

9. КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Због своје специфичне структуре и особина које су последица такве структуре, композитни материјали се издвајају као посебна класа материјала. Сачињени су од два или више различитих материјала, који су сједињени тако да не губе своје сопствене особине, док се укупна својства новонасталог материјала разликују од својстава његових компонената. На тај начин добија се финални производ са особинама које представљају комбинацију најбољих особина компонената.

Композитни материјали се карактеришу бољим физичким и хемијским особинама у односу на њихове компоненте. Најзначајније од тих особина у погледу примене су: мала маса, добра хемијска стабилност, већа отпорност на удар и на замор услед коришћења, а осим тога омогућена је флексибилност у дизајну, као и једноставнија израда делова сложене геометрије.

Особине композитних материјала се могу подешавати у току процеса израде, што доприноси њиховој све широј употреби, јер је за потребе многих нових технологија често неопходна комбинација особина које не могу да пруже конвенционални материјали.

9.1. СТРУКТУРА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

Композитни материјали се најчешће састоје од две фазе: прве, која представља основни материјал и назива се **матрица** и друге која представља материјал чијим се додавањем постижу захтевана својства композита и назива се **диспергована** или ојачавајућа фаза. Свака фаза у композитном материјалу задржава своје физичке, хемијске и геометријске карактеристике.

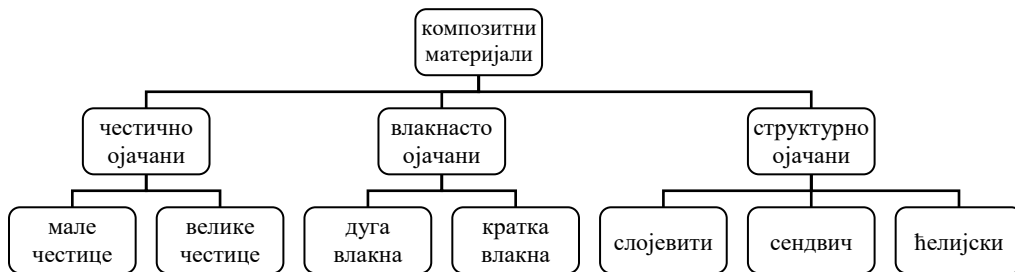
Особине композитних материјала су функција особина материјала обе фазе, њиховог односа у материјалу и геометрије дисперговане фазе. Очвршћавање материјала се одиграва на диспергованој фази која прима оптерећење.

Класификација композитних материјала најчешће се врши на основу њихове структуре, односно облика дисперговане фазе којом се врши

ојачавање материјала, или на основу материјала од кога је израђена матрица. На основу облика дисперговане фазе композити су сврстани у три групе: честично ојачани, влакнасто ојачани и структурно ојачани композитни материјали. На основу материјала од кога је израђена матрица, могу се разликовати композитни материјали са металном, керамичком и полимерном матрицом.

9.1.1. Диспергована фаза

Диспергована фаза може бити у облику честица, влакана или структурних елемената. Класификација композитних материјала на основу облика и величине дисперговане фазе приказана је на слици 9.1.



Слика 9.1. Класификација композитних материјала према облику и величини дисперговане фазе.

Дакле, композитни материјали се деле на: композите ојачане честицама, композите ојачане влакнима и структурно ојачане композите.

9.1.1.1. Честично ојачани композитни материјали

Честично ојачани композитни материјали могу бити ојачани малим или великим честицама.

Мале честице за ојачавање композитних материјала

Под малим честицама подразумевају се честице димензија $(10 - 250) \text{ nm}$. Својим присуством оне смањују кретање дислокација матрице и на тај начин утичу на њено ојачање. У којој мери ће доћи до ојачања матрице дисперговане малим честицама зависи од њиховог облика и величине, као и расподеле и тврдоће. Честице морају бити чврсто повезане са материјалом матрице и не смеју се отапати у матрици, нити смеју хемијски реаговати са њом.

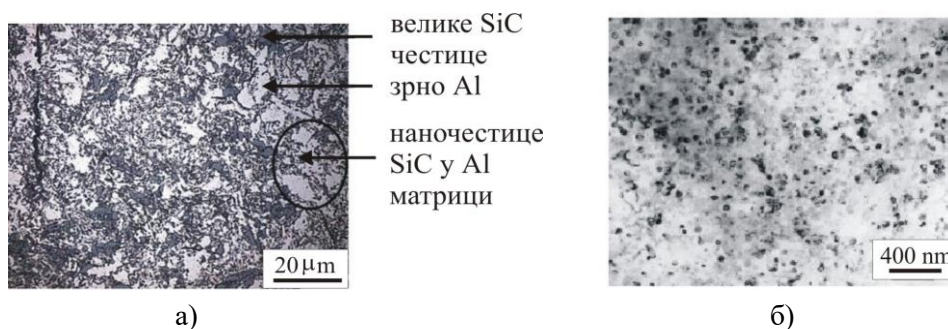
Уколико су димензије честица од $(1 - 100) \text{ nm}$, може се сматрати да се ради о наночестицама. Изузетна својства композитних материјала ојачаних наночестицама произилазе управо из димензија честица. Наиме,

што су честице дисперговане фазе ситније, то је већа чврстоћа материјала и отпорност на пузање. Код оваквих материјала матрица трпи целокупно оптерећење, док је улога наночестица у спречавању кретања дислокација.

Механизми интеракција наночестица и матрице су на атомском и молекулском нивоу. Материјал када се сведе на нанодимензије може показивати врло различита физичка својства у односу на она која показује на макро нивоу. Смањењем величине честица, већи број атома ће се налазити на површини у односу на број атома у унутрашњости. У складу са тим наночестице ће имати знатно већу површину по јединици масе у поређењу са већим честицама, што узрокује нове карактеристике композита.

Уколико се жели оптималан ефекат ојачања, наночестице би требало да буду сферног облика и равномерно дисперговане у матрици. Униформном дисперзијом праха тврдог и инертног материјала у матрицу, најчешће оксидног праха величине честица (10–100) nm долази до ојачавања матрице, а сам ефекат ојачавања је израженији на високим температурама, пошто дисперговани прах не реагује са матрицом. На овај начин врши се високотемпературско ојачавање никла дисперзијом 3wt% торијум оксида ThO_2 у матрицу.

На слици 9.2.а) приказан је композитни материјал на бази алуминијума ојачан наночестицама силицијум карбида SiC . Матрицу овог композита чини легура алуминијума која се одликује малом густином и добром отпорношћу на корозију, док се диспергована фаза састоји од наночестица силицијум карбида које повећавају чврстоћу, модул еластичности, отпорност на хабање и температурну стабилност материјала.



Слика 9.2. ТЕМ снимак композитног материјала на бази алуминијума Al ојачаног наночестицама: а) силицијум карбида SiC и б) титан триалуминида Al_3Ti .

За поједине специфичне примене може се вршити ојачавање алуминијума наночестицама интерметалног једињења. Посебно интересовање међу интерметалним једињењима изазивају титан

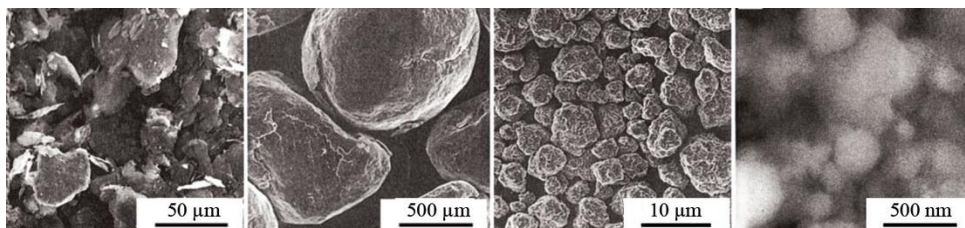
триалуминиди Al_3Ti који се одликују високим тачкама топљења, малом густином и добром отпорношћу према оксидацији. На слици 9.2.б) приказан је ТЕМ снимак композитног материјала на бази алуминијума ојачаног униформно распоређеним наночестицама интерметалног једињења.

Дисперговањем честица малих димензија могу се формирати композитни материјали велике еластичности. Аутомобилске гуме се, на пример, праве од композита који садржи (15-20)% карбонског црнила димензија честица (20 – 50) nm, добијеног сагоревањем природног гаса или нафте у ограниченом присуству ваздуха.

