пожељних својстава, али је могуће направити компромис између цене и квалитета и одредити се за материјал у складу са потребама, односно у складу са радним условима елемента или конструкције, као и са технолошким могућностима за производњу и прераду тог материјала. Такође, квалитет и својства материјала зависе и од пожељног века трајања, фактора који утичу на његово хабање као што су сам облик елемента и његова улога у конструкцији и од утицаја окружења: висока, или ниска температура, влажност средине, киселост и слично.

Заступљеност савремених полимерних, керамичких и композитних материјала још увек није довољно велика у односу на традиционално заступљене металне материјале. Главни разлог томе је однос цене и квалитета. Цена производње и прераде металних материјала је релативно ниска, нарочито када су у питању различите варијације топло ваљаног челика, или легуре на бази железа. Са друге стране, квалитет металних материјала је довољно висок услед добре комбинације својстава отпорности (чврстоћа, граница пропорционалности, еластичности, течења, модул еластичности, жилавост) и добрим својствима деформације (издужење, контракција, равномерна деформација). Међутим, постоје околности које захтевају боља својства, а често и комбинацију својстава која се не може пронаћи код материјала произведених традиционалним методама.

Неки материјали имају добра механичка и технолошка својства, отпорни су на хемикалије, лагани су, не мењају им се својства када су изложени ниским температурама, али нису отпорни на повишене температуре, са друге стране, неки материјали се одлично понашају на високим температурама, али немају одговарајућа механичка својства, па се као такви не могу употребљавати на местима где ће бити изложени великим механичким оптерећењима и поред добих физичких својстава. Неки други материјали нису погони за поновну прераду, односно немају могућност рециклирања, што за представља велики индустријски проблем. Такође, савремене технологије захтевају материјале који поседују комбинацију својстава које се не могу пронаћи ни код легура, ни код полимера ни код керамичких материјала, па је потребно вештачки креирати материјале који ће задовољавати потребне критеријуме.

Специфични захтеви аутомобилске, авио и ракетне индустрије, стандарди које поставља војна индустрија, потребе спортске индустрије, производња информационо комуникационе опреме и слично, условљавају потребу за производњом композитних материјала чак и ако је њихова цена доста виша од цене осталих материјала. Композицијом материјала је могуће остварити велику јачину и крутост уз истовремено смањење тежине, могуће је произвести селективно пропустљиве материјале који ће се различито понашати у зависности од услова и, што је најважније, композитни материјали се могу пројектовати тако да њихова јачина и друга својства одговарају конкретном оптерећењу, или условима за које су намењени.

2. Врсте композитних материјала

Композитни материјали подразумевају комбинацију два, или више материјала који се знатно разликују по хемијском саставу и по физичким особинама и који се, као такви, не растварају један у другом. Композицијом различитих материјала добијају се материјали који наслеђују својства од материјала који улазе у њихов састав и на тај начин се добијају материјали који имају пожељну комбинацију својстава. Основу композитних материјала представља матрица од металних, полимерних, или керамичких материјала у које се додају ојачивачи (пуниоци) у облику зрнаца, или влакана. Композитни материјали се могу израђивати и тако што се слојеви материјала слажу један преко другог, или додавањем плочица материјала за ојачавање у матрицу (ламинатни композитни материјали).

Композитне материјале можемо класификовати у зависности од облика ојачивача као партикуларне са зрнастим ојачивачима, оне са влакнастим ојачивачима, ламинантне са плочицама или плочама и комбиноване. Зависно од распореда ојачивача, композити могу бити анизотропни уколико су влакна распоређена у једном правцу, изотропни, уколико су насумично распоређена и ортотропни уколико су влакна, или плочице распоређене тако да буду међусобно управне, поред тога, постоје и различите технологије ткања којим се упредена влакна ткају у ткања одговарајућих површина.

2.1 Композитни материјали са зрнастим ојачивачима

Композити ојачани честицама се састоје од матрице у коју су смештене честице приближно истих димензија, које су насумично распоређене, али са приближно истом концентрацијом по јединици запремине материјала. Зависно од величине и заступљености ојачивача (пуниоца) у матрици зависе и својства ових композитних материјала. Жељена ојачања се постижу уколико су честица мање од $1\mu m$ и уколико су релативно равномерно распоређене у проценту $30 \div 40\%$. Матрица код композита са зрнастим ојачивачима је најчешће полимерни материјал јер је њена функција да веже и распореди ојачивач, али она може бити и керамички, или метални материјал. Најзаступљенији везивни материјали, односно најчешће коришћени материјали за матрицу су термореактивне смоле: епоксидна, полиестерска и фенолна.

Ојачивачи могу бити лоптастог облика направљени од материјала на бази алуминијума, силицијума, калцијум и слично, а могу бити и у облику љуспица направљених од каолина, стаклене вуне и других, најчешће силикатних минерала. Уколико су ојачивачи лоптастог облика, добија се изотропни композит, а уколико су у облику љуспица, анизотропни. Уколико настојимо да добијемо материјал који треба да има изражено својство жилавости, као додатак у матрицу, односно као пунилац, користимо честице каучука лоптастог облика. Овакви пуниоци се додају у епоксидне, или полистиренске смоле како би се смањила њихова кртост.

