

10.3. КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ COMPOSITE MATERIALS

Винета Сребренкоска

Универзитет „Гоце Делчев“, Технолошко-технички факултет, Штип, Република Македонија

Димко Димески

Универзитет „Гоце Делчев“, Технолошко-технички факултет, Штип, Република Македонија

Гордана Богоева Гацева,

Универзитет “Св Кирил и Методиј” од Скопје, Технолошко – металуршки факултет, Скопје, Македонија

10.3.1. Вовед

Introduction

Многу современи технологии бараат материјали со необични комбинации на својства кои не можат да бидат исполнети од страна на конвенционалните метални легури, керамиката и полимерните материјали. Во голем број индустрии потребни се структурни материјали коишто имаат ниска густина, голема јакост, тврдина, отпорност на абразија и отпорност на удар и коишто не кородираат. Таа комбинација на својства може да биде реализирана со композитните материјали. Тоа лежи во основата на филозофијата на композитните материјали кои претставуваат повеќефазен систем во кој постои значајна пропорција на својства на двете конститутивни фази, а притоа, самиот композит има супериорни својства во однос на одделните компоненти. Разните типови композити вклучуваат метални легури, керамика и полимери. Композитите се повеќефазни материјали во коишто составните фази се хемиски различни и одвоени со посебен интерфејс. Во дизајнирањето на композитните материјали, научниците и инженерите имаат можност со соодветна комбинација на различни метали, керамика и полимери да креираат нова генерација материјали со невообичаени својства. *„Ако еден материјал не може целосно да ги исполни сите конструктивни барања, два или повеќе материјала можат“*. Две основни барања се поставуваат при дизајнирањето на структурните компоненти од композитните материјали: 1. деформациите при оптоварувањето мора да бидат во рамките на пропишаните функционални барања и 2. композитната структура мора да биде отпорна на оштетување (кршење) во предвидениот период. За да биде тоа задоволено, потребни се информации за две важни механички карактеристики на композитниот материјал, а тоа се: крутоста и јакоста. Најголем дел од композитните материјали кои се развиени во последните години се произведени токму со цел да се подобрат нивните механички карактеристики - јакоста, крутоста, жилавоста, како и отпорноста на високи температури.

10.3.2. Основни дефиниции и историјат

Basic definitions and history

Зборот композит (Composite) дословно значи „направен од неколку дела“. Композитниот материјал е систем составен од два или повеќе елементи, т.е. материјал кој содржи две или повеќе различни конституенти или фази. Оваа дефиниција важи само во случај кога конституентите имаат значително различни физички карактеристики и поради тоа композитните материјали имаат особини кои се различни од особините на конституентите (Callister, 2001).

Попрецизната популарна дефиниција за композити подразбира само неметални материјали кои се состојат од влакнести зацврстувачи, како што се стакло, јаглерод или кевлар, инкапсулирани во стврдната матрица на еден од неколкуте стотици полимерни системи. Овие композитни материјали се карактеризираат со нивните релативно високи односи јакост/тежина во споредба со традиционалните метални компоненти.

Значајно истражување, развој и напредок се остварени, исто така, и во сферата на композитните материјали со метална и со керамичка матрица (Metal Matrix and Ceramic Matrix Composites), но композитите со органска матрица (Organic Matrix Composites) имаат многу пораспространета примена.

Постојат голем број композити коишто се јавуваат во природата. На пример, дрвото е природен тродимензионален полимерен композит и се состои главно од целулоза, хемицелулоза и лигнин. Биолошкиот свет нуди и други примери на композити, како што се коските и забите, кои се составени од цврсти неоргански кристали во матрица на жилав органски колаген. Има многу историски примери за композити во литературата. Пред стотина години, откриено е дека јакоста на дрвените структури може да биде многу подобрена со лепење (или ламинирање) на тенки парчиња дрво заедно, при што слоевите можат да бидат ориентирани во различни насоки. Така се родила структурата наречена ламиниран (слоевит) композитен материјал (laminated composite material). Елементите на материјалот се менувале како што се подобрувале технологиите за нивно производство, но принципот бил ист. Со ориентирање на зајакнувачите (порано биле дрвените влакна) во одредени насоки и врзување (со смола или со лепило), структурата можела да биде ефикасно решена за да ги издржи очекуваните оптоварувања. Овие техники биле широко користени во секој индустриски период за добивање структури со ткаено платно или хартија потопени во смола, кои се користеле како изолациски материјали, но и за други цели. Долго време композитните материјали постоеле како структурни материјали во форма на тула од слама, хартија и армиран бетон.