Услед Ван дер Валсове силе може доћи до неконтролисане агломерације праха која узрокује нехомогеност у структури, па као последица тога може доћи до ширења пукотина у материјалу. На пример, керамичке наночестице склоне су груписању у кластере током процеса ојачавања матрице, али упркос томе, нанокompозитни материјали постају јачи и отпорнији на пузање него микрокомпозитни са много већим садржајем честица.

Велике честице за ојачавање композитних материјала

Композитни материјали могу да се добијају и дисперговањем крупних честица реда величине μm . То су тзв. **велике честице**, али оне не могу тако успешно спречавати кретање дислокација матрице, тако да не ојачавају матрицу на тај начин. При оптерећењу композита, једнако се деформишу и матрица и честице дисперговане фазе, али се у матрици и диспергованим честицама јављају различита напрезања. Честице разних величина и облика дате су на слици 9.3.



Слика 9.3. ТЕМ снимак композитних материјала ојачаних великим честицама различитих величина и облика.

Честично се могу ојачавати све врсте матрица, металне, керамичке и полимерне. Као честично ојачани композитни материјали на бази металне матрице најчешће се користе легуре од алуминијума са запреминским додатком од (10-30)% честица силицијум карбида SiC или алуминијум оксида Al_2O_3 . Користе се за израду делова кочница, мотора и мењача код

аутомобила, као и за израду брусних и резних плоча, при чему честице и матрица морају бити добро узајамно повезане како се честице оптерећене силама резања не би откидале од матрице. Композити карбидне керамике, такође, имају велику примену у изради брзорезних алата и израђују се на бази кобалта или никла ојачаних честицама волфрам карбида и титанијум карбида.

Композитни материјали могу да се добијају и од крупних честица диспергованог материјала, реда величине mm. Један од таквих примера је бетон, који представља композит на бази керамичке матрице којој су додате крупне керамичке честице. Тачније, бетон је композитни материјал шљунка и песка (60-80%) диспергованих у цементу, коме се додаје одређена количина воде ради бољег повезивања компонената. Дисперговане компоненте у овом случају, побољшавају механичке особине конструкционог материјала и смањују цену. Бетон је, као и други керамички материјали, веома крт и има малу затезну чврстоћу, око десет пута мању од чврстоће на притисак, тако да се најчешће додатно ојачава челичним шипкама.

9.1.1.2. Влакнасто ојачани композитни материјали

Влакнасто ојачани композитни материјали имају највећи значај и примену међу композитним материјалима. Добијају се дисперзијом влакана у матрицу мале густине и карактеришу се изузетно великом затезном чврстоћом. Имају веома широку примену јер нуде могућност производње материјала "кројених по мери", што значи да се распоред и густина влакана могу мењати како би се прилагодили различитим напрезањима у унутрашњости конструкционог елемента.

Основна улога влакана у композитном материјалу је:

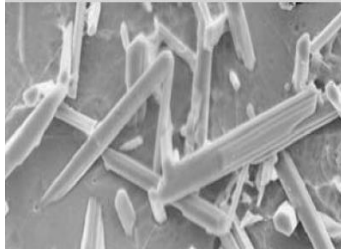
- преузимање оптерећења (код конструкцијских композитних материјала влакна прихватају (70-80)% оптерећења),
- осигурање чврстоће, крутости, и топлотне стабилности и
- осигурање електричне проводности или изолације у зависности од примене композитног материјала.

Влакна се могу обликовати у три основна облика: вискери, влакна и жице.

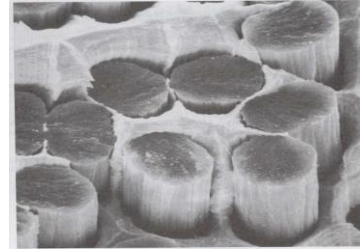
Вискери су врло танке нити монокристала које се производе у димензијама пречника (0.1–0.5) μm и дужине приближно 5 mm. Мале димензија ових ојачавача утичу на велики удео правилности кристалне грађе, што је разлог њихове изузетно велике чврстоће. Вискери могу бити израђени од силицијум нитрида, силицијум карбида, алуминијум оксида,

угљеника итд. На слици 9.4.а) приказан је композитни материјал ојачан вискерима израђеним од титан борида TiB.

Влакна имају релативно мали пречник и њихова структура је поликристална или аморфна. Материјали за израду влакана могу бити полимерни, керамички или метални (стакло, бор, угљеник, алуминијум оксид, силицијум карбид, челик, волфрам итд.). Легура Ag-Cu ојачана угљеничним влакнима приказана је на слици 9.4.б).



а)



б)

Слика 9.4. а) ТЕМ снимак композитног материјала ојачаног вискерима израђеним од титан борида TiB, б) легура Ag-Cu ојачана угљеничним влакнима.

Жице су релативно великог пречника и због неусмерених металних веза имају нешто нижу затезну чврстоћу од влакана и вискера. Типични материјали за израду жица су: челик, молибден и волфрам. Највећу примену имају у ојачању високооптерећених гума возила, ојачању цеви за разне намене итд.

Материјали за израду влакана

Веома добра механичка својства влакана последица су јаких међуатомских сила које владају у материјалима које карактерише низак атомски број и мала густина, као што су C, B, Al и Si. Влакна могу бити направљена само од тих елемената, затим од њихових међусобних спојева, или једињења са кисеоником. Влакна су најчешће угљенична, стаклена, метална и арамидна и најчешће чине (60-70)% запреминског удела у композиту. Основна механичка својства неких материјала за израду влакана дата су у табели 9.1.

На основу порекла материјала од кога се израђују, влакна се могу поделити на:

- **влакна органског порекла** (угљеник, синтетички материјали, ланчани молекули-полиетилен) и
- **влакна неорганског порекла** (стакла, бор, алуминијум оксид, силицијум карбид, челик, волфрам, молибден).

Угљенична влакна добијају се од полиакрилнитрила (PAN), целулозних и других органских влакана у поступку пиролизе, који се заснива на топлотном изазивању хемијских промена, односно, горењу органске материје која се угљенизује и тиме добија црну боју. То значи да се материја карбонизовала за шта је неопходна температура од 2000°С.

Угљенична влакна разликују се од графитних влакана по мањем садржају угљеника. Наиме, угљенична влакна садрже (93-95)% угљеника, док графитна влакна садрже чак 99% и више угљеника. Разлика настаје у процесу пиролизе и огледа се у постигнутој чврстоћи материјала.

Добре особине угљеничних влакана су: висока чврстоћа и крутост, добра електрична проводност, ограничено топлотно ширење, водоотпорност, способност амортизације вибрација, док су главни недостаци: ниска чврстоћа на притисак, кртост и мала отпорност на абразију.

Стаклена влакна израђују се провлачењем ливеног стакла кроз матрице. Поједине врсте стаклених влакана имају велику примену првенствено због своје релативно ниске цене. Најчешће се користе борсиликатно стакло, магнезијум и алуминијум силикатно стакло.

Метална влакна се најчешће израђују од челика, титанијума, алуминијума итд.

Борова влакна се карактеришу великом чврстоћом, отпорношћу на високим температурама и крутошћу при затезању и притиску. Међутим, борова влакна имају велику густину и високу цену, тако да је пластика ојачана њима тешка и скупа.

Арамидна влакна¹ спадају у класу топлотно отпорних синтетичких влакана која се карактеришу највећом специфичном чврстоћом, која је последица високе оријентисаности молекула ланца дуж осе влакна. Главна предност ових влакана је што се, до извесне мере, могу пластично деформисати без пуцања. Њихов основни недостатак је што апсорбују влагу, услед чега им својства слабе.

Биљна влакна се састоје из угљених хидрата, као што су: шећер, скроб, целулоза итд. Настају из обновљивих пољопривредних и шумарских производа укључујући дрво, пољопривредни отпад, траву и природна биљна влакна (конопља, јута, лан, агава, курауа² итд.).

¹Назив "арамид" је настао као кованица од "aromatic polyamide".

²Биљка курауа припада врсти бромела и узгаја се у Јужној Америци. Влакна се извлаче из листовата биљке и одликују се добрим односом чврстоћа/маса и добром површинском храпавошћу (енг. curaua fibers).