Најпознатији од композита са зрнастим ојачивачима су кермити, односно композити настали додавањем керамичких материјала у металну матрицу. Најпознатији керамички материјали који се користе као ојачивачи су волфрамов

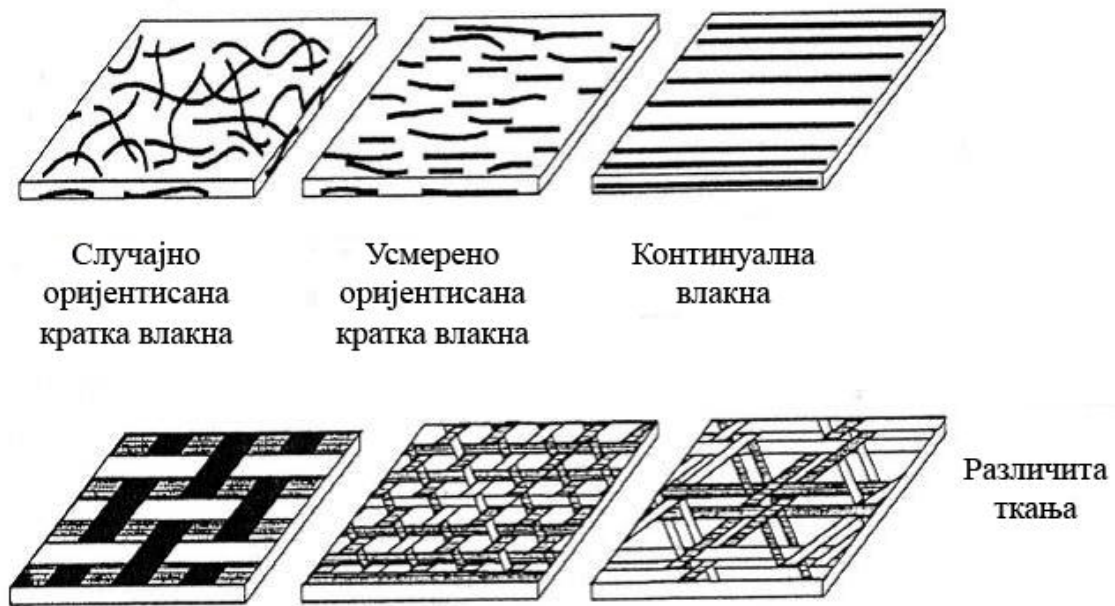
карбид и титанијумов карбид. Њихово најзначајније својство је велика тврдоћа, $9 \div 9,5 \text{ MN}$ (тврдоћа по Мосовој скали) и додају се у матрицу од кобалта како би се добили изузетно тврди композитни материјали. Тврде честице карбида су веома крте, а како би се постигла довољно велика жилавост ових материјала, честице карбида се пресују заједно са кобалтом након чега се жаре на температурама вишим од тачке топљења кобалта при чему се кобалт растапа и облаже сваку честицу карбидних материјала. Након жарења добијају се материјали који су изузетно тврди и довољно жилави да могу да поднесу дуготрајну експлоатацију и рад на високим температурама.

2.2 Композитни материјали са влакнастим ојачивачима

Код ових композита, влакнасти ојачивачи се додају у основу како би се повећала јачина и крутост материјала посредством матрице која их распоређује тако да се оптерећења материјала преносе на ојачавајући део композита, влакна. Матрица се најчешће израђује од полимерних материјала (епоксидних и полиестерских смола) и појединих метала, а влакна од различитих варијација стакла, угљеника, арамида и бора која се бирају у складу са својствима која желимо да постигнемо. Најбитнија својства која утичу на одабир влакана су: модула еластичности по јединици густине (E/ρ) и затезна чврстоћа по јединици густине (R_m/ρ). Такође, велики утицај на чврстоћу ових композита имају дужина и распоред влакана, њихова оријентација и однос њихове дужине и пречника.

2.2.1 Оријентација, димензије и густина влакнастих ојачивача

Композити у којима су влакна изотропно распоређена имају мали ефекат ојачања. Анизотропни композити имају добра својства уколико се правац оптерећења поклапа са правцем оријентације влакана, међутим, уколико је правац оптерећења управан на правац оријентације влакана, или је под неким углом, таквим, да се не поклапа са правцем протезања влакана, значајно се умањују еластичност и чврстоћа. За таква оптерећења користе се композити у којима се влакна распоређују у више правца и више нивоа, односно композитни материјали са вишеслојним ткањем влакнастих ојачивача. Запремински удео влакнастих ојачивача одређује чврстоћу материјала и утиче на крутост материјала, а горња граница учешћа влакана је 80%. Дужина влакна би требала да буде што је могуће већа, односно влакна би требала да буду што је могуће више без прекида обзиром да крајеви влакна преносе део оптерећења на матрицу. Међутим, проблем код дугих влакана је у томе што их је тешко произвести композицију са предугим влакнима, а и релативно је тешко произвести таква влакна. Оптимални однос дужине влакна l и пречника d је $l/d = 200 \div 500$ док се влакна са односом $l/d = 20 \div 50$ карактеришу као кратка.



Слика 1 Оријентација влакана: случајно и усмерено оријентисана влакна, континуална влакна и различите врсте ткања

Однос дужине и пречника влакна се одређује у зависности од затезне чврстоће влакна и напона смицања између влакна и основе:

$$L_c = R_m \cdot d / 2\sigma_c \quad (2.1)$$

где је: L_c – дужина влакна, R_m – затезна чврстоћа влакна, σ_c – напон смицања између влакна и d – пречник влакна.