Авиокосмичката индустрија, со нејзините потреби за структурни компоненти со мала тежина, беше водечка движечка сила во развојот на денешните модерни современи технологии за композитни материјали. Првиот авион (Wright Brothers) имал композитна облога. Првите современи зајакнати композитни материјали („modern composites“) беа пластиките зајакнати со стаклени влакна - стаклопластиката (Fiber Glass Reinforced Plastic или Fiberglass). Во нив стаклените влакна беа зајакнувачи на полимерна матрица, која потоа се вмрежува (зацврстува). Деловите дизајнирани и обликувани од стаклопластика често можеле да ги заменат челичните или алуминиумските компоненти без некој структурен компромис и со значајно намалување на тежината на материјалот (Lee, 1990).

10.3.3. Структурни елементи

Structural elements

Композитите се материјали кои ги сочинуваат два основни елемента, од кои едниот се нарекува матрица (matrix) или основен материјал, која е континуирана фаза и која може да биде органска или неорганска, во која се додава другиот елемент, односно компонента, т.е. зајакнувач (reinforcement) (носечки материјал), кој често се нарекува диспергирана фаза, со цел постигнување на неопходната комбинација на својства (цврстина, густина, крутост, тврдина, топлинска и електрична спроводливост). Важно е да се разбере дека за најголем дел композитни делови, зајакнувачот ја дава потребната јакост и крутост на композитниот материјал, а матрицата или врзивното средство е неопходно за поврзување, одржување позиција и ориентација на зајакнувачот и во пренесување на оптоварувањето меѓу зајакнувачите во сите насоки. Составните делови на композитот ги задржуваат своите индивидуални, физички и хемиски својства, но со заемна интеракција се добиваат композитни материјали, со карактеристики кои се супериорни во однос на конституентите што ги

сочинуваат. Својствата на композитите се функција на својствата на конститутивните фази, нивната релативна вредност и геометријата на дисперзираната фаза. Под „геометрија на дисперзирана фаза“ се подразбира обликот и големината на честичките, нивната дистрибуција и ориентација. Кај сите видови композитни материјали механизмот на зајакнување зависи од геометријата на зајакнувачот. Затоа една од основните класификации на композитните материјали е според геометријата на зајакнувачот (табела 10.6.1). Композитите зајакнати со континуирани влакна имаат најдобри механички особини. Тие не можат да се приспособат за масовно производство и се ограничени на производи каде што предностите во својствата ги оправдуваат трошоците. Има многу материјали кои можат да се користат како зајакнувачи, но во технологиите на современите композити доминираат: стаклените, јаглородните и арамидните влакна. Доколку е потребно за одредена апликација, како компонента може да се користи и хибрид на два или повеќе зајакнувачи.

Табела 10.6.1. Класификација на композитите
Table 10.6.1. Classification of composites

КОМПОЗИТИ						
Зајакнати со честиици		Зајакнати со влакна			Структурни композити	
Големи честиици	Дисперзно зајакнати	Континуирани (насочени)	Дисконтинуирани (кратки влакна)		Ламинати	Сендвич структури
			насочени	Случајно ориентирани		

Матрицата е присутна обично со 30-40% во композитот и покрај основната функција - да ја обедини дисперзираната фаза и да го сочува обликот на композитот, таа исполнува различни други функции. Матрицата ја заштитува дисперзираната фаза од абразија и корозија под дејство на надворешни влијанија. Термичкото однесување на композитот главно зависи од термичката стабилност на матрицата. Најважното, матрицата го распределува применетото оптоварување и игра улога на пренесувач на напрегањето, па така кога индивидуалните зајакнувачи попуштаат, композитната структура не ја губи својата способност и натаму да издржува оптоварување. Меѓуслојната жилавост, јакоста на смолкнување, компресија и трансверзалната (попречна) јакост на композитот се, исто така, диктирани од матрицата. За да бидат исполнети сите овие функции, атхеизијата меѓу зајакнувачката фаза и матрицата треба да биде што поголема. Кршењето (фрактурите) кај композитниот материјал е резултат на комбинираното однесување на зајакнувачот, матрицата и интерфејсот меѓу нив.