Последњих година изражена је тенденција примене ових влакана у аутомобилској индустрији, где се стаклена влакна у полимерној матрици замењују биљним.

Табела 9.1. Основна својства неких материјала за израду влакана.

врста материјала	пречник (μm)	густина (kg/m^3)	модул еластичности (GPa)	чврстоћа на извлачење (GPa)	рел. деф. (%)
угљеник HS ³	-	1900	270-350	2.7-3.5	-
PAN-IM	9	1800	276	2.93	1.0
PAN-IM	10	1900	400-520	2.9	0.5
PAN-UHM	10	1860	517	1.72	0.4
стакло					
E - тип	14	2540	70-98	3.4-3.5	3.2
S - тип	10	2490	85-105	4.5-5.0	5.7
C - тип	-	2490	69	3.1	4.8
челик (0.9% C)	100	7800	210	4.25	-
волфрам W	25	19300	360	3.85	-
алуминијум Al	-	2700	70	0.38	-
титанијум Ti	-	4500	110	1.0	-
бор B	100-200	2600	385	3.8	-
силицијум карбид SiC	100-200	3300	430	3.5	-
алуминијум оксид Al ₂ O ₃	20	3950	379	1.4	-
арамид	12	1400	117	2.8	2.8
полиетилен	38	970	117	2.58	5
конопља	-	1480	70	0.55-0.9	1.6
јута	-	1300-1450	10-30	0.4-0.8	1.2-1.8
лан	-	1400-1500	27.6-80	0.35-1.5	1.2-3.2

³Према основним механичким карактеристикама, угљенична влакна се класификују као: HM-висок модул еластичности, IM-умерен модул еластичности и HS-висока чврстоћа. Понекад се користи и ознака UHM-врло високи модул еластичности.

Структура влакнасто ојачаних композитних материјала

У матрицу влакнасто ојачаних композитних материјала додата су једнодимензионална влакна која могу бити различите дужине и оријентације. Особине композита влакнасте структуре одређене су величином, концентрацијом и распоредом диспергованих влакана у матрици.

Критична дужина влакна l_c којом композит може да се ојача одређена је пречником влакна d_f , затезном чврстоћом влакна σ_f , као и затезном чврстоћом везе влакно-матрица τ :

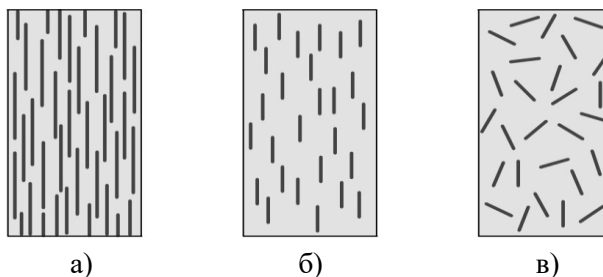
$$l_c = \sigma_f d_f / \tau \quad (9.1)$$

За стаклена и карбонска влакна израчуната критична дужина износи око 10 mm, док је пречник влакна 20-100 пута мањи.

Осим дужине веома је важна и оријентација влакана у матрици. Наиме, међусобна оријентација диспергованих влакана и њихова дужина одређују начин на који се спољашње оптерећење преноси кроз матрицу на влакна која је ојачавају, односно одређују карактеристике влакнасто ојачаних композитних материјала. Распоред влакана најчешће се може класификовати на следећи начин (слика 9.5):

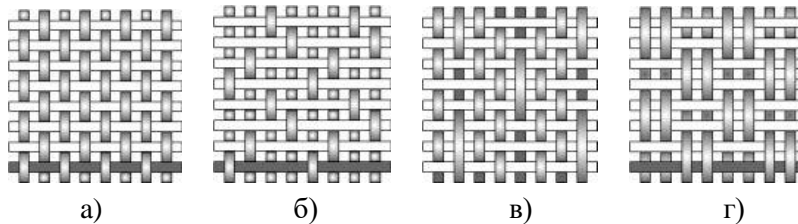
- континуиран и усмерен, $l \gg l_c$
- дисконтинуиран и усмерен, $l = l_c$ и
- дисконтинуиран и хаотичан.

Композитни материјали са континуираним и усмереним распоредом влакана имају анизотропне особине у односу на напон који изазива деформацију. Највеће очвршћавање и најмања деформација композита овог типа је у правцу усмерености влакана, а најмање очвршћавање је у правцу нормалном на правац усмерености влакнасте структуре. Дисконтинуиран и хаотичан распоред влакана најмање ојачава матрицу.



Слика 9.5. а) Континуирана и усмерена влакна, б) дисконтинуирана и усмерена, в) дисконтинуирана и хаотична влакна.

Својства влакнасто ојачаних композитних материјала могу се побољшати упредањем, односно ткањем и до 200 елементарних влакана. Постоје различити начини упредања, а најчешће се користе: једноставно, кепер, сатен и тзв. кош ткање, што је приказано на слици 9.6.



Слика 9.6. Начини ткања елементарних влакана:
а) једноставно, б) кепер, в) сатен и г) кош ткање.

У новије време све више се користе и тзв. хибридни композити који се добијају комбиновањем две или више врста влакана. Највећу примену имају араמיד-стакло, угљеник-стакло и угљеник-арамид.

Технике израде влакнасто ојачаних композитних материјала

Влакнасто ојачани композитни материјали су се, првобитно, производили поступком ручног полагања наизменичним наношењем слојева влакана и матрице до постизања жељене дебљине узорка. Најчешће коришћене технике у данашње време за израду влакнасто ојачаних композита су:

- **техника пресовања** (pre preg) у којој се влакнаста структура уграђује топлим пресовањем, између две траке пластичног материјала. Пре-прег је термин за "пре-импрегнирана" композитна влакна, где је материјал матрице, као што је смола, већ присутан. Влакна често имају облик ткања и матрица се користи за њихово лепљење у току производње.
- **техника извлачења** (pultrusion) којом се влакна провлаче кроз посуду за импрегнацију, а затим се суше и обликују проласком кроз ваљке. Техником извлачења израђују се производи непроменљивог попречног пресека, на пример различити профили, штапови и цеви.
- **техника формирања** композита мотањем на калемове са изрезбареном (уграђеном) путањом.

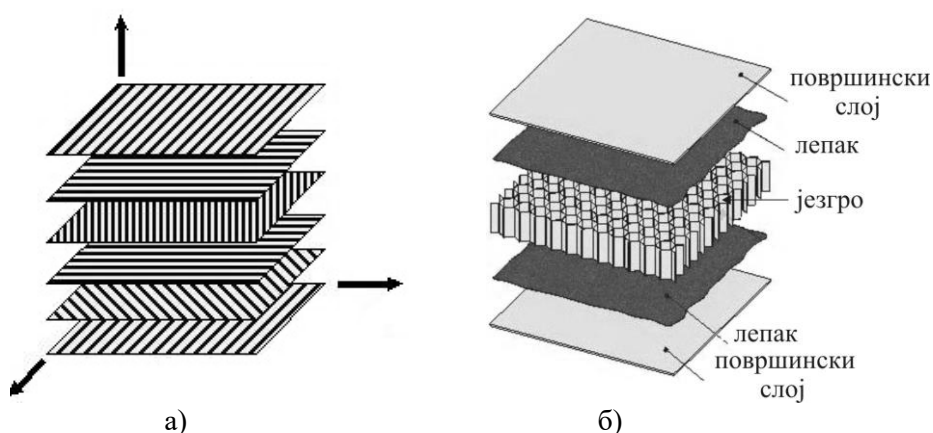
9.1.1.3. Структурно ојачани композитни материјали

Структурно ојачани композитни материјали могу имати слојевиту и тзв. сендвич структуру.

Слојевита-ламинат структура композита формира се од слојева различитих врста, карактеристика и дебљина. Како би се добила

ламинарна структура, танке, практично дводимензионалне плоче влакнасто ојачаног композитног материјала, слажу се једна преко друге под правим углом (слика 9.7.а). Услед оваквог распореда вишеслојна структура се понаша изотропно при оптерећењу. Затезна чврстоћа материјала је висока у свим правцима. У изабраном правцу је ипак мања него да су сва влакна оријентисана у правцу дејства силе.