Густина композитних материјала са влакнима се одређује тако што се сабере густина матрице и густина влакана у јединици запремине:

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_v \rho_v \quad (2.2)$$

где је: V_m – запремински удео матрице, ρ_m – густина матрице, V_v – запремински удео влакана и ρ_v – густина влакана.

Одређивање модула еластичности композитних материјала са влакнима реализује се тако што се узима у обзир утицај свих материјала који улазе у састав, као и оријентација и дужина влакнастих ојачивача, њихова густина и начин на који су предани и ткани. Уколико је оријентација влакана у правцу оптерећења модул еластичности је један збиру модула еластичности матрице и влакана у јединици запремине:

$$E_c = V_m E_m + V_v E_v \quad (2.3)$$

где је: E_c – модул еластичности композита, E_m – модул еластичности матрице и E_v – модул еластичности влакна.

Затезна чврстоћа ових композитних материјала зависи од везе између влакана и матрице, чврстоће влакана и чврстоће саме матрице:

$$R_{mc} = V_m R_{mm} + V_v R_{mv} \quad (2.4)$$

где је: R_{mc} – затезна чврстоћа композита, R_{mm} – затезна чврстоћа матрице и R_{mv} – затезна чврстоћа влакна ојачивача.

2.2.2 Материјали за израду влакнастих ојачивача

Композитни материјали пружају бројне могућности и због тога се непрестано тестирају нови материјали, а велике светске корпорације улажу знатна средства у научна истраживања са циљем да се патентирају материјали такви да поседују сва жељена механичка својства, а да при томе имају добра технолошка својства, односно ниску цену обраде, као и ниску цену производње. Влакна која се користе у оваквим композитима треба да поседују високу вредност адекватне специфичне чврстоће и адекватну крутост, односно адекватан модул еластичности. Због тога се употребљавају влакна која су направљена од материјала који поседују позната својства и који задовољавају такве критеријуме. Најчешће употребљавани материјали за израду ојачивача су: стакло, угљеник, бор и арамид, који се рапорезују у облику предива, ужета, тканина са различитим врстама ткања укључујући и посебне врсте густих ткања импрегнираним предивима.

Угљенична влакна се добијају прерадом катрана добијеног из рафинације нафте, сувом дестилацијом угља, или хемијском прерадом полиакрилонитрила. Полиакрилонитрил је синтетички материјал из групе термопластичних полимера чија се влакна израђују у неколико различитих варијанти са затезном чврстоћом $R_m = 1862 \div 3241 [MPa]$ и модулом еластичности $E = 227,5 \div 517,1 [GPa]$.

Табела 1 Полиакрилонитрил – однос затезне чврстоће, модула еластичности и густине за различите врсте влакана

Врсте полиакрилонитрила	Модул еластичности [GPa]	Затезна чврстоћа [MPa]	Густина маса [kg/m ³]
A	227,5	3103	1740
B	234,4	3103	1810
C	234,4	3241	1770
D	268,9	2896	1670
E	258,5	2482	1820
F	365,4	2206	1830
G	393,0	2413	1810
H	517,1	1862	1960

Основна својства стаклених влакана односе се на затезну чврстоћу, постојаност при различитим физичким и хемијским утицајима и стабилност у довољно дугом временском периоду. Оваква влакна се праве извлачењем растопљеног стакла кроз матрицу алата направљену од платине при чему се могу добити две врсте стакла: E – стакло (електрично стакло) које има добру затезну чврстоћу и модул еластичности и S – стакло (стакло високе јачине) које има већу вредност специфичне чврстоће и крутости, али и знатно вишу цену. Стакло типа E се највише примењује у изради композитних материјала, првенствено због доброг односа карактеристика и цене производње и експлоатације. Оваква влакна имају затезну чврстоћу $R_m = 3 \div 4 [GPa]$ и модул еластичности $E = 70 [GPa]$. Влакна направљена од стакла S типа има вишу затезну чврстоћу $R_m = 4,5 [GPa]$ и модул еластичности $E = 80 [GPa]$. Стакла овог типа имају мали пречник, што додатно доприноси њиховој чврстоћи. Примера ради за $r = \varnothing 12,5 mm$ затеза чврстоћа је $R_m = 56 [MPa]$, док је за $r = \varnothing 1,25 mm$ затезна чврстоћа $R_m = 2100 [MPa]$.

Арамидна влакна се добијају од ароматичних полиамидних полимера ојачаних бензенем формираних у бензенов прстен. Комерцијални називи за ова влакна, у зависности од тога ко користи лиценцу за производњу, су кевлар (енгл. *Kevlar*) или тарон (енгл. *Twaron*). Влакна добијена на овај начин имају високу затезну чврстоћу, али малу притисну чврстоћу и уколико постоји потреба за високом притисном чврстоћом она се упредају са влакнима која имају добру отпорност на притисак чиме се то отклања. Затезна чврстоћа арамидних влакана је $R_m = 1430 \div 2757 [MPa]$ док је модул еластичности $E = 70,5 \div 112,4 [MPa]$ $E = 70.5\% 112.4 MPa$.

Влакна од бора се добијају напаравањем лабаво упредених влакана волфрама хемијски чистим парама бора који након хлађења испада из волфрамског предива. Влакна од бора имају велику затезну чврстоћу $R_m = 2,4 [GPa]$ и висок модул еластичности $R_m = 450 [GPa]$. Обзиром да је у основи ових влакана волфрам, она су веома отпорна на утицај високих температура.