10.3.4. Типови композити Types of composites

Композитите можат да бидат групирани во категории врз основа на природата и типот на матрицата. Методите на изработка на композитите, исто така, се различни во зависност од физичките и хемиските својства на матрицата и на зајакнувачот.

Композити со полимерна матрица *Polymer Matrix Composites – PMCs*

Најчесто применувани се композитите со полимерна матрица. Овие композити се состојат од полимер - термопластичен или терморективен, зајакнат со влакна (природни, јаглородни, стаклени, арамидни, борни и др.). Овие материјали може лесно да се обликуваат во различни форми и големини и поседуваат голема јакост, цврстина и отпорност на корозија. Причината за

нивната широка примена најчесто е ниската цена, високата цврстина и едноставните техники за производство.

Композити со метална матрица

Metal Matrix Composites – MMCs

Во композитите со метална матрица, матрицата т.е. континуираната фаза е метал. Матрици кои се користат во овие композити се алуминиум, магнезиум и титан. Типични влакнести зајакнувачи се јаглерод и силициум карбид. Овие материјали може да се користат на високи температури, а зајакнувачот може да ја подобри специфичната крутост, специфичната јакост, отпорноста на триење, коефициентот на топлинска спроводливост и димензионалната стабилност. Некои од предностите на овие материјали во споредба со композитите со полимерна матрица се тоа што можат да се применуваат на повисоки оперативни температури, нивната незапаливост и поголемата отпорност на деградација од органски флуиди. Композитите со метална матрица се многу поскапи од композитите со полимерна матрица, а според тоа, нивната употреба е ограничена. Супер легурите, како и легурите на алуминиум, магнезиум, титан и бакар, исто така, се користат како матрица. Зајакнувачот кај овие композити е застапен со 10 до 60 % вол., а може да биде во форма на честички, континуирани и дисконтинуирани влакна и сечкани влакна. Металите главно се зајакнуваат со соодветен зајакнувачки материјал со цел да одговорат на потребите на дизајнот. На пример, со додавање влакна, како што се силициум карбидните како зајакнувачи во металот може да се зголеми неговата еластична крутост и јакост, а да се намали големиот коефициент на термичка експанзија и термичката и електричната спроводливост (Thomason & Vlug, 1997).

Композити со керамичка матрица

Ceramic Matrix Composites – CMCs

Композитите со керамичка матрица користат глина, калциум или алуминосиликат како континуирана фаза, зајакната најчесто со силициум карбид. Предностите на композитите со керамичка матрица се тоа што имаат многу висока јакост, цврстина, високи граници на температурна апликативност, хемиска инертност и ниска густина.

Природно керамичките материјали се отпорни на висока температура, но имаат тенденција да пукаат и да станат кршливи. Кршливоста на керамиката е значително подобрена со развојот на новата генерација композити со керамичка матрица (CMCs) - честички, влакна, или вискерси од некој керамички материјал, кои се вградени во матрица на друга керамика. Во суштина, подобрувањето на својствата на создавање пукнатини и својствата на кршење на керамичките материјали е како резултат на интеракцијата меѓу пукнатината и дисперзираната, односно зајакнувачката фаза. Создавањето пукнатини нормално се случува во матрицата, додека ширењето на пукнатините е попречено од страна на дисперзираните честички или влакна во керамичката матрица.

Многу често и успешно се применуваат композити со керамички матрици зајакнати со влакна од силициум карбид. Овие композити имаат висока температурна толеранција, како и супер легурите, а притоа се одликуваат со ниска густина. Но кршливата природа на керамиката го прави тешко нивното производство. Обично, повеќето производствени техники за композити со керамичка матрица вклучуваат почетни материјали во прашкаста форма.

Постојат четири класи керамички матрици: стакло (лесно се фабрикува поради ниските температури на омекнување, а вклучува борсиликати и алуминосиликати), конвенционална керамика (силициум карбид, силициум нитрид, алуминиум оксид и циркониум оксид), цемент и бетонски јаглеродни компоненти. Композитите со керамичка матрица може да бидат произведувани со користење топло пресување, топло изостатичко пресување и техники на течнофазно синтерување. Во однос на примената, глините зајакнати со SiC честички можат да

се користат како делови за машинска обработка на тешки метални легури и слично (Chawla, 1985).