Сендвич структура се формира од две спољашње облоге (лица) композита раздвојене језгром у облику саћа (слика 9.7.б) или пене које има малу чврстоћу. Спољашње облоге су најчешће израђене од легура алуминијума или титанијума, затим од челика и влакнасто ојачаних пластичних материјала. Структура саћа је најчешће од истог материјала.



Слика 9.7. а) Начин слагања слојева код слојевитих-ламинат композита, б) сендвич структура са језгром у облику саћа.

За израду језгара у облику пене најчешће се користе PVC, акрилне пене, алуминијумске пене, PC итд. Дебљина ових језгара износи (5 – 50) mm , а њихова густина је (40 – 200) kg/m³.

9.1.2. Матрица композитних материјала

Својства матрице најчешће одређују и својства композитног материјала у целини, као и ограничења у примени. Основна улога матрице у композитном материјалу је:

- преношење оптерећења на влакно,
- одвајање влакана једних од других у сврху спречавања ширења пукотина у материјалу,
- формирање спољашњег облика композитне конструкције и
- заштита композита од хемијских утицаја спољашњих фактора и физичког оштећења.

У случају излагања композитног материјала различитим утицајима околине, матрица је прва изложена смањењу механичких својстава, тако да њена својства знатно одређују карактеристике композита. Технологија израде композита знатно утиче на његова својства, јер се мора осигурати добра веза између влакана и матрице, као и минималан удео шупљина или пукотина у композиту.

Матрице могу бити полимерне, металне и керамичке, па се на основу тога композитни материјали деле на композите са полимерним, металним и керамичким матрицама. Код влакнасто ојачаних композита најчешће се користе металне и полимерне матрице мале густине који имају неопходну еластичност.

9.1.2.1. Полимерне матрице

Полимерни композитни материјали састоје се од полимерне матрице и дисперговане фазе која је најчешће влакнасте структуре (нпр. стаклена или угљеникова влакна). Хемијски састав одабране полимерне матрице у великој мери одређује особине полимерног композита. Полимерне матрице могу се поделити у две велике групе, а то су: дуромери (полиестер, епоксидне, винил естерске, фенолне смоле итд.) и пластомери (РА, РЕ, РР, ABS и високотемпературни пластомери).

Полимерни композити, због својих специфичних својстава, имају широку примену у аутомобилској индустрији, бродоградњи, авио-индустрији и грађевини. Њихове предности у односу на друге материјале, огледају се у повољним вредностима густине материјала, еластичности, специфичне чврстоће, способности пригушења вибрација и ниској цени производње конструкцијских делова. Као основни недостаци полимерних композита могу се навести њихова анизотропна својства, крутост и могућност раслојавања.

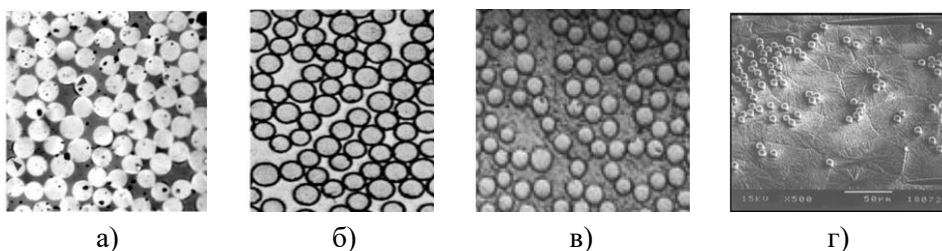
Дуромерне матрице

Композитни материјали са дуροмерним матрицама, посебно они на бази полиестера и еоксида, чине чак 80% свих ојачаних пластика.

Полиестерске смоле су макромолекули на бази диабазичних киселина (ортофталне, изофталне, терефталне киселине итд.) и диола (етилен гликол, пропилен гликол итд.). На коначна својства полиестера утиче управо комбинација диабазичних киселина и диола. Најчешће се примењују због повољније цене у односу на друге полимерне материјале. На слици 9.8.а) приказана је структура композита са матрицом од полиестерске смоле ојачане стакленим влакнима.

Епоксидне смоле се карактеришу изузетно добрим механичким особинама и отпорношћу на хемијско деловање и воду. Њихова цена је нешто виша, па се углавном користе у ваздухопловној индустрији и бродоградњи. Микросруктура композита са матрицом од епоксидне смоле ојачане стакленим влакнима, дата је на слици 9.8.б).

Винил естерске смоле су сличне полиестерским смолама, али имају нешто боља механичка својства и отпорност на хемијско деловање. Стандардне винил естерске смоле могу се применити до температуре од приближно 125°C . Често се користе разни додаци како би се побољшала њихова отпорност на топлоту и деловање UV зрака. Структура композита са матрицом од винил естерске смоле ојачане стакленим влакнима приказана је на слици 9.8.в).



Слика 9.8. Структура композита од: а) полиестерске смоле ојачане стакленим влакнима, б) епоксидне смоле ојачане стакленим влакнима, в) винил естерске смоле ојачане стакленим влакнима, г) РЕЕК ојачаног угљеничним влакнима.

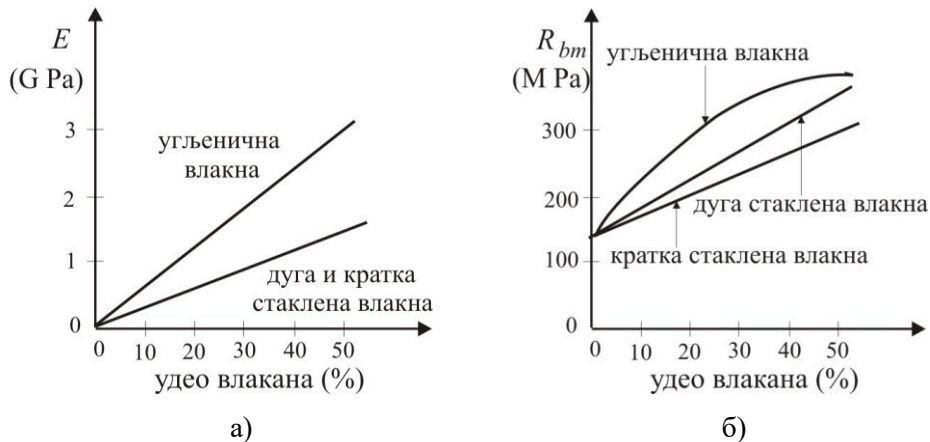
Пластомерне матрице

Матрица од полиамида се користи за израду компоненти које су изложене деловању високих температура и могу се примењивати до температуре од 250°C . Композитни материјали са матрицом од полиамида карактеришу се изузетно добрим механичким својствима и отпорношћу на хемијска дејства.

Полифенилсулфид-PPS спада у високотемпературне пластомере, који се користи као замена за Al-легууре. Његовом применом смањује се маса делова авиона (нпр. крила авиона Airbus-a) за око 20%, чиме се постиже смањење потрошње горива, повећање отпорности на ударна оптерећења и на дејства агресивних медија, као што су гориво, средство за одлеђивање итд.

Полиетер етер кетон-РЕЕК је још један од често коришћених високотемпературних пластомера. Има релативно високу температуру топљења у поређењу са већином других високотемпературних пластомера (343°C). Структура композита са матрицом од РЕЕК ојачаном угљеничним влакнима приказана је на слици 9.8.г).

Особине полимерних композита у великој мери зависе од врсте средстава за ојачање, као и од његове расподеле и усмерености у матрици. Модуо еластичности E и чврстоћа на савијање R_{bm} зависе од процентуалног удела угљеничних или стаклених влакана, што је приказано на слици 9.9. Може се уочити да полимерни композити ојачани угљеничним влакнима имају знатно боље карактеристике у односу на композите ојачане стакленим влакнима.



Слика 9.9. Зависност: а) модула еластичности, б) чврстоће на савијање од удела угљеничних, односно стаклених влакана.

У циљу постизања добрих карактеристика полимерних композита, битно је да степен компатибилности матрице и средства за ојачање буде што већи. У пракси се често користе органске матрице које се ојачавају стакленим влакнима. Да би матрица и стаклена влакна боље пријањали, влакна се претходно обрађују у одређеним органским материјама, најчешће је то силан.