Табела 2 Физичка и механичка својства најчешће коришћених материјала за израду арматурних влакана

Влакна	Модул еластичности [GPa]	Затезна чврстоћа [MPa]	Густина маса [kg/m ³]
Стаклена	72 ÷ 86	2100 ÷ 4600	2400 ÷ 2500
Борна	358 ÷ 430	2800	2600
Угљенична	260 ÷ 385	2800 ÷ 4500	1700 ÷ 2000
Арамидна	135	2800	1440

2.2.3 Материјали за израду матрица

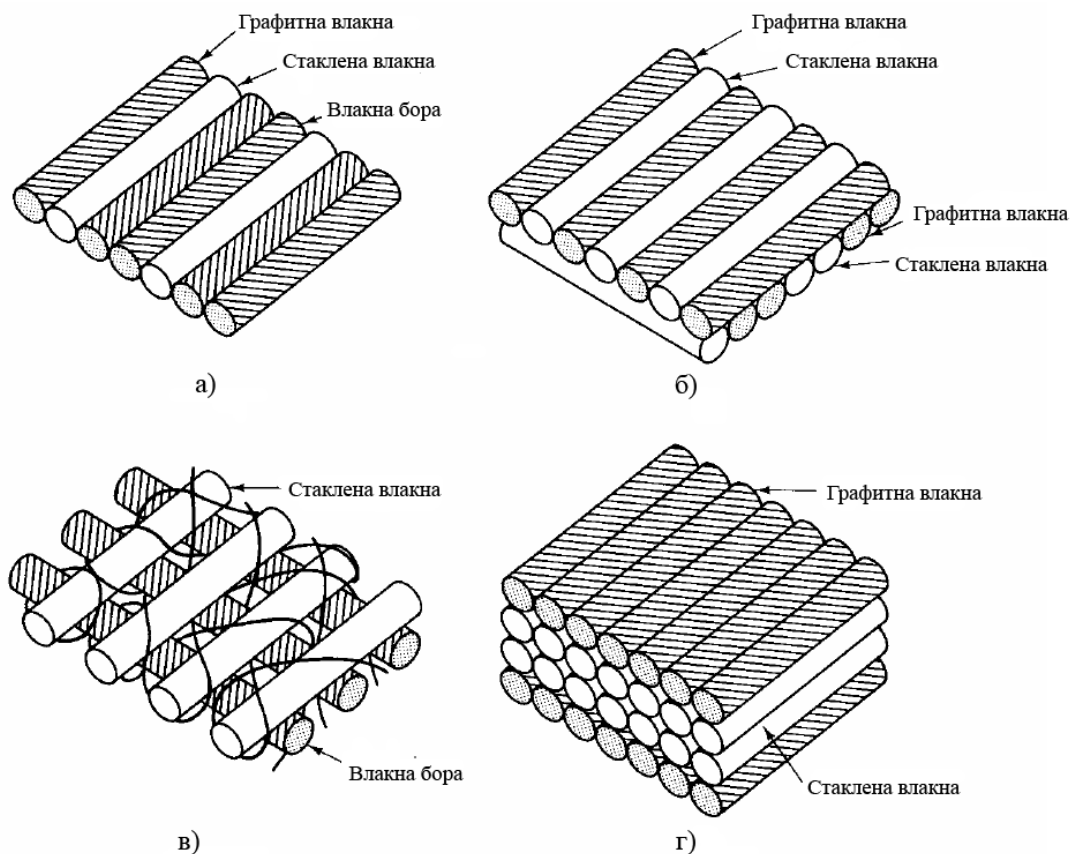
Матрица треба да буде таква да је у стању да заштитити ојачиваче од спољашњих утицаја, а композиција таква да се приликом утицаја сила, напон преноси са матрице на ојачавајуће елементе. Са друге стране, ојачавајући елементи су обично мање густине у односу на матрицу, њихов коефицијент топлотног ширења треба да буде у складу са матрицом, потребно је да постоји хемијска компатибилност са матрицом, а пожељно је и стварање хемијске везе између матрице и ојачивача у виду танког филма, такође, ојачивачи треба да имају високу чврстоћу сабијања и затезања, велик модул еластичности и велику тврдоћу. Човечанство је овладало технологијом која све то омогућава, међутим, увек се поставља питање економичности, тако да је од великог значаја однос потреба за конкретним скупом својстава, са једне стране и цене производње и технологије обраде, са друге стране.

Табела 3 Физичка и механичка својства најчешће коришћених материјала за израду матрице

Смола	Модул еластичности [GPa]	Затезна чврстоћа [MPa]	Густина маса [kg/m ³]
Фенолна	3100	41,31 ÷ 62,05	1300
Полиестерска	3300	43,31 ÷ 68,95	1100 ÷ 1300
Епоксидна	4300	82,74	1150

