

1. УВОД

1.1. Основне дефиниције и карактеристике композитних материјала

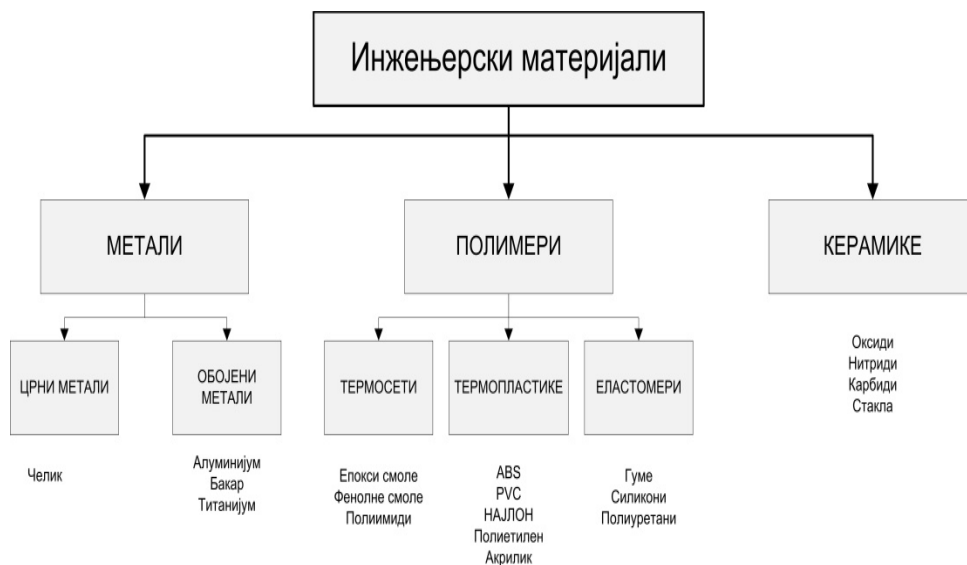
Сматра се да данас постоји више од 50.000 различитих врста материјала који се користе у разним индустријама и доступни су инжењерима при пројектовању. Сама класификација материјала може бити изведена на основу разних критеријума као што су хемијски састав, механичке особине, примена, електричне особине, оптичке карактеристике и др. Монолитни материјали на основу свог хемијског састава могу бити сврстани у једну од три групе материјала које се данас користе у индустрији. То су метали, полимери и керамике.

Метали садрже углавном неке од основних металних елемената периодног система у својој структури. Имају велике модуле еластичности и велику затезну чврстоћу, отпорни су на замор, што их чини веома применљивим у индустрији. Такође велики број слободних електрона чини их добрим проводницима електричне и топлотне енергије.

Керамике садрже оксидне, нитридне и карбидне групе. Добри су изолатори електричне и топлотне енергије и отпорнији су на високе температуре у односу на полимере и метале. Имају велику затезну чврстоћу али су веома крте.

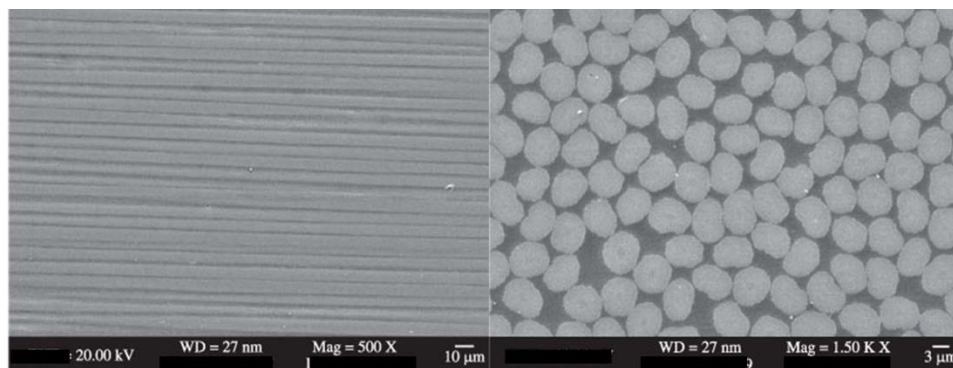
Полимери садрже органске структуре у свом саставу које се базирају на угљенику, водонику и другим неметалним елементима. Обично имају веома малу густину у односу на метале и керамике.