9.1.2.2. Металне матрице

Композити са металном матрицом (енг. Metal Matrix Composites-ММС), се одликују знатно већом отпорношћу на високим температурама у односу на основне метале, а такође имају и бројне предности у односу на композите са полимерном матрицом, као што су: висока жилавост, добра ударна својства, отпорност на пузање, постојаност на вишим температурама, димензиона стабилност, отпорност на хабање итд. Веома важна карактеристика у погледу предности њихове примене у односу на полимерне композите је да су метални композити незапаљиви. Метална матрица композиту даје карактеристичне особине метала, као што су топлотна и електрична проводност.

Осим бројних предности, највећи недостаци композита са металном матрицом су: компликован и скуп процес производње, недовољно података о својствима материјала и мала могућност рециклаже.

Највећу примену међу композитима са металном матрицом имају они чије су матрице сачињене од различитих врста легура алуминијума, бакра, титанијума и магнезијума, као и они са матрицама од суперлегура. Ојачање се најчешће врши влакнастом диспергованом фазом при чему је запреминска концентрација влакнасте структуре (20-50)%.

Влакна могу бити континуирано или дисконтинуирано уређена. Од континуирано уређених влакана најчешће се користе: угљеник С, силицијум карбид SiC, алуминијум оксид Al_2O_3 и бор В, док се од дисконтинуирано уређених влакана користе: силицијум карбид SiC у облику вискера, кратка влакна угљеника С и алуминијум оксида Al_2O_3 . Као ојачавајућа фаза користе се и честице алуминијум оксида, титанијум диборида TiB_2 итд.

Алуминијумова матрица

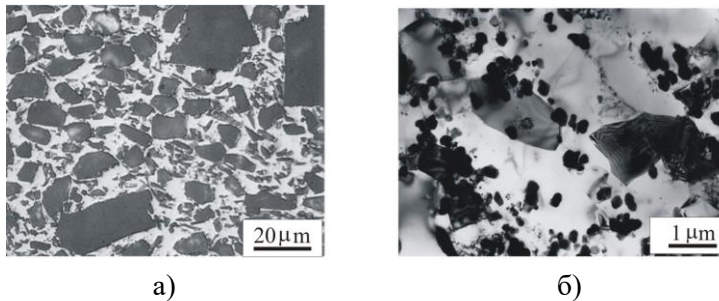
Један од најзначајнијих материјала за израду металних матрица и са највећим уделом на тржишту је алуминијум. Алуминијуму се могу додати разне врсте ојачавача, било да су то непрекидна влакна, кратка влакна, вискери или честице разних димензија.

Бор-алуминијум В/Al је пример композитног материјала где се алуминијумовој матрици додају континуално распоређена влакна бора која се одликују изузетном чврстоћом, крутошћу и малом густином. Овај композит има високу топлотну и електричну проводност и пружа могућност превлачења, обликовања, спајања и топлотне обраде.

Силицијум карбид-алуминијум SiC/Al је композит са алуминијумовом матрицом ојачаном континуирано распоређеним влакнима силицијум карбида. Одликује се већом чврстоћом, крутошћу и температурском стабилношћу у односу на неојачани алуминијум. Затезну чврстоћу коју има на собној температури задржава све до температуре од $260^{\circ}C$. Дисконтинуирани SiC/Al композит може бити ојачан честицама (слика 9.10.а), вискерима или кратким влакнима силицијум карбида у алуминијумовој матрици.

Угљеник-алуминијум C/Al композити су почели да се производе шездесетих година прошлог века због ојачања које се постиже чврстим и крутим угљениковим влакнима. Међутим, у композитном материјалу долази до непожељних реакција између алуминијума и угљеника, а једна од њих је оксидација угљеникових влакана. Да би се то спречило, угљеникова влакна се најпре превлаче слојем метала, а затим се врши

дифузно спајање или пултрузиција како би се добили готови конструкцијски елементи.



Слика 9.10. ТЕМ снимак: а) композита са матрицом од алуминијума ојачаном честицама SiC са запреминским уделом од 63%, б) композита са матрицом од алуминијума ојачаном честицама Al_2O_3 са запреминским уделом од 10%.

Алуминијум оксид-алуминијум Al_2O_3/Al композити имају велику примену јер поједина керамичка влакна нису скупа, а њихове особине као што су отпорност на трошење и деформацију су знатно боље него код неојачаних алуминијумових легура. На слици 9.10.б) приказана је матрица од алуминијума ојачана честицама алуминијум оксида Al_2O_3 са запреминским уделом од 10%.

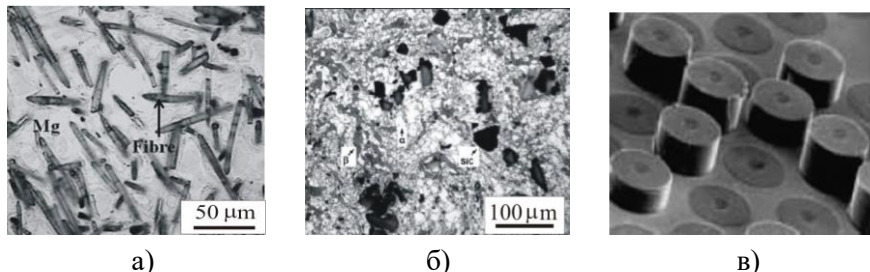
Међу металним композитима посебну пажњу привлачи алуминијум под комерцијалним називом борсик-алуминијум, који је развијен за потребе авиоиндустрије. У основни материјал алуминијума су уграђена волфрамова влакна пречника $10\mu m$, која су претходно напарена танким слојем бора, а затим силицијум карбида, да би се спречила могућа реакција са матрицом.

Магнезијумова матрица

Композити са матрицом од магнезијума поседују малу масу, малу густину (око 1700 kg/m^3), високу крутост и низак коефицијент топлотног растезања. У односу на алуминијум, магнезијум је активнији у корозионој средини и има мању топлотну проводност.

Угљеник-магнезијум C/Mg је композит са магнезијумовом матрицом ојачаном угљениковим влакнима. Има већу крутост, већу чврстоћу, малу топлотну растегљивост и лошу отпорност на корозију. Користи се у аутомобилској индустрији, као и у свемирским конструкцијама. На слици 9.11.а) може се видети структура композитног материјала са матрицом од магнезијума ојачаном угљениковим влакнима, какав се користи у аутомобилској индустрији за израду блока мотора аутомобила.

Алуминијум оксид-магнезијум Al_2O_3/Mg је композит са матрицом од магнезијума ојачаном влакнима Al_2O_3 . Одликује се малом густином, малом топлотном растегљивошћу и високим модулом еластичности. Највећу примену имају код израде делова аутомобилских мотора.



Слика 9.11. а) Композит са матрицом од Mg-легура ојачаном угљениковим влакнима C, б) SEM снимак композита са матрицом од Mg-легура ојачаном дисконтинуирано распоређеним честицама SiC, в) композит са титанијумовом матрицом ојачаном једносмерним влакнима SiC.

Силицијум карбид-магнезијум SiC/Mg представља композитни материјал са магнезијумовом матрицом ојачаном честицама силицијум карбида SiC. SEM снимак овог композита приказан је на слици 9.11.б). Највећу примену имају у нисконапонској електроници.

Титанијумова матрица

Легуре титанијума имају боље особине од легура алуминијума, али су од њих знатно скупље, тако да су композити са титанијумовом матрицом мање заступљени у односу на композите са алуминијумом. Легуре титанијума су лаке и издржљиве, посебно на развлачење, одликују се добром чврстоћом на собној и средњим температурама, као и великом отпорношћу на корозију. Титанијумове матрице се најчешће ојачавају једносмерним влакнима силицијум карбида SiC (слика 9.11.в).

Бакарна матрица

Бакарне матрице се одликују добром топлотном проводношћу и чврстоћом на високој температури, тако да се најчешће примењују у условима када композити са алуминијумском матрицом нису погодни. Обично се ојачавају влакнима израђеним од угљеника C и волфрама W.

Матрица од суперлегура

Под суперлегурама подразумевају се металне легуре специјално израђене за употребу на изузетно високим температурама и до $1400^{\circ}C$. То су најчешће легуре елемената VII групе периодног система, као што су никал, кобалт и гвожђе. Да би се постигла чврстоћа композита са матрицом од суперлегура при високим температурама, матрица се ојачава

vlaknima volфрама, молибдена и тантала који спадају у групу тешко топивих метала. Влакна добијена од легуре волфрама имају чврстоћу већу од 2070 МПа при температури од 1095°С што је око шест пута више у односу на суперлегуру које се користе за израду главног мотора Space Shuttle-а. Због оваквих особина, композитни материјали на бази суперлегура углавном се користе за производњу турбинских мотора.