3. Структура композитних материјала

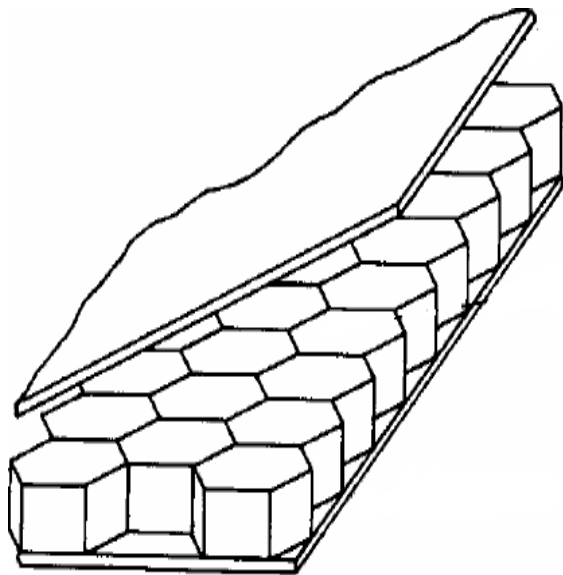
Композитни материјали се састоје од смеше, или од комбинације два, или више материјала који се разликују по физичким и хемијским особинама и потпуно су међусобно нерастворљиви без обзира на концентрацију компоненти. Зависно од величине компоненти, односно њиховог пречника, или дебљине, они могу бити класификовани као: нано ($0,005 \div 0,01 \mu m$), микро ($0,01 \div 0,1 \mu m$), мини ($0,1 \div 1 \mu m$), миди ($1 \div 10 \mu m$), или макро ($10 \div 100 \mu m$). Технологије њиховог повезивања, односно њихове композиције се разликују, али се увек тежи добијању материјала чија својства одговарају конкретној намени што и јесте једна од основних карактеристика композитних материјала. Наменска производња материјала одређује технолошке услове производње и обраде, утиче на избор адекватних ојачивача (пуниоца): честица, влакана, или плочица, односно плоча, начин њиховог слагања, упредања, мешања, како би се остварила жељена својства.



Слика 2 Распоред влакана за ојачавање: а) једнослојно слагање, б) слагање у слојевима (ламинат), в) слагање преплитањем и г) селективни размештај

Уколико могуће постићи да се правац деловање сила деформације материјала поклопи са оријентацијом влакана онда је могуће композицију реализовати једнослојним распоредом влакана, али се најчешће композитни материјали

израђују слагањем пуниоца у више слојева постављених у различитим правцима, у облику ламината, или као сендвич конструкција. Свака композиција подразумева међусобно повезивање пуниоца помоћу термореактивних смола након чијег очвршћавања се добија жељена композиција.

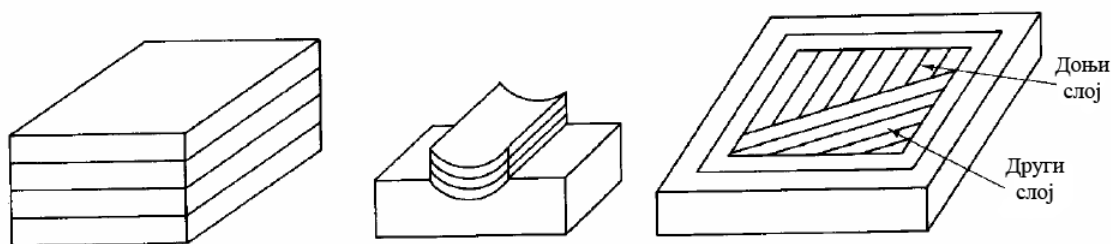


Слика 3 Композитни материјал са сендвич структуром

Сендвич конструкција је најчешћи вид реализације хибридних композитних материјала, на пример, израда спољних слојева композита од алуминијума и израда средишњег дела од стаклених, арамидних, или папирних материјала повезаних епокси смолом, а распоређених у облику прчелињих саћа. Тако реализоване ћелије могуће је пунити неким од материјала који имају добра својства као термички и звучни изолатори: различите минералне вуне, или пенасти полиуретан. Овако је могуће добити чврсте и круте материјале који су, истовремено добри термички и звучни изолатори

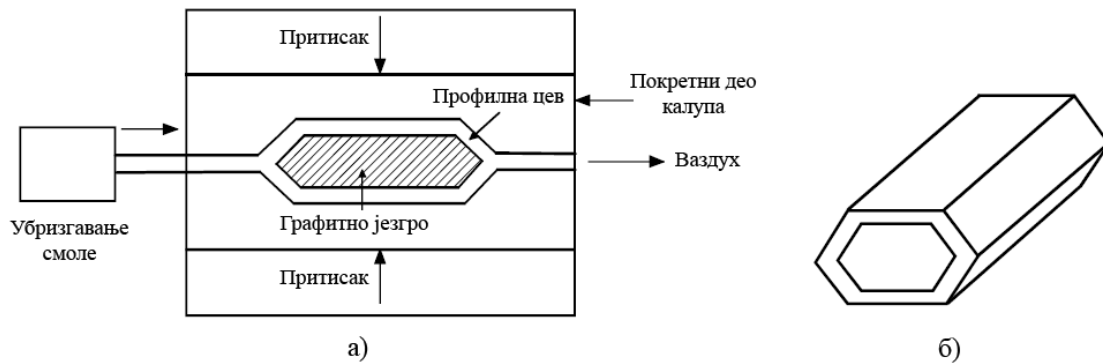
3.1 Производња композитних материјала

Производња композита се реализује на различите начине: пресовањем уколико се производе плочасти облици, убризгавањем када композите лијемо у сендвич конструкције или у носеће делове различитих конструкција, извлачењем приликом производње производа константног попречног пресека, или намотавањем приликом производње цилиндричних предмета. Пресовање подразумева претходну импрегнацију ојачивача, односно увођење везивног слоја, након чега се ојачивач пакује у калуп. Овако спаковани слојеви ојачивача који су импрегнирани смолом се излажу топлоти и дејству пресе при чему долази до полимеризације термоактивне смоле и спајања матрице и ојачивача. Зависно од слагања и облика калупа ојачивачи могу имати раван, закривљен, или укрштен облик.