Композити јаглерод - јаглерод *Carbon-carbon composites – CCMs*

Еден од најсовремените и перспективни инженерски материјали се композитите врз основа на јаглеродна матрица зајакната со јаглеродни влакна, кои често се нарекуваат јаглерод-јаглерод композити. Овие материјали се релативно нови и скапи, и моментално не се користат широко. Овие композити се погодни за многу висока температура дури до 3315°C (6000°F) и се дваесет пати појаки и триесет пати полесни од графитните влакна. Исто така, една од нивните предности е тоа што високите јачини и модули при истегнување ги задржуваат и на температури поголеми и од 2000°C (3630°F). Покрај тоа, јаглерод-јаглерод композитите имаат ниски коефициенти на термичка експанзија и релативно висока топлинска спроводливост. Нивниот голем недостаток е склоноста кон високотемпературна оксидација. Јаглерод-јаглерод композитите се користат во ракетните мотори, како во материјалите отпорни на триење во авионите и автомобилите со високи перформанси, за калапи за топло пресување, во компоненти за современите мотори, како аблативни штитови за возила и др. (Bailli&Bader, 1994).

Хибридни композити *Hybrid composites*

Релативно нова класа композитни материјали зајакнати со влакна се хибридни композити, кои се добиваат со користење на два или повеќе вида влакна во единечна матрица. Хибридни композити имаат подобри вкупни својства споредено со својствата на композитите зајакнати со еден тип влакна. За добивање хибридни композити може да се користат голем број комбинации на влакна и матрици, но во многу применувани системи јаглеродните и стаклените влакна се инкорпорирани во полимерна матрица. Јаглеродните влакна како засилувачки материјал имаат ниска густина, а висока јакост и крутост, но висока цена. Стаклените влакна се со многу пониска цена во споредба со јаглеродните влакна, но имаат многу послаби својства. Стакло-јаглерод хибридниот композит е појак и поживав, има повисока отпорност на удар, и може да се произведува по пониска цена отколку која било зајакната пластика само со јаглеродни или само со стаклени влакна.

Постојат различни начини на кои можат да бидат комбинирани два типа влакна и кои како таква комбинација ќе влијаат на вкупните својства на композитот. На пример, двата типа влакна можат да бидат усогласени и мешани едни со други, или ламинираните композити може да бидат конструирани од наизменични слоеви каде што секој слој содржи различен тип влакна и слично. Во принцип, скоро во сите хибридни композити својствата се анизотропни (Lee, 1990).

Хибридни композити се применуваат главно како структурни компоненти во транспортната индустрија, за спортска опрема, како ортопедски компоненти и др.

10.3.5. Споредба на композитите со конвенционалните материјали *Comparison of composites with conventional materials*

Инженерот кој работи на технологијата на композитни материјали во текот на своите истражувања мора често да прави споредба на карактеристиките на композитите со конвенционалните метални легури или други конвенционални материјали. Една од најголемите разлики меѓу композитите и конвенционалните материјали, како што се алуминиумските и железните легури, е тоа што композитите се типично *анизотропни*

материјали. Својствата на композитните материјали се различни во различни насоки на материјалот и може да варираат во широк интервал на вредности. Кај композитите е отворена можноста технологот да состави материјал кој ќе одговара на потребите за соодветна крутост и јакост за одредена намена. Имено, одредени карактеристики на композитот може да се менуваат во зависност од потребите и условите на експлоатација. За разлика од композитите, конвенционалните материјали се изотропни и тие имаат идентични својства (на пример, крутост и јакост) во сите насоки (Thomason, 2002).

Делот од волуменот на композитот зафатен со влакната го дефинира волуменскиот удел на влакната (fiber volume fraction) V_f , додека делот од волуменот зафатен со матрицата - волуменски удел на матрицата (matrix volume fraction) V_m . Ако се претпостави дека композитот не содржи внатрешни празнини или пори, тогаш е задоволен условот, $V_f + V_m = 1$. Во тој случај, за познат волуменски удел на влакна, јакоста и крутоста на композитот се пресметуваат од едноставни релации, според правилото на смеси (rule of mixture):

$$E_c = E_f V_f + (1-V_f) E_m$$

$$F_c = V_f F_f + (1-V_f) F_m$$

каде што:

- E_c ; E_f ; E_m - крутост на композитот, влакното и матрицата во насока на влакното,

- F_c ; F_f ; F_m - јакост на композитот, влакното и матрицата во насока на влакното.