9.1.2.3. Керамичке матрице

Композитни материјали са керамичком матрицом одликују се релативно малом масом, великом тврдоћом и отпорношћу на хабање, стабилношћу на високим температурама и изузетном отпорношћу на корозију. Главни недостатак им је склоност ка кртом лому.

Керамичке матрице најчешће се деле на:

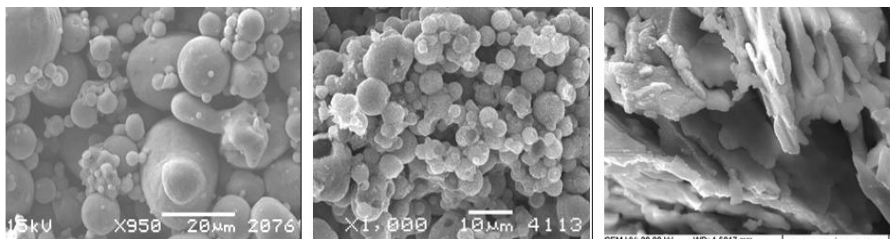
- **оксидне керамике** у које спадају алуминијум оксид Al_2O_3 , силицијум оксид SiO_2 , мулит Al_2O_3/SiO_2 и алуминосиликати баријума, литијума и калцијума и
- **неоксидне керамике**, од којих су најзначајније силицијум карбид SiC , силицијум нитрид Si_3N_4 , бор карбид BC и алуминијум нитрид AlN .

За индустријску примену, најчешће се користе композити са силицијум карбидном SiC и алуминијум оксидном Al_2O_3 матрицом. За ојачавање керамичких матрица могу се користити дисперговане фазе у облику честица, вискера и сечених комадића влакана SiC , Si_3N_4 , BC , TiB_2 итд. Овако добијени композитни материјали имају нешто слабија механичка својства, али се могу производити неким од класичних и јефтинијих поступака производње монолитне керамике. У новије време, као ојачавачи се користе и континуирана влакна алуминијум оксида, мулита, угљеника и силицијум карбида.

Алуминијум оксидна матрица Al_2O_3 се користи за израду композита који се карактеришу добрим механичким особинама: високом чврстоћом, тврдоћом и отпорношћу на хабање, као и добром отпорношћу на корозију на повишеним температурама. Ове матрице се најчешће ојачавају влакнима алуминијум оксида Al_2O_3 која се претходно превлаче угљеником C , бор нитридом BN или цирконијум оксидом ZrO_2 како би се смањила крстост. SEM снимак композитног материјала са матрицом од алуминијум оксида ојачаном честицама алуминијума различитог облика, приказан је на слици 9.12.

Силицијум карбидна матрица SiC се најчешће ојачава континуираним влакнима C и SiC . Овако добијени композити се одликују малом масом, високом топлотном проводношћу и добром отпорношћу на

корозију (долази до стварања танког слоја оксида на површини) и хабање. Изузетно су отпорни на високе температуре и до 1500°C . У новије време композити са силицијум карбидном матрицом се ојачавају наноцевима пречника (30 – 100) nm чиме се постиже значајно побољшање механичких својстава.



Слика 9.12. SEM снимак композита са матрицом од алуминијум оксида Al_2O_3 ојачаном честицама алуминијума различитих облика.

У најпознатије композите са керамичком матрицом спада, свакако, бетон који се састоји од цемента и песка који чине матрицу која се ојачава крупним керамичким честицама, односно шљунком. Основна механичка својства неких материјала који се користе за израду матрица дата су у табели 9.2.

Табела 9.2. Основна својства неких материјала за израду матрице.

врста материјала	густина (kg/m^3)	модул еластичности (GPa)	чврстоћа на извлачење (MPa)	релативна деформација (%)
полиестер	1500	4.5	90	5
винил естер	1150	4.0	90	5
епокси	1400	6.0	130	8.5
полиимид	1890	4.9	120	3
PPS	1340	3.3	70-75	3
PEEK	1320	-	92-100	150
полипропилен	900	1-1.4	25-38	300
алуминијум	2700	70	200	-
Ti-6Al-4V	4500	110	1000	-
борсиликатно стакло	2300	60	100	-
MgO	3600	210-300	97-130	-
Al_2O_3	4000	360-400	250-300	-
SiC	3200	400-440	310	-

9.2. МЕХАНИЧКЕ ОСОБИНЕ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

Физичке особине композитних материјала нису једнозначно дефинисане. Оне углавном зависе од особина матрице и особина дисперговане фазе. Чак и када су особине појединачних конституената добро познате, концентрација и геометријски распоред фаза знатно утичу на особине композитног материјала.

Са становишта примене, најзначајнија су механичка својства композитних материјала и она представљају одлучујући фактор при избору материјала за израду производа и конструкција. Избор материјала врши се на основу познавања његовог понашања у току дејства силе при експлоатацији. Ово најчешће представља комплексан проблем јер на материјал у току рада делују разне силе: истезање, компресија, смицање или торзија, а и комбинација деловања ових сила се мења са временом и условима рада. Као најзначајнији чиниоци могу се издвојити: сила оптерећења, време дејства силе и карактеристике радне средине.

Највећи значај и удео у укупној примени међу композитним материјалима имају материјали са влакнастом структуром, тако да ће у овом делу бити анализиране механичке особине управо ових материјала. Посебан значај познавања механичких особина влакнасто ојачаних композитних материјала је и због могућности производње ових материјала са унапред задатим карактеристикама које се могу остварити одређеним распоредом и густином влакана и тако прилагодили различитим напрезањима у унутрашњости материјала.

9.2.1. Карактеристичне механичке величине

Основна механичка својства композитних материјала су: еластичност, пластичност, чврстоћа, тврдоћа, истегљивост и жилавост.

Напон у материјалу представља једну од најважнијих физичких величина која се користи за описивање претходно наведених механичких особина материјала. Дефинише се као збир унутрашњих сила које делују као отпор деформацији. Наиме, при оптерећењу материјала спољашњим силама у њему се јављају унутрашње силе, истог интензитета, али супротног смера. Да би се одредио отпор материјала према деформацији, неопходно је одредити интензитет сила које делују на различитим површинама пресека.

Напон истезања. Уколико сила делује нормално на површину изазивајући истезање или притисак, онда она одређује напон истезања или

притиска σ , у одређеној тачки материјала, који се може дефинисати следећим изразом:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta S} \quad (9.2)$$

где је F_n - сила која делује нормално на површину, а S - површина пресека.

Напон смицања. Сила која делује паралелно равни површине одређује напон смицања τ који се дефинише на следећи начин:

$$\tau = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F_p}{\Delta S} \quad (9.3)$$

где је F_p - сила која делује паралелно равни површине, а S - одговарајућа површина.

Као последица напона у материјалу, настају деформације облика или димензија које могу да се мере. Деформације могу бити просте: истезање, сабијање, савијање и торзија или сложене, ако на материјал делује више сила при чему свака изазива деформацију.

У зависности од оптерећења и карактеристика материјала, деформације могу бити еластичне и пластичне. Уколико се материјал по престанку дејства силе враћа у првобитни облик, онда се ради о еластичним деформацијама. Ако су деформације трајне, материјал се по престанку дејства силе не враћа у првобитно стање, и онда се ради о пластичним деформацијама.

У области еластичних деформација важи Хуков закон. У случају напона истезања σ , за довољно мале деформације, деформација је директно пропорционална напону:

$$\sigma = E \varepsilon \quad (9.4)$$

где је E - модул еластичности, а ε - деформација при истезању. Модул еластичности се може одредити као коефицијент правца у линеарном еластичном подручју напон-деформација.

При дилатацијама ε_{\parallel} у датом правцу, јављају се и дилатације супротног знака ε_{\perp} у правцима нормалним на тај правац:

$$\varepsilon_{\perp} = -\nu \varepsilon_{\parallel} \quad (9.5)$$

где је ν - Поасонов коефицијент, бездимензионална величина која зависи од врсте материјала.