Међутим, постоје и материјали који се на основу својих карактеристика и хемијског састава не могу сврстати ни у једну од претходно наведених група, те се као посебне групе материјала издвајају и полупроводници, биоматеријали и композити.



Слика 1.1. Подела инжењерских материјала

Композитни материјали, у данашњем смислу те речи, подразумевају чврсту везу два или више саставних елемента, који су сједињени у макроскопској величини у нераздвојиву везу, с циљем добијања знатно бољих механичких и других карактеристика него што су поседовали саставни елементи композитног материјала пре њиховог сједињавања. У овако добијеној форми један од елемената је носећи и може бити у облику нити, а други је матрица која служи за везу, укрућење и пренос оптерећења на носећи елемент. Осим нити, носећи елементи могу бити и у облику кратких влакана и делића различитих облика и величина случајно распоређених у матрици.



Слика 1.2. Композитни материјали као инжењерски материјали

Карактеристике основних група материјала примењиваних у индустрији приказане су у следећој табели:

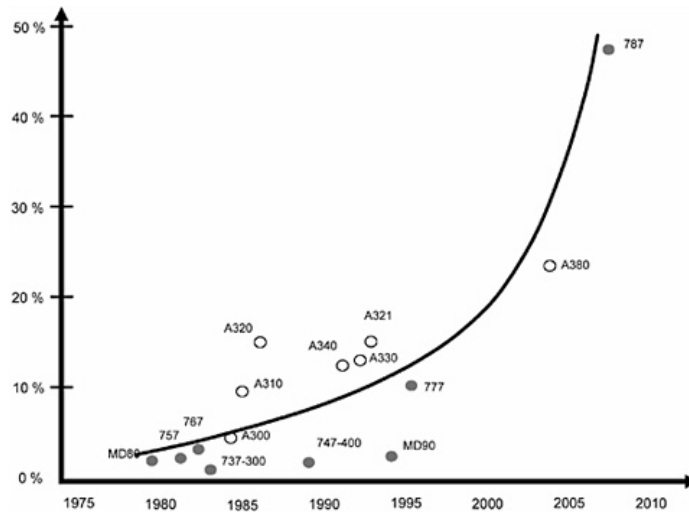
Табела 1.1. Основне особине инжењерских материјала

Особине	Метали	Керамике	Полимери
Густина gr/cm^3	2/20	1-14	1-2,5
Електрична проводљивост	висока	ниска	ниска
Топлотна проводљивост	висока	ниска	ниска
Дуктилност	висока	ниска	задовољава
Затезна чврстоћа, МПа	100-1500	100-400	-
Притисна чврстоћа МПа	100-1500	1.000-5.000	-
Жилавост лома	10-30	1-10	2-8
Температура (мах) $^{\circ}\text{C}$,	1.000	1.800	250
Отпорност према корозији	ниска	супериорна	средња
Врста везе	метална	јонско ковалентна	ковалентна
Структура	кристална	комплекс кристална	аморфна

1.2. Историјски преглед

Историјски гледано, концепт ојачавања матрице помоћу нити (vlakana) веома је стар. Постоје записи у којима се налазе подаци о коришћењу сламе у матрици од глине још у древном Египту. Гвоздене шипке коришћене су у градитељству 19. века, представљајући неку врсту армираног бетона. Фенолне смоле ојачане влакнима на бази азбеста појавиле су се почетком 20. века. Први чамци од стаклених vlakana у матрици на бази епоксидних смола саграђени су 1942. године, а пластичне масе ојачане влакнима у исто време коришћене су у авионској и индустрији електричних уређаја.

Први композитни материјали на бази борових и угљеничних vlakana појавили су се шездесетих година прошлог века. Синтетичка влакна која су по свом саставу ароматски полиамиди у употреби појављују се 1973. године под комерцијалним називом кевлар. У ваздухопловној индустрији, као материјал за ојачање, углавном се користе стаклена, угљенична, борова и араמידна (кевлар) влакна у разним облицима. Избор одговарајућег типа и димензија влакна углавном зависи од потребних механичких карактеристика, намене дела, радне температуре и услова рада. Материјали који се користе за израду матрица су на бази епоксидних смола, винилестерских смола, фенолних смола и ређе полиестерских смола. Најчешће коришћени композитни материјали у ваздухопловству су угљенична влакна у епоксидној матрици, која се све чешће користе, јер над борон/епоксид композиту имају знатне предности. Економичнији су за производњу, лакше се обрађују и могу се формирати у сложене облике неопходне авионској индустрији. Композити на бази араמידних vlakana такође се користе за израду судова под притиском. Иако су араמידна влакна мање густине у односу на угљенична, она имају слабије механичке особине.

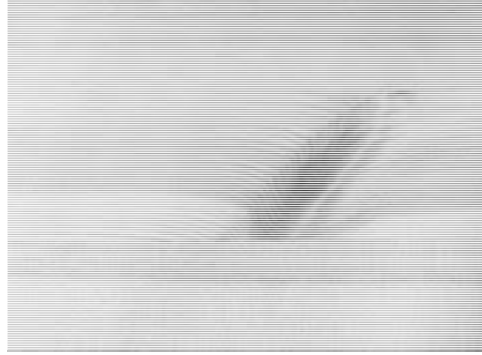


Слика 1.3. Удео композита у структури модерних путничких авиона

Композитни материјали на бази борвих влакана са матрицом од епоксидних смола примењени су на хоризонталном и вертикалном стабилизатору на авионима типа F-14 и F-15 још седамдесетих година прошлог века. У истом периоду интензивно се експериментисало са деловима трупа на бази угљеничних влакана у епоксидној матрици, која су први пут примењена на авиону типа F-5. Од истог материјала крајем седамдесетих година на авиону типа F-111 израђени су оквири трупа. Оплата крила на бази угљеничних влакана у епоксидној матрици почиње да се примењује половином осамдесетих година на авиону типа AV-8B. На авиону типа F-18 оквири трупа и главни оквири израђени су почетком деведесетих година.

1.3. Подела композитних материјала

Подела композитних материјала може бити извршена према разним критеријумима. Један од основних сигурно је да ли се ради о природном или генерисаном композиту (структурални композити). Најпознатији природни композит, а раније често коришћен чак и у градњи летелица, свакако је дрво.



Слика 1.4. Дрво, природни композитни материјал

Дрво поседује добре механичке карактеристике при сразмерно малој запреминској маси, ниску топлотну проводљивост, лако је за обраду, има добру отпорност према мразу, задовољавајућу отпорност према агресивним хемијским супстанцама и др. Недостаци су нехомогеност грађе, анизотропна својстава, лака запаљивост, мала трајност, склоност ка труљењу.

Основне карактеристике дрвета као материјала који се користи у индустрији приказане су у следећој табели: (Затезна чврстоћа на затезање у правцу и попречно на правац простирања влакана дрвета F_{1T} , F_{1c} , притисна чврстоћа у правцу и попречно на правац простирања влакана дрвета F_{2T} , F_{2c} , максимални дозвољени смичући напон F_6).

Табела 1.2. Карактеристике дрвета

ДРВО	F_{1T} [МПа]	F_{1c} [МПа]	F_{2T} [МПа]	F_{2c} [МПа]	F_6 [МПа]
Јеловина	11,5	12,5	1,5	11	3,6
Боровина	12,5	13,0	2	7	3,6
Буковина	14,5	12,5	3	14	3,6

Уколико би подела била према типу матрице композитног материјала, разликујемо полимерне, керамичке и металне композите.

Подела такође може бити и према типу, односно геометријском распореду влакана, па постоје угљенични, стаклени, борови и композити са араמידним (кевлар) влакнима, која се данас се највише користе у индустрији.

Веома важна подела композита је према облику и распореду носећег елемента. Према облику композитни материјал може имати носећи елемент облика честица односно нити. Оне могу бити распоређене у матрици на случајан начин, односно сложене у правилан геометријски распоред. Уколико је композит сачињен помоћу нити, разликују се две групе: са испрекиданим и неиспрекиданим нитима. Композит са испрекиданим нитима

може имати нити у случајном или сложеном распореду. Композити са неискривљеним (континуалним) нитима, сложеним у правилан геометријски распоред (једносмерна), имају супериорније карактеристике у односу на остале композите и често их називамо напредним композитним материјалима.