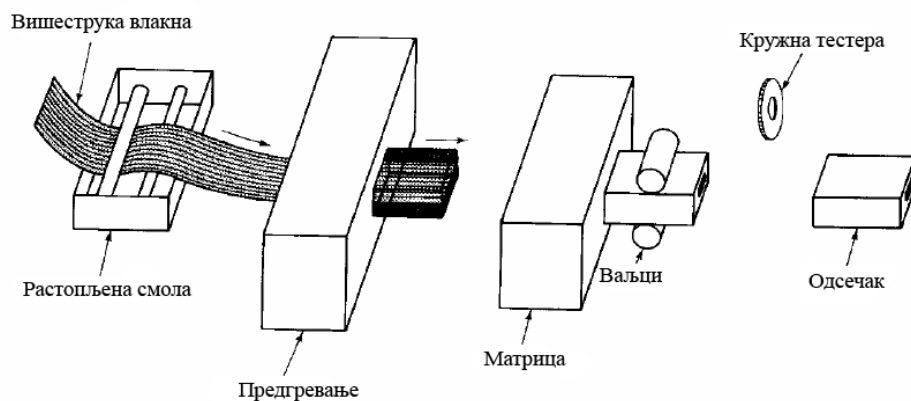
Слика 4 Облици ојачивача

Убризгавање смоле се изводи помоћу калупа у који се претходно смештају материјали за ојачавање, док се жељени облици постижу додавањем графитних облика који се након очвршћавања композита уклањају из финалног производа.



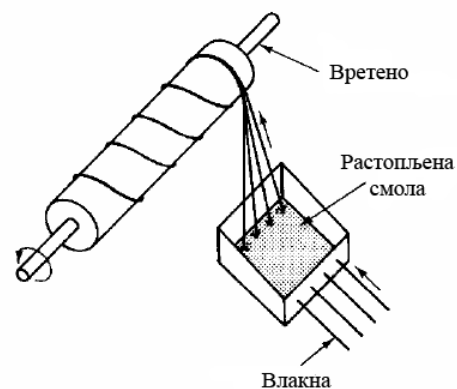
Слика 5 Убризгавање

Извлачење се састоји од провлачења влакнастих ојачивача кроз растопљену смолу, затим кроз комору за загревање и на крају кроз матрице извлачење жељених профила. Извучени профили се секу на жељену дужину.



Слика 6 Извлачење

Намотавање се састоји од провлачења влакнастих ојачивача кроз растопљену смолу, њиховог упредања и намотавања на вретено док се не добије намотај са довољно великим бројем слојева, односно са довољном дебелином намотаја. Након очвршћавања везивне смоле добија се жељени производ.



Слика 7 Намотавање

4. Примена композитних материјала

Композитни материјали се већ дужи низ година користе у индустријској производњи због бројних предности различитих композиције материјала у односу на чисте материјале, или једињења. Бољи однос чврстоће и масе, смањење трошкова одржавања, смањење трошкова производње уједињавањем (консолидацијом) делова, дужи животни век, боље могућности за конструисање, боља изолациона својства, већа отпорност на хемијске утицаје, већа отпорност на замарање материјала и слично. Сва набројана својства су пожељна када су у питању инжењерски материјали, међутим није увек могуће постићи сва жељена својства, а често су околности такве да је добијање одређених својстава прескупо, па самим тим и неоправдано. Технолошке предности употребе и производње композитних материјала, у последње две деценије, надвладавају недостатке због значајног напретка технике у тој области обзиром да већ постоји база познатих и довољно испитаних материјала са јасно дефинисаним механичким, хемијским и физичким својствима.

4.1 Композитни материјали у ваздухопловству

Светска ваздухопловна индустрија се базира на употреби композитних материјала и највећи део истраживања и најзначајније иновације су реализовали управо инжењери из ове индустрије. Пројектовање, са аспекта композитних материјала, подразумева да се они користе у мери која омогућава да се оствари склад између трошкова и перформанси које композити остварују. На пример, амерички борбени авиони *F/A-18EF*, *F-22* и *F-35* се састоје од релативно мале количине композитних материјала, много мање него што би се могло претпоставити, обзиром да су у питању савремени невидљиви авиони. Спољна површина трупа, крила, и реп су израђени, или прекривени композитним оплатама да би се смањила укупна тежина, док је унутрашњост израђена од лаких металних легура.

Цивилно ваздухопловство последњих година доживљава прави препород када је у питању употреба композитних материјала. Производњу цивилних летелица карактерише употреба великих делова као што су труп, или крило и склопова направљених од композитних материјала и то у много већим серијама него што је то случај код војних летелица. Примера ради, производња делова за амерички авион бомбардер *V2* је реализована за укупно двадесет летелица, док је производња делова за авион *F-35JSF* пројектована за двадесет летелица месечно. Један од разлога за то је тај што су цивилни авиони доста већи од војних борбених авиона па је потребна већа количина материјала, што додатно смањује цену економијом обима. Повећање обима производње ствара нови изазов када је у питању организација производње композитних делова и масовно слагање композитних платна, или препрега (енгл. *Pre-preg*), али ствара нове могућности и значајно умањује трошкове.