У случају напона смицања τ , Хуков закон се може изразити на следећи начин:

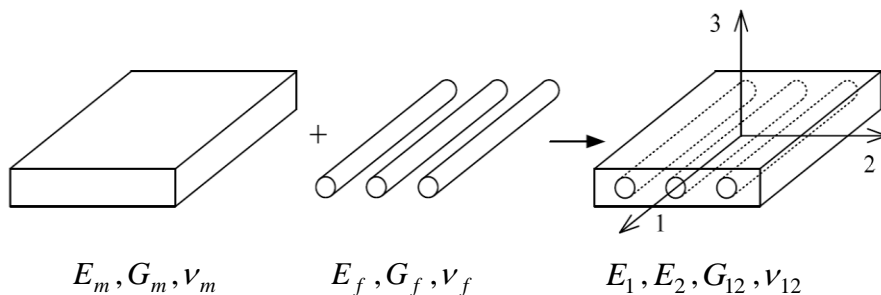
$$\tau = G \gamma \quad (9.6)$$

где је G - модул смицања, а γ - деформација при смицању.

9.2.2. Микромеханика композитних материјала

Основни проблем микромеханике композитних материјала је одређивање везе између механичких својстава матрице (E_m, G_m, ν_m), односно влакана⁴ (E_f, G_f, ν_f) и механичких својстава композита ($E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}$), како је шематски приказано на слици 9.13. При решавању овог проблема полази се од следећих основних претпоставки:

- матрица и влакна су идеално повезани,
- у композитном материјалу нема шупљина,
- матрица и влакна су изотропни и
- занемарују се локални ефекти (нпр. концентрација напрезања).



Слика 9.13. Шематски приказ формирања влакнасто ојачаног композитног материјала.

Аналитичке и нумеричке методе које се користе приликом решавања овог проблема су најчешће поткрепљене експериментима. Најчешће коришћене методе микромеханике су:

- метода концентричних цилиндара,
- Self consistent field метода,
- Halpin-Tsai једначине за дефинисање доње и горње границе вредности одређених величина и
- закон мешања.

⁴Индекс f поред ознака за модуле еластичности E_f , смицања G_f и Поасоновог коефицијента ν_f потиче од енглеске речи *fiber* која значи - влакно.

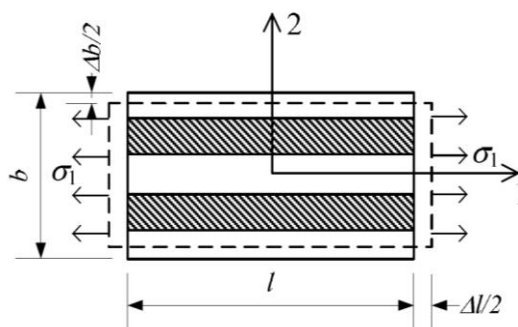
Закон мешања (енг. rule of mixtures) је релативно једноставна метода, која се може применити код испитивања уздужног и попречног оптерећења, као и оптерећења на смицање.

9.2.2.1. Закон мешања. Уздужно оптерећење

Уздужно оптерећење елемента запремине влакнасто ојачаног композитног материјала приказано је на слици 9.14. За композите чије се матрице ојачавају паралелним влакнима, запремински удео матрице и влакана може се изразити преко површине попречног пресека на следећи начин:

$$V_m = \frac{A_m}{A}, \quad V_f = \frac{A_f}{A} \quad (9.7)$$

где A_m и A_f означавају површине попречних пресека матрице и влакана, респективно, док A представља укупну површину попречног пресека композита.



Слика 9.14. Уздужно оптерећење елемента запремине влакнасто ојачаног композитног материјала.

Полазећи од претпоставке да у композитном материјалу нема шупљина, укупан запремински удео је једнак јединици.

$$V_m + V_f = 1 \quad (9.8)$$

Из претпоставке да је веза између влакана и матрице идеална, следи да су деформације матрице и влакана једнаке, односно:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_f = \varepsilon_1 \quad (9.9)$$

Хуков закон може се написати и за матрицу и за влакна:

$$\sigma_m = E_m \varepsilon_m, \quad \sigma_f = E_f \varepsilon_f \quad (9.10)$$

Напон матрице σ_m делује на површину попречног пресека A_m , док напон влакана σ_f делује на површину попречног пресека влакана A_f . На укупну површину попречног пресека A делује напон σ_1 :

$$\sigma_1 = E_1 \varepsilon_1, \quad (9.11)$$

тако да резултујућа сила износи

$$F = \sigma_1 A = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \quad (9.12)$$

Када се у једначину 9.11 уврсти σ_1 из једначине 9.12, добија се:

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{\sigma_m A_m}{A \varepsilon_1} + \frac{\sigma_f A_f}{A \varepsilon_1} \quad (9.13)$$

$$E_1 = E_m \frac{A_m}{A} + E_f \frac{A_f}{A} \quad (9.14)$$

Заменом израза за запремински удео матрице и влакана (једначина 9.7) у претходни израз добија се коначни израз за **уздужни модул еластичности**:

$$E_1 = E_m V_m + E_f V_f \quad (9.15)$$

Претходна једначина представља **закон мешања композита**. Она показује да је модул еластичности композита при усмереном распореду влакана, функција појединих модула еластичности матрице и влакнастог ојачања, као и њихове запреминске заступљености у материјалу.

У случају када је укупни напон једнак σ_1 , Поасонов коефицијент за раван 1-2 са слике 9.14. износи:

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (9.16)$$

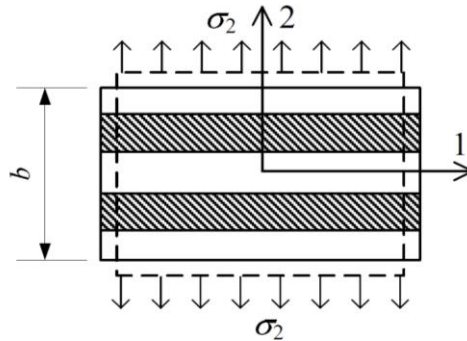
односно:

$$\nu_{12} = \nu_m V_m + \nu_f V_f \quad (9.17)$$

Дакле, аналогно изразу за уздужни модул еластичности, добија се и закон мешања за Поасонов коефицијент.

9.2.2.2. Закон мешања. Попречно оптерећење

Када се ради о композитним материјалима ојачаним континуираним једносмерним влакнима, може се претпоставити да су напони матрице и влакана у смеру осе 2 једнака (слика 9.15.).



Слика 9.15. Попречно оптерећење елемента запремине влакнасто ојачаног композитног материјала.

Попречне деформације су у том случају:

$$\varepsilon_{2m} = \frac{\sigma_2}{E_m}, \quad \varepsilon_{2f} = \frac{\sigma_2}{E_f} \quad (9.18)$$

Укупна деформација у смеру осе 2 је збир деформација матрице и влакана:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2m} V_m + \varepsilon_{2f} V_f \quad (9.19)$$

односно, заменом израза (9.18) за попречне деформације матрице и влакана у претходни израз добија се укупна попречна деформација:

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_m} V_m + \frac{\sigma_2}{E_f} V_f \quad (9.20)$$

Како је напон у смеру осе 2 дат Хуковим законом

$$\sigma_2 = E_2 \varepsilon_2 \quad (9.21)$$

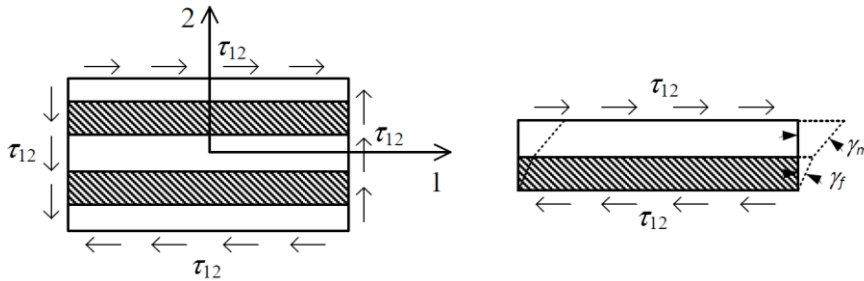
коначно се за **попречни модул еластичности** може добити израз:

$$E_2 = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + E_f V_m} \quad (9.22)$$

који представља закон мешања у случају попречно оптерећеног влакнасто ојачаног композитног материјала.

9.2.2.3. Закон мешања. Оптерећење на смицање

У случају оптерећења на смицање посматра се један слој влакнасто ојачаног композитног материјала који је оптерећен на смицање у равни 1-2, као што је приказано на слици 9.16.



Слика 9.16. Оптерећење на смицање елемента запремине влакнасто ојачаног композитног материјала.

За угаоне деформације матрице и влакана могу се написати следећи изрази:

$$\gamma_m = \frac{\tau_{12}}{G_m}, \quad \gamma_f = \frac{\tau_{12}}{G_f} \quad (9.23)$$

Може се показати да важи

$$\gamma_{12} = \gamma_m V_m + \gamma_f V_f \quad (9.24)$$

Како угаона деформација слоја износи

$$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}} \quad (9.25)$$

комбиновањем последње две једначине може се добити израз за **модул смицања** G_{12} у равни 1-2:

$$G_{12} = \frac{G_m G_f}{G_f V_m + G_m V_f} \quad (9.26)$$

Модул еластичности влакана је доста већи од модула еластичности матрице, тако да из тог разлога модул еластичности влакана значајно утиче на уздужни модул композита, док модул еластичности матрице има велики утицај на попречни модул еластичности композита и модул смицања у равни композита 1-2.

9.3. ПРИМЕНА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

Композитни материјали све више замењују конвенционалне материјале због бољих физичких и хемијских особина у односу на полазне компоненте, од којих су најзначајније: мала маса, изузетно добре механичке особине и хемијска стабилност. Могућност подешавања особина композитних материјала у току процеса израде, флексибилност у дизајну, као и једноставнија израда делова сложене геометрије доприноси њиховој све широј употреби. Због оваквих особина, у наредном периоду очекује се пораст употребе композитних материјала посебно у авиоиндустрији, бродоградњи, грађевинској и аутомобилској индустрији.

Посебно је значајна примена полимерних композита. Композити са матрицом од дуромера и пластомера су релативно млади материјали. Њихова производња почела је крајем тридесетих година прошлог века. У почетку су били недоступни и намењени само за свемирске програме, међутим, данас су то материјали чије се подручје примене све више шири.

Полимерни композити све више постају материјал за замену традиционалних материјала у аутомобилској индустрији. Заменом челика, они смањују тежину возила, чак до 35%, што знатно смањује потрошњу горива и тиме побољшава економичност возила. Такође композитни материјали се могу искористити и као замена делова од алуминијума и инжењерске пластике. Европа је лидер у коришћењу напредних угљепокси композита високих перформанси који се већ примењују у тркачким и луксузним аутомобилима, а посебан потенцијал за раст примене у ауто индустрији имају композити полипропилена.

Значајна је и примена термопластичних полимерних композита, који представљају лаке структурне материјале. Угљенично ојачани композити, посебно карбон-карбон типа, користе се у авиоиндустрији, бродоградњи и изради спортске опреме. Још већа очекивања су полимерних композита ојачаних влакнима SiC и Si_3N_4 . Добри резултати су добијени и при изради роторских лопатица хеликоптера где је коришћена епокси смола ојачана влакнима бора.

Дуромерни композити су, због својих изузетних употребних својстава, највише заступљени на тржишту. У аутомобилској индустрији је, у току последње деценије, употреба дуромерних композита ојачаних стакленим влакнима готово удвостручена. Из еколошких разлога, као и потребе за рециклажом, у европској аутомобилској индустрији постоји тренд замене дуромерних композита пластомерним.

У авиоиндустрији посебно је значајна примена композитних материјала који не само да имају мању масу, већу крутост и издржљивији су, већ смањују и сам радарски попречни пресек авиону, пошто упијају радарске зраке. На пример, један типичан маневарски, вишенаменски, двомоторни ловачки авион (Eurofighter Typhoon) четврте генерације има лагану структуру захваљујући избору материјала високе технологије (82% композита, од чега 70% композита ојачаног угљеничним влакнима и 12% стакленим).

За формирање влакнасто ојачаних композитних материјала најчешће се користе стаклена влакна, која се извлаче лако, хемијски су инертна, и могу се комбиновати са различитим пластикама коришћењем бројних техника. На другом месту су угљенична влакна.

Угљенична влакна су најчешће пречника (10–15) μm и углавном су изграђена од атома угљеника правилно распоређених унутар кристалне решетке. Поседују изузетна својства, високу чврстоћу и крутост, добри су електрични проводници и имају веома ограничено топлотно ширење. Водоотпорни су и поседују одличну способност амортизације вибрација. Угљенична влакна имају изузетно малу густину, али могу издржати јако велика оптерећења. Један од недостатака је да уколико дође до прекорачења оптерећења, угљенична влакна пуцају скоро без икаквог упозорења, а да при том нема скоро никаквог савијања. Такође, угљенична влакна нису отпорна на абразију, крта су и имају ниску притисну чврстоћу, због чега се уграђују као ојачавачи у дуромерну матрицу, чија је улога да их раздваја и подупире.

Квалитет материјала од угљеничних влакана зависи од броја влакана у свежњу неуплетених влакана. За израду најквалитетнијих материјала који се примењују у производњи врхунских техничких производа, као што су свемирске летелице, користе се свежњеви од 3000 до 12 000 влакана. За комерцијалну примену користе се свежњеви од по чак 320 000 влакана (материјал је јефтинији ако садржи више влакана).

Специфична примена влакнастих композита је и у војној индустрији за заштиту од пробојних зрна. На пример, панцирна одећа од кевлар влакана повећава заштиту од зрна за око 35%.

Због добрих карактеристика, али и због ниже цене, посебно се повећала употреба пластомernih композита ојачаних дрвеним и биљним влакнима. Композити на бази природних влакана пружају добре механичке перформансе, лако су обрадиви и имају способност апсорпције звука, а уштеда њиховом применом износи скоро 50%.

Природна влакна која се најчешће користе су: лан, конопља и јута и обично се уграђују у полипропиленску или акрилну полимерну матрицу, у комбинацији са полиуретаном. Овако добијени композитни материјали су лагани, еластични и имају већу ударну отпорност.

Ланена влакна су од изузетног интереса за примену у ауто индустрији због својих добрих механичких особина, доступна су и лако се обрађују и рециклирају. Ефикасна су замена за стаклена влакна, међутим, у односу на друга природна влакна, релативно су скупа и то првенствено због процеса производње који захтева људски рад.

За производњу композитних материјала на бази влакана конопље потребно је знатно мање енергије. Њихова предност је и у томе што се веома добро рециклирају и у потпуности су биоразградиви. Данас се композити на бази влакана конопље користе за израду великог броја производа, почев од производа који се примењују у аутомобилима па све до кућног намештаја.

Најновији тренд, када је реч о полимерним композитима, су нанокompозити. Будући да је величина ојачавајућих честица реда величине таласне дужине видљивог дела електромагнетног спектра, оне не мењају оптичка својства матрице, као што је прозрачност.

У односу на полимерне композите, композитни материјали са металном матрицом се одликују знатно већом отпорношћу на високим температурама, имају високу жилавост, добра ударна својства, отпорност на пузање, димензијску стабилност, отпорност на хабање итд. Веома важна карактеристика у погледу предности њихове примене у односу на полимерне композите је да су метални композити незапаљиви. Метална матрица даје композитном материјалу карактеристичне особине метала, као што су топлотна и електрична проводност, што такође одређује њихову примену.

Међу композитима са металном матрицом, са највећим уделом на тржишту, је алуминијум. Због мале масе посебно је важна његова примена у ваздухопловној индустрији, где је смањење масе структурних елемената летелице битан фактор. Композити са матрицом од легуре Mg ојачани влакнима Al_2O_3 имају малу густину, ниску топлотну растељивост и висок модул еластичности, тако да се користе при изради делова аутомобилских мотора, док се композити ојачани честицама силицијум карбида SiC, примењују у нисконапонској електроници.

Металне легуре дизајниране за употребу на екстремно високим температурама, тзв. суперлегуре (легуре никла, кобалта и гвожђа), ојачавају се влакнима волфрама, молибдена и тантала који спадају у групу

тешко топивих метала, како би се добили материјали који имају примену у производњи турбинских мотора.