

УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ

ЕЛИСАВЕТА ДОНЧЕВА

СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ

Вовед во модерните инженерски материјали

ЕЛИСАВЕТА ДОНЧЕВА

СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ
Вовед во модерните инженерски
материјали
учебник

Скопје, 2025

Издавач:

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје
Бул. „Гоце Делчев“ бр. 9, 1000 Скопје
www.ukim.edu.mk

Уредник за издавачка дејност на УКИМ:

проф. д-р Биљана Ангелова, ректор

Уредник на публикацијата:

В.проф.д-р Елисавета Дончева, Машински Факултет - Скопје

Рецензенти:

1. проф.д-р Зоран Богатиноски, Машински Факултет - Скопје
2. проф. д-р Перица Пауновиќ, Технолошко-металуршки факултет, Скопје

Техничка обработка:

В.проф.д-р Елисавета Дончева

Лектура на македонски јазик:

Ивана Коцевска

Илустратор:

В.проф.д-р Елисавета Дончева

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

620.2-044.337(075.8)

ДОНЧЕВА, Елисавета

Современи материјали [Електронски извор] : вовед во модерните инженерски материјали :
учебник / Елисавета Дончева ; [илустратор Елисавета Дончева]. - Скопје : Универзитет "Св. Кирил и
Методиј", 2025

Начин на пристапување (URL):

https://www.ukim.edu.mk/e-izdanija/MAF/Sovremeni-materijali_Voved-vo-modernite-inzhenerski-materijali.pdf.

- Текст во PDF формат, содржи 101 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на
ден 27.01.2025. - Библиографија кон главите

ISBN 978-9989-43-520-1

а) Комерцијални материјали -- Карактеристики -- Подобрување -- Примена
-- Инженерство -- Високошколски учебници

COBISS.MK-ID 65155589

ПРЕДГОВОР

Инженерските материјали се основа за развој и реализација на новите технологии, а со тоа и за исполнување на очекувањата на општеството. Развојот на новите материјали или подобрувањето на постоечките материјали стана примарна цел на голем број истражувачи во светот поради фактот што особините на материјалите силно се зависни од природата на материјалот и категоријата во која припаѓаат. Според тоа, во изминатите неколку години се бележи значителен напредок во сферата на напредните или т.н. модерни современи материјали.

Новите материјали наоѓаат примена во различни индустрии на инженерството, како што се: авијација, одбрана, биомедицина итн. Поради тоа, се појави потреба од формирање на предметот Современи материјали и површински третман, кој е дел од наставната програма Материјали, процеси и иновации, со цел да се опфатат специфичните особини, како и различните апликации на новите напредни материјали.

Преку овој предмет студентите имаат можност да се стекнат со основно знаење кое ќе им помогне да ги реализираат инженерските задачи со кои ќе се соочат во современото производство каде што се применуваат и се развиваат нови технологии и претставува добар појдовен чекор за понатамошно усовршување во областа на материјалите.

Овој учебник има за цел да го поттикне интересот на идните инженери за проучување на можностите за проширување на примената на модерните инженерски материјали во поголем број индустрии во најблиска иднина. Во овој учебник се обработени само дел од нив и тие се опфатени во 8 поглавја.

СОДРЖИНА

1	Вовед во современи инженерски материјали	1
1.1	Иновации во инженерството	2
1.2	Класификација на материјалите	2
1.3	Технолошки развој за современ свет	5
	Прашања и литература	7
2	Метали и легури: категоризација од макро до наноскала, потенцијал за прогрес и примена	8
	Влијание на макроскаларните вредности врз особините и категоризација	8
2.1	од микро до нанониво кај металите и легурите	
2.2	Адитивно повеќескаларно производство на метални производи	13
2.3	Трендови кај лесните метали (особини, примена и површински третман)	15
	Прашања и литература	17
3	Современи керамики: класификација, примена и приоритети за понатамошни истражувања и развој	19
3.1	Дефинирање и класификација на современите керамики	23
3.2	Примена	24
3.3	Приоритети за понатамошни истражувања и развој	27
	Прашања и литература	28
4	Полимери: класификација, особини, примена и перспектива за понатамошен развој	30
4.1	Класификација и видови на полимери	30
4.2	Механички и реолошки особини на полимерите	36
	4.2.1 Механички особини	36
	4.2.2 Реолошки особини	40
4.3	Примена на полимерни материјали	40
4.4	Перспективи за понатамошен развој на полимерните материјали	41
	Прашања и литература	42
5	Современи композитни материјали: класификација, особини, примена	43
5.1	Класификација на композити	44
	5.1.1 Полимерни композити	46
	5.1.2 Керамички композити	51
	5.1.3 Метални композити	54
	Прашања и литература	58
6	Наноматеријали и нанотехнологија	61
6.1	Особини на наноматеријали	61
6.2	Класификација и методи на производство	64
	6.2.1 Top-down метод	65
	6.2.2 Bottom-up метод	66
6.3	Примена на наноматеријали	67
	6.3.1 Градежна индустрија	67
	6.3.2 Примена во околната средина	71
	6.3.3 Примена во земјоделството	72
	6.3.4 Примена во прехранбената индустрија	72
6.4	Влијание врз здравјето на човекот и околината	73

	Прашања и литература	73
7	Биоматеријали: вовед, дизајн и примена	75
7.1	Дизајн и видови на биоматеријали	76
	7.1.1 Метали	76
	7.1.2 Полимери	77
	7.1.3 Керамики	78
	7.1.4 Композити	78
	7.1.5 Природни материјали	79
7.2	Примери на примена на биоматеријал	79
	7.2.1 Целосна замена на колк	84
	7.2.2 Импланти во колено	86
	7.2.3 Кардиоваскуларни пејсмејкери	87
	Прашања и литература	88
8	Паметни материјали	90
8.1	Класификација на паметни материјали	97
8.2	Механизам на трансформација на паметните материјали	99
8.3	Примена на паметни материјали	100
	Прашања и литература	101

1. ВОВЕД ВО СОВРЕМЕНИ ИНЖЕНЕРСКИ МАТЕРИЈАЛИ

Современи инженерски материјали се оние материјали кои имаат подобрени особини и даваат подобри резултати во споредба со конвенционалните инженерски материјали. На пример, со нив може да се добијат производи кои се полесни, или можат да работат во поширок температурен спектар, се мултифункционални или имаат подобар капацитет на работа во целиот животен век. Таа додадена вредност кај овие материјали може да резултира од додатоци вметнати во нив (на пример, влакна) или поради примена на софистицирани или тешки секвенции на производство.

Примената на таков тип на процеси е со цел да се произведат материјали кои ќе ги задоволат геометриските потреби и особините кои се потребни за одредена примена. Затоа и контролата на деталите околу производството и технологиите за речиси конечен облик (*NNS - near net shape technologies*) се многу важни. Производството на овие материјали може да биде комплицирано доколку не постојат стандардизирани процедури и форми на производот, или доколку се специјализирани за одредена намена и ограничени. Во тој случај ќе треба да се направи голема инвестиција или да се воспостават флексибилни шеми на производство за да се постигнат повторувачки и веродостојни процеси за нивно производство.

Современите материјали може да бидат добиени од секаков вид на материјал, метал, керамика, полимер итн. За да се добијат, потребно е особините на традиционалните материјали значајно да се подобрат и тоа на контролиран и специфичен начин.

Новите подобрени материјали им овозможуваат на инженерите да дизајнираат нови и подобри производи и процеси. Ова ќе резултира со зголемена продажба и намалени производствени трошоци на подолгорочен период. Генерално, примената на новите подобрени производи ќе придонесе за задоволство кај корисниците и ќе придонесе за развојот на општеството. Со примената на софистицираните нови материјали може да се спасат човечки животи (вештачко срце, стакла отпорни од распрскување, елечи отпорни на куршум), да се заштеди на енергија (лесни возила) и да се прошират човечките хоризонти (воздухопловство, вселенски летала). Тие ќе го диктираат начинот на кој ќе се развива и ќе се обликува светот во наредните години и треба да донесат решенија за некои постоечки проблеми со кои се соочува човештвото.

Постојат многу материјали кои се користат, но кога станува збор за современите материјали се мисли на оние што се со исклучители особини и се последен крик на науката во подобрување на традиционално применуваните инженерски материјали. Целта на овој учебник е да обезбеди основни податоци и познавања кои се потребни при избор на соодветен материјал. Инженерите треба да бидат отворени за промени во дизајнот на производите преку примена на нов материјал кој ќе го тестираат пред да го применат. Револуционерните материјали, како што се керамички композити со континуирани влакна, се ненадминливи за примена во екстремни средини, суперотпорни на високи температури,

корозија и абеење, а истовремено имаат висока јакост и ниска маса.

1.1 ИНОВАЦИИ ВО ИНЖЕНЕРСТВОТО

При дизајнирање производи е потребно да се направи избор на материјал, облик и производствен процес. Пронаоѓање оптимална комбинација на сите овие елементи за максимален перформанс и минимални трошоци е суштината на иновациите во инженерскиот дизајн и едукацијата. Постои податок дека само 5 % од дизајнерите воведуваат новитет, доколку се успешни во тоа другите 80 % ќе ги следат, па според ова може да се заклучи дека само храбрите може да постигнат значаен успех. Примената на новите материјали може да придонесе кон зачувување пари и средства, да го намали времето на производство, да се зголеми работната температура, да ја подобри ефикасноста, да има помали емисии и да ги намали трошоците во целиот животен век на производот. При дизајн, производство и примена на материјалите треба да се обрне внимание на 4 важни елементи, а тоа се: процесите при производство, структурата, особините и ефикасноста. Овие елементи се поврзани еден со друг, ефикасноста, односно работата на материјалот ќе зависи од неговите особини, кои, пак, се во функција од структурата, а, пак, таа е одредена од тоа како материјалот е произведен.

1.2 КЛАСИФИКАЦИЈА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

Цврстите материјали може да се групираат во три основни групи: метали (метални елементи), керамики (состав помеѓу метални и неметални елементи) и полимери (состав од јаглерод, водород и други неметални елементи). Овие се базираат на хемиски состав и атомска структура. Повеќето материјали може да припаднат во некоја од овие групи. Композитите се сметаат за материјали на иднината и се посебна група на материјали, бидејќи претставуваат инженерски комбинации од два или повеќе материјали кои припаѓаат во веќе дефинираните основни категории.

Со керамички влакна се зајакнуваат металните матрици, полимерите може да се комбинираат со ткаенини и на тој начин се добиваат нови материјали со подобрени јакосни карактеристики, а притоа имаат ниска густина. Во инженерството се користат основните особини на материјалите кои веќе се дефинирани во разни прирачници, а исто и се прави приспособување на овие особини преку разни процеси за да се добијат специфични особини за конкретни намени. Доколку повеќе се разликуваат од традиционалните во состав или форма, се смета дека се зголемува и вредноста на производство. На тој начин се добиени различни композитни структури, кои се составени од различни слоеви на метали, керамики и полимери, кои побаруваат и напредни процеси за производство на микро и макроструктури.

Современите материјали се посебно категоризирани поради нивната примена во високите напредни технологии, како што се полупроводници, биоматеријали, паметни материјали и наноматеријали. Под поимот високи технологии се мисли на уреди или производи кои работат или функционираат користејќи се со карактеристични софистицирани принципи, вклучувајќи електронска опрема (камкодери, ЦД/ДВД плеери), компјутери, фибер оптички системи, вселенски летала, воздухоплови и воено ракетни производи. Тие се, всушност, материјали на иднината, кои наоѓаат примени, како, на пример, материјал за ласери, интегрални кола, магнетни складови на информации, дисплеј

од течен кристал (ЛЦД) и оптички влакна. Современите материјали вклучуваат полупроводници, биоматеријали, паметни материјали, наноматеријали итн.

Паметните материјали се „паметни“ затоа што имаат способност да реагираат на надворешна стимулација од околината, на напон, температура, електрично или магнетно поле. Секоја промена во околината тие ја чувствуваат и соодветно реагираат. Таков пример се легурите или полимерите што го паметат нивниот облик (мемори-легура или мемори-полимер), кои се осетливи на термичко влијание, при што кај нив може да се нанесе деформација и да се одземе преку промена на температурата. Овој концепт потоа е проширен со примена на софистицирани системи кои се состојат од паметни и традиционални материјали. Паметниот материјал или систем ќе вклучува компоненти на сензори и актуатори. Сензорите ги детектираат влезните параметри, додека, пак, актуаторите се тие кои ја менуваат формата, обликот, позицијата, фреквенцијата или механичките карактеристики како резултат на настанатите промени во околината. Како актуатори се користат: мемори-легурите, пиезоелектрични керамики, магнетостриктивни и електро/магнетнореолошки флуиди. Пиезоелектричните керамики се шират и собираат како реакција на електрично поле, а при промена на нивните димензии и тие самите генерираат електрично поле. Магнетостриктивните материјали се слични на пиезоелектричните, само што тие реагираат на магнетно поле. Електрореолошките и магнетнореолошките флуиди се течности кои имаат значајни промени во вискозноста кога ќе бидат изложени на електрично или магнетно поле. Материјалите или уредите кои се применуваат како сензори се: оптички влакна, пиезоелектрични материјали и микроелектромеханички системи.

Наноматеријалите имаат исклучителни особини и тие може да бидат кој било од основните традиционални материјали (метали, керамики, полимери или композити). Разликата меѓу традиционалните и наноматеријалите се состои во тоа што традиционалните материјали своите главни карактеристики ги добиваат врз основа на структурата и хемискиот состав, додека, пак, овие материјали своите исклучителни особини ги добиваат од нивната големина. Оттука доаѓа и префиксот „нано“, кој се однесува на големини од редот нанометар (10^{-9}m). Особините на овие материјали произлегуваат од структурни карактеристики кои се со наноголемини. Пред да се појават наноматеријалите на сцена, научниците ги правеле испитувањата на материјалите на сложени структури за да се разбере од каде произлегуваат особините на овие материјали. Понатаму се проучуваа микроскопски елементите од кои се составени преку набљудување на атомско и молекуларно ниво. Прогрес во разбирањето и добивањето нови понапредни материјали дојде со модификација и прераспределба на атомите или добивање нов дизајн на атомско ниво. Ова доведе до развој на механички, електрични, магнетни особини кои не можеа да се добијат претходно.

Физичките и хемиските карактеристики на материјалите значајно се менуваат на атомско ниво, така, на пример, некои цврсти тела се течни на нано мерна големина, изолаторите стануваат спроводници, нетранспарентните материјали стануваат транспарентни итн. Некои од овие ефекти се со потекло од квантна механика, а некои се поврзани со феноменот на површина, атомите на површината кај честичките значително се зголемуваат со намалување на големините. Овие карактеристики на наноматеријалите ги отворија можностите за широка примена во медицината, производство на енергија, електрониката, индустријата итн. Примери за нивна примена се: полимерите исполнети со јаглеродни наноцевки за електроспроводливост на високоефикасни материјали,

каталитички конвертори кај автомобилите, зајакнување на автомобилските гуми со јаглеродни честички, нанокмползитите, магнетни честички за складирање податоци кај магнетни ленти итн.

Кај овие материјали многу е важно да се потенцира и да се испита нивната токсичност и влијание врз човекот, бидејќи се многу хемиски реактивни. Тие генерално до сега се испитани, но сè уште постојат сомнежи дека многу лесно може да поминат низ кожата, белите дробови и дигестивниот тракт и тоа многу брзо што може да предизвикаат оштетување на ДНК или да поттикнат појава на канцер на бели дробови.

Биоматеријалите се материјали кои се адаптирани за примена во медицината. Тие се со бенигна функција и треба да поседуваат една основна карактеристика, а тоа е да бидат биокмпатибилни. Тие денес се применуваат за замена на зглобови, коскени плочки, коскен цемент, вештачки лигамент, забни импланти, протези за крвни садови, срцеви шуплини, уреди за репарирање на кожа, леки и друго.

Процената на биокмпатибилноста е комплексна процедура поврзана со одредување на способноста на одреден материјал да не предизвикува реакција и истовремено да ја извршува работната функција за која е наменет кога тој е внесен во биолошка средина. Постојат стандарди, како што е ИСО 10993-1, кој воспоставува критериуми за испитување на медицинските уреди. Тоа укажува на фактот дека анализата на биокмпатибилноста не се сведува само на материјалот, туку и на целокупниот систем кој се вградува. Овие материјали се биолошко инертни супстанции, или материјал добиен од нив како производ и ткива. Еден таков пример е материјалот познат како тефлон (политетрафлуороетилен), кој не предизвикува биолошка реакција, но истовремено тој не е функционално кмпатибилен за одредени апликации (на пример, за темпоромандибуларен зглоб). Ова значи дека за да се потврди примената треба да се обрне внимание на реактивноста и на функцијата истовремено. Се разгледуваат повеќе аспекти на материјалот за да се одреди дали тој спаѓа во категорија на биокмпатибилен материјал, а тоа се: хемиски состав, механички особини и физички облик. Поради тоа овие материјали треба да исполнуваат повеќе критериуми за да се сметаат за биокмпатибилни и тие тешко може да се дефинираат.

Низ годините се појавуваат различни дефиниции, на пример, во 1967 г. доктор Кохен ги дефинирал како материјали кои се применети како импланти, но не се лекарства и меки биолошки ткива. Во 1974 година Друштвото на биоматеријали на симпозиум во Америка ги дефинира како систематски, фармаколошки инертни супстанции дизајнирани за вметнување во или вградување во жив систем. Во 1982 година поширока формулација на дефиницијата е дадена од страна на Националниот институт за развој на здравје која гласи: Биоматеријал е супстанција (различна од лекарство), или комбинација на супстанции, синтетички или природни, кои може да бидат применети во кој било период, како целина или дел од систем за третирање или замена на ткиво, орган или да асистира во извршување на која било функција во телото. Во 1991 г. на оваа дефиниција се додаде на крај и следнава реченица „со цел да се одржи или да се подобри квалитетот на животот на одредена личност“.

Многу е јасно дека оваа дефиниција и понатаму ќе трпи промени, со оглед на тоа дека има континуиран брз развој во науката и примената на новите технологии, а и поради неуморната желба на научниците и иноваторите да го подобрат животот на луѓето во иднина.

Полупроводници се материјали кои имаат електрични особини кои се помеѓу

оние на металите и металните легури (спроводници) и керамиките и полимерите (изолатори). Електричните карактеристики на овие материјали се под влијание на концентрацијата на атоми кои имаат улога на нечистотии и тоа во мали просторни региони. Со помош на полупроводниците се овозможија интегрирани кружни кола кои значајно придонесоа за развојот на електронските уреди и компјутерите. Тие се сметаат за градежни блокови на електронската и компјутерската индустрија, вклучувајќи ги транзисторите, соларните ќелии, LED диоди и дигитални и аналогни интегрирани кола.

Малите уреди, со мала маса, голема брзина и мала потрошувачка на енергија не може да бидат направени ако не постоеја интегрираните кола (чипови) кои се направени од полупроводливи материјали. Примери на полупроводници се: силициум, германиум, јаглерод итн.

1.3 ТЕХНОЛОШКИ РАЗВОЈ ЗА СОВРЕМЕН СВЕТ

Во изминатите години значителен прогрес е направен во науката на материјалите и инженерството, но, сепак, предизвик сè уште постои за развој на посоефицирани и посоефицирани материјали. Самото производство може да биде сложено и треба да биде такво да има минимален ефект на околината, односно да не ја загадува. Така, на пример, нуклеарната енергија е одлична опција, но постојат многу проблеми кои треба да се решат, а се поврзани со материјалите, како што се горивата и радиоактивниот отпад. Големо количество на енергија се троши при транспорт, па намалувањето на тежината на автомобилите, авионите, возовите, камионите и други транспортни средства е важно. Исто така, зголемување на работните температури кај моторите ќе ја подобри ефикасноста на горивата. Е сега предизвикот би бил да се произведе материјал кој има висока јакост, ниска густина на структура и има способност да работи на високи температури. Потребата за нови економични извори на енергија и поефикасна примена на постојните извори се, исто така, многу актуелни теми каде што материјалите играат клучна улога.

За пример да ги разгледаме соларните ќелии кои се изработени од комплексни и скапи материјали. За да се подобри оваа технологија на производство на електрична и топлинска енергија, потребно е да се користат материјали кои се поефикасни во конверзијата на сончевата светлина, но истовремено тие да не се многу скапи. Примената на ќелиите кои работат на водородно гориво е, исто така, многу атрактивна затоа што тие не ја загадуваат околината. Тие може да се користат кај батериите на електронските уреди, а особено кај автомобилите за нивно напојување. Но, сè уште постојат некои недостатоци кои треба да се отстранат и да се направат понатамошни подобрувања со користење нови материјали кои би биле поефикасни горива и подобри катализатори за производство на водород.

Понатаму, потребно е да се воспостави и добра контрола на загадувањето на воздухот и водата. Овие техники за контрола вклучуваат разни материјали, а и производството на материјалите треба да биде подобро за да не загадува.

Според сето ова претходно кажано, може да се заклучи дека современите материјали имаат клучна улога за економскиот развој и добробитието на современото општество. Тие придонесуваат кон одржлив развој на различни начини. Производството и примената на овие материјали имаат голема важност во еколошка и општествена смисла. Тие се широко применети во различни сектори кои вклучуваат: модерни технологии, здравство, енергетика, заштита на околина, транспорт и конструкции. Во изминатите години Меѓународната асоцијација за современи материјали (MACM) ефикасно презеде

неколку иницијативи за подобрување и развој на одржливоста.

Науката за материјалите, инженерството и технологиите се одговорни за развој на Четвртата индустриска револуција за која денес светот сведочи дека технологијата ги спојува дигиталните, биолошките, хемиските и физичките сфери на глобалните човечки активности. Се смета дека многу од овие материјали може да доведат до збогатување и глобален напредок, особено кај сиромашните земји. Затоа МАСМ континуирано работи за остварување на основната цел, а тоа е афирмација и проширување на свесноста на луѓето за погодностите за примена на современите материјали за постигнување одржлив развој.

Во здравството современите материјали се многу застапени и значајно помагаат во подобрување на квалитетот на животот низ цел свет. Со новите материјали, кои имаат подобрени особини, медицинските уреди подобро работат и вршат функции кои претходно беа незамисливи и истовремено тие ја поттикнуваат иновативноста. Иновациите се од типот вградливи уреди, нови делови од ткива, гелови за вбригување и многу други, кои се докаж дека материјалите се клучни за подобрување на здравјето на луѓето глобално.

Со помош на современите материјали може да се помогне да се елиминира гладот, доколку се земе предвид дека овие материјали може да се користат за заштита и зачувување на растенијата од инфестација која може да ги разболи.

Со нанотехнологијата може да се пакува храната подобро и со тоа да се подобри и трајноста на храната која се складира на полици. Генерално, современите материјали може да ја подобрат дистрибуцијата, сигурноста и производството на храната.

Прашања:

- 1.Што се подразбира под современи материјали?
- 2.Како се класифицираат материјалите?
- 3.Каде се применуваат современите материјали?
- 4.Која е разликата помеѓу традиционалните инженерски материјали и современите материјали?
- 5.Како се дефинираат биоматеријалите низ годините?
- 6.Што се полупроводници?
- 7.Како може да помогнат новите материјали за спречување на гладот во светот?
8. Што се смета за Четврта индустриска револуција?

Литература

Handbook of advanced materials: Enabling new designs, 2004. Editor(s): James K. Wessel, Prefece, pp. i-x.

Callister, William D., and David G. Rethwisch. 2014. Materials Science and Engineering: An Introduction. 9th edition. Hoboken, NJ: Wiley.

National Research Council. 1991. The Competitive Edge: Research Priorities for U.S. Manufacturing. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1618>

Eisenbach, I., 2011. Advanced Materials. In: English for Materials Science and Engineering. Vieweg+Teubner. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9955-2_7

Todros, Silvia, Martina Todesco, and Andrea Bagno. 2021. "Biomaterials and Their Biomedical Applications: From Replacement to Regeneration" *Processes* 9, no. 11: 1949. <https://doi.org/10.3390/pr9111949>

Tathe, Amogh C., Mangesh S. Ghodke, Anna Pratima G. Nikalje, and Y. B. Chavan. 2010. "A brief review: biomaterials and their application."

Rahman, Md. Atikur. "A Review on Semiconductors Including Applications and Temperature Effects in Semiconductors." *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 7 (2014): 50-70.

Tiwari, Ashutosh. "Advanced Materials Research And Innovation Priorities For Accomplishing The Sustainable Development Goals." *Advanced Materials Letters* 12 (2021): 21061633-21061633.

2. МЕТАЛИ И ЛЕГУРИ: КАТЕГОРИЗАЦИЈА ОД МАКРО ДО НАНОСКАЛА, ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА ПРОГРЕС И ПРИМЕНА

Металите и металните легури играат многу важна улога во креирањето на иднината на човекот уште од раните цивилизации. Од креирање и примена на метални алати, оружје и разни алатки, до делови за развој на земјоделие, изработка на различни градби и транспортни средства. Со секој чекор по патот на примена и истражување на овие материјали, постојано се надградува основното и напредното знаење, а тоа води кон откривање нови метални легури кои се добиени со иновативни техники, сè со цел да се добијат појаки и посоодветни особини за специфични примени.

Потребата да се произведат појаки, полесни и понадежни метални материјали придонесе за откривање на тесната врска помеѓу микроструктурата, особините, преработката и ефикасноста на секој материјал. Со испитувањето на материјалите на микро и нанониво, значаен напредок е направен во областа на металургијата и науката на материјалите. Со воведување на новите модерни технологии, како што се машинско учење и 3Д адитивно производство, се овозможи простор за истражување на многу комплексни материјали. Дополнително, денешните истражувања се поттикнати и од потребата за адаптирање кон економија со ниски емисии на CO₂, без загадување од фосилните горива [1]. Сето ова побарува производство на појаки, полесни и поиздржливи челици и легури кои ќе го предводат животот во 21 век. Во ова поглавје ќе бидат опфатени новитетите во областа на металните материјали поврзани со микроскопското карактеризирање на металите и легурите, повеќескаларното адитивно производство на метални структури, сегашните трендови кај лесните метали и нивниот површински третман.

2.1 ВЛИЈАНИЕ НА МАКРОСКАЛАРНИТЕ ВРЕДНОСТИ ВРЗ ОСОБИНТЕ И КАТЕГОРИЗАЦИЈА ОД МИКРО ДО НАНОНИВО КАЈ МЕТАЛИТЕ И ЛЕГУРИТЕ

Степенот на развој на новите технологии зависи од воведувањето нови поиздржливи, лесни, отпорни на лом материјали, за примени во брз транспорт, долгорочни и економични конструкции, сигурни нуклеарни инсталации или напредни вселенски технологии. Дизајнот и развојот на инженерските материјали за иновациите во иднина побарува уште поголемо знаење и разбирање на комплексните врски помеѓу структурите, особините, преработката, кои збирно дејствуваат врз ефикасноста на материјалот во текот на целиот животен век. Инженерските материјали, како што се металните легури, имаат исклучителни особини, како што се отпорност на корозија, издржливост и способност на работа на високи температури, голема отпорност на лом и замор, како и висок сооднос помеѓу јакоста и тежината на структурите. Напредните технологии, како што е адитивното производство, станаа многу корисни и комплексни. Микроскопските техники за карактеризација се главни кога станува збор за разгледување на микроструктура на кој

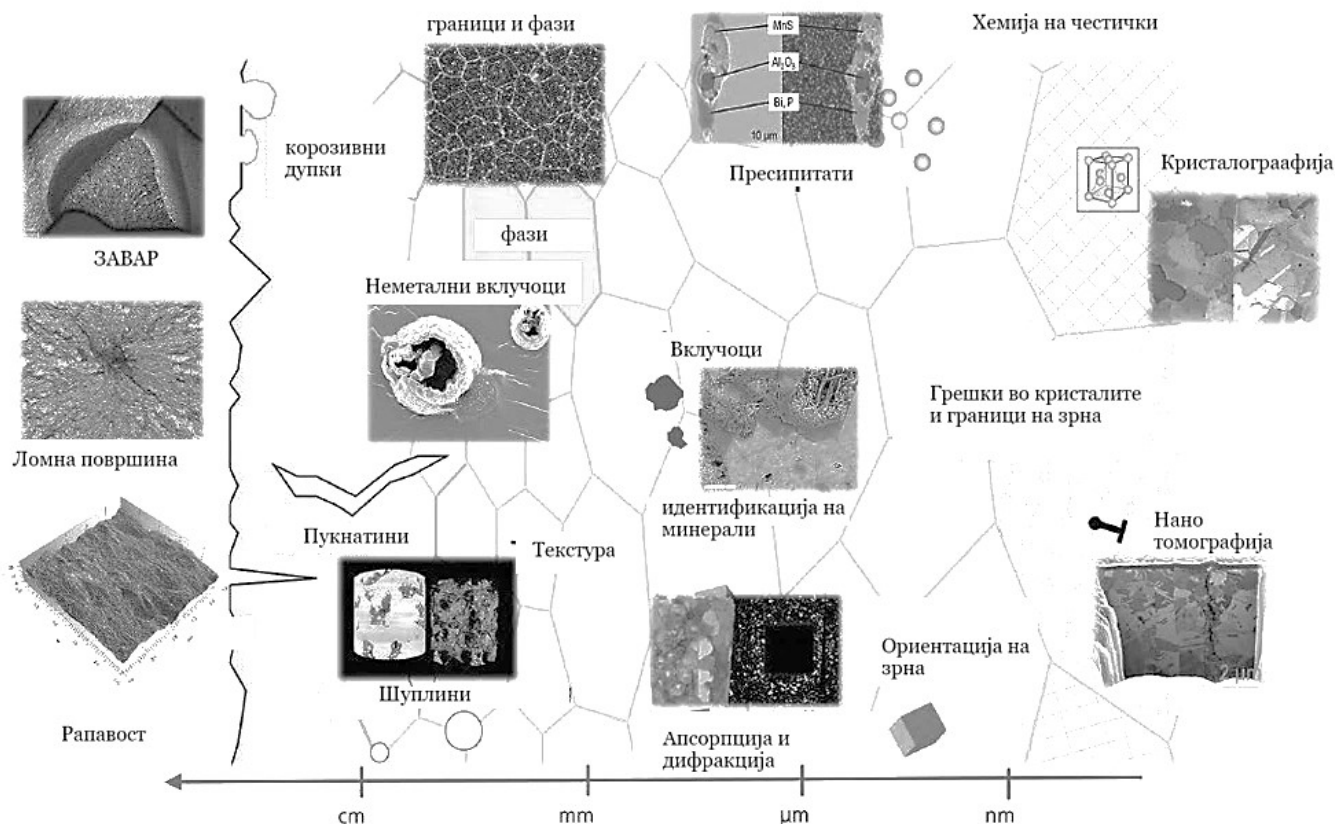
било материјал, при што се овозможува детален преглед на зрната, кристалографските елементи, фази и фазни трансформации, вклучоци и нечистотии, како и површинската обработка на еден производ. Металите и металните легури имаат најширок опсег на особини кои може да се нагодат преку преработка. На пример, јакоста, тврдоста, добрата електрична и термичка спроводливост и отпорноста на корозија, може да се подобрат со различни технолошки процеси. Комерцијалните метални легури имаат комбинирани механички, електрични и хемиски особини за да може да ги задоволат специфичните примени. Широката застапеност на овие материјали потекнува од фактот дека се лесни за производство, се рециклираат и што е најважно може да се контролираат особините преку контрола на микроструктурата. За разлика од традиционалните принципи кај металите и легурите, во денешно време истражувањата се сконцентрирани кон нагонување на микроструктурата за да се подобрат механичките, термичките и електричните особини. Со користење податоци за прецизна контрола на големината на зрната, модификации на границите на зрната, пресипитати и контролирање вклучоци, празнини и други дефекти во структурата, значајни подобрувања може да се постигнат кај традиционалните метали и метални легури. За тоа се потребни техниките за карактеризација на материјалот, бидејќи станува збор за комплексни инженерски потфати.

На слика бр. 2.1 е даден пример на микроструктурата на метална легура кој може да даде еден широк опсег на карактеристики од површинска рапавост до засеци, пукнатини, карактеристики на зрна, како што се: големина, кристалографска ориентација и морфологија, текстура, појава на близначење, пори, вклучоци и пресипитати во опсег од 10 до 100 μm . Понатаму, на наноголемини може да се гледаат дислокации, нанопресипитати, грешки во кристална решетка итн. За да може да се направи ваков тип на детална анализа, треба да се вклучат повеќе микроскопски техники што ќе дадат различни слики, и секоја од нив ќе открива важни податоци. Механизмите кои дејствуваат на јакоста, жилавоста и на други поважни особини потекнуваат од различни скали на мерење. Па според тоа, воведувањето на корелациските микроскопски пристапи за комбинирање податоци собрани од различни модалитети на различни должини на мерење, се покажа како клучно за добивање соодветни податоци на даден материјален систем.

На макроскала материјалните карактеристики, како што се геометриски дефекти, рапавост на површина, пукнатини, шуплини и вклучоци, може да се карактеризираат со користење микроскопски методи со примена на светло и X-зраци. Посветлите, потемните полиња и поларизациските контрасти, кои се добиваат со светлосна микроскопија може да ни дадат многу корисни информации за материјалот. Овие информации се добиваат брзо и тоа на голема површина. Кога се користиме со методи на X-зраци можеме да видиме во потповршинските делови на комплексни микроструктури, мрежи на прснатини, распределба на пори итн.

Со унапредување на томографската дифракција, 3Д кристалографската категоризација на зрната стана едноставна процедура за утврдување на: големина на зрна, морфологија и ориентација која дава рана макроскопска анализа на парчето. Оваа метода може да опфати микроструктурни карактеристики во 3Д со единечно сликање и се особено погодни за производствените процеси од новата ера, т.е. 3Д печатењето каде што структурните делови се со голема комплексност.

Најновите унапредувања на микроскопијата со X-зраци овозможуваат микроструктурна карактеризација на 3Д наноголемини, давајќи информација за нанопресипитати, еутектични микроструктури итн.



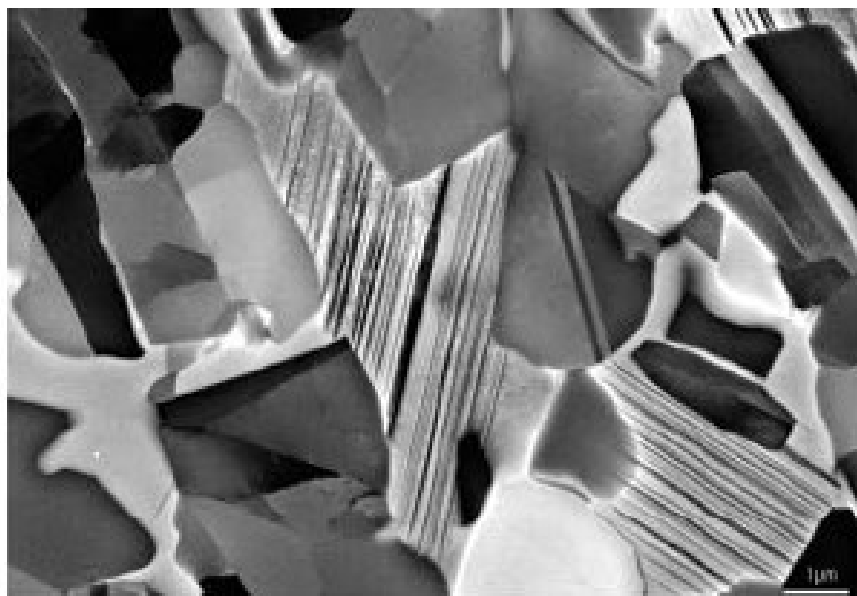
Слика бр.2.1 Општ приказ на метална легура со карактеристиките кои се добиваат со примена на микроскопските технологии

Електронските микроскопски техники се интегриран дел од работата поврзана со карактеризацијата на материјалите и за многу истражувачи скенирачкиот електронски микроскоп (SEM) е најчест избор. Скенирачкиот електронски микроскоп дава уникатна можност за карактеризирање на материјалите од микрон до скаларни вредности под нанометар низ разновидни модалитети на претставување (слики).

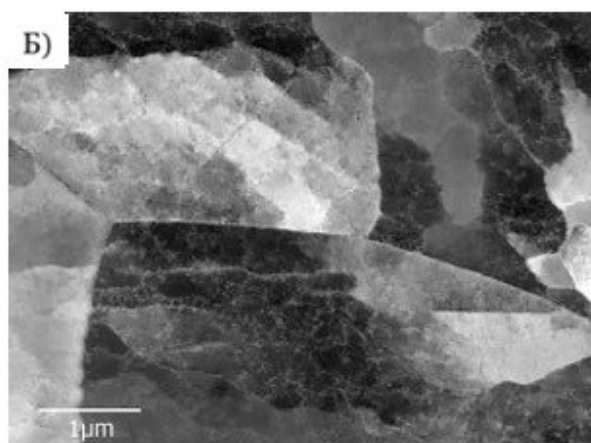
Со овој инструмент се обезбедува голема флексибилност во прикажување слики со сонди (проби) кои имаат широк опсег за детектирање. Сликите кои се добиваат може да дадат специфични информации за хемискиот состав и кристалографската структура, а и можност за идентификување на фазите.

На слика 2.2 е даден приказ на кристалните ориентации со голем контраст и дефекти кај легура на титаниум и алуминиум (TiAl_2). Оваа легура е интерметален состав со ниска густина и со супериорна отпорност на оксидација. Присуството на грешки и преферираната кристална ориентација која може да се забележи од сликата може да се поврзат со подобрените механички особини на легурата. Со SEM се добиваат квалитативни и квантитативни податоци за вклучоци, пресицитати и други морфолошки карактеристики.

На слика 2.3 се прикажани SEM микрографи каде што се гледа: а) кристална ориентација во материјалот и б) дислокациски мрежи кои се формирани со настаната деформација. На истата слика лесно може да се забележи и насоката на дислокациите.



Слика бр.2.2 Легура на титаниум и алуминиум (TiAl_2) прикажана преку СЕМ



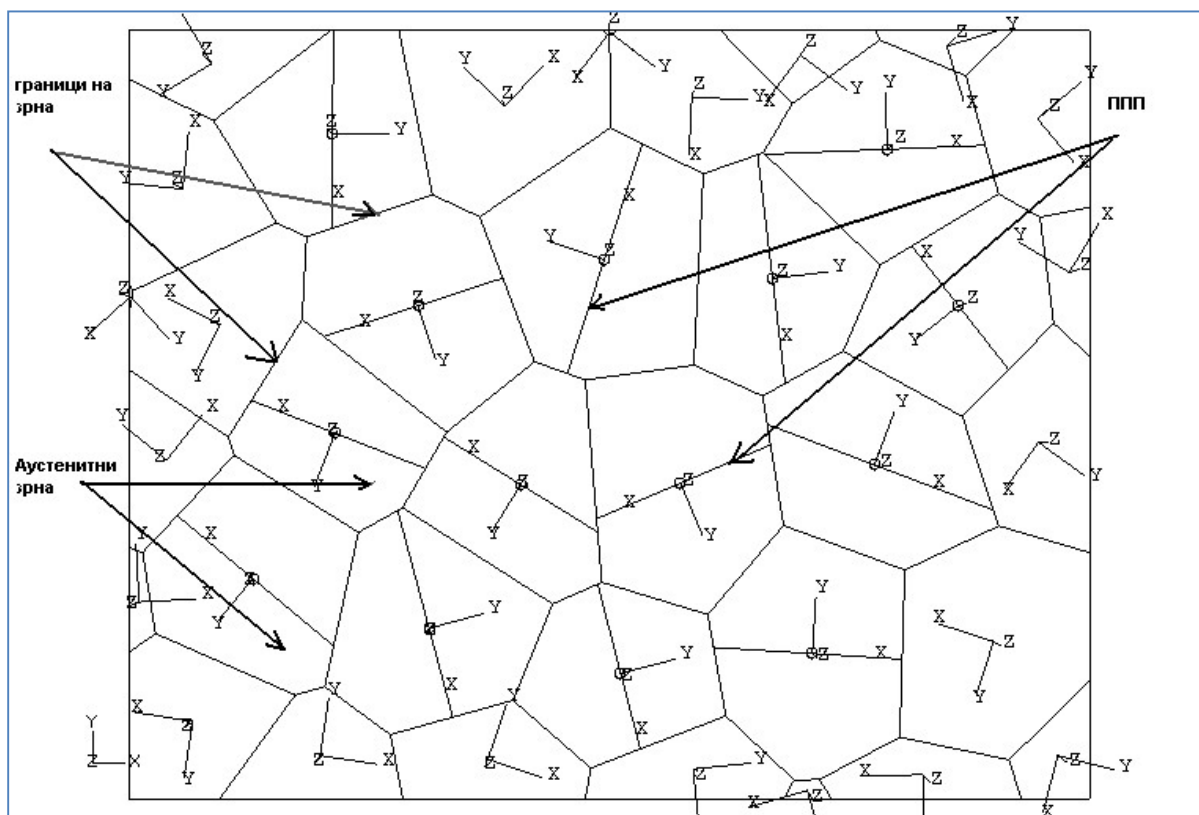
Слика бр.2.3 Дислокациско движење кај високодеформабилен челик

Напредните технологии кои се користат со подобрени секундарни и прикази со одназад распрскани електрони, заедно со добар дизајн на столбовите за дистрибуција на електронски снопови, со поддршка од повеќе детектори, даваат одличен контраст преку кој се детектираат грешките во кристалите и кристалните ориентации, и се прикажуваат појавите во самите зрна, како што се: појавата на близначење и формирањето на лизгачките слоеви.

Карактеризацијата на површината или на ломот со висока резолуција дава податоци кои се потребни за утврдување на типот на лом, додека, пак, кај анализите за пропагација на пукнатините истражувачите може да ја проучат релацијата помеѓу микроструктурата и отпорноста на ломот.

Овие методологии претставуваат важен дел за анализа на попуштањето на конструктивните делови кои се применуваат во инженерството. Врската помеѓу физичките механизми на деформацијата и микроструктурата е значајна за добро разбирање на иницијацијата на пукнатините. Многу научни истражувања се поврзани со анализа на

врската помеѓу ориентацијата на зрната и пропагациите на пукнатините во металните структури (слика бр. 2.4).

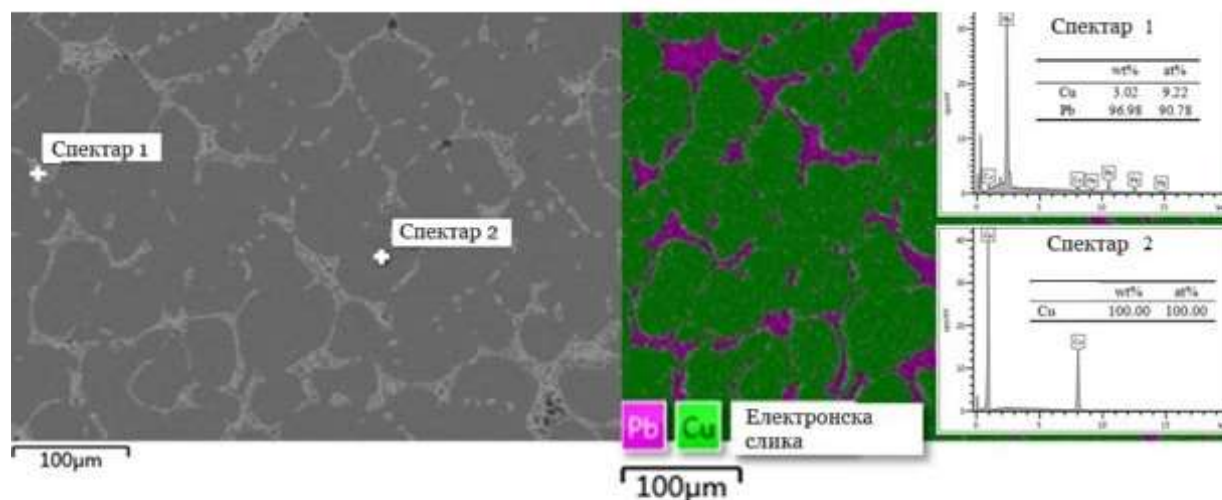


Слика бр.2.4 Приказ на дводимензионален нумерички модел на потенцијалните патеки на прснатините (ППП) во секое поединечно зрно

Како дополнување на основните модалитети на електронското прикажување (со задно распрскување) дополнителни проби може да направат други поважни мерења кои се значајни за металите и легурите. Енергетски дисперзираната спектроскопија со X-зраци (ЕДС) дава детален извештај за хемиските карактеристики, за пресипитати и вклучоци. На слика бр. 2.5 е даден приказ на елементално мапирање преку ЕДС анализа која покажува распределба на хемиските елементи застапени во монотектична легура на Pb-Cu. Според спектарот на легурата, виолетовите полиња го прикажуваат оловото, а зелените бакарот, коресподентно на сивата матрична структура кај СЕМ сликата е бакар, а светло белата структура е оловото.

Разбирањето за хемискиот состав и распределбата на вклучоците и пресипитатите овозможува металурзите да прават промени во процесната рута и хемијата на материјалите, да направат fino нагодување на особините и ефикасноста на металот или легурата. Електронската техника на дифракција со задно распрскување дава извонредни можности за мерење на големината на зрната, кристалографската ориентација, текстурата и карактерот на дистрибуција на границата на зрната со резолуции до 10 nm. Механичките особини на металите и легурите се значајно врзани со неколку микроскопски аспекти, како што се: големина, облик, распределба на зрна, текстура, карактеризација на граници на зрна и дистрибуции по нив.

Уште една технологија која се користи за да се исполнат побарувањата на истражувачите на наноскала е системот кој е наречен фокусиран јонски сноп (ФЈС). Оваа технологија нуди многу можности за директно нанесување или отстранување на микро или наноскала на цврста површина. Ова, пак, овозможи потенцијал за широка примена во науката на материјалите и нанотехнологиите. Овој систем понатаму продолжи да се развива во ФЈС систем со два снопа (Дуалбим или Кросбим). Овие технологии се од голем интерес за понатамошно откривање на можностите за примена, и тоа оди паралелно со развојот на новите материјали.



(Cu-Pb монотектична легура)

Слика бр.2.5 ЕДС анализа на Cu – Pb монотектична легура

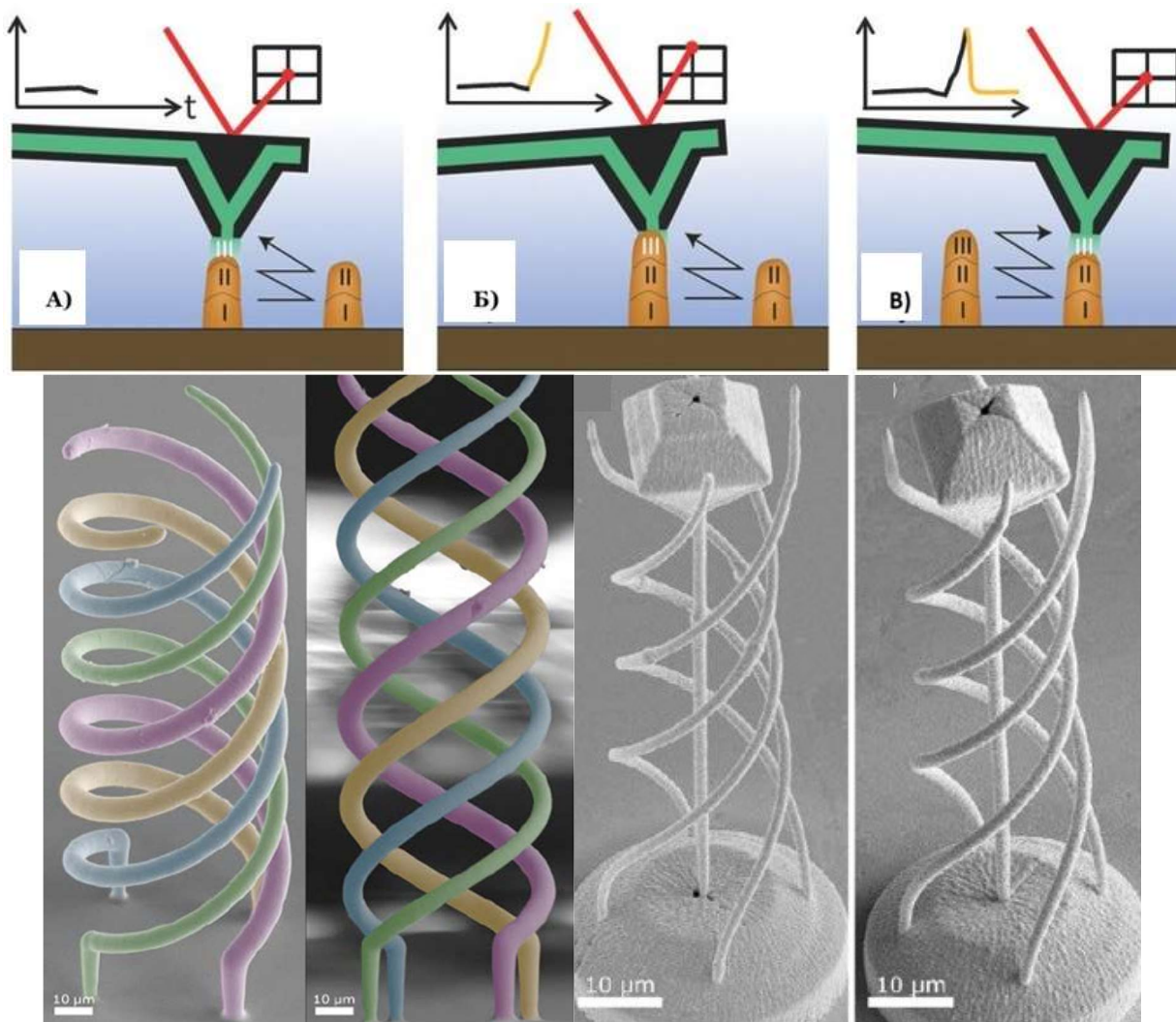
2.2 АДТИВНО ПОВЕЌЕСКАЛАРНО ПРОИЗВОДСТВО НА МЕТАЛНИ ПРОИЗВОДИ

Адитивното микропроизводство на метални производи може да се изведе преку процедура во еден или два чекора. Со процедура во еден чекор ова може да се реализира преку локално електрохемиска редукција на метални јони. При тоа се добива целосно густа, спроводлива и чиста метална структура. Методологијата за 3Д печатење со електрохемиска редукција вклучува исполнување стаклена пипета за печатење со раствор на метална сол која се доведува до спроводлив супстрат кој е поврзан како работна електрода, со исфрлање на растворот се предизвикува метално платирање поради близината на пипетата и електродата. Постојат различни протоколи кои произлегоа од оваа методологија: менискус-ограничено електроплатирање, скенирачко јонско спроводливо електроплатирање, електрохидродинамичко редокс печатење, електроплатирање со примена на контролирана сила.

На слика бр. 2.6 е даден шематски приказ на процесот на 3Д печатење, автоматски со примена на контролирана сила електрохемиска редукција и слика направена со скенирачки електронски микроскоп како пример за металните производи кои се добиваат.

На сликата е прикажан едноставен случај на два столба кои се еден до друг, при што се применува слој по слој производство и се печатат паралелно. Јонскиот врв полн со CuSO_4 раствор е позициониран над првиот столб каде што металниот воксел ќе се депонира.

Локалното електроплатирање е ставено на даден притисок, кој води кон растење на столбот. Кога растечкиот воксел ја допира највисоката точка на пирамидата, се забележува конзолно закривување на фотодиодата преку подвижниот ласерски зрак. Графиците ја покажуваат еволуцијата на закривениот сигнал во однос на времето. Кога софтверот ќе го препознае допирањето, пробата се поместува на следна позиција, односно на врвот од вториот столб со типично одвојување од 500 nm, и депонирањето на вокселот започнува. На слика 2. 6 е даден и приказ на обоени и необоени слики направени со скенирачки микроскоп кои покажуваат спирални структури печатени со пипети со големина од 500 nm, секоја спирала со различен притисок за да се потенцираат флексибилноста и можноста да се промени и контролира воксел големината во една иста структура за време на печатењето. Исто така, кај црно-белите спирали е даден пример за печатење со различни големини на пипети.



Слика бр.2.6 Шематски приказ на 3Д печатење со контролирана сила и слики на производи направени со скенирачки микроскоп

2.3 ТРЕНДОВИ КАЈ ЛЕСНИТЕ МЕТАЛИ (ОСОБИНИ, ПРИМЕНА И ПОВРШИНСКИ ТРЕТМАН)

Напредните челици со висока јакост претставуваат значаен напредок во науката на материјалите. Тие имаат супериорна јакост и дуктилност кога ќе се споредат со традиционалниот челик. Овие материјали се така направени за да апсорбираат повеќе енергија за време на удари, со што овозможуваат позасилени сигурносни карактеристики кога се применуваат кај возилата. Нивниот развој е предводен од идејата дека новите возила треба да ги исполнуваат стандардите за сигурност, но да се намали тежината на возилата. Напредните челици со висока јакост имаат помала густина од традиционалните челици и имаат добар сооднос помеѓу еластичниот модул и густината, односно добра специфична ригидност. Цената на овој челик е помала во споредба со другите лесни метали, како што се легурите на алуминиум или магнезиум.

Овие челици имаат дуални фази и комплексни структури на ферит-баинит, мартензит, пластичност поттикната од трансформацијата, од топло формирањето и челици со предизвикана пластичност од појава на близначење. Имаат единствени микроструктури, легирачки елементи, побарувања за преработка, и предности и недостатоци поврзани со примената. Многу истражувачи посветено работат на испитувања поврзани со овие челици за подобро да ги разберат нивните особини и да продолжат со добивање единствени сетови на карактеристики за проширување на нивната примена. Исто така, паралелно се развива и технологијата за производство на делови со овие материјали, како и нивната дообработка со методите на површински третман. За да се подобри отпорноста од заморни пренатини на овие челици, често се користат механичките површински третмани.

Алуминиумските легури се лесни материјали со одличен сооднос на јакоста и масата, како и одлична отпорност од корозија. Овие легури најчесто се користат за прозорци, панели на тело кај автомобили, делови на мотори, тркала и кај возилата прават значајно намалување на тежината, а со тоа и се намалува потрошувачката. Со добрата антикорозивност ветуваат долгорочност и издржливост, со што се намалуваат и трошоците. Имаат ниска специфична гравитација, висока термална и електрична спроводливост, лесно се обработуваат итн.

Алуминиумските легури кои најчесто се површински се третираат со анодизирање, тврдо анодизирање, хромирање и хемиско полирање. Процесот на добивање тенок оксиден филм на површината на алуминиумските делови преку андона оксидација се нарекува анодизација. Овој процес се користи за да се обезбеди заштита и естетика. Филмовите кои се формираат имаат дебелини од 25 до 50 микрони, се отпорни на топлина, стабилни се на влијанието на испарувањето на водата и други корозивни агенси. Најголемиот недостаток на овие филмови се состои во тоа што тие имаат ограничена еластичност и висока хигроскопност. Во оксидните филмови може да се стават различни супстанции, како што се парафин, изолациски бои и некои полимери. Алуминиум оксидот е многу порозен и има висок капацитет на апсорпција на органски и неоргански елементи и антикорозивни бои, со што се постигнуваат различни декоративни ефекти на површината.

Тврдо анодизирање се одвива на ниски температури и е со примена на високи струи. Порите на тврдо анодизираните површини се помали во споредба со класичното анодизирање. Слојот е многу тврд, отпорен на апсорпција, но е порозен. Примената на алуминиумските легури со површинска обработка со тврдо анодизирање е широка, од електричната индустрија, механички делови, садови за готвење итн.

Тврдото анодизирање се прави во бања од сулфурна киселина и со мала количина

на растворен алуминиум. Температурата на која се одвива процесот се движи помеѓу -5 – 0 степени, но понекогаш се добиваат и на малку повисоки од овие температури. Порозниот оксид кој се добива може да биде обоен и запечатен, но крајните ограничувања на бојата се одредени од типот на оксидот и бојата која се користи.

Хромирањето не се користи само за алуминиумски легури, тоа се користи и кај челични делови, при што особините кои се добиваат се добра отпорност на абеење, корозија и високи температури. Хромирањето се користи и кај легури на цинк, кадмиум, бакар, сребро и магнезиум. Хромирањето со СУРТЕК 650 е процедура на пасивација за површините на алуминиумските делови за да се обезбеди одлична отпорност на корозија до 100 °C. По овој третман, се подобрува адхезијата на превлаките, како што се бои, материјали за запечатување или други типови на лепила.

Хемиското полирање е подготвителна операција за анодизација која се состои од хемиски напад на алуминиумските делови со микс на киселини. Со оваа метода се заменува електрополирањето или електроплатирањето за делови кај автомобили, рамки за слики, козметички садови и многу други примени. Проблемите кои се јавуваат не се едноставни поради сензитивноста на овој метал и неговата реактивност со најчесто применуваните решенија за чистење. Се користат кај алкални раствори, детергенти или киселини, одвоено или заедно во различни комбинации.

Легурите на магнезиумот се вбројуваат во групата на најлесни структурни метали, кои покажуваат голема разлика во тежина кога ќе се споредат со алуминиумот и челикот. Примарната предност на овие материјали лежи во нивната способност за намалување на тежината на компонентите што е значајно кај автомобилите поради намалување на потрошувачка на гориво и карактеристики за управување. Интересот за овие легури е во значаен пораст, поттикнат од потребата да се исполнат строгите стандарди од економијата на горивата. Иако имаат многу предности, овие легури се многу комплексни за производство и се скапи. Ниската густина и високата специфична јакост се само едни од поволните карактеристики кои се поврзани со нивната примена.

Титаниумот и неговите легури се познати по тоа што имаат одлични и единствени механички и физички особини. Покрај тоа, нивната отпорност на корозија ги прави особено атрактивни за примена во специфични средини. Особено се популарни во вселенската, хемиската и енергетската индустрија. Зголемениот сооднос на јакоста и нивната густина ги прави прв избор во дизајн на мотори, рамки и други делови наменети за вселенски и воздухопловни летала. Имаат извонредна отпорност на корозија/ерозија што ја проширува нивната примена и во хемиската, подводна и метална индустрија. На покачени температури имаат добри особини, па може да се применуваат и во топли гасни турбини и мотори кај возилата, каде што е потребно да се користат отпорни на ползење легури за температури високи до 600 °C. Легурите на титаниумот имаат широк спектар на јакост и комбинации на јакост и ломна жилавост. Ова овозможува оптимизиран избор на легури кој може да биде специфициран за критични компоненти.

Предводен од тоа дали за одредена специфична намена се со приоритет потребни: јакоста, заморната јакост, жилавоста или порастот на пукнатина при експлоатација. Повеќето легури на титаниумот може да бидат произведени со висока ломна жилавост со минимално деградирање во околната средина. Со пониска јакост, овие легури се поотпорни на напукнување предизвикано од напонска корозија и заморна корозија во аква-хлориден медиум. Кај компонентите под висок притисок, како што се садовите под притисок, овие легури, исто така, се многу атрактивен материјал за примена и тоа може да се забележи во повеќе кодови и стандарди од процесната индустрија.

Титаниумските легури покажуваат исклучителна отпорност во разни хемиски средини и услови, со тоа што формираат тенок слој на оксид. Овој оксид, кој е првенствено TiO_2 е траен и хемиски стабилен, и може спонтано да се самолекува доколку механички е оштетен ако се присутни траги од кислород или вода (влага) во животната средина. Други атрактивни особини кои ги поседуваат се: висока точка на топење, одлични криогени особини, извонредна отпорност на ерозија, низок модул на еластичност, низок термички коефициент на експанзија, немагнетичност, нетоксични, неалергени и целосно биокompatibilни материјали. Во денешно време постојат повеќе од 100 типа на титаниумски легури од кои околу триесетина наоѓаат примена. Околу 70 % припаѓаат на групата алфа-бета легури, додека, пак, 56 % проценти од вкупната искористеност се должи на примената на Ti-6Al-4V (Gr-5, Gr-5ELI), што ја прави најискористен материјал на база на титаниум [10]. Оваа легура има ознака ELI што означува присуство на многу мало количество на нечистотии и примарно се користи кај криогена опрема, во воздухопловство, кај автомобилите и медицината.

Прашања:

1. Како дојде до развој на металите и металните легури?
2. Кон што се насочени денешните истражувања?
3. Дали постои врска помеѓу особините и микроструктурата на металите?
4. Кои техники се користат за карактеризација на површината на металните материјали?
5. Како може да се добијат соодветни податоци за даден материјален систем?
6. Што може да видиме кога се користиме со методи на X-зраци?
7. Што може да се прикаже со скенирачки електронски микроскоп?
8. Како се прави адитивното микропроизводство на метални производи?
9. Кои карактеристики ги поседуваат напредните челици со висока јакост?
10. Какви особини имаат алуминиумските легури и каде се применуваат?
11. Како се прави површински третман на алуминиумска легура?
12. Кои особини ги има титаниумската легура?
13. Каде се применуваат титаниумските легури?
14. Која легура е најмногу применета денес?

Литература

- Ercolano G, Zambelli T, van Nesselroy C, et al.; Multiscale additive manufacturing of metal microstructures; *Advanced Engineering Materials* 2020; 22, 1900961. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.20190096>
- Nan, Yao. "Introduction to the focused ion beam system." (2007). [10.1017/CBO9780511600302.002](https://doi.org/10.1017/CBO9780511600302.002)
- Ting Yu *et al.* (2021) *Journal of Physics: Conference Series*. 2021 012010, DOI 10.1088/1742-6596/2021/1/012010
- Ercolano, Giorgio, Cathelijn van Nesselroy, Thibaut Merle, János Vörös, Dmitry Momotenko, Wabe W. Koelmans, and Tomaso Zambelli. 2020. "Additive Manufacturing of Sub-Micron to Sub-mm Metal Structures with Hollow AFM Cantilevers" *Micromachines* 11, no. 1: 6. <https://doi.org/10.3390/mi11010006>
- Ardelean *et al* 2018 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 294 012042. DOI 10.1088/1757-899X/294/1/012042
- Hu, Xiaohua and Zhili Feng. "Advanced High-Strength Steel—Basics and Applications in the Automotive Industry." (2021).
- Valkov, Stefan, Maria Ormanova, and Peter Petrov. 2020. "Electron-Beam Surface Treatment of

Metals and Alloys: Techniques and Trends" *Metals* 10, no. 9: 1219.
<https://doi.org/10.3390/met10091219>
Vaishali K. Patel *et al.* Innovations in lightweight materials for Automotive Engineering, J. Electrical Systems 20-10s (2024):2121-2133.
Pallavi Pushp, S.M. Dasharath, C. Arati, Classification and applications of titanium and its alloys, Materials Today: Proceedings, Volume 54, Part 2, 2022, Pages 537-542, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.008>.
Danail Gospodinov, Nikolay Ferdinandov, Stoyan Dimitrov, Classification, properties, and application of titanium and its alloys, Conference: proceedings of University of Ruseat, 2016 <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp16/2/2-5.pdf>

3. СОВРЕМЕНИ КЕРАМИКИ: КЛАСИФИКАЦИЈА, ПРИМЕНА И ПРИОРИТЕТИ ЗА ПОНАТАМОШНИ ИСТРАЖУВАЊА И РАЗВОЈ

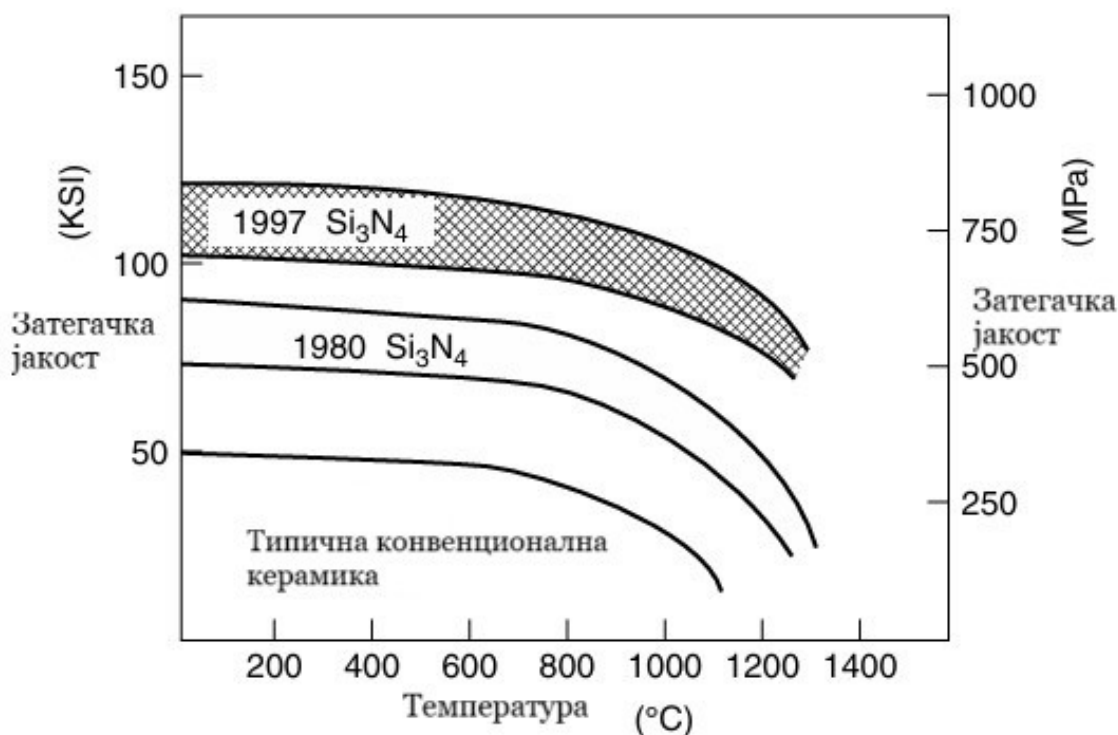
Керамиките денес се интегриран дел од модерната технологија и се смета дека се применуваат за извршување критични функции во секојдневниот живот. Особено се покажаа ефикасни за работа во тешки услови, кои вклучуваат високи температури, примени во услови каде може да дојде до значајно абење, или во области, како што се: енергетика, транспорт, електроника, здравје и околина. Но, покрај овие карактеристики, едни од негативностите на овие материјали се состојат во тоа што тие имаат ниска надежност, висока кртоост и цена на чинење. Исто така, многу од керамиките се непознати за пазарот и е потребно да се направи промена на нивниот дизајн. Истражувањата и развојот во оваа област во изминативе години доведоа до значајно подобрување на особините на современите керамики. Новите и подобрени керамики кои се сега на располагање се со многу висока јакост и жилавост отколку претходните (традиционални) керамики. Развиени се повеќе нови методи за дизајн, особено преку примена на кодовите на методите на конечни елементи за анализа на термичките и напонските оптоварувања. Со примена на овие методи е направен значаен напредок во надежноста и намалувањето на ризикот на примена на овие материјали.

Терминот „современи керамики“ за првпат се сретнува во 1970 г., чија цел е означување нова категорија на инженерски материјали кои преку својата примена ќе придонесат кон добивање и развивање нови технологии во 21 век. Современите керамики имаат единствени особини кои не може да се добијат кај конвенционалните материјали, како што се: огноотпорност и тврдост, ниска густина, низок коефициент на термичка експанзија и може да одржат добри механички особини на високи температури. Но, и покрај уникатната комбинација на особини кои овие материјали ги поседуваат, треба да се спомене дека како структурни материјали се слаба конкуренција на евтините метали, легури и композити. Така што може да се каже дека примената на современите керамики е отежната поради недостаток на спецификации и бази на податоци, високите цени и недостаток од методи за нивна поправка.

Современите керамики се разликуваат од традиционалните керамики по тоа што имаат особини добиени по потреба, повисока јакост, подобрена жилавост, повисоки работни температури. На слика бр. 3.1 е дадено подобрувањето на затегачката јакост на високи температури кај силициум нитрид низ годините и споредба со типична конвенционална керамика.

Традиционалните керамики се неоргански неметални цврсти тела (со неметални и метални компоненти) и вклучуваат глина (пластични материјали), силика (филери) и фелдспат (флуковси), додека, пак, современите керамики се направени од оксиди, азотни компоненти, карбиди и несиликатно стакло. Керамиките, традиционално, се состав на оксиди и се произведуваат во аморфна и кристална состојба, во многу форми тие не се целосно густы и се порозни на микро и на макрониво. Глината се карактеризира со тврдост и дуктилност, силика има висока стабилност на покачени и температури на топење, додека, пак, фелдспар прави стаклена фаза кога керамиките се палат. Пример на традиционални керамики се: плочки, стакла, порцелан и цигли. Современите керамики уште се познати

како високоефикасни керамики, високотехнолошки, инженерски, технички и фини керамики. Тие се во основа кристални материјали со строго контролиран состав и се произведуваат преку детално регулирање на многу префинети сирови материјали кои ги даваат специфичните атрибути кои се потребни за одредена примена. Овие керамики може да бидат произведени од неколку поглавни класи на материјали: оксиди, карбиди, нитриди, силикати, бориدي итн. Во табела бр. 3.1 се дадени предностите и недостатоците кај традиционалните и современите керамики.



Слика бр.3.1 Графички приказ на затегачка јакост на силициум нитрид подобрен низ годините

Табела 3.1 Предности и недостатоци кај традиционални и современи керамики

Аспект на разгледување	Традиционални керамики	Современи керамики
Суровини	Од природни материјали без преработка, како што се глина, песок, фелдспар и кварц.	Се направени од синтетички висококвалитетни пудри. Овие суровини се одговорни за специјалните особини и квалитети. Преработени материјали како што се Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , SiC , SiAlON .
Структура	Структурата се одредува од составот на глината. Керамиките кои имаат различно потекло имаат	Хемиската структура на современите керамики е јасна и едноставна со висока чистота. Направени

	различна текстура. Поради примената на различни суровини овие керамики се со покомплицирана хемиска структура и состав. Имаат многу нечистотии, квантитативно и по тип. Микроструктурата на традиционалната керамика не е подеднаква со повеќебројни пори, па според тоа е тешко да се контролира квалитетот на керамичкиот производ.	се преку мануелно пресметани состојки, што значи суровината е контролирана. Микроструктурата е фина и униформна.
Производство	Минералите за традиционалната керамика може да биде директно применета за мокри калапи, вклучително за фугирање на калапот со кашеста смеса или пластично калапење на кал. Телото не побарува понатамошна преработка по синтерување со температура помеѓу 900 и 1400 °C. Вклучува постапки како што се: пресување, екструзија, слип излевање, сушење и палење.	Производство во сув калап и мокар калап може да биде соодветно за современи керамики кога органски додатоци се додаваат на прашкастата суровина која има висока чистина. Понатаму е потребна преработка по палење на висока температура на синтерување (1200 – 2200 °C) според различни материјали. Од перспектива на подготовка, современите керамики ги надминуваат границите на традиционалните керамики. Има многу напредни технологии кои се користат, како што се: топло и високотемпературно изостатско пресување, заштитно атмосферско синтерување, синтерување во вакуум, топло пресување итн.
Функции и примена	Се произведуваат за дневна работа или се користат како материјал за поврзување.	Овие имаат подобра ефикасност во квалитет, како и нови примени во споредба со традиционалните. Имаат повеќе физички и механички особини, вклучително висока

		тврдост, јакост, отпорност на термички шок, абеење, корозија и високи температури. Имаат голем потенцијал за примена кај звук, магнетизам, топлина, електрицитет, светло, биологија, хемија и други примени.
Особини	Огноотпорност, термички и електрични изолатори	Ломна жилавост, електрична спроводливост, електрооптика, деиелектричност, пиезоелектричност, магнетичност и суперспроводливост

Во продолжение, во табела 3.2 се дадени неколку современи керамики заедно со нивните карактеристики. Особините со кои се карактеризираат се специфични и се однесуваат на конкретниот материјал и не може да бидат споредени. Вредностите кои се дадени се преземени од различни публикации. Керамиките може да бидат произведени во различни форми, како единечни кристали, синтерувани тела, филмови, влакна, превлаки и неконсолидирани прашоци со голем опсег на големини и морфологии на честички.

Табела 3.2 Примери на современи керамики со некои од нивните карактеристики

Керамика	Карактеристики
Алуминиум оксид (Al_2O_3)	Неговата микроструктура главно вклучува ковалентни врски или јонско врзување. Постои во три фази (α фаза, β -фаза и γ - Al_2O_3). Густина (3950 kg/m^3), јакост на виткање (379 MPa), модул на еластичност (375 GPa), јакост на збивање ($\sim 2600 \text{ MPa}$), тврдост (1440 Kg/mm^2), ломна жилавост ($4 \text{ MPa.m}^{1/2}$), топлинска спроводливост (35 W/m.K)
Алуминиум нитрид (AlN)	Има хексагонална кристална структура и е ковалентно поврзан. Тврдост (1100 Kg/mm^2), критично електрично поле (12 MV/cm) и отпорност на оксидација, топлинска спроводливост (320 W/m.K) и статичка диелектрична константа ($8,5 - 8,8$ на 1 MHz), енергија на врзување од $11,52 \text{ eV/атом}$, збивачка јакост (2100 MPa), модул на еластичност (330 GPa), ломна жилавост ($2,6 \text{ MPa.m}^{1/2}$)
Силициум нитрид (Si_3N_4)	Ломна жилавост ($5,7 - 6,1 \text{ MPa.m}^{1/2}$), тврдост ($1450 - 1580 \text{ Kg/mm}^2$), модул на еластичност (310 GPa), свитливост ($689 -$

	830 МПа), ниска диелектрична константа, релативно ниска цена, издржливост, подложни на проблеми, како што се тешко отстранување на површината и оштетувања што доведува до високи трошоци за обработка. Крто се однесуваат.
Циркониа (ZrO)	Точка на топење (3053,15 K), отпорност на висока температура, отпорност на абеење и корозија. Тетрагоналната фаза на циркониа се карактеризира со висока јакост и тврдост во споредба со другите две кристалографски фази. Страда од деградација на ниски температури или стареење.
Титаниум силициум карбид (Ti ₃ SiC ₂)	Шестоаголна структура со просторна група од P63/mmc. Има три начини на врзување: ковалентно, јонско поврзување (Ti и B) и слаба врска, кои се слични на Ван дер Валсова сила (Ti и Si).Топлинска спроводливост на собна температура (37 W/m.K) и на 1273,15 K (33 W/m.K), тврдост по Викерс (4 GPa), модул на еластичност (322 GPa), густина (4520 kg/m ³), електричен отпор (0,227 μΩ·m), отпорност на висока температура на оксидација и корозија, лесна обработка, подобра стабилност.
Силициум диоксид (SiO ₂)	Презентира две општи структурни состојби (кристална и аморфна). Постои во три главни фази (кварц, тридимит и кристобалит) и пет помали фази (коезит, кеатит, фаујазит, фиброзен и меланофлогит). Висока хемиска стабилност, ниска цена, нетоксична, диелектрична константа (50 – 100) и има добро влијание врз еколошката компатибилност.

3.1 ДЕФИНИРАЊЕ И КЛАСИФИКАЦИЈА НА СОВРЕМЕНИТЕ КЕРАМИКИ

Асоцијацијата на современи керамики на САД, проектот за современи материјали и стандарди (VAMAS 2004 г.) и АСТМ комитетот Ц-28, заеднички направиле студија во која се образложува и на што поточно се однесува терминот „современа керамика“. Според нив, современите керамики се високоспецијализирани и имаат електрични, магнетни, оптички, механички, биолошки и еколошки особини. Тие може да работат во екстремни услови, како што се: високи температури, притисок, напон, радијација и во висококорзивни средини. Предоминантно се неоргански-неметални материјали, релативно се скапи и се со особини и механизми на попуштање кои не се целосно проучени и

разбрани. Понатаму, за современи керамики се сметаат оние кои се: способни за решавање на сегашните производствени проблеми и проблеми од примената, производите кои имаат висока вредност благодарение на софистицираната процесна технологија и не се профитабилни моментално во однос на враќање на инвестициите, но ветуваат за во иднина. И за крај, се смета дека современите керамики се позиционирани на почетокот на развојниот циклус и не се целосно применети во согласност со нивниот потенцијал.

Како што може да се забележи и од табела 3.2, современите материјали имаат одлични особини кога станува збор за високотемпературна стабилност, тврдост, отпорност од корозија, ниска термичка експанзија, поволни електрични особини од изолатори до полупроводници до многу спроводливи материјали. Ломната жилавост и отпорноста од удари сè уште се неповолни кога се споредуваат со металите и некои инженерски пластики. Модерните производствени технологии (особено производството на зајакнатите со честички керамики) доведоа до производство на трансформациски зајакнати керамики, како што се делумно стабилизирана циркониа и модерните наноструктурни керамики кои даваат материјали што добро работат во специфични механички услови.

Современите керамики може да се распределат во две поглавни категории: структурни керамики и функционални керамики.

Структурните современи керамики се применуваат во услови каде компонентата на инженерскиот систем е под дејство на високи механички, триболошки, термички или хемички оптоварувања. Типични примери за структурни керамики се: алумина, делумно или целосно стабилизирана циркониа, коридерит, мулит, спинел, силициум нитрид и сиаони, силициум карбид, борон нитрид, титаниум нитрид и титаниум борид.

Функционалните современи керамики, во споредба со структурните керамики, користат микроструктурни ефекти локализирани во рамки на волуменот, на границите на зрната или на површините на спроводлива или неспроводлива керамика. Овие ефекти опфаќаат полупроводнички, пиезоелектрични, пироелектрични, фероелектрични и суперспроводливи особини. Во автомобилската индустрија овој тип на керамики често се користи за изработка на сензори за удар и кислород, катализатори на издувни гасови и горивни ќелии, керамички гасни турбини и адијабатски турбо дизел-мотори.

3.2 ПРИМЕНА

Напредните производствени технологии и специфичните атрибути на производите се клучни за примена на современите керамики. Најчесто применети керамики се: алумина, циркониа, силициум нитрид, силициум карбид, ферит и титанит. Поради специфичните комбинации на особини кои овие керамики ги имаат, тие имаат потенцијал да решат голем број од денешните предизвици во процесната индустрија, генерирање енергија, воздушната, транспортната и воената индустрија. Овој тип на примена е значаен за глобалната конкуритивност, намалувањето на потрошувачката на енергија и намалување на загадувањето. Еден таков пример е примената на керамички каталитички конвертор кој е заслужен за намалување на емисиите кај возилата. Исто така, може да се произведат керамички лагери со долг работен век за да се подобри ефикасноста и намалување на триењето. Кај алатите за сечење, современите керамики ги надминаа цементните карбиди поради високата тврдост и јакост на покачени температури, овозможувајќи високи брзини и ефикасни обработки. Кај сечењето клучни фактори се работниот век на алатот и брзината

на сечење. При сечење тврди метали, како леано железо и високотемпературни суперлегури, големи температури се генерираат на местото на сечење што предизвикува намалување на векот на алатот и брзината на сечење. Примената на современите керамики финансиски е оправдана поради високите брзини на отстранување при сечење, што придонесува за зголемување на брзината на производство, се намалува абеењето на врвот на алатот и дава можност за сечење на тешко обработливи материјали. На слика бр. 3.2 се дадени повеќе алати за сечење направени од различни керамички материјали.



Слика бр.3.2 Шематски приказ на алати за сечење изработени од различни керамички материјали

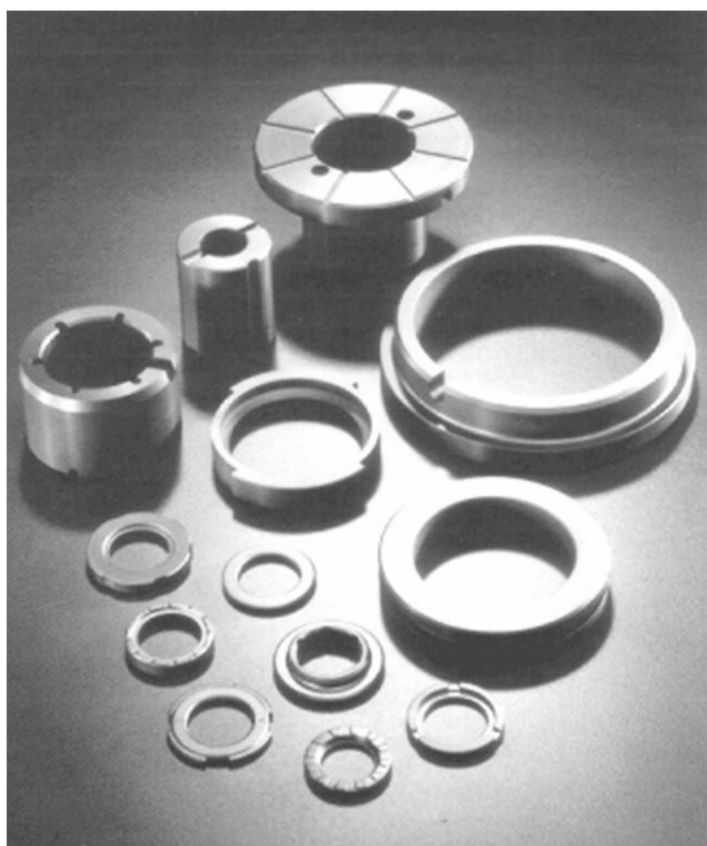
Со примена на силициум нитрид како алат за сечење може да се достигнат брзини до 1520 m/min на длабочина од 5 mm, во услови на температури кои може да достигнат и до 1100 °C. Ова наметнува екстремни услови на термички шок, удар, контактен напон и ерозија/корозија кои силициум нитридот ги преживува. На слика бр. 3.3 се дадени примери на делови изработени од силициум нитрид (облоги на млазници за експлозија, ролни за формирање жица и водилки, топчиња за вентили, делови за абеење и центрифугален екран за одводнување итн.).

Фамилијата на силициум карбид е добро воспоставена на пазарот, со добри особини против абеење и одлична издржливост на високи температури. Но, оваа керамика во споредба со алумината е поскапа, а има помала ломна жилавост во споредба со силициум нитрид. Па, примената на овие керамики за отпорност од абеење е послаба. На слика бр. 3.4 се дадени примери на делови од силициум карбид.

Бројни комерцијални примени на современите керамики се реализирани во автомобилската индустрија. Некои делови се веќе обележани како посоодветни за исполнување на барањата пропишани во идните прописи за емисиите и за подобрување на економијата на горивата, благодарение на нивната маса, издржливост и ниска цена. Силициум нитрид се користи за изработка на инјектор на гориво и за делови од пумпи кои работат на високи притисоци. Керамички композити се користат за кочници кај луксузните возила и се очекува дека ова ќе почне да се применува и за останатите возила со намалување на цената.



Слика бр.3.3 Шематски приказ на делови од силициум нитрид



Слика бр.3.4 Шематски приказ на делови од силициум карбид: печати и делови од пумпа

Многу предности се забележани во користење на современите керамики кај компоненти, како што се керамички повеќеслојни пиезоелектрични актуатори на високи притисоци кај дизел-мотори. Оваа примена придонесе за подобро согорување, намалена бучавост, намалување на емисиите, подобрена термичка ефикасност.

Примената на керамички компоненти е докажана кај електрониката кај автомобилите, телекомуникациите, интегрираните кола, филтери, циркулатори, осцилатори, термички стабилни резонатори, изолатори, антени кај микробранови, сензорни системи итн. Ова се должи на тоа што тие може да функционираат нормално на високи температури, фреквенции и моќност, сурови услови, а, исто така, може да комбинираат особини како што се магнетична и електрична изолација, што е невозможно кај полимерите и металите. Пиезокерамиката е широко применета за електромеханички сензори и актуатори. Нивниот принцип на работа се заснова на електричен и механички одговор.

Керамичките компоненти, исто така, се применуваат во биомедицината, како дентални протези, протези за колкови, биомедицински сензори и микросистеми кои се вградуваат. Како дентална керамика се применуваат стаклен иномер цемент, цинк фосфат цемент и композитен цемент. Како ортопедски импланти се користат поради добрата отпорност на абеење, јакоста, биокompatибилноста и добрата комбинација на стабилност. Алуминиум оксидот и циркониум оксидот се користат успешно за замена на феморалните глави кај целосна замена на колкови.

Керамичките мембрани привлекоа многу внимание во изминатите години, поради високите пермабилни особини, одличните хемиски и термички особини, продолжениот работен век, големата работна површина што демонстрира подобри работни функции кај третманот на водата, третирањето на отпадните води и други важни индустриски примени. За заштита на околината, мембраните се преферираат бидејќи се брзи и ефикасни, флексибилни и можат да се вградат во различни процеси и се многу осетливи. Повеќето керамички мембрани се направени од честички на керамички оксиди вклучувајќи алуминиум оксид, титаниум оксид, силициум оксид и циркониум оксид. Овие имаат одлични механички особини, долг работен век, супериорна хемиска стабилност и големи работни површини, а тоа ги прави идеални за оваа намена.

3.3 ПРИОРИТЕТИ ЗА ПОНАТАМОШНИ ИСТРАЖУВАЊА И РАЗВОЈ

За да се реализира широкиот комерцијален потенцијал на современите керамики, индустријата треба да се сврти кон реализирање на потребите за оригинално производство на опрема и кон крајните корисници. Истражувањата и развојот треба да бидат во насока на оптимизирање на особините на материјалот за да ги исполни потребите за сигурност за специфични примени, успешно да се демонстрира веродостојност и издржливост преку тестови кои траат подолго и се на самото место на примена кај корисниците, да се придобие ефикасно производство за да може да се влезе на пазарот. Со ваков континуиран развој, пазарот на современите керамики може да порасне значајно и да се искористат многу економски придобивки од страна на крајните корисници преку намалување на одржувањето, енергетската ефикасност, намалување на загадувањето и зголемениот работен век на опремата.

Керамичката индустрија во денешно време ги следи своите цели кон производство на современи керамики кои се исплатливи, применливи во повеќе индустрии, како што се генерирање енергија, транспорт, воздухопловна, воена индустрија, како и кај производите во широката потрошувачка. Новите дизајн методи, стандардите за испитување на особините, базите на податоци се достапни за да може тимот да направи избор на

материјал кој ќе ги исполнува барањата и ќе даде супериорни придобивки во споредба со другите материјали. Керамиките треба да бидат произведени во комплексни и големи облици со минимално време за добивање и минимална појава на грешки. Дополнителни истражувања се потребни кај три класи на керамики – монолитни керамики, керамички композити и керамички системи за обложување. Резултатите од овие истражувања се очекува да имаат големо влијание врз краткорочните и долгорочните влијанија врз пазарот. Истражувањата треба да бидат во насока кон генерирање и подобрување на податоците во базите при избор на материјал, за да се поддржи аналитичкиот дизајн и предвидувањето на работниот век. Понатаму, да се подобрат методите и аналитичките алати за да се овозможи аналитички дизајн на компонентите. Исто така, подобрување на процесите на производство за да се подобри надежноста на материјалот, капацитетот на производство и да се намалат трошоците. Да се подобрат методите и опремата за неструктивно испитување, при тоа да се намалат цените за инспекција и осигурување на квалитет. И на крај, да се прават тестови кои траат подолго низ работниот опсег на делот како и кај крајниот корисник.

Прашања:

1. Што се подразбира под поимот современа керамика?
2. Кои се карактеристичните особини на современите керамики и како се разликуваат од традиционалните?
3. Наброј неколку современи керамики и кратко објасни ги нивните карактеристики.
4. Како се групираат современите керамики?
5. Дали керамиките се применуваат за заштита на околината?
6. Каде се применуваат современите керамики?
7. Како може да се дефинира современата керамика?
8. Каде наоѓаат примена во транспортната индустрија?
9. Кои се структурни современи керамики?
10. Кои се функционални современи керамики?

Литература

- Matizanhuka, W.R.. (2018). Advanced ceramics - the new frontier in modern-day technology: Part I. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 118(7), 757-764. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n7a9>.
- Richerson, D.W. (2004). Advanced Ceramic Materials. In Handbook of Advanced Materials, J.K. Wessel (Ed.). <https://doi.org/10.1002/0471465186.ch2>
- Ayode Otitaju, Tunmise, Patrick Ugochukwu Okoye, Guanting Chen, Yang Li, Martin Onyeka Okoye, and Sanxi Li. "Advanced ceramic components: Materials, fabrication, and applications." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 85 (2020): 34-65.
- Shigeyuki Somya, Shigeyuki Somya, Fritz Aldinger, Richard M. Spriggs, Kenji Uchino, Kunihiro Koumoto, Masayuki Kaneno (2003). Handbook of Advanced Ceramics: Materials, Applications, Processing and Properties, ISBN:9780080532943, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-654640-8.X5000-7>
- Subbarao, Eleswarapu C. "Advanced ceramics—an overview." *Sadhana* 13 (1988): 1-11.
- Heimann, R.B. (2010). Advanced Ceramic Processing and Future Development Trends. In Classic and Advanced Ceramics, R.B. Heimann (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9783527630172.ch12>
- Jürgen Rödel, Alain B.N. Kounga, Marion Weissenberger-Eibl, Daniel Koch, Antje Bierwisch, Wolfgang Rossner, Michael J. Hoffmann, Robert Danzer, Gerhard Schneider, Development of a roadmap for advanced ceramics: 2010–2025, Journal of the European Ceramic Society, Volume

29, Issue 9, 2009, Pages 1549-1560, ISSN 0955-2219,
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.10.015>.

4. ПОЛИМЕРИ:

КЛАСИФИКАЦИЈА, ОСОБИНИ, ПРИМЕНА И ПЕРСПЕКТИВА ЗА ПОНАТАМОШЕН РАЗВОЈ

Индустријата на полимерите е многу комплексна, бидејќи опфаќа многу аспекти кои се од мултидисциплинарна природа. Производството на полимерите побарува експертско знаење во различни области:

- полимерна синтеза, од хемиски и инженерски аспект;
- карактеризација на полимери, а тоа вклучува хемиски, физиохемиски, реолошки особини и други;
- производство на полимери и трансформација во краен производ.

Целта на ова поглавје е да се потенцираат основните аспекти од областа кои се потребни за разбирање на особините и примената на овие материјали. Сите детали во врска со производството на овие материјали се опфатени во предметот Машински материјали 1, кој студентот го следи во првата година од своите студии на Машинскиот факултет – Скопје. Во овој текст се дадени информации кои може да послужат како дополнување на знаењата на студентот стекнати до сега. Со оглед на комплексноста која произлегува од опсежноста на оваа индустрија, овде ќе се сумираат знаењата за да може да се разбере направениот прогрес кај современите полимери и перспективите за понатамошен развој на овие материјали, кои денес се сметаат за материјали на иднината.

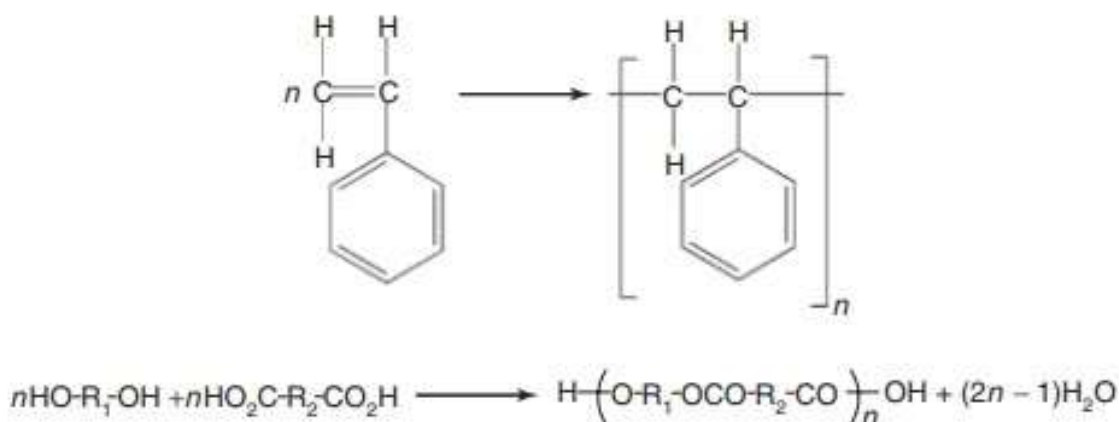
4.1 КЛАСИФИКАЦИЈА И ВИДОВИ ПОЛИМЕРИ

Полимерите се материјал кој е составен со поврзување на мали молекули наречени мономери за да направат големи молекули. Ова се постигнува со помош на процес наречен полимеризација, при кој релативно мали молекули се комбинираат хемиски за да направат голема верига или мрежа на молекули. Тоа значи дека секоја мала молекула треба да има најмалку две точки на реакција или функционални групи. Мономерите може да бидат слични или да претставуваат две или три различни состави. Најмалку 100 молекули на мономери треба да се врзат за да може еден производ да има одредени особини, како што се еластичност, јакост, способност да формираат влакна и да се разликуваат од супстанциите составени од сè помали и помали молекули на полимер.

При полимеризација се формира стабилна ковалентна хемиска врска помеѓу групи на мономери, со тоа овој процес целосно се разликува од другите процеси, како што е, на пример, кристализацијата каде што голем број на молекули се подредени под влијание на слаби интермолекуларни сили. Постојат два поглавни типа на процеси на полимеризација: *кондензациона* полимеризација, каде има елиминирање на мали групи на молекули, како што се H_2O или CH_3OH , и *адисиона* полимеризација, каде што полимерот се добива без губење на други материјали.

Па, според начинот на добивање, односно структурата полимерите може да се класифицираат како: кондензациони и адисиони полимери. Ова е најстара класификација на полимерите (датира од 1929 година) која понатаму низ годините се воочило дека не може да се примени на некои полимери. Па, за утврдување на тоа дали некој полимер влегува во групата на кондензациони полимери се поставени два критериума кои треба да

се исполнат, а тоа се: некои атоми на мономерот да се изгубат како мали молекули за време на синтезата или тие да содржат функционални групи како дел од главната полимерна низа, како што се естер, уретан, амид или кој било од овие. Ако не се задоволи еден од овие критериуми, тогаш тој полимер се класифицира како адисионен полимер. На слика бр.4.1 даден е пример каде што може да се види како овие два типа на полимеризација се разликуваат еден од друг.



Слика бр.4.1 Адисионен полимер, полистирен – синтетичка реакција (горен дел), Кондензационен полимер, полиестер (долен дел) со R1 и R2 алипатски или ароматични групи

Овде е даден полистиренот како адисионен полимер и полиестер како кондензационен полимер. Во заградите на реакцијата е единицата која се повторува (повторувачка единица). Кај адисиониот полимер, повторувачката единица го има составот на мономерот, единствено постои разлика во составот на хемиските врски во однос на мономерот. Кај кондензациониот полимер некои атоми на мономерот се изгубени кога мономерот прави реакција за да ја направи повторувачката единица на полимерот.

Постојат и други типови на класификација:

- Врз база на кинетички механизам на реакција на полимеризацијата (верижна полимеризација и развојна полимеризација);
- Хомополимер (еднакви по состав мономери) и кополимери (различен состав на мономери);
- Потекло од каде се добиени (природни полимери, полусинтетички и синтетички);
- Биоразградливи и бионеразградливи;
- Според производствен волумен (големи производствени волумени наречени *комодитети* кои се произведени континуирано со многу мал профит и мали производствени волумени или специјални полимери со големи профити по единица маса).

Постојат различни подгрупи на реакции при полимеризација, па според тоа полимерните вериги може да се класифицираат како линеарна верига (синџир), разгранета

полимерна верига и попреку поврзана полимерна верига. Линеарни полимери може да бидат вискозни течности или цврсти тела со различен степен на кристалност, голем број од нив може да бидат растворени во одредени течности и тие да омекнат или да се стопат по нивно загревање. Полимерите кои попреку се поврзуваат во мрежа се термосетови кои не може да се растворот во раствори. Тие се формираат со топлење, но не се топат или омекнуваат кога повторно ќе се загреат. И двата типа на полимери може да се добијат со кондензициона или адициона полимеризација.

Класификацијата во однос на потеклото од каде што се добиени е една најопшта класификација според која полимерите се поделени на следните поткатегории:

- **Природни полимери.** Овие се наоѓаат во растенија и животни. Пример за таков тип на полимер се протеините, целулозата, скроб, некои семиња и гумата.
- **Полусинтетички полимери.** Овде спаѓаат целулозни деривати како целулозен ацетат (рејон) и целулозен нитрат.
- **Синтетички полимери.** Пластиката како што е политен, синтетичките влакна како што е најлон 6, 6 и синтетичката гума спаѓаат во оваа поткатегорија. Тие се направени вештачки и се широко застапени како во секојдневниот живот на луѓето така и во индустријата.

Полимерните материјали се високомолекуларно масени состави кои се синтетизираат преку серија на хемиски реакции. Во групата на полимери спаѓаат: пластики, гуми, влакна, облоги, бои и други функции од молекуларно композитни материјали. Во табела 4.1 се дадени основни карактеристики на овие полимери.

Табела 4.1. Карактеристики на полимери

Вид на полимер	Карактеристики
Пластики	Со полимерна основа, различни адитиви и филери се додаваат за да се формира пластичен материјал или крут материјал по процесирање
Влакна	Меки и мазни филаменти, со должина најмалку 100 пати од дијаметарот
Гума	Високоеластични материјали со реверзибилна деформација
Бои	Полимер обложен на површината на предмет за да формира цврст филм и игра декоративна и заштитна улога
Лепила	Полимерен материјал кој може да спои повеќе од два предмета преку остварување врска
Функционален полимер	Фин полимерен материјал со специјални функции и примена, но не во големи количини

Кога полимерите се комбинираат со различни агенси за да се подобрат или на некој начин да им се променат нивните особини се добива *пластика (термопластика и термостабилна пластика)*. Пластиката е најчест полимерен материјал кој е застапен во

секојдневниот живот, но таа не е направена само од полимерен материјал, при нејзино производство е потребно да се додадат лубриканти, стабилизатори, бои итн. Пластиките се со ниска маса и не го менуваат обликот со промена на температурата, а, исто така, се и непропустливи, така што овозможуваат заштита од натопување на производот доколку е складиран во сад изработен од пластика. Пластиката не може да се разгради, што негативно влијае врз околината, а доколку се запали ќе предизвика токсичен гас кој е штетен за луѓето. Термопластиките кога ќе се загреат над одредена температура се втечнуваат во вискозна течност која може да се адаптира на обликот на калапот во кој се ставаат и по ладење тие ќе го задржат новиот облик. Овој процес може да се повторува, но по одредено време полимерните вериги може да се прекинат или да направат реакции кои ќе ги намалат физичките особини, што ја ограничува можноста за рециклирање на овие материјали.

Во продолжение ќе бидат наведени некои поважни термопластики:

- *Полиетилен*. Општо позната термопластика која има мала јакост и слаба отпорност на наводнување, но хемиски е отпорна и е добар изолатор. Според волуменските карактеристики се среќаваат два типа на полиетилен: со ниска и висока густина. Се применува како филм кој служи за обвиткување цевки, шишиња, чаши и делови од батерии;
- *Полипропилен*. Оваа пластика е многу лесна и е покрута за разлика од полиетиленот, но и има слична примена (шишиња, кутии за телевизори, куфери итн.);
- *Полиацетат*. Има висока кристалност и полупрозрачност, добра жилавост, крутост и има особини како пружина, што значи дека има и отпорност на замор. Се применува за мали садови под притисок, делови од часовници, цевки кај водоводни инсталации и друго;
- *Термопластичен полиестер*. Со овој материјал се изработуваат многу добри филм ленти кои се отпорни на замор и откинување. Најдобри се за примена за пакување храна, видеоленти, облека и текстури на автомобилски гуми;
- *Флуорокарбон или тефлон*. Тефлонот е хемиски инертен речиси во сите средини и може да се користи на повишени температури до 260 °C. може да се користи како облога на тенџериња, кај лагери, печати и хемиски цевки и друго;
- *Полистирен* е аморфен материјал кој има висока прозрачност. Тој е кршлив материјал со добра термичка и димензионална стабилност. Широко се користи како евтин материјал за различни леани производи, како што се играчки и кујнски алатки. Кога ќе се помеша со CO₂ може да се примени за пакување и за изработка на сидни плочки;
- *Поликарбонатот* има одлична димензионална стабилност и одлична отпорност на удар и дуктиленост. Може да се користи како основа за фотографски филм и леќи, а, исто така, и за производство на шлемови, бидејќи има одлична жилавост и крутост;
- *Поливинилхлорид* е одличен за подни површини, бидејќи е евтин и нормално крут, а постои можност со помош на одредени пластификатори да се користи за добивање вештачка кожа и облека.

Генерално термопластиките се синтетизираат во големи количини во фабрики за полимеризација. На тој начин може да се произведе широка палета на производи со

различни облици и за различна примена. Кога се комбинираат со други материјали се добиваат композитни пластики кои имаат подобрени особини.

Термостабилните пластики се полимери кои се формирани со мешање и хемиски реакции на течни прекурсори во калап. Кога прекурсорите ќе реагираат се формира попречно врзана врска која не може да се втечнува со загревање. Според тоа, реакцијата и обликувањето во калап се случуваат истовремено преку процес на инјектирање. Примери на ваков тип на полимери се: полиестер, фенолформалдехид смола, епоксид смола и полиуретан.

- *Епоксид смолата* се формира со адициона полимеризација на епоксиди со агенси како аминокиселини и анхидридни киселини (асиди). Тие имаат одлична комбинација на механички особини и отпорност од корозија. Познати се како адхезиви (лепила) и како матрици за ламинатни стаклени влакна. Се применуваат за електрични калапи и заштитни облоги, како квалитетни лепила, лакови и премази, во електроиндустријата, отпорни се на дејство на влага, и како основна маса кај композитните материјали. Благодарение на нивната микроструктура тие имаат подобрен модул на еластичност, извонредни особини за адхезија и антихемиска отпорност на повишени температури. Како недостатоци може да се спомне тоа дека се кршливи и имаат слаба отпорност на удар и пропагација на прснатини. Ниската ломна жилавост може да се реши со помош на воведување термопластика и гума во епоксид смола, но ова може да доведе до други промени, како намалена температура на застакнување, ниска јакост и намалена кртост.
- *Фенолпластите (фенолформалдехид)* се евтини материјали кои имаат одлична термичка стабилност на отприлика 150°C , но се кршливи. Фенолпластите може да се комбинираат со голем број на филери и смоли за да се добијат, на пример, формика и туфнол. Имаат добри механички особини и добра ливливост.
- *Заситени полиестерни смоли* се термопластики кои најчесто се зајакнуваат со влакна, како, на пример, влакна од стакло или ламинати, и се значително поевтини од епоксидната смола. Пропилен гликол се користи за производство на овој материјал за примена во термопластични композити. Се применуваат за делови од бродови, автомобили, панели и катализаторски конвертери на топлина.

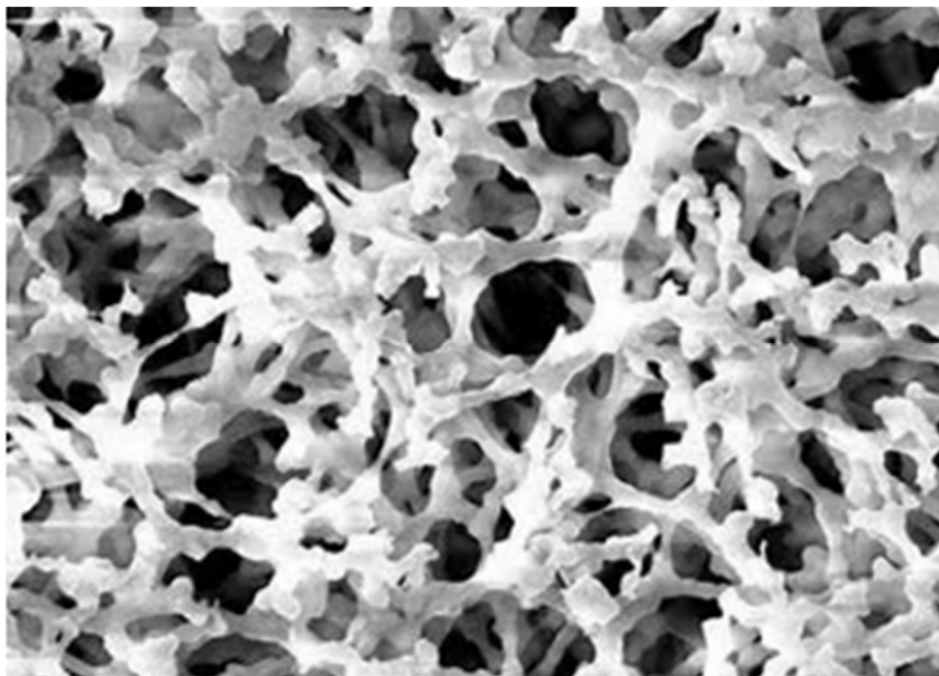
Влакната се уште еден општо познат полимерен материјал кој се употребува секојдневно. Постојат два типа на влакна: природна и хемиски синтетизирана целулоза. Природната целулоза се среќава во овошјето, зрната, растенијата и други целулозно богати зеленчуци. Влакната се полимери со висок модул и многу голема отпорност на деформација. Што значи дека овие материјали се издолжуваат многу малку. Пример на полимери кои се користат како влакна се најлон (полиамид), полиестер, полиакрилонитрил (акрилни влакна). Полиетиленските влакна се користат за изработка на пластични ќеси за ѓубре, но, исто така, тие се многу корисни за изработка на панцири (тие влакна се добиваат со крти ароматски полиамиди). Механичките карактеристики на овие влакна со модул на лизгање 160 GPa и јакост 4 GPa , укажуваат на потенцијалот за оптималноста на молекуларната структура на полимерите во комбинација со нивната ниска густина.

Еластомерите се сите аморфни полимери, освен кога се многу истегнати кога имаат тенденција да се подредат молекулите на материјалот. *Полисопрен* е природна гума

која има одлична отпорност на апсорпција, но ниска отпорност на топлина, озон и масло. *Полибутадин* (Стирен - Бутадин кополимер) е синтетичка гума која исто не е отпорна на масло, озон и надворешни временски услови. Се применува кај автомобилите кај гумите, како заптивка, кај чевлите за потпетици и ѓонови. *Полихлоропрен* или неопрен е гума која е отпорна на масло и деградирање од сонце, озон и други временски услови. Има примена во печати, каиши, заптивки, црева и друго. Полисилохан или силикон има ниска јакост, одлична отпорност на висока и ниска температура, како и одлични изолаторски особини. Се користи во медицината, електрониката како изолатор и др.

Полимерен филм или мембрана. Полимерните мембрани се применуваат во секојдневниот живот и со тоа придонесуваат кон подигање на стандардот и квалитетот на живеење. Со помош на овие мембрани се прочистува водата и се овозможува свежина и чистина која е потребна за да може да се консумира. Ова значи дека полимерните мембрани играат голема улога во заштитата на здравјето на луѓето преку елиминирање на нечистотии присутни во водата. Слика бр.4.2 дава приказ на полимерна мембрана направена со електронски микроскоп.

Бои и облоги. Ова се полимерни материјали кои може да формираат тенок филм кој претставува сврзано средство на пигментите и адитивите кои се користат за да се нанесе боја или заштита на површините. Примери на полимери кои се користат како основа за бои се кополимерите на стирен бутил акрилат или акрилен мономер винил ацетат [2]. Полимерот може да биде растворен (маслени бои) или дисперзиран во вода (латекс – добиен со емулзија).



Слика бр.4.2 Полимерна мембрана

4.2 МЕХАНИЧКИ И РЕОЛОШКИ ОСОБИНИ НА ПОЛИМЕРИТЕ

4.2.1 Механички особини

Полимерите се карактеризираат со поволни и единствени особини кои се должат на долгите молекуларни низи со висока молекуларна маса. Ова може да се разгледа преку промената на особините на хомогените серии на наједноставните водородно-јаглеродни низи, кои се забележуваат кај повторувачки единици на етиленот и групи на метил на крајот.

При релативно ниски молекуларни маси (C_6 - C_{10}), составот на овие серии се релативно испарливи течности (на пример, горива). Интересно е да се спомене дека со зголемување на повторувачките единици на етиленот, течноста почнува да се однесува како восок со многу ниска точка на топење, но ако се надмине одреден број при што молекуларната маса на веригата достигне ред од 5000 единици, материјалот ќе почне да се менува и да се однесува како цврсто тело и тоа со повисоки механички особини од истиот полиетилен. Општо земено, кога се надминува минимумот на молекуларна маса, полимерите постигнуваат повисоки механички особини што се должи на високата молекуларна маса.

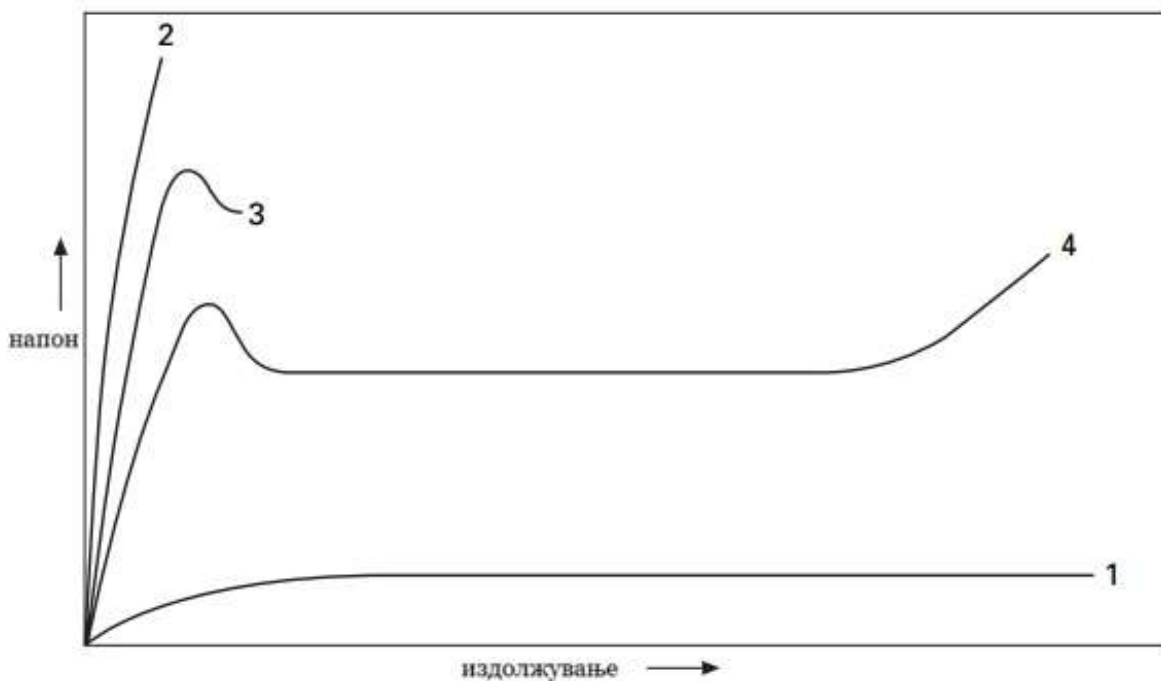
Механичкото однесување на полимерите може да се разгледа преку кривата напон – издолжување, каде што напонот (единица сила на површина) треба да го растегне материјалот до одредена точка на издолжување. За да може да се добијат овие криви, се нанесува оптоварување на затегнување на епрувети направени од полимерот кој е предмет на испитување. Епруветите имаат точно утврдени димензии и тие се оптоваруваат до нивно целосно ломење. Издолжувањето се пресметува како фракција или процент на зголемување од оригиналната должина (почетна должина) на испитното парче преку следното равенство:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

При што L е должината измерена на почетокот и ΔL е зголемувањето на должината кога е под дејство на нанесеното затегачко оптоварување. Кривата која ќе се добие ги покажува основните карактеристики и според добиените резултати може понатаму да се користи како еластомер, влакно или термопластика. На слика бр. 4.3 е даден пример на добиени криви на напон – издолжување за повеќе видови полимери.

Кривата 1 покажува карактеристики кои се типични за еластомерите, ниска јакост, а значително издолжување, односно деформација. Ова се аморфни материјали каде што веригите се послабо врзани и се без ред, па се овозможува значително издолжување. На слика бр. 4.3 почетното закривување на кривата, всушност, дава податок за модулот на еластичност, односно за отпорноста на материјалот од деформација. Максималната затегачка јакост е напонот кој е потребен да се достигне за да се скине парчето, а максималното издолжување е степенот на издолжување при кој ќе настане лом. Полистиренот (крива 2), покажува речиси линеарно еластично однесување до крт лом. Кривата 3 е аморфен поликарбонат, кој се однесува на дуктилен начин и покажува одредена жилавост. Кривата 4 е пример на термопластика, каде што механичките карактеристики се значително поистакнати во споредба со оние на другите криви. Овде се гледа дека пластично се издолжува до одреден степен, а веднаш потоа максималната јакост расте до моментот на кинење на материјалот. Овие се т.н. флексибилни термопластики кои имаат модул на еластичност кој се движи од 0,15 до $3,5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ со типични издолжувања

од 20 до 800 %. Пример за тоа е полиетиленот. Покрутите термопластики имаат модул на еластичност од $0,7$ до $3,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ и типично издолжување кое се движи од 0,5 до 10 %. Примери на пластики кои ги имаат овие карактеристики се: полистиренот, фенол-формалдехидна смола и други. Крутоста, жилавоста и јакоста се важни механички особини кои се неопходни за разгледување при избор на материјал за одредена намена. Меѓутоа, треба да се земе предвид дека тие се зависни од температурата и времето. Кога би се разгледувала една индивидуална молекула на еден аморфен полимер на која ѝ е нанесено одредено оптоварување, деформацијата која се јавува е како резултат на истегнување на врските и аголот на отворање на врската, како и на ротација на сегментите на веригата. Ова се механизмите на деформирање на температури пониски од температурата на застакнување (T_g). На повисоки температури деловите од веригата може да ротираат и на тој начин да се направат големи промени во обликот.



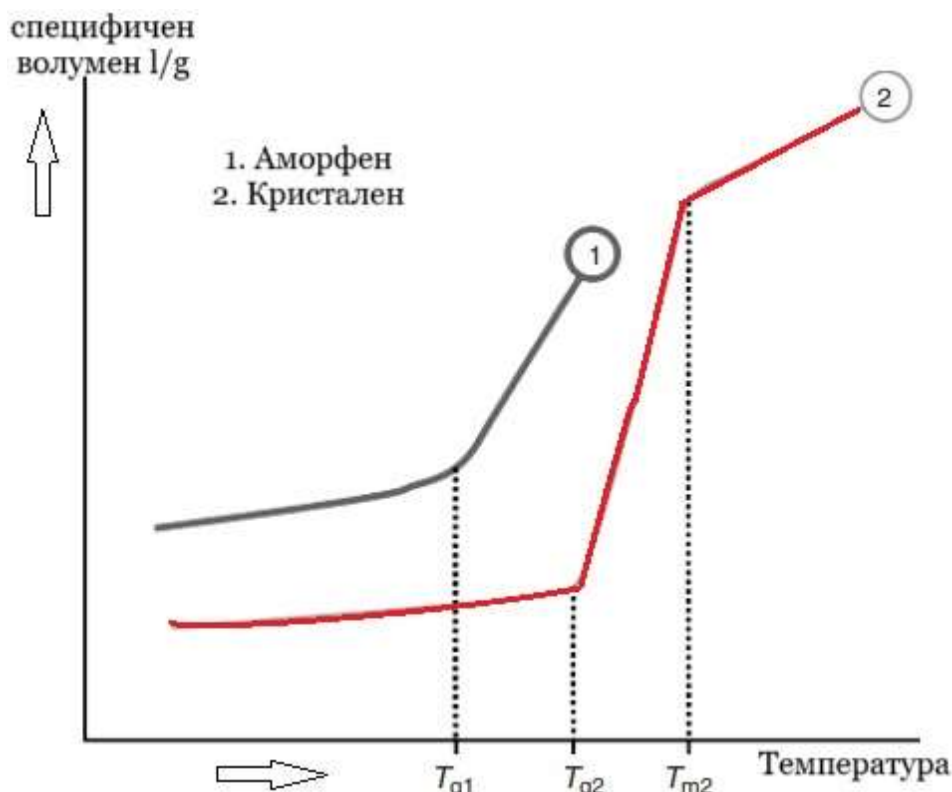
Слика бр.4.3 Криви напон – издолжување за 1) еластомер, 2) полистирен, 3) поликарбонат, 4) термопластика

Со индивидуално придвижување на деловите од веригата се предизвикуваат еластични деформации кои по растоварувањето ќе исчезнат и парчето ќе се врати во првобитната состојба. Над T_g полимерите се однесуваат како гума, а доколку се доближи температурата до точка на топење модулот на еластичност опаѓа, деформациите се неповратни и полимерот почнува да тече како течностите. Полимерот се однесува како вискозна течност која рефлектира движења на полимерните вериги или деловите од веригата. На високи температури физичките и хемиските особини на полимерите се менуваат на брз и ненадеен начин. Ова може да се забележи на слика бр.4.4, каде што се претставени трите поважни термички транзиции на полимерите во дијаграмот специфичен волумен – температура.

На температурата на топење кристалните региони на полимерот се топат и стануваат дезориентирани или аморфни. Аморфните полимери манифестираат само температури на застакнување, додека, пак, полукристалните полимери манифестираат и

температура на застаклување и на топење.

На слика бр. 4.5 е прикажана промената на модулот на еластичност на полимер со промена на температурата гледано во однос на T_g . На температури кои се многу пониски од T_g полимерот ќе стане еластично-крт, па кога ќе помине низ опсегот на температурата на застаклување станува вискозно еластичен, па потоа се претвора во гума и на крај целосно вискозен.



Слика бр.4.4 Термичка транзиција на аморфен и кристален полимер прикажана на дијаграм специфичен волумен – температура

Еластомерите имаат низок модул на еластичност над температура на застаклување поради поврзувањето во веригите и може да бидат реверзибилно еластични со голем процент (неколку стотици). Кога не се оптоварени молекулите се поврзани по случаен избор со нагли закривувања, кои кога ќе се под дејство на оптоварување се елиминираат, бидејќи полимерните вериги се порамнуваат. Термодинамички, деформацијата на еластомерите може да се смета дека е аналогна на збивањето на идеален гас. Доколку ги примениме Првиот и Вториот закон на термодинамиката, ќе ја добиеме следната равенка:

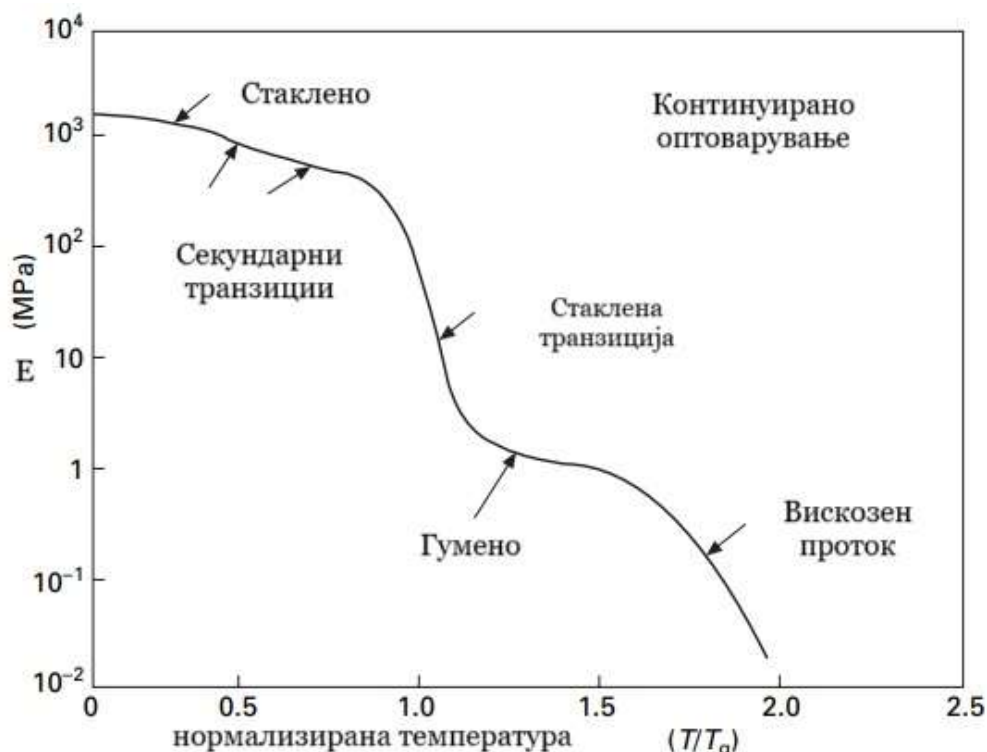
$$dU = TdS + FdL - PdV \quad (1)$$

Каде што F е силата на затегнување, L е должината на испитното парче, P притисок и V волумен. Кај еластомерите Пуасоновият коефициент е приближно $1/2$, што укажува на тоа дека самото издолжување не прави промена на волуменот. Така што ако идеалниот еластомер е издолжен изотермички, равенката (1) станува:

$$F = -T \left(\frac{\partial S}{\partial L} \right)_{T,V} \quad (2)$$

Подредувањето на молекулите со нанесеното оптоварување ја намалува ентропијата на парчето. Оваа состојба е енергетски непосакувана, па според тоа кога

парчето ќе се релаксира се враќа во повисока ентропска состојба каде што веригите имаат поставеност која е случајна.



Слика бр. 4.5 Промена на модулот на еластичност со промена на температурата при континуирано оптоварување

Полимерите со висок модул на еластичност, на пример, кај попречно поврзаните крти термопластики, се први синтетички полимери кои се кинат при многу мали издолжувања. Многу делумно кристални полимери, како што се полиетиленот, полипропиленот и полиамидот покажуваат однесување како што е прикажано на слика бр. 4.3. Овде се забележува нелинеарно почетно течење пред достигнување на точката на течењето. Потоа напонот се намалува и се стабилизира со понатамошно издолжување сè до крајното зголемување до напонот на попуштање. За време на течењето се формира стабилен врат (шија) кој се шири прогресивно низ целата должина. Ова се вика ладно извлекување, за време на овој процес молекулите во полимерот се издолжени во правец на издолжувањето, што води до преферирана ориентација на испитното парче. Регионот каде што се појавува вратот е многу појак од оној каде што не се појавува, затоа се шири наместо само да настане лом, а тоа пак доведува до понатамошно растење на кривата напон – издолжување и на крај лемење на парчето.

На слика бр. 4.3 кривата 3 покажува средна дуктилност која многу тешко може да се постигне. За тоа е потребно двофазен материјал кој се добива со техника на кополимеризација, како, на пример, акрилонитрил-утадин стирен кој се состои од сферични вклучоци на мекиот еластомерен полибутадин во матрица на релативно крт стирен акрилонитрил кополимер. Кога материјалот ќе се издолжи, напонските концентрации се појавуваат кај вклучоците.

Потоа се појавуваат грешки на тие места и тие растат и апсорбираат енергија, процес кој се нарекува зајакнување на еластомерот, иако целокупниот модул на

материјалот опаѓа со промена на структурата.

4.2.2 Реолошки особини

Термопластиките се произведуваат во течна состојба, тоа е состојбата во која полимерот има проток под дејство на одредена температура и притисок. Течните полимери се не Њутнови флуиди, кај кои напонот σ (сила на единица површина) е пропорционален со степенот на смолкнување $\dot{\gamma}$ (брзина по единица должина) со пропорционален фактор μ (вискозност) кој е константен при одредена температура. Ова е Њутнов закон за проток на флуид и се изразува преку следнава равенка:

$$\sigma = \mu \dot{\gamma}. \quad (3)$$

Кај не Њутновите флуиди вискозноста зависи од степенот на смолкнување. Полимерите, исто така, покажуваат комплексен високоеластичен проток што укажува на тоа дека нивниот проток има меморија и има еластична компонента како додаток на вискозниот проток. Реолошките особини се тие кои го дефинираат протокот, вискозноста и еластичноста на течноста. Овие особини покажуваат колку лесно или тешко се обработуваат овие материјали, а, исто така, даваат податок и за работниот капацитет на полимерот кога се применува.

4.3 ПРИМЕНА НА ПОЛИМЕРНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ

Примената на полимерите за производство на пластични кофи, чаши и садови, детски играчки, ќеси за пакување, синтетички облека, делови за автомобили, запченици и печати, електрични инсталации и разни машински делови се само неколку од примените на овој материјал. Полимерите се столбот на четирите важни индустрии: пластики, еластомери, влакна, бои и лакови. Најстара примена на пластиката во секојдневниот живот е кај облеката. Облеката уште пред илјадници години се произведувала од животински влакна, а тие се, всушност, влакна на полимерен материјал. Со развојот на науката, сега се намалува примената на природниот памук, волна, коноп итн., и ќе повеќе се користат синтетички произведени влакна со кои се добиваат материјали за изработка на секаков вид облека (маици, чорапи, капути итн.). Исто така, и разни аксесоари, како што се брошеви, каиши, чевли, вештачка кожа и друго, се произведуваат од влакна на незаситен полиестер.

Полимерните материјали се применуваат и во прехранбената индустрија. Овде најчесто се применуваат за пакување, бидејќи се непропустливи и нетоксични, а и се евтини поради што се и атрактивни. Шишиња за вода, ќеси, кутии, садови се само мал број на примери каде што производството со полимери е неопходно.

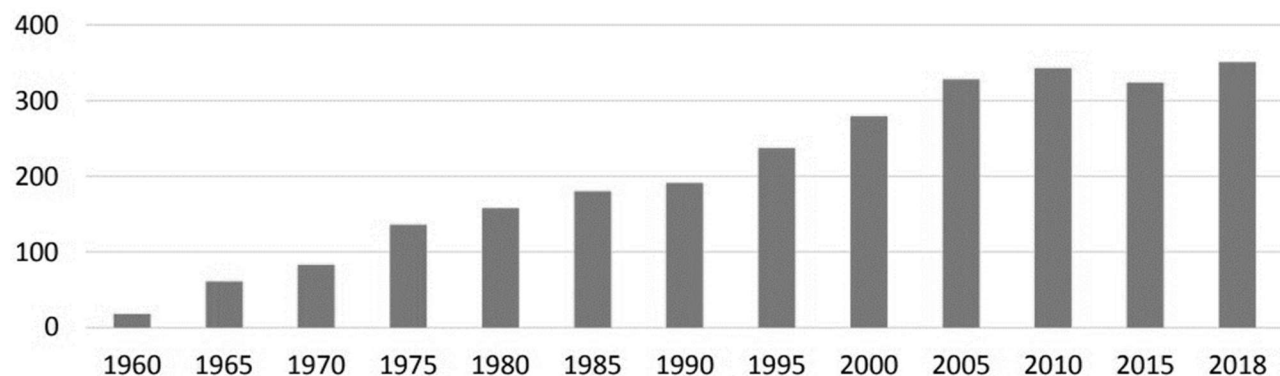
Со развојот на економијата и технологијата дојде и до примена на различни транспортни средства каде што полимерите зазедоа своја улога на примена. На пример, гумата се користи за производство на гуми (пневматици) за автомобили и различни смоли се применуваат за надворешни бои.

Полимерните материјали играат важна улога и во областа на медицината. Медицинските гази кои се важни за третманот на рани помагаат за да се сопре крвавењето, имаат неинфламаторни особини и со нив може да се изолира раната од надворешните микроорганизми. Инженерски произведените органи се произведуваат од полимерни материјали и тие се од голема помош за третирање пациенти кај кои се јавиле одредени компликации. Со овие материјали може да се намалат болките и со нив се подобрува околината на пациентите.

Со примената на полимерите се добиени повеќе поволности, како, на пример: поголема флексибилност, издржливост, мала маса која дозволува да се направат

единствени решенија и дизајн кој е финансиски исплатлив и тоа за повеќе индустрии. Со нив се произведуваат спортска опрема, тефлони, компјутери и разни електронски уреди. Така што може да се заклучи дека полимерите се материјал кој стана неопходен материјал за примена во модерното општество во кое живееме.

На слика бр. 4.6 е прикажан растот на примената на полимерите и полимерните композити во автомобилската индустрија низ годините во Северна Америка, изразено со фунти/возило.



Слика бр. 4.6 Континуиран раст на примена на лесни делови изработени од пластика кај автомобилите произведени во Северна Америка

Пластиките се важни за еден широк спектар на делови за новитетите кај сигурноста и работата на денешните возила, миникомбиња и СУВ модели. Денес, пластиката е 50 % од волуменот на ново лесно возило и до 10 % од неговата маса, со што возилата се лесни и поефикасни во смисла на потрошувачка на гориво, а тоа резултира со помалку токсични емисии. Дизајнерите ги користат за подобрување на естетиката и сигурноста на возилата, така што може да креираат комплексни облици, а притоа да ги задржат основните особини кои се потребни за да се задоволат примарните функции на одделните елементи.

4.4 Перспективи за понатамошен развој на полимерните материјали

Бидејќи полимерите се многубројни и широко применети во секојдневниот живот на луѓето во едно модерно општество, развојот и понатамошното подобрување на овие материјали се исклучително важни. Идните перспективи за развојот на полимерните материјали вклучуваат подобрување на нивните функции и зајакнување на нивниот перформанс за да може да се применат и во други области. Како што се развива науката за полимерна хемија и физика, така може да се очекуваат високопродуктивни молекуларни материјали кои ќе ја подобрат економската и научна сила на технолошко ниво. Целта е да се искористи целосно потенцијалот на овие материјали за да се стават во функција на напредното и проширено општество. Со развојот на полимерите се очекува да се решат некои од недостатоците и проблемите за нивна примена. Со новите идеи може да се подобрат технологиите во различни индустрии и да се промовира здрав развој на секоја од нив. Генерално, може да кажеме дека полимерните материјали ветуваат многу за да им се помогне на луѓето да живеат подобро, поефикасно и поодржливо.

Прашања:

- 1.Објасни ги термините полимер и мономер.
- 2.Кои се природни и синтетички полимери? Дај пример на секој од нив.
3. Дефинирај што е полимеризација.
4. Која е разликата помеѓу адициона и кондензациона полимеризација?
5. Како се класифицираат полимерите?
6. Наброј неколку полусинтетички и синтетички полимери.
7. Со какви особини се карактеризираат еластомерите?
8. Што е полимерна мембрана и за што служи?
9. Наведи неколку термопластики и објасни со какви особини се карактеризираат.
10. Како се одредуваат механичките особини на полимирените материјали?
11. Нацртај и објасни 4 различни полимерни материјали со различни механички карактеристики.
12. Објасни како се менуваат особините со зголемување на температурата (од пониска кон повисока температура од T_g).
13. Дали аморфните полимери имаат транзиција на температура на топење?
14. Што се реолошки особини кај полимерните материјали?
15. Каде се применуваат полимерните материјали?
16. Зошто е важно и понатаму да се подобруваат и да се истражуваат полимерните материјали?

Литература

- Alberto, Martin. 2013. 'Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes'. Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair. InTech. doi:10.5772/54629.
- Saldívar-Guerra, E. and Vivaldo-Lima, E. (2013). Introduction to Polymers and Polymer Types. In Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing (eds E. Saldívar-Guerra and E. Vivaldo-Lima). <https://doi.org/10.1002/9781118480793.ch1>
- Lu, J., "Polymer Materials in Daily Life: Classification, Applications, and Future Prospects", in E3S Web of Conferences, 2023, vol. 406, Art. no. 01034. doi:10.1051/e3sconf/202340601034.
- Namazi H. Polymers in our daily life. *Bioimpacts*. 2017; 7(2):73-74. doi:10.15171/bi.2017.09.
- J. Martin, Materials for Engineering, Chapter 5 Organic polymer materials, Elsevier Science, 2006.
- T. Adziev, Mashinski materijali 1, Mashinski fakultet -Skopje, Univeristet sv. Kiril i Metodij, Skopje, 1996.
- Dhall, Novepreet. "A review of the recent developments in the field of polymer composites." (2020).
- Economics & Statistics Department American Chemistry Council August 2019, Polymer and Polymer Composites.

5. СОВРЕМЕНИ КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ: КЛАСИФИКАЦИЈА, ОСОБИНИ, ПРИМЕНА

Композитен материјал се добива кога два или повеќе различни засебни материјали се комбинираат за да се добијат особини кои ќе ги надминат особините на поединечните материјали. Тоа значи дека како целина композитот ќе содржи две или повеќе хемиски и физички различни фази одвоени меѓусебно со одделни површини. Овие различни системи соодветно се комбинираат со цел да се добие корисна структура или функционални особини кои е невозможно да се добијат кога би се користел секој материјал поединечно. Основната разлика помеѓу композитите и мешаните материјали се состои во тоа што главните конституенти на композитот остануваат препознатливи, додека, пак, кај мешаните материјали тие не можат да се препознаат. Тоа значи дека индивидуалните конституенти кај композитите си го задржуваат идентитетот во целината, а заеднички дејствуваат за да ги дадат потребните подобрени механички карактеристики, како што, на пример, се кртоста или јакоста. Кога се разгледува составот на композитот, се идентификува основен материјал, кој се нарекува матрица, и дополнителен материјал, кој претставува дисперзирана фаза.

Матрицата е примарна фаза која има континуиран карактер и претставува врзувачки материјал кој ги држи сите други додатоци во една структура. Дисперзираната фаза е зајакнувачка фаза која се јавува во облик на ламели, делчиња, честички, влакна или вискери од природен или синтетички материјал. Според тоа, композитите може да се класифицираат според видот на матрица и зајакнувачката компонента.

Благодарение на постигнатите извонредни особини, денес композитите наоѓаат широка примена кај: автомобилите, конструкциите, воздухопловите, спортската опрема, бродовите, процесните постројки, во земјоделството, биомедицината, како и за разни реквизити за одмор и релаксација. Во авиоиндустријата се применуваат за да се создадат лесни и јаки делови за авионите. Во автомобилската индустрија се применуваат за да се изработат панели за телото, седиштата и други делови на автомобилите, со цел да се намали масата и да се подобри ефикасноста на горивата. Во градежништвото, композитите се применуваат за зајакнување на структурни компоненти. Се користат и за производство на спортска опрема, за да се добијат компоненти кои се лесни и се со висока јакост, како што се палки за голф, тенис рекети и заштитни шлемови и одбојници.

Композитните материјали имаат одлични механички и структурни карактеристики, вклучувајќи висок сооднос помеѓу јакоста и масата, отпорност на оган, хемикалии, корозија и абеење, имаат висока специфична крутост, низок коефициент на термичко ширење во одредени правци и имаат релативно ниска цена. Хемиски се компатибилни, имаат поволни особини на натупување и апсорпција, и креираат сложени напонски состојби кои произлегуваат од влагата и топлинското ширење. Во однос на конвенционалните материјали, се претпочитаат композитите, бидејќи тие се адекватни за специфични работни услови каде што се побаруваат подобрени термички и механички особини.

Ова значи дека тие треба да бидат така дизајнирани што ќе бидат отпорни на ударни и вибрациски оптоварувања, отпорни на деламинација, напукнување и замор. Секој атрибут кој го има композитниот материјал треба да биде точно пресметан и измерен, а тоа се препорачува да биде во вистинското време, на самото место каде што се применува. Ова, секако, во пракса може да биде скапо и тешко изводливо.

Развојот на науката и технологијата, како и потребите на општеството, се главни

двигатели на развојот на индустријата, која, пак, има потреба од нови материјали кои ќе се искористат за постигнување на целите што се поставени пред нив. Овде посебно место зазедоа општо познатите композитни материјали (со стаклени влакна), но и новите современи композити, како што се оние добиени со зајакнување со јаглородни влакна, магнетнореолошки еластомери, метални супстрати итн. Во категоријата на современи композитни материјали се новите подобрени композити кои имаат одлични перформанси и широки перспекти за инженерска примена. Кај современите композити истражувањата се општо насочени кон подобрување на структурното зајакнување и отпорноста на композитите, а преку тоа се придонесува кон подобрување на сигурноста, доверливоста и издржливоста на композитниот производ.

5. 1 КЛАСИФИКАЦИЈА НА КОМПОЗИТИ

Композитните материјали може да се класифицираат според матрицата на: метални композити, полимерни композити, керамички композити, јаглородни композити. Полимерните композити се состојат од полимерна смола како матрица, што може да се зајакне со влакна, честички или лушпи. Овие композити се лесни, јаки и имаат одлична отпорност на корозија и замор. Металните композити се состојат од метална матрица која се зајакнува со влакна, честички и вискери. Тие имаат висока крутост, јакост и одлична термичка спроводливост. Овие материјали се користат најмногу во авионската и вселенската индустријата. Керамичките композити се состојат од керамичка матрица, која исто како и металните композити може да биде зајакната со влакна, честички и вискери. Јаглородните композити се состојат од јаглородна матрица и се зајакнуваат со јаглородни влакна. Во литературата може да се сретнат и дополнителни категории на композити, во зависност од перспективата на разгледување на авторите кон овие материјали. На пример, некои автори ги додаваат хибридниите композити, природните композити и интерметалните композити.

Уште една поглавна класификација е направена во однос на типот на зајакнување, и тоа на зајакнување со:

- честички,
- влакна и
- ламинати.

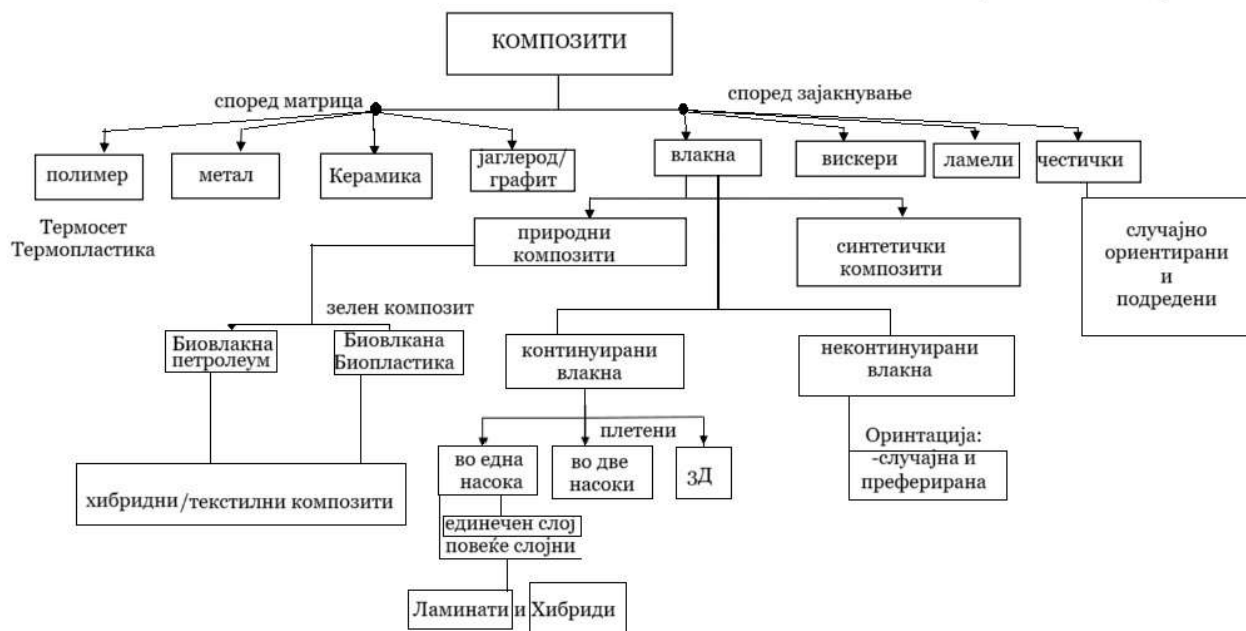
Понатаму, композитите зајакнати со влакна може да се поделат врз основа на природата на влакното кое се корисити на: зајакнати со природни/биовлакна и синтетички влакна. Оние композити кои се зајакнати со биовлакна се познати како биовлакнести композити, кои понатаму може да се поделат врз основа на типот на матрицата на: биоразградливи и неразградливи. Биоразградливите композити се направени од природни/биовлакна и биоразградливи полимери и се познати уште како „зелени“ композити. Хибридниите композити се состојат од комбинација на различни типови на влакна, па дури некои автори овие ги сметаат за посебна категорија на композити.

Според опсежната анализа на достапната литература, збирно, класификацијата шематски може да се прикаже како на слика бр. 5.1.

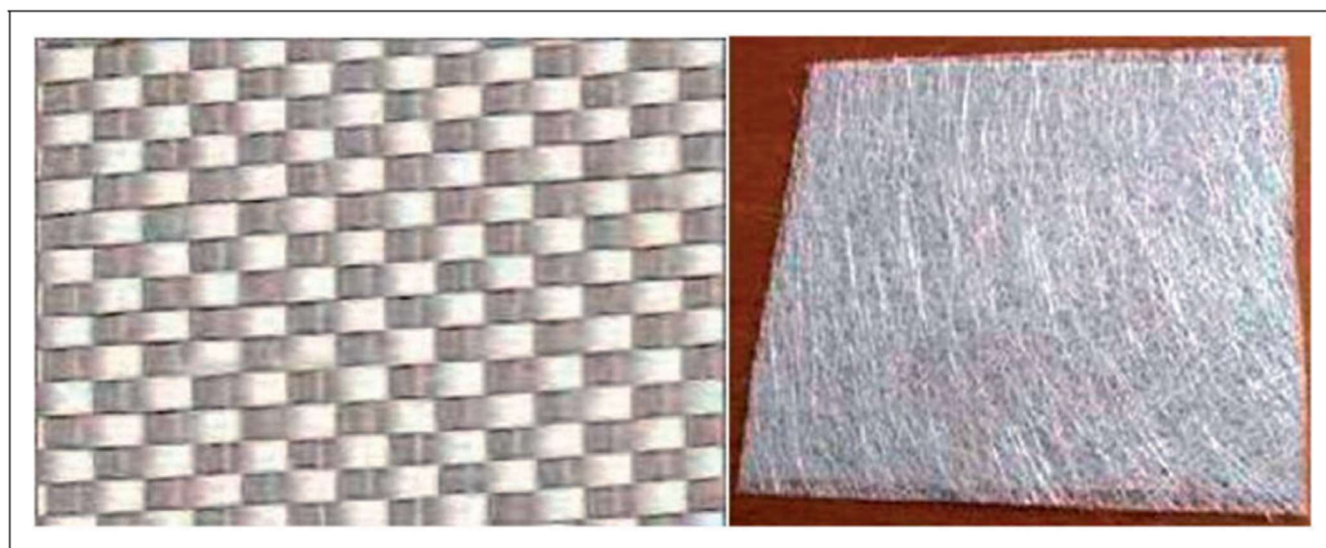
На слика бр.5.1 , покрај погоре наведените класификации, се забележува уште една поделба која се однесува на начинот на поставување на влакната и честичките. Влакната може да бидат плетени, еднонасочно, двонасочно и тродимензионално.

На слика 5.2 е даден пример на плетка на стаклени влакна. Исто така, тие може да бидат поставени во еден слој и повеќеслојно, како ламинати или хибриди. Природните

композити може да бидат биовлакна на база на петролеум и биопластика, а може да се класифицираат како хибридни или текстилни композити.



Слика бр.5.1 Класификација на композити



Слика бр.5.2 Плетки на стаклени влакна

Во денешно време, со оглед на досегашниот постигнат развој, како и диверзификацијата на општествените потреби, зголемени се побарувањата за особините кај композитните материјали. Многу композитни материјали се веќе значајно застапени, како што се композитните материјали добиени со зајакнување со стаклени влакна.

Овие се т.н. традиционални композити, додека, пак, новите композитни материјали кои се добиваат со зајакнување со јаглеродни влакна, магнетнореолошки еластомери, метални супстрати и други се сметаат за современи.

Современите композити се новите подобрени композити кои може да се распределат во 4 категории:

- Зајакнати со влакна;
- ламинатни;
- матрични и
- други композитни материјали.

Композитите зајакнати со влакна содржат влакна од материјали со високојакосни карактеристики во една континуирана матрица. Влакната може да бидат јаглеродни, стаклени, арамидни и др., кои најчесто се дистрибуираат континуирано во матрицата за да се постигне ефектот на зајакнување. Ламинатните исто може да се разгледуваат како зајакнатите со влакна композити, но за разлика од традиционалните композити, овие наизменично се наредени со слоеви на влакна, при што секое влакно има различна насока, и потоа се формираат со притискање на слој по слој.

Поставувањето на овие ламинатни влакна во различни насоки овозможува добивање одлични анизотропни особини, овозможувајќи му на материјалот да постигне одлични механички особини во различни насоки. Матричните композити се формирани преку комбинација на два или повеќе различни материјали, при што еден служи како матрица, а другите материјали имаат улога на зајакнувачи. Овде матрицата обично е метал или керамика, а зајакнувањето е влакно, честичка или ламелен материјал. Во четвртата категорија на современи материјали се сите оние материјали кои не се вклучени во претходните три категории, вклучувајќи ги композитните материјали за специјални примени во одредени области, како што се: високоеластични материјали, магнетнореолошки флуиди, цементен мортар и други.

Овие четири категории на современи композитни материјали и понатаму има потреба да се развиваат и подобруваат. Постојаниот развој и различните перспективи на истражувањата се од големо значење за подобрување на квалитетот и ефикасноста на композитните материјали. Кај композитите зајакнати со влакна различни фактори влијаат врз нивните особини, квалитет и ефикасност. За да се подобрат, многу нови методи се појавија во последните неколку години, како што се: модификација на површина, попречно поврзување, промена на ориентација на влакно, додавање адитиви и други. Секоја од овие методи има одредени предности и негативности. Со нив се подобруваат одредени механички карактеристики, се постигнува подобра компактност на допирните површини кај транзициските зони, се добива намалена порозност и подобрена отпорност од ширење на прснатини и издржливост на материјалот. Но, и понатаму се јавуваат проблеми и грешки кои треба да се решат со понатамошни истражувања и технолошки иновации во областа на композитните материјали. Како недостатоци може да се споменат: сложеноста на подготовката на некои од овие методи, високата цена на чинење, ниската стабилност при работа и друго.

5.1.1 Полимерни композити

Полимерните композити имаат полимерна матрица и во споредба со другите композити тие се единствени во тоа што имаат мала маса, висока јакост и се многу евтини. Овде особините на матрицата ја одредуваат отпорноста на повеќето процеси на деградација, како што се: ударен лом, деламинација, апсорпција на вода, хемиско нагризување и ползење на висока температура, кои се и најчести причинители за попуштање на композитните структури. Матрицата кај комерцијалните полимерни

композити може да биде или термосет или термопластика. Матрицата е жилава, ама е релативно слаба, па мора да биде зајакната со филаменти или влакна. Колку ќе се подобрат особините на композитниот полимер зависи од механичките особини на влакната и матрицата, волуменот, должината на влакната и ориентацијата во матрицата. Зајакнување на полимерот со влакна се постигнува кога јакоста или еластичноста на тој материјал ќе се зголеми во споредба со оние само на матрицата. Континуираното зајакнување со влакна на современите композити е причината за добивање висока јакост и кртост. Најважните влакна кои се применуваат се стакло, графит и арамид. Други органски влакна, како што се ориентираните полиетилен, се исто многу користени за зајакнување на полимерната матрица. Околу 60 % се содржат влакна во полимерниот композит по единица волумен. Еднонасочните графит/епокси композити имаат околу трипати поголема специфична јакост и кртост (специфични особини се особини поделени со густина) на некои метални легури.

Овој композит може лесно да се излее во калап во различни облици. Поради тоа тие се соодветни за широк спектар на примена во различни индустрии. Овие композити може да бидат произведени за специфична намена со специфични особини, како што се: кртост, јакост и термичка спроводливост со варијација во тип и количина на зајакнувачки материјал. Постојат неколку пошироки категории на полимерните композити, со различни варијации. Најпознати се полиестер, винилестер, епокси, фенол, полиамид, полипропилен, полиетер етер кетон, и др. Зајакнувањето е со влакна, но може да биде и со некои земјени минерали.

Покрај тоа што се евтини, овие композити имаат и едноставен начин на производство што ги прави навистина поатрактивни од другите композити. Со зајакнување на полимерната матрица може да се постигне:

- висока специфична јакост;
- висока специфична кртост;
- висока ломна отпорност;
- добра апсорбирачка отпорност;
- добра отпорност на удар;
- добра отпорност на корозија;
- добра отпорност на замор;
- ниска цена.

Како главни недостатоци на овој материјал се сметаат ниската термичка отпорност и високиот коефициент на термичко ширење. Исто така, имаат ниска ломна жилавост, што ги прави подложни на појава и пропагација на прснатини и на попуштање кога се под дејство на оптоварување. Понатаму, имаат слаба меѓуповршинска врска и ниска отпорност на деградирање од околината, и тоа прави да имаат ограничена примена. Едно од најважните побарувања за подобрување на карактеристиките на полимерните композити е да се подобри врзувањето меѓу површините на слоевите помеѓу матрицата и зајакнувачката фаза. За подобрување на оваа состојба се користат агенсии, модификации на површини и различни дизајни.

Овие техники значајно ги подобруваат механичките особини со подобрување на трансферот на напоните помеѓу матрицата и зајакнувачите. Ломната жилавост на полимерните композити, исто така, е потребно да се подобри. Со додавање зацврстувачки агенсии може да се подобри енергетската апсорпција со закривување на прснатината, нејзино разгранување и појава на течење во матрицата. За да се подобри состојбата околу деградацијата на материјалот кога е изложен на надворешни влијанија, се користат

ултравиолетови стабилизатори, антиоксиданти и превлаки. Со ова се зголемува издржливоста и примената во посурови средини. Изборот на соодветен зајакнувач е, исто така, многу важен елемент кога станува збор за подобрување на особините на овие материјали. Доколку композитот е наменет за примена во опкружување со високи температури, тогаш треба да се користат матрици и зајакнувачи отпорни на високи температури.

Областа на полимерните композити постојано се развива, според тоа има значаен потенцијал за развој и на поодржливи и помалку штетни материјали за животната средина. Развојот на нанотехнологијата може да води кон поефикасни нанофилери со подобрени механички и термички особини кои може да се инкорпорираат во композитите за уште повеќе да им се подобрат особините.

Примената на биобазирани нанофилери, исто така, треба да се испита за да се намали влијанието врз животната средина. Примената на природни влакна може да се оптимизира за да се подобрат особините. Исто така, може да се направат истражувања за инкорпорирање на нови природни влакна и да се споредат со тие кои веќе се користат. Понатаму, техниките за 3Д печатење многу ветуваат, со нив може да се добијат комплексни геометрии и делови со минимален вишок, а тоа може да придонесе кон поодржливо производство. Производството на мултифункционални композити со вклучени сензори, актуатори и уреди за складирање на енергија, го проширува подрачјето на примена на полимерните композити.



Слика бр.5.3 Сад под притисок изработен од термосет пластика зајакната со стаклени влакна

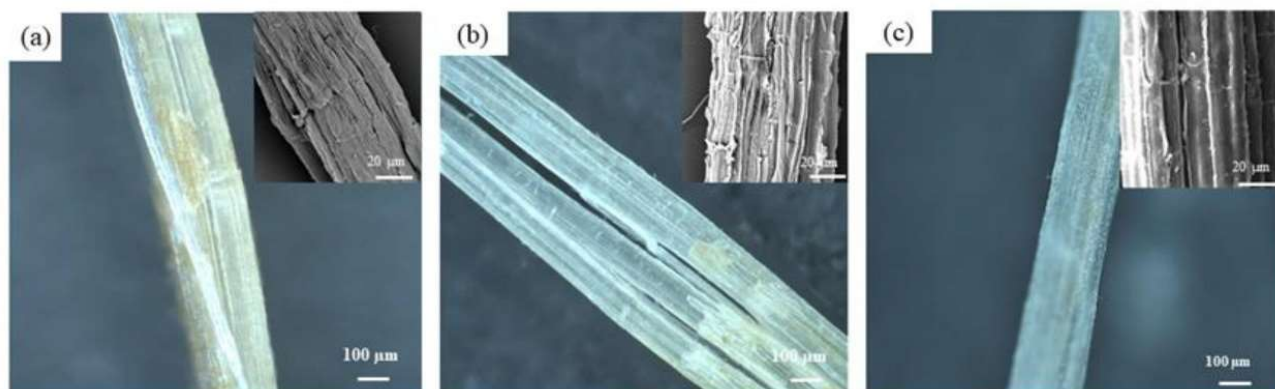
Полимерните композити се користат во авионската и вселенската индустрија за изработка на структурни компоненти, како што се панели за крила и фланши, поради високиот сооднос јакост-маса. Композитите со полимерна матрица може да се искористат

за сигурно, ефикасно складирање и транспорт на гасовити горива, како што се водород и природниот гас. Садовите под притисок кои се изработени од полимерен композит зајакнат со влакна, во споредба со металните садови под притисок, покажуваат повисока јакост и ригидност, подобрена отпорност на корозија и подобрена заморна јакост.

На слика бр.5.3 е даден пример на сад под притисок изработен од термосет пластика зајакната со стаклени влакна. Се применуваат и во автомобилската индустрија за разни делови од возилото. Автомобилската индустрија побарува примена на лесни материјали за да се зголеми ефикасноста на горивата, а со тоа и да се намалат емисиите. Затоа полимерните композити се особено интересни за примена кај автомобилите. Кај системот за кочење кај автомобилите температурата може да достигне илјадници степени. Монолитниот метал не може да ги издржи овие високи температури, затоа силициум карбидот зајакнат со јаглеродни влакна наоѓа примена кај тешките возила, брзите возови и кај кочниците кај крановите. За спортска опрема се користат за изработка на велосипеди и други реквизити.

Композитните полимери зајакнати со влакна (*FRP-fiber reinforced polymer*) широко се применуваат кај конструкциите, индустриските и земјоделските градби. Примената за структурни и неструктурни елементи во овие области се должи на особините, како што се: високата јакост, дизајн кој овозможува контролирана анизотропност, формабилни, отпорни на замор, контролирана димензионална стабилност, отпорност на корозија на различни хемикалии, отпорност на абеење, погодни термички и акустички особини, трансмисија на светлина и транслучидност, електромагнетна транспарентност, електрична неспроводливост итн.

Примената на овие композити постојано се проширува и тоа со голема брзина во веќе постојните области на примена, како и во релативно новите области, како што се биомедицина и градежништвото. Проширувањето е како резултат на развојот на новите современи форми на зајакнати со влакна полимери, што вклучува развој во високоефикасни системи на смола и нови начини на зајакнување, како што се примена на јаглеродни наноцевки и наночестички. Овие композити се подобруваат во последните неколку години, преку површинска модификација, напречно поврзување, промена на ориентацијата на влакната, користење адитиви и др. На слика бр. 5.4 може да се види различна површинска обработка која е со цел да се подобри компатибилноста на меѓуповршините изведена од Сонг во неговото истражување објавено во 2020 г.



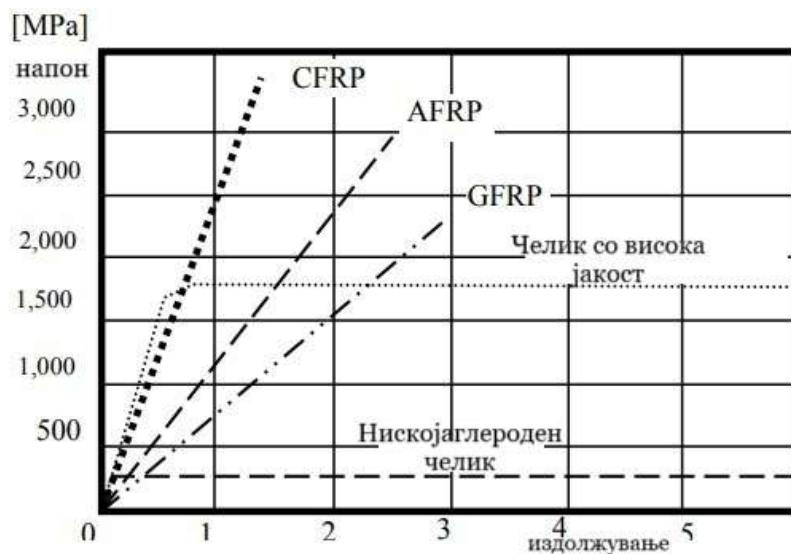
Слика бр.5.4 Микроморфологија и структура на влакна со различна обработка а) влакно од коноп б) влакно од коноп кое е третирано в) модифицирани влакна

Според поновите истражувања, работа која веќе е направена за подобрување на особините на овие композити вклучува:

1. Производство на 3Д предформи, како што се ткаење, плетење и шиене.
2. Производство на композити преку консолидација проследена со течно обликување.
3. Микромеханички модели за механичките особини од 3Д плетени/ткаени и шиени текстилни полимерни композити.
4. Дизајнирање на микроструктура на 3Д композитни материјали за да се добие оптимална ефикасност за континуирани и неконтинуирани влакна во композитите.

Примената на полимерните композити може да биде попречена поради некои нивни специфични однесувања, особини или поради недоброто познавање на материјалот и неговиот потенцијал. На слика бр. 5.5 е даден дијаграм каде што може да се видат споредбено напон – издолжување на кривите на три различни типа композити зајакнати со влакна и на челикот. На слика бр. 5.6 се прикажани композитите зајакнати со стаклени, арамидни, јаглородни и базалтни влакна.

Во споредба со традиционалните челици, овие композити се полесни и имаат висока јакост. Но, механичките карактеристики се линеарно еластични со отсуство на течење, што резултира со намалено издолжување при попуштање на материјалот и мал степен на елонгација. Модулот на еластичност е типично помал од оној на челикот (освен оние зајакнати со јаглородни влакна кои имаат повисок модул на еластичност). Нивната намалена дуктилност, различните вредности за јакоста, модулот при затегнување и збивање, променливоста на механичките особини како резултат на степенот на издолжување, влијанието на температурата, времетраењето на оптоварувањето, околината, УВ-радијацијата која ги влошува површинските слоеви на композитот, се само некои од причините поради кои овие материјали сè уште не се секаде применети.



Слика бр.5.5 Споредба на кривите напон – издолжување на неколку композити зајакнати со арамидни влакна (AFRP), со јаглородни влакна (CFRP), со стаклени влакна (GFRP) композити и високојаглороден и нискојаглороден челик



Слика бр.5.6 Композити зајакнати со арамидни влакна (AFRP), со јаглеродни влакна (CFRP), со стаклени влакна (GFRP) и базалтни влакна (BFRP)

5.1.2 Керамички композити

Керамички композити или керамичко-матрични композити претставуваат материјали кај кои керамички влакна (дисперзираната фаза) се комбинираат со керамичка матрица (примарна фаза).

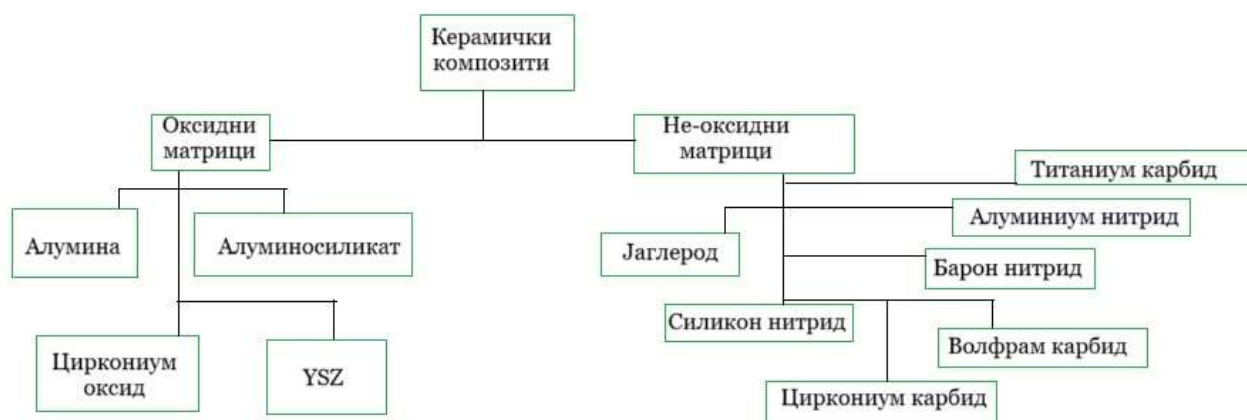
Матрицата, зајакнувачкиот материјал и помеѓуфазниот материјал се трите основни компоненти кај овие материјали кои ги дефинираат карактеристиките и ефикасноста на материјалот. Тие се развиени за да се искористат предностите кои произлегуваат од високотемпературните особини на керамиките, а истовремено да се надминат препреките кои произлегуваат од ниската ломна жилавост на монолитните керамики. Се користат различни механизми на зајакнување, како што се: матрично напукнување, одвојување на површини, закривување на пукнатини, премостување на појавата на пукнатините, влечење влакна, сè со цел да се намали тенденцијата за катастрофални попуштања на материјалот.

Кај керамичките композити матрицата на материјалот е најчесто керамички состав кој овозможува интегритет и го чува зајакнувачкиот материјал. Како матрица најчесто се користи алуминиум оксид (алумина), алуминосиликат (мулит), циркониум оксид (циркониа), итриа-стабилизиран циркон (YSZ), кои се добри примери за матрица направена од оксиден материјал. Исто така, се користат и неоксидни матрици, како што се: јаглеродна матрица, силикон нитрид, циркониум карбид, барон нитрид, алуминиум нитрид, титаниум карбид и волфрам карбид. На слика бр. 5.7 е дадена категоризација на керамичките композити во однос на материјалот кој се користи како матрица.

Кога се применуваат оксидни, карбидни и стаклени матрици, матриците имаат одлична отпорност на корозија на високи температури, така што развојот на композитот би бил да не се изгуби или намали оваа особина. Кај композитите со јаглеродна матрица може да дојде до намалување на таа отпорност, па поради тоа е потребно да се нанесат облоги за да се обезбеди соодветна заштита. Оксидните керамички композити се отпорни на оксиди материјали кои се користат за специфични примени каде што е можна оксидација, како што се топлиите делови на турбина. Алумина и алуминосиликатите како матрици се користат најчесто. Тие се комбинираат со различни керамички и метални филери и зајакнувања. Кога матрицата и филерот се оксидни материјали, тогаш тоа е оксиден керамички композит. Алумина може да се комбинира со борон карбид, силикон нитрид,

титаниум карбид и титаниум диоксид за да се формира оксиден керамички композит. Специфична комбинација е алуминиум силикат со филер на алумина.

Оксидните керамики се смета дека имаат поголема отпорност на ползење и корозија во споредба со неоксидните керамички композити. Неоксидните керамички композити се поинтересни за истражување во изминатите години поради добрите механички и термички особини. Се состојат од неокси-ден матричен материјал и филери кои може да бидат керамика, метал, пластика, полимер итн. Овие материјали, кога ќе бидат под влијание на повишени температури, имаат ниска оксидирачка и корозивна отпорност, додека, пак, оксидните керамички композити се поотпорни од оксидација и ползење на високи температури.

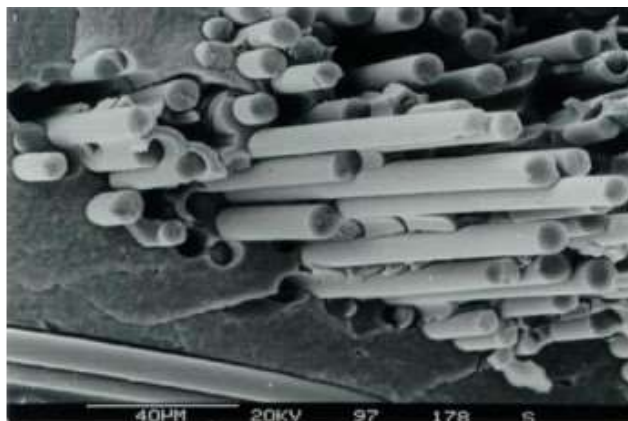


Слика бр. 5.7 Категоризација на керамичките композити според матрицата

Керамичките композити се зајакнуваат со влакна или честички. Постојано се подобруваат благодарение на интензивните истражувања и развојот на модерната технологија. Особен интерес има за лесните керамички композити и ултрависоките температурно издржливи керамики. Со додавање секундарни зајакнувачки, како што се: вискери, наночестички или нановлакна може да се добијат подобрени особини на монолитните керамики, како што се тврдост, отпорност од термички шок и подобар термички коефициент на експанзија. Зајакнувачкиот материјал кај лесните керамички композити овозможува јакост и ригидност на керамичкиот композит.

Како зајакнувачи најчесто се применуваат континуирани влакна (јаглеродни и SiC), неконтинуирани влакна (кратки или вискер како SiC) и честички (нано или микро големини на честички како што се SiC и алумина). Помеѓу површинскиот материјал ги врзува матрицата и зајакнувачот, ја зголемува површината на адхезијата и ефикасно го пренесува напонот.

Помага во ограничување на настанување и ширење на пукнатини. Керамичките композити кои содржат SiC како матрица или влакно, а содржат и јаглерод покажуваат исклучителни карактеристики. На слика бр. 5.8 е прикажана ломната површина на керамички композит кој се состои од SiC матрица и SiC влакна. Извлекувањето на влакната како механизам е клучен за нивните карактеристични особини.



Слика бр.5.8 Ломна површина на SiC – SiC керамички композит зајакнат со влакна

Керамичките композити се применуваат кај напредни технологии за воздухоплови како што се хиперсонични возила, за системи за термичка заштита на вселенски летала и компоненти на турбини. Тие имаат одлични механички и термички особини, кои и покрај влијанијата од екстремните средини (високите температури, притисок и други фактори на средината како што е влагата) остануваат непроменети. При влез на вселенско возило заштитниот систем од топлина е изложен на температури над 1500 °C неколку минути. Само керамиките може да издржат такви услови, додека, пак, керамичките композити можат да ги издржат термичките шокови.

Примената на керамичките композити за оваа намена носи неколку клучни предности: мала маса, поголема носивост на оптоварување, може да се преминува повеќе пати и овозможува подобро управување со користење композитни крилни системи. Други примени се за кочници на авиони, гасни турбини на воздухоплови, за подобрување на системи за пропулсија и истражувања на вселената, во аеронаутиката, нуклеарна примена и биомедицина. На слика 5.9 е дадено летало произведено од НАСА при влез во атмосферата на Земјата.



Слика бр. 5.9. НАСА летало X-38

Керамичките композити, исто така, се многу важни за автомобилскиот сектор, бидејќи имаат супериорни особини, како што се висока јакост, отпорност на абеење, одлични изолатори, висока спроводливост на топлина, може да складираат енергија, имаат самоподмачкувачки способности. Други делови кои се применуваат во овој сектор се: турбини за гасно термички мотори, делови за возови, конвертори за намалување на катализа, системи за турбо напојување, кај водени пумпи и др. Во одбранбената индустрија примената е во значаен развој. Од овие компоненти се очекува да имаат карактеристики како што се: лесна маса, висока специфична јакост, одлична отпорност на лом, отпорност на абеење и висока термичка спроводливост. Во оваа индустрија спаѓаат воздухоплови, автомобили и оружје. Во биомедицината, исто така, композитните материјали наоѓаат широка примена. Од неодамна бовин апатит керамички композити се применуваат за ткива. Исто така, со керамички композити се произведени многу импланти, бидејќи имаат голема биокompatibilност, добра јакост, одлична ломна жилавост, се значајни апсорбенти на катализа, високоотпорни се на хемиски реакции и напади, и имаат значајна издржливост и отпорност на корозија. Композитните компоненти кои се применуваат во хемиската индустрија и биомедицината се системи за размена на топлина, реформери, рефракторни материјали, вештачки заби, коски, зглобови, кардиоваскуларни импланти и др.

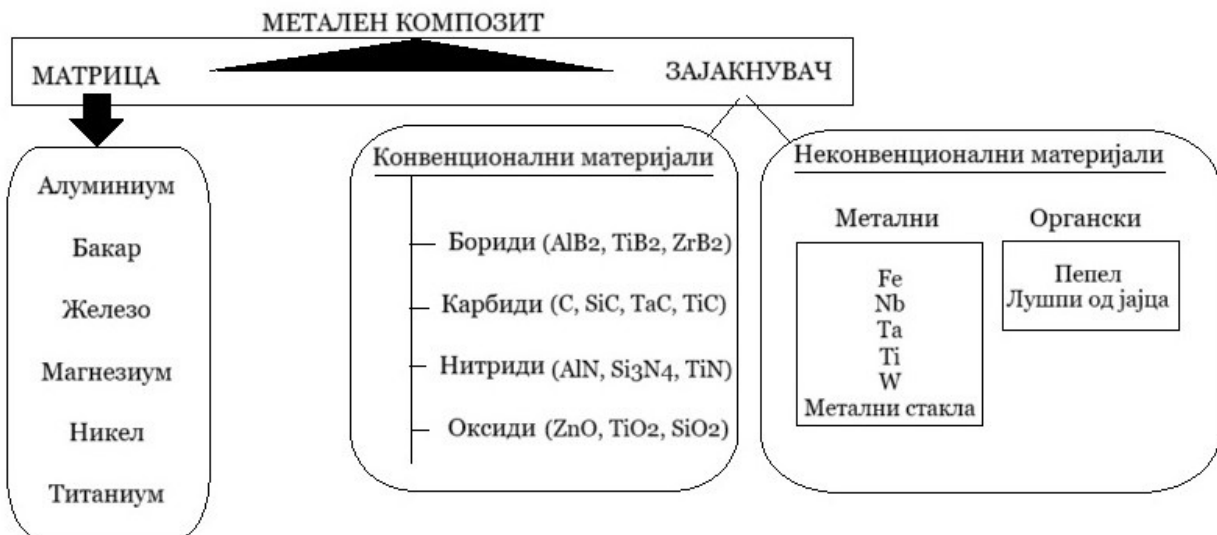
5.1.3 Метални композити

Металните композити имаат континуирана метална матрица која може да биде зајакната со влакна, честички или вискери. Металната матрица вообичаено е лесна метална легура на алуминиум, бакар, железо, никел, магнезиум или титаниум.

Зајакнувачките фази се со поголема тврдост и јакост, и се со добра термичка стабилност. Нивната улога е да ги подобрат особините и ефикасноста на металната матрица. Тие може да имаат различен облик и големина, и може да бидат класифицирани како континуирани и неконтинуирани. Важно е да се знае какво ќе биде зајакнувањето, не само поради особините, туку и поради тоа што тие влијаат на цената и целокупната ефикасност на композитот, а сето ова ќе влијае и врз примената. На слика бр. 5.10 се прикажани материјалите за матрицата и зајакнувачите кои се користат за да се добие метален композит.

Целта на зајакнувањето може да биде поттикната од различни цели, бидејќи се отвораат многу можности. Некои од целите за развој на овие композите се:

- Зголемување на напонот на течење и затегачката јакост на собна температура и над собна температура и при тоа да се задржи минимална дуктиленост или жилавост;
- Зголемена отпорност на ползење на високи температури во споредба со конвенционалните легури;
- Зголемување на заморната јакост, особено на повисоки температури;
- Подобрување на отпорноста од термички шок и корозија;
- Зголемување на модулот на еластичност и намалување на термичката елонгација.



Слика бр. 5.10 Материјали кои се користат за матрица и зајакнувачи кај метални композити

Металните композити може да се класифицираат на различни начини. Во однос на типот и придонесот на зајакнувачката компонента се делат на: со честички (дисперзно зајакнати и со честички композити), влакна (vlakнест композити), слоеви (ламинати) и со пенетрација композити (инфилтрирани композити). Понатаму може да се класифицираат на композити со континуирани влакна (мулти и монофиламенти) и кратки влакна или вискер композитни материјали. Композитите кои се зајакнати со честички може да се дисперзирани случајно или подобро дефинирана ориентација. Овие композити, доколку честичките се со големина помала од 100 nm, се нанокомпозити.

Металните матрици кои содржат зајакнувања со наноголемина имаат ниска волуменска дисперзија на тврди и јаки фази со нанодолжини и тоа придонесува значајно на зајакнувањето на металниот материјал. За разлика од честичките на микро или под микронски мерни големина, овде ефикасната дисперзија на нанониво ја подобрува јакоста на матрицата без тоа да влијае на дуктилноста на материјалот. Јаглеродните наноцевки како зајакнувачи може да послужат за добивање исклучителни особини. Повеќесидните нано зајакнати метални ком

позити имаат висока јакост, но производството без појава на грешки сè уште е тешко. Постојат и други новитети кај зајакнувањето на металните композити каде што се користат нанографен, метални стакла и легури што го паметат својот облик, како зајакнувачи. Ламинатните метални композити се состојат од повеќе слоеви на рамни ламинати изработени од матрицата и зајакнувачки материјал, складирани и цементираны на специфичен начин и насока за да се добие побаруваната јакост. Начинот на складирање може да биде аголно или попречено поставување, што може да даде симетричен, несиметричен или балансиран (комбиниран) изглед на поставување.

Предвидувањето на особините кај металните композити може да биде направено преку примена на математички модели, кои побаруваат предзнаење за особините и геометријата на конституентите. За метали кои се зајакнати со прави, паралелни континуирани влакна, три особини кои најчесто се разгледувани се еластичен модул, коефициент на термичка експанзија и термичка спроводливост во насока на поставување на влакната.

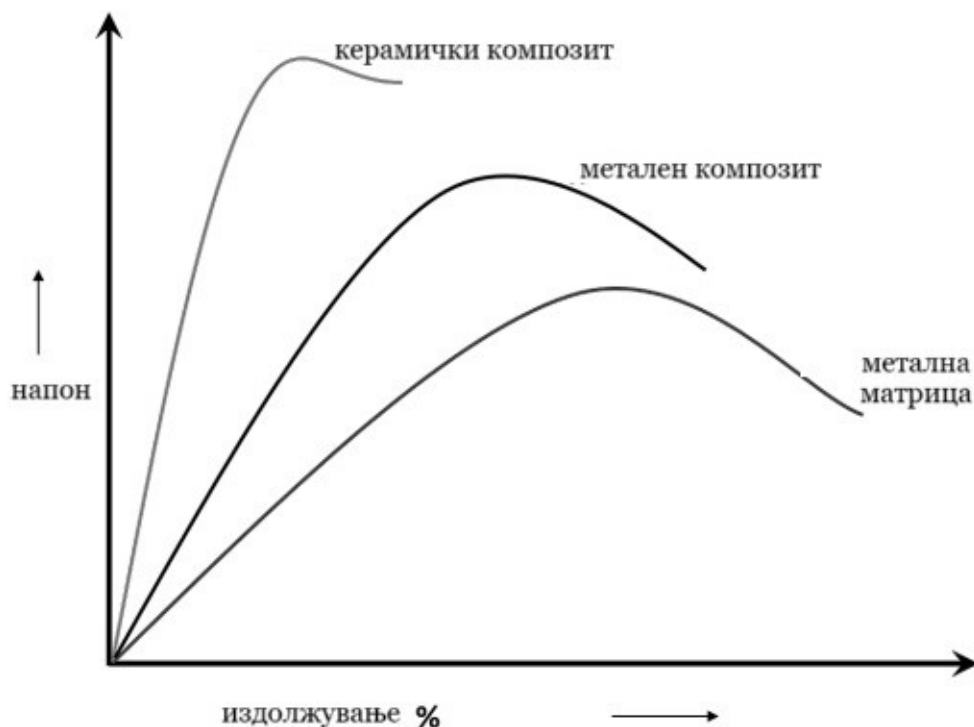
Разумни вредности може да се добијат за модулот на еластичност со правилото на

мешање преку следната формула:

$$E_c = E_f v_f + E_m v_m \quad (1)$$

Каде што префиксот f се однесува на влакната, m е префикс за матрицата, E е ознака за модул на еластичност, v е волуменски коефициент, c е префикс за композит. Од равенството може да се заклучи дека вредноста на модулот на еластичност на композитот зависи од волуменскиот коефициент и модулот на еластичност на сите вградени материјали (матрица и влакна).

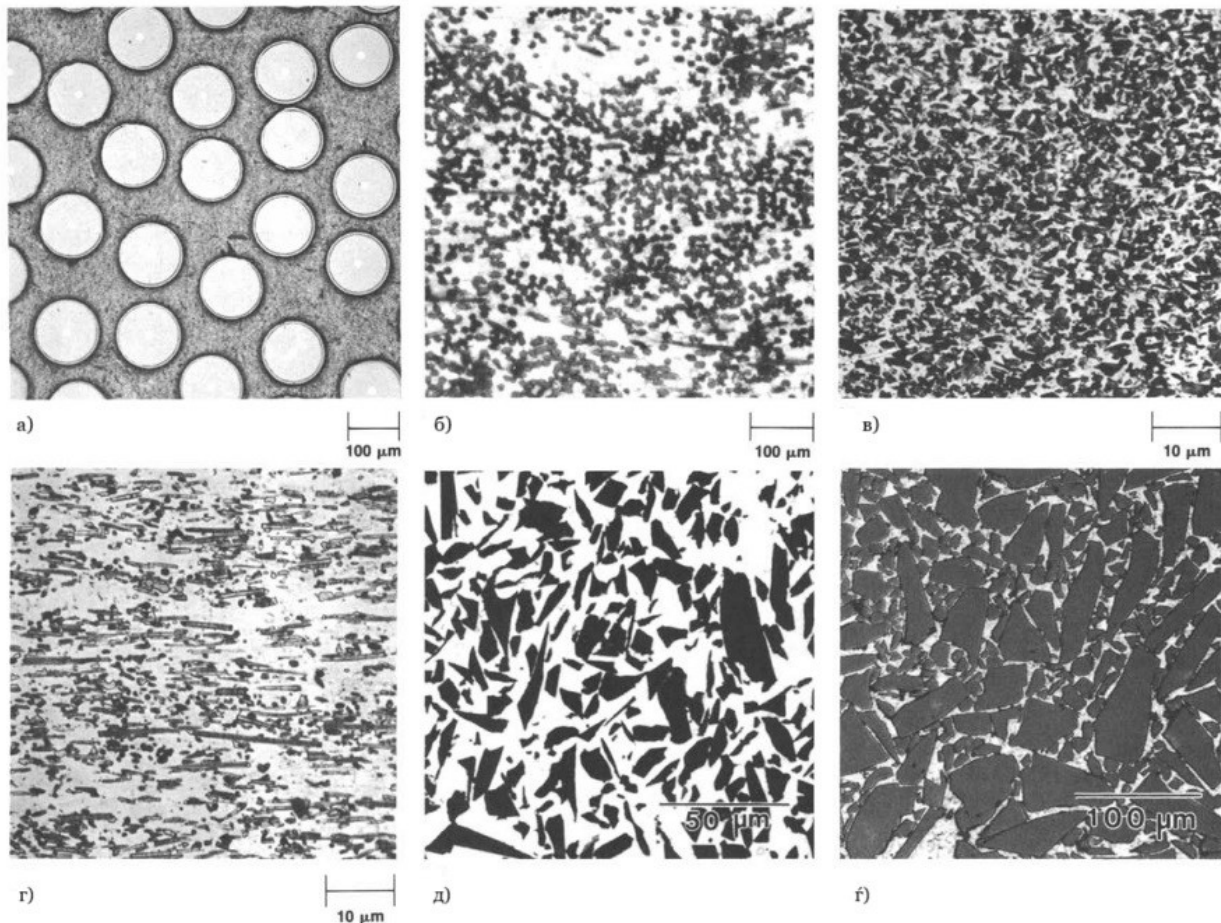
На слика бр. 5.11 е дадена споредба на вредностите на напоните и издолжувањето на метален композит, керамички зајакнувачки влакна и на металната матрица (од алуминиум). Металната матрица има добри вредности за издолжувањето, но ниски вредности за јакоста. Керамичките влакна сами по себе имаат висока јакост, но и висока кртост. Доколку се комбинираат соодветно, односно се додадат керамички влакна во металната матрица ќе се добие метален композит кој ќе има висока јакост, тврдост и задоволително издолжување.



Слика бр. 5.11 Напон – издолжување на керамички зајакнувачки влакна, метална матрица и метален композит

На слика бр. 5.12 се дадени микрографи на напречните пресеци на типични метални композити. Под а) е прикажан композит на борон/алуминиум зајакнат со континуирани влакна. Овде се гледаат влакната на борон кои се обложени со B_4C во матрица на алуминиумска легура. Под б), даден е приказ на напречен пресек на дисконтинуиран графит/алуминиум композит. Напречниот пресек покажува исечкани влакна на графит во матрица на 2014 алуминиумска легура со големина од $10\ \mu m$. Под в), алуминиумска легура 6061 е металната матрица зајакната со 40 % на SiC честички. Високер зајакнувањето се

гледа на сликата 5.11 под г), овде алуминиумска матрица е зајакната со 20 % нан SiC. Кај д) и е) се гледаат метални композити произведени со ПРИМАКС процес на инфилтрирање на метал без притисок. Под д) е даден алуминиум зајакнат со Al_2O_3 (60 % во волумен), а под е) матрицата е алуминиумска легура зајакната со значителен процент честички на SiC (81 %). Црните точки и линии кои се разликуваат од зајакнувачките влакна се честички кои имаат неорганско потекло, но не укажуваат на порозност.



Слика бр. 5.12 Микрографи кои покажуваат напречен пресек на типични метални композити



Слика бр. 5.13 Примена на метални композити во воздухопловството

Примената на металните композити е широка, вклучува примена во: автомобилите, возовите, воздухопловните летала, во широката потрошувачка кај електрониката, пакувањето и спортот. На слика бр.5.13 се дадени примери за нивна примена во воздухопловството. На лева страна од сликата е прикажан турбофен мотор кај авионите, а десно е прикажана структурна компонента за слетување изработена од титаниумска легура зајакната со SiC моноvlakна кај Ф16 Фалкон.

Ерата на паметните и интелигентни метални композити веќе е започната каде што различни метални композити, облоги и премази се користат против абеење, корозија, самолекување и самочистење. На располагање се паметни метални композити кои може да се самодиагностицираат и самолекуваат (поправаат). Но, современите технологии се скапи и иднината на примената на овие метални композити зависи од развојот на одржливо производство. Композитите и легурите што го паметат својот облик се иднината и ветуваат широка примена и потенцијал. Самолекувачките особини и абеењето се уште една област каде што композитниот материјален систем игра важна улога во иднината. Новите материјални системи се процес кој еволуира и ќе даде многу нови композитни материјали кои ќе имаат влијание врз здравството и доставата на лекови.

Прашања:

1. Како се добива композитен материјал?
2. Каде се применуваат композитните материјали?
3. Како се класифицираат композитните материјали?
4. Како може да се поделат композитните материјали според зајакнувачките vlakна?
5. Како може да ги распределите современите композити кои имаат подобрени особини?
6. Што се полимерни композити?
7. Што може да се постигне со зајакнување на полимерната матрица?
8. Каде наоѓаат примена полимерните композити?
9. Како се добива керамички композитен материјал?
10. Како се категоризираат керамичките композити според матрицата?
11. Каде се применуваат керамичките композити?
12. Што се метални композити?
13. Наброј некои од целите за развој на металните композити.
14. Објасни како може да се добијат висока јакост, тврдост и задоволително издолжување кога се комбинираат метална матрица и зајакнувачки керамички vlakна, преку графички приказ.
15. Каде се применуваат металните композити?
16. Која е иднината на развој на металните композити?

Литература

Polymer Composites: Volume 1, First Edition. Edited by Sabu Thomas, Kuruvilla Joseph, Sant Kumar Malhotra, Koichi Goda, and Meyyarappallil Sadasivan Sreekala, 2012.

Rajak, Dipen Kumar, Durgesh D. Pagar, Pradeep L. Menezes, and Emanoil Linul. 2019. "Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications" *Polymers* 11, no. 10: 1667. <https://doi.org/10.3390/polym11101667>

Singh, Bikram Jit, Sehgal, Rippin and Dikshit, Iti. "Chapter 7 Sustainable approaches to improve the characteristics of metal-based composites" In *Green Composites Manufacturing: A Sustainable Approach* edited by Gurminder Singh, Ravinder Pal Singh, Neeraj Sharma and J. Paulo

Davim, 153-172. Berlin, Boston: De Gruyter, 2024. <https://doi.org/10.1515/9783111067346-007>

T. Adzhev, Mashinski materijali 1, Mashinski fakultet -Skopje, Univeristet sv. Kiril i Metodij, Skopje, 1996

Soori, Mohsen. "Advanced Composite Materials and Structures." *Journal of materials and engineering structures* 10, (2023): 249-272. Accessed December 4, 2023.

Rout, Arun Kumar and Tjprc. "An Overview of Advanced Fiber Reinforced Polymer Composites and It's Applications." (2018).

Oprisan, Gabriel, Nicolae Taranu, Vlad-Andrei Munteanu and Ioana-Sorina Ențuc. "Application of Modern Polymeric Composite Materials in Industrial Construction." *The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Construction. Architecture Section* (2010): 121-130.

Huang, Xinghuai, Shaoyang Su, Zhaodong Xu, Qisong Miao, Wenfeng Li, and Lixin Wang. 2023. "Advanced Composite Materials for Structure Strengthening and Resilience Improvement" *Buildings* 13, no. 10: 2406. <https://doi.org/10.3390/buildings13102406>

Luciano, Giorgio, and Maurizio Vignolo. 2024. "Editorial: Advanced Polymer Composite Materials: Processing, Modeling, Properties and Applications II" *Polymers* 16, no. 18: 2650. <https://doi.org/10.3390/polym16182650>

Kang, Zhenhang, Zhu Liu, Yongpeng Lei, and Jifeng Zhang. 2022. "Failure-Mode Shift of Metal/Composite L-Joint with Grooved Structure under Compressive Load" *Polymers* 14, no. 5: 1051. <https://doi.org/10.3390/polym14051051>

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Advanced Materials by Design, Chapter 3 Polymer Matrix Composites, OTAE-351 (June 1988).

Song, H., Liu, T., Gauvin, F., & Brouwers, H. J. H.(2023). Improving the interface compatibility and mechanical performances of the cementitious composites by low-cost alkyl ketene dimer modified fibers. *Construction and Building Materials*, 395, Article 132186. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132186>

Abbood, Imad Shakir, Sief aldeen Odaa, K. M. Faridul Hasan and Mohammed A. Jasim. "Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures – A review." *Materials Today: Proceedings*(2020): n. pag.

Shrivastava, Shriya, Dipen Kumar Rajak, Tilak Joshi, Dwesh K. Singh, and D. P. Mondal. 2024. "Ceramic Matrix Composites: Classifications, Manufacturing, Properties, and Applications" *Ceramics* 7, no. 2: 652-679. <https://doi.org/10.3390/ceramics7020043>

Corrosion Technology Series, Vol. 15 (Environmental Effects on Engineered Materials), Chapter: Chapter 13: Ceramic matrix composites DOI: <http://doi.org./10.1201/9780203908129.ch13>

Karadimas, George, and Konstantinos Salonitis. 2023. "Ceramic Matrix Composites for Aero Engine Applications—A Review" *Applied Sciences* 13, no. 5: 3017. <https://doi.org/10.3390/app13053017>

Rashid, Adib Bin, Haque, Mahima, Islam, S. M. Mohaimenul, Uddin Labib, K. M. Rafi, Chowdhury, Pavel, Breaking Boundaries with Ceramic Matrix Composites: A Comprehensive Overview of Materials, Manufacturing Techniques, Transformative Applications, Recent Advancements, and Future Prospects, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2024, 2112358, 33 pages, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/2112358>

Basutkar, Ameya and Aniket Bhanudas Kolekar. "A Review on Properties and Applications of Ceramic Matrix Composites." (2015).

Seetharaman, Sankaranarayanan and Gupta, Manoj (2021) Fundamentals of Metal Matrix Composites. In: Brabazon, Dermot (ed) Encyclopedia of Materials: Composites. vol. 1, pp. 11–29. Oxford: Elsevier.

Foltz, John V., and Charles M. Blackmon. 1991. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Chapter Metal-Matrix Composites*. 2nd ed. ASM Handbook Committee.

<https://doi.org/10.31399/asm.hb.v02.a0001101>.

Suneev Anil Bansal, Virat Khanna, Pallav Gupta, (Eds.). (2022). Metal Matrix Composites: Properties and Applications (Vol. 2) (1st ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003194910>.

6. НАНОМАТЕРИЈАЛИ И НАНОТЕХНОЛОГИЈА

Развојот на нанонауката и нанотехнологијата во изминативе години се должи на огромниот потенцијал кој наноматеријалите го имаат во начините на создавање на материјалите и производите. Развојот и фокусот на истражувањата генерално се во секторот за енергетика, животната средина, водената технологија, фармацијата и др.

Наночестичките и наноматеријалите се основа врз која се темели нанонауката. Таа се занимава со синтеза, карактеризација, истражување и експлоатација на материјалите добиени со наночестички. Наноматеријалите се оние материјали кои се карактеризираат со најмалку една димензија во опсегот на нанометар. Нанометар (nm) е милијардити дел од метарот, или 10^{-9}m . Еден нанометар е должина приближно еквивалентна на 10 водородни или 5 силициумски атоми подредени во линија.

Па според ова, може да се извлече и наједноставната дефиниција за нанонауката и нанотехнологијата: *„Науката која се занимава со честички со големина од 1 до 100 nm се нарекува нанонаука, а технологијата која го опфаќа производството на материјали со вакви честички (наноматеријали), нанотехнологија“*. Во изминативе години повеќе институции објавија стандарди и препораки за термините и дефинициите од областа на нанонауката и нанотехнологијата кои се темелат на ISO стандардот TS276872 објавен во 2008 г.

По препорака на Европската комисија објавена во октомври 2010 г., „Наноматеријал значи материјал што исполнува барем еден од следниве критериуми:

- се состои од честички, со една или повеќе надворешни димензии во опсег на големина 1 nm – 100 nm, повеќе од 1 % од бројот на нивната дистрибуција на големина;
- има внатрешни или површински структури во една или повеќе димензии во опсег на големина 1 nm – 100 nm;
- има специфична површина по волумен поголема од $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$, со исклучок на материјали што имаат честички со големина помала од 1 nm.“

Нанотехнологијата е технологија која се занимава со развој на уреди, структури и системи преку контролирано манипулирање на големината и обликот, при тоа треба барем една димензија да биде измерена во нанометри (атомска, молекуларна и макромоллекуларна скала). Нанотехнологијата е дизајн, производство и апликација на наноструктури или наноматеријали и основа за разбирањето на односот помеѓу физичките особини, или самиот феномен и димензиите на материјалите.

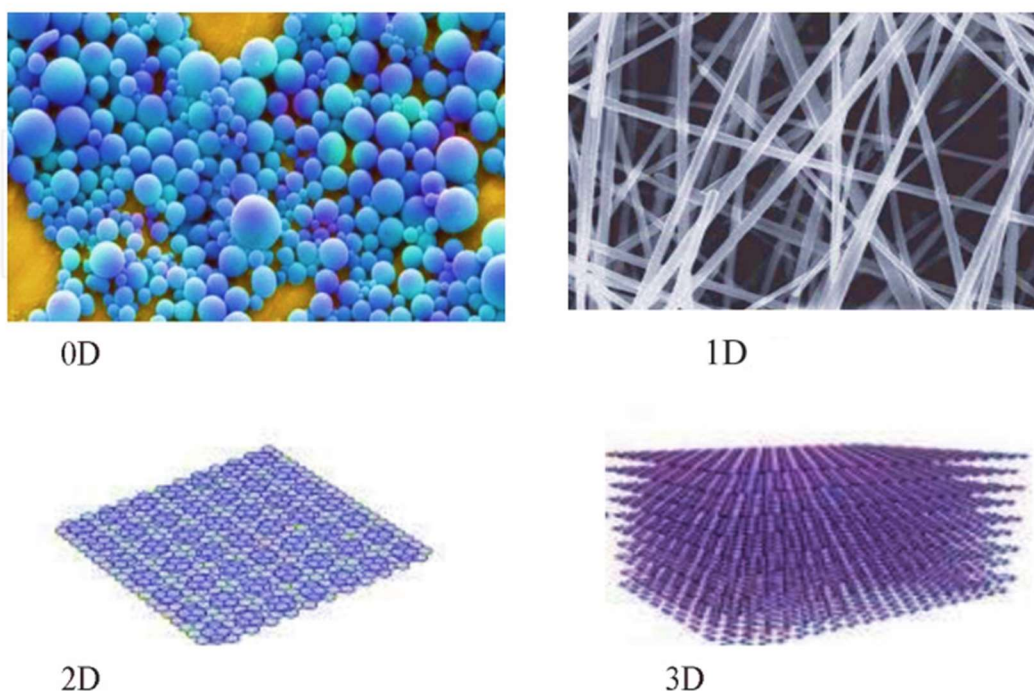
6.1 ОСОБИНИ НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ

Особините на материјалите на наноскала се многу подлежни на влијание благодарение на електростатските и квантните сили кои се независни од гравитацијата. При добивање на наночестички од една материја, атомите на површината во однос на оние во внатрешноста се многу повеќе што доведува до подобрување на особините на материјалот.

Наноматеријалите може да се добијат или преку хемиска синтеза или со висока енергија за мелење. Овие материјали можат да бидат во форма на слоеви (ако има само една димензија во наноскала, како, на пример, површински облоги или тенки филмови,

графен), наножици или наноцевки (ако две димензии се во наноскала) или честички (ако сите димензии се во наноскала како квантни точки, пресипитати и колоиди), како што е прикажано на слика бр.6.1. Најважните фактори кои предизвикуваат особините на наноматеријалите значително да се разликуваат од другите материјали (реактивност, јакост и електричните карактеристики) се зголемениот сооднос површина-волумен и квантните ефекти.

Кога ги разгледуваме материјалите она што ги прави да се разликуваат едни од други се нивните особини. Различни материјали на макрониво имаат различни особини, како основна разлика која доаѓа од природата на нивното создавање. Овие особини зависат од нивните структурни особини, како што се: електричните, оптичките и механичките особини. Наночестичките имаат различни особини од оние кај малите молекули, нивната хемија и синтеза претставува сложена мешавина.



Слика бр.6.1 Наночестички со нулта димензија, наножици со една димензија, наноматеријали –плочести, дводимензионални, наноматеријали тродимензионални

Механичките особини на материјалите зависат од врзувањето на атомите и нивните микроструктури во различни мерни скали. Деформациите може да бидат или еластични или пластични. Еластичните материјали како одговор на настанатите напонски полиња кои се благодарение на нанесеното оптоварување, имаат полиња на деформација. Многу особини на кристалите, магнетите, течните кристали, суперспроводниците, супертечностите и теориите на раниот универзум може да се опишат преку долги мерни скали со претпоставка дека материјалите се блиску до рамнотежна состојба.

Пластичноста кај материјалите ја дефинираме како неповратна деформација која се должи на различни механизми како дислокациско движење, движење на вакансија (отсуство на атом), близначење, фазна трансформација, или вискозен тек кај аморфните материјали.

Пропорционалното однесување помеѓу напонот и еластичното издолжување е

дадено преку Хуковиот закон:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

Во равенството, σ е напонот, ε деформацијата, и E модулот на еластичност. Зависноста на големината на зрното кај поликристалните материјали и јакоста и тврдоста на материјалите е добро претставена преку Хал-Петчовиот сооднос, кој укажува на тоа дека напонот и јакоста се однесуваат обратно пропорционално на големината на зрната. Зајакнувањето како состојба е објаснета во повеќе детали во предметите Машински материјали 1 и Заварливост на метали.

Зајакнувањето кај ситнозрнестите материјали е како резултат на наталожувањето на дислокациите кај границите на зрната. Математички напонот на течење и големината на зрното може да се претстави преку следната формула:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}} \quad (2)$$

Равенката (2) е позната како Хал-Петчова равенка. Овде напонот на течење σ_y зависи од коефициентот на зајакнување k_y , σ_0 е напонот на почетната дислокација, а d дијаметар на зрно.

Електричните особини кај наноматеријалите, односно спроводливоста на директна струја е под големо влијание на микроструктурата и нејзината големина зависи од јачината на струјата. Микроструктурата е на мерна скала многу помала или слична на слободната патека на спроводност на електрони, при што границите на зрната ги расејуваат електроните. Кај композитните системи, поврзаноста не може да се одреди само со скенирачки електронски и термички електронски микоскоп, па поради тоа мерењето на електричните особини е многу важно.

Директната електричната спроводливост на кристалот може да се одреди преку формулата:

$$\sigma_{dc} = t/RA \quad (3)$$

Во равенството (3), R е измерената отпорност, t е дебелина на парче, A е површина на контакт на електродата. Спроводливоста на наизменичната струја се пресметува како збир на реална и замислена спроводливост.

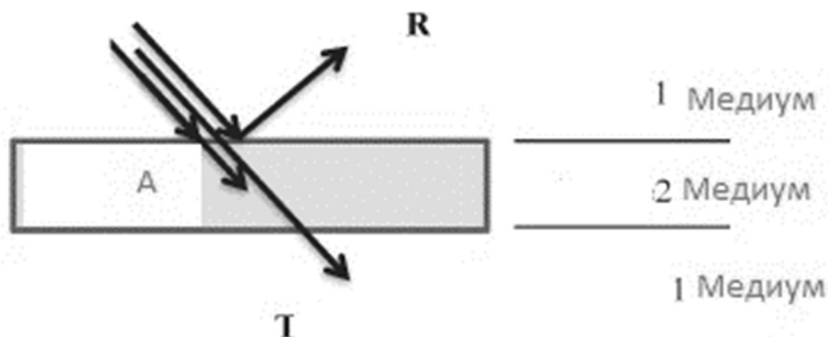
Оптичките особини се анализираат преку светлина која директно доаѓа од еден медиум во друг, при што дел од светлината поминува низ медиумот, дел се апсорбира и рефлектира на самата површина. Вкупниот интензитет е еднаков на збирот од апсорбираната I_a , рефлектираната I_r и транзитна I_t (онаа која поминала низ медиумот) светлина како што е прикажано на слика бр.6.2 или ако се изрази како равенство тоа би било:

$$I_0 = I_a + I_r + I_t \quad (4)$$

Коефициентот на апсорпција α кај тенок (филм) материјал по корекцијата за рефлективност ќе има вредност која ќе биде пропорционално зависна од апсорпцијата на медиумот и обратно пропорционална на дебелината на парчето низ кое поминува

светлината. Многу е важно да се одреди овој коефициент за да се дефинираат типовите на трансмисија на електрони (дозволен и недозволен, директен и индиректен). Дозволен е оние кога овој коефициент е поголем од 10^4 , а недозволен кога е помал од 10^4 .

Алтернативен начин за да се иницира оптичката апсорпција е да се применат нанобазирани уреди за да се добијат бројни зазори како појас во големина на квантни точки или квантни извори (според квантната механика). Кај силициумот, наноструктурата резултира со директен зазорен слој во материјалот, и оптичката апсорпција е зголемена како резултат на зголемената јакост на осилаторот.



Слика бр 6.2 Анализа на оптички особини преку зрак светлина

6.2 КЛАСИФИКАЦИЈА И МЕТОДИ НА ПРОИЗВОДСТВО

Формирањето на наночестичките се анализира преку УВ визуелна спектроскопија и карактеризацијата на наночестичките се прави преку:

- Скенирачки електронски микроскоп (СЕМ),
- Трансмисиони електронски микроскоп (ТЕМ),
- Дифракција на X-зраци (ДХЗ), и др.

Со овие методи може да се анализира големината на наночестичките на наноскала за да се одреди средната вредност на големината на честичката на испитното парче. Особините кои ја даваат улогата на наночестичките зависат од нивната големина и облик.

Се применуваат различни методи на производство за да се оптимизираат некои специфични особини на наноматеријалите. Може да ги поделиме на **top-down** (од врв надолу) и **bottom up** (од дно нагоре) методи. Постојат и други, како што се: нанолитографија-зрак, јон-зрак и метода на скенирачки проби, тие се нови и одлични за под 100 nm мерна скала. Но, овие методи не се практични за производство на големи мерни скали, поради тоа што се скапи, а се остваруваат мали придобивки. Нанопечатењето може да се користи за печатење на наноструктури и има потенцијал да ги намали трошоците во споредба со другите методи на производство.

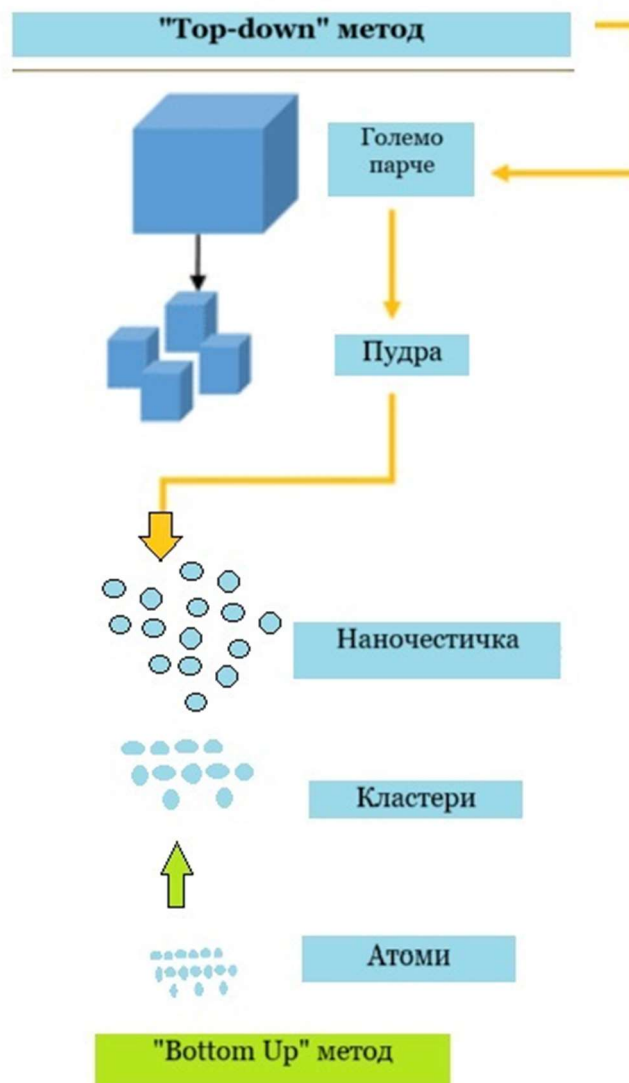
Многу технологии се проучуваат за добивање на наноматеријали. Според последните неколку години, методите на синтеза на наноматеријали може да се категоризираат на следен начин:

- синтеза со гасна фаза, вклучувајќи ласерска пиролиза за наночестички и депозиција на атомски слој за тенки филм депозиции;

- развој во течна фаза, вклучувајќи колоидални процеси на формирање наночестички и самостојно монтирање на монослоеве;
- формација во цврста состојба, вклучително фазна сегрегација за да се произведат метални честички во матриците на стаклото и полимеризација со двоен фотон за производство на тродимензионални фотонски кристали;
- хибриден развој, вклучува гасен, течен и цврст развој на наножици.

6.2.1 Top-down метод

Механичкото брусење е метода која може да произведе наночестички и пудри со релативно ниска цена од различни материјали преку методи и техники на мелење. Оваа метода обично се користи кај металните и керамичките наночестички. Мелењето вклучува термички напон и голема енергија. Чисто механичко мелење може да се комбинира со реактивно мелење, при што за време на процесот се создава хемиска и хемиско-физичка реакција. Прашокот кој се создава има широк спектар на големини, значајна агрегација и нечистотии од агенсот на мелницата. На слика бр 6.3 може да се види едноставна шема на процесот.