Најзначајнији светски произвођачи ваздухоплова: Боинг (енгл. *Boeing*) и Ербас (енгл. *Airbus*) за производњу змајева својих авиона користе композитне и ламинантне композиције угљеничних ојачивача у полимерној смоли. Боингов

путнички авион *B-787* је реализован тако да је скоро 100% оплате трупа направљено од композитних материјала, импрегниране тканине од угљеничких влакана смештене у матрицу од епокси смоле. Нови војни Ербасов авион *A400M* пројектован је тако да се крила праве од угљеничких композита, док је нови путнички авион *A350XWB* пројектован тако да 53% структуре буде израђено од композитних материјала. Највећу заслугу за већу заступљеност композитних материјала имају произвођачи који у великим серијама производе компоненте за добијање композитних материјала. Примера ради, произвођачи препрега располажу технологијом за импрегнирање ојачивача смолом и технологијом за чување препрега у хладним коморама, док други произвођачи располажу технологијом која им омогућава да у кратком временском периоду од добијеног препрега слагањем на калуп формирају конструкцију жељеног дела летелице и да направе финални производ, на пример крило, или део трупа.

Будућност композитних материјала у ваздухопловној индустрији развија се у смеру материјала у које ће бити интегрисани сензори који ће сигнализирати промене које се јављају у материјалима. Такође, доста средстава се улаже у развој технологија које ће побољшати могућности спајања композитних и металних материјала обзиром да традиционални начини за стварање раздвојивих и нераздвојивих веза значајно умањује добра својства композитних материјала. Процесом бушења композитних материјала ствара се место за настанак иницијалних прскотина, такође, спој различитих материјала на месту спајања условљава појаву корозије на металним материјалима. Тенденције актуелних истраживања јесте већа употреба полимерних материјала и формирање великих композитних склопова заједно са металним деловима без употребе механичких елемената за везу.

4.2 Употреба композитних материјала у медицинске сврхе

Композитни материјали који се употребљавају у медицини користе се за репарацију, или замену живог ткива, првенствено из здравствених, а затим и из естетских разлога. Најзначајнија својство везано за ове материјале јесте биокомпатибилност, што подразумева да ови материјали не смеју изазивати негативне ефекте у организму, односно не смеју узроковати токсичне, алергијске, или канцерогене реакције, такође не смеју узроковати никакву негативну реакцију имунолошког система организма, а морају имати биолошку инертност и механичка својства слична ткивима која замењују. Савремена медицина користи биокерамичке материјале на бази металних оксида ојачане угљеничким влакнима, као и метале пресвучене танким филмовима керамичких материјала. Биокомпатибилност керамичких материјала произилази из њиховог састава, односно због тога што су грађени од истих јона који се налазе у телесној течности па не изазивају никакве токсичне реакције у телу. Највећи проблем се огледа у томе што се већина постојећих материјала понашају као страна тела што води потпуној изолацији импланта са последицом појаве оштећења околног ткива, поремећаја хемијске стабилности и оштећења самог импланта.

Најчешће композиције материјала су: метал – полимер, метал – керамика и керамика – полимер. Једна врста вештачких костију се прави тако што се на металну шипку која се уграђује у кост надовезује кугла, односно вештачки зглоб

који се прави од керамике пресвучене полиетиленом велике молекуларне масе који служи са повезивање кугле и зглоба, истовремено штитећи керамичку куглу од механичких оштећења. Део материјала који се налази у физичком контакту са другим материјалом, или са живим ткивом је најосетљивији због чега мора имати специфична физичка својства, високу затезну чврстоћу $R_m = 1000 \div 4500 [MPa]$, висок модул еластичности $E = 150 \div 400 [MPa]$ и велику отпорност на замор. Интернационална организација за стандарде (енгл. *International Standard Organization*) како би се постигао жељени квалитет прописује каква својства морају поседовати материјали који се могу употребљавати у медицини. На пример, најчешће коришћена биокерамика, алуминијум оксид мора бити чистоће веће од 99,5% и густине веће од $\rho = 3940 [kg / m^3]$, са зрнима пуниоца мањим од $4,5 \mu m$. Поређења ради, повећање зрна пуниоца на $7 \mu m$ довело би до смањења чврстоће за приближно 20%.

Посебно инспиративно подручје истраживања биоматеријала се односи на могућности самообнављања и самоприлагођавања композитних материјала живом ткиву, односно на способност композита да у контакту са телесном течношћу на својој површини подстакну специфичан биолошки одговор организма и да доведу до стварања везе са ткивом. Најбољи одговор на ово питање су биоактивна стакла која се користе у стоматологији и ортопедији која узрокују умножавање ћелија кости које се налазе у непосредном контакту. Ову појаву условљава контролисано топљење површине биоактивног стакла које доводи до стварања биолошки активног супстрата за раст нових ћелија кости. Механичка својства имплантата направљених од биоактивног стакла су доста слична чврстоћи и еластичности биолошких костију што је веома битан услов за потпуну интеграцију импланта у организам.

Фасцинантни су примери биоматеријала који су направљени на бази полимерних материјала на чијој површини су уграђени протеини, пептиди и други биомолекули који опонашају околин у изван ћелије матрице и тако подстичу развој ћелијске површине. Такође, развијени су материјали који се употребљавају за контролисање фактора раста нерава, односно материјали који се отпуштају контролисаном брзином чиме се помаже раст нервног ткива. До данас је за клиничку употребу одобрена употреба већег броја инжењерских ткива, али ово подручје и даље представља велики истраживачки изазов за све водеће светске компаније које се баве производњом медицинских композита. Производња ткива биоинжењерингом подразумева употребу здравих ћелија и развој техника за припремање биоматерије са особинама за креирање биореактора који ће опонашати физиолошку околин у.

5. Закључак

Композитни материјали имају веома истакнуту улогу у савременој индустријској производњи јер се њиховом применом технологија приближава природи, односно развија у једином логичном смеру. Нове технологије се данас, више него икад раније, ослањају на нова сазнања из природе која нас окружује и то условљава да производи, до најситнијих детаља, oponашају природу и примере из биљног и животињског света. Развој нових композитних материјала је процес који није једноставан и у ком се промене не догађају скоковито, али је евидентно да се делови који се праве од ових материјала и који су веома скупи за производњу, веома захвално понашају у експлоатацији што наводи на закључак да ће такви делови истиснути из производње делове настале на традиционалне начине.

Производња композитних материјала ће неминовно доживети свој процват. Већ сада смо сведоци аутоматизације производње што значајно утиче на смањење цене ових производа и на повећање њиховог квалитета. Појава нових технологија и бројна нова истраживања отварају врата композитним материјалима јер омогућавају економичност производње, смањење времена потребног за израду компоненти као и смањење цене њиховог коришћења. Паралелно са тим, развијају се нове генерације инжењера чији пројекти се ослањају на постојећа знања о различитим композитним материјалима. Такође, веома значајна истраживања се спроводе са циљем да се композитни материјали који су до сада коришћени замене новим композитним материјалима са биљним влакнима који су доста јефтинија, а имају приближно добре карактеристике као и композити за угљеничким влакнима.

Човечанство је овладало технологијом која омогућава производњу материјала високе чврстоће и високог модула еластичности, добре ударне и заморне отпорности, одличне отпорности на корозију, феноменалних изолационих својстава, материјала невидљивих за радар, материјала који се прилагођавају физичким и хемијским условима средине у којој се налазе, међутим, као и све нове технологије и овде постоје бројне несавршености, или негативне стране. Већина композитних материјала и даље је веома скупа, производња је јако спора, често су токсични, или запаљиви, осетљиви су на утицаје агресивне средине, осетљиви на температурне утицаје, или подложни штетном утицају влаге. Поред тога, већина композитних материјала је производ великих корпорација које нису вољне да своју технику и технологију деле са другима што узрокује недостатак познавања тих материјала у стручним круговима и недостатак стручне радне снаге за њихову експлоатацију.

Литература

- [1] Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић Нада Ратковић, **МАШИНСКИ МАТЕРИЈАЛИ**, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2003.
- [2] Mr Zoran Vasić, dipl. inž. Vojnotehnički Institut, Beograd, Prof. dr Zlatko Petrović, dipl. inž. Mašinski fakultet, Beograd, **SAVREMENI KOMPOZITNI MATERIJALI U PROJEKTOVANJU I PROIZVODNJI VAZDUHOPLOVNIH KONSTRUKCIJA**, Broj rada: 164 – 2009 V7/4.
- [3] Магдалена Стевановић, **Добијање, морфологија и структура прахова поли (DLlaktid-ko-glikolida) и биокмпозита поли (DL-laktid-koglikolid)/бифазни калцијум фосфат**, Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију, Београд, 2006.
- [4] **КОМПЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ**, <https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/12/kompozitni-materijali/>
- [5] **Волфрам карбид**, https://sh.wikipedia.org/wiki/Volfram_karbid
- [6] **Титанијум карбид**, https://sh.wikipedia.org/wiki/Titanijev_karbid
- [7] **Polyacrylonitrile**, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyacrylonitrile>
- [8] **Comparison of Carbon Fiber, Kevlar (Aramid) and E Glass used in Composites for Boatbuilding**, <http://www.christinedemerchant.com/carbon-kevlar-glass-comparison.html>
- [9] **Aramid Fibers, trade names Kevlar, Twaron, Nomex, Technora**, http://www.christinedemerchant.com/aramid_characteristics.html
- [10] **Process for producing polyacrylonitrile-based carbon fiber EP 0098025 A2**, <http://www.google.com/patents/EP0098025A2?cl=en>

Списак слика

<i>Слика 1</i> Оријентација влакана: случајно и усмерено оријентисана влакна, континуална влакна и различите врсте ткања	7
<i>Слика 2</i> Распоред влакана за ојачавање: а) једнослојно слагање, б) слагање у слојевима (ламинат), в) слагање преплитањем и г) селективни размештај	11
<i>Слика 3</i> Композитни материјал са сендвич структуром	12
<i>Слика 4</i> Облици ојачивача	12
<i>Слика 5</i> Убризавање	13
<i>Слика 6</i> Извлачење	13
<i>Слика 7</i> Намотавање	13

Списак табела

<i>Табела 1</i> Полиакрилонитрил – однос затезне чврстоће, модула еластичности и густине за различите врсте влакана	8
<i>Табела 2</i> Физичка и механичка својства најчешће коришћених материјала за израду арматурних влакана	9
<i>Табела 3</i> Физичка и механичка својства најчешће коришћених материјала за израду матрице	10