При споредба на композитните материјали со конвенционалните метални легури треба да бидат земени предвид многу други фактори. Иако специфичната јакост и крутост се многу важни фактори, композитите нудат и други предности. На пример, отпорот од замор на материјалот (fatigue resistance) и „damping“ - карактеристиките кај композитите се далеку подобри од оние на металите. Отпорот на корозија на композитните материјали овозможува нивно долготрајно користење во средини, во коишто металите имаат кус век поради корозијата. Композитите можат да содржат помалку компонентни делови и да бидат поевтини и посигурни од металните структури. Од друга страна, пак, композитните материјали имаат и некои свои недостатоци во споредба со металите. Механичките карактеристики на композитните материјали врз основа на полимерна матрица опаѓаат драстично на високи температури, или во случаи на долготрајна изложеност на влага, масла, горива или други јаглени хидрати.

Производните процеси за композитните материјали не се толку добро развиени како што се оние за металите и нивните легури. Во одредени случаи многу поскапо е да се произведе структура од композит, отколку еквивалентна метална структура. Меѓутоа, и покрај тоа што се смета дека високата цена на чинење за добивање одредени видови композити ќе го намали нивното присуство во одредени структури, сепак, нивното учество во секојдневните градби и истражувања е сè поприсутно.

10.3.6. Прашања

Questions

1. Што е композитен материјал?
2. Која е улогата на структурните елементи во композитниот материјал?
3. Кои се предностите и недостатоците на композитните материјали, во споредба со конвенционалните инженерски материјали?
4. Која е основната класификација на композитните материјали според геометријата на зајакнувачот?
5. Какви типови композитни материјали постојат во зависност од типот на матрицата?

10.3.7. Прашања/Одговори

Questions/Answers

1. Што е композитен материјал?

Зборот композит (Composite) дословно значи „направен од неколку дела“. Композитен материјал е систем составен од две или повеќе компоненти со различен состав, од кои едната се нарекува матрица или основен материјал (полимер, керамика или метал), во која се додава другата компонента т.е. зајакнувачот (влакна, нано-цевки, плочки, сферични честички итн.) со цел постигнување на неопходната комбинација на својства (цврстина, густина, крутост, тврдина, топлинска и електрична спроводливост).

2. Кои се предностите и недостатоците на композитните материјали, во споредба со конвенционалните инженерски материјали?

Главните предности на композитните материјали, во споредба со конкурентните и конвенционални инженерски материјали, се следниве: мала тежина, висока специфична јакост и цврстина, добри својства при замор, отпорност на корозија, електрична изолација, звучна и топлинска изолација, лесни за дизајнирање комплексни форми, лесно одржување. Се разбира, постојат, исто така, и одредени недостатоци, како што се, на пример, ниската температурна толеранција и високата цена.

10.6.7. Литература

References

Andersons J, Joffe R, Hojo M, Ochiai S (2002) Glass fibre strength distribution determined by common experimental methods. *Compos Sci Technol* 62(1):131-145.

Baillie CA, Bader MG (1994) Strength studies of single carbon fibres in model composite fragmentation tests. *Composites* 25(6):401-406

Baley C (2002) Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites Part A* 33(7): 939-948.

Callister WD (2001) *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, New York.

Chawla KK (1985) *Composite materials science and engineering*. Springer-Verlag, New York.

Eichhorn SJ, Young RJ (2003) Deformation micromechanics of natural cellulose fibre networks and composites. *Compos Sci Technol* 63(9): 1225-1230.

Lamy B, Baley C (2000) Stiffness prediction of flax fibers-epoxy composite materials. *J Mater Sci Lett* 19(11): 979-980.

Lee SM (1990) *International encyclopedia of composites*. Volume 2 VCH Publishers, New York pp 390-401.

Piggott MR (1995) The effect of fibre waviness on the mechanical properties of unidirectional fibre composites: A review. *Compos Sci Technol* 53(2):201-205.

Thomason JL, Vlуг MA (1997) The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropilen.4. Impact properties. *Composites* 28A:277-288.

Thomason JL (2002) The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene.5. Injection moulded long and short fibre PP. Composites 33A: 1641- 1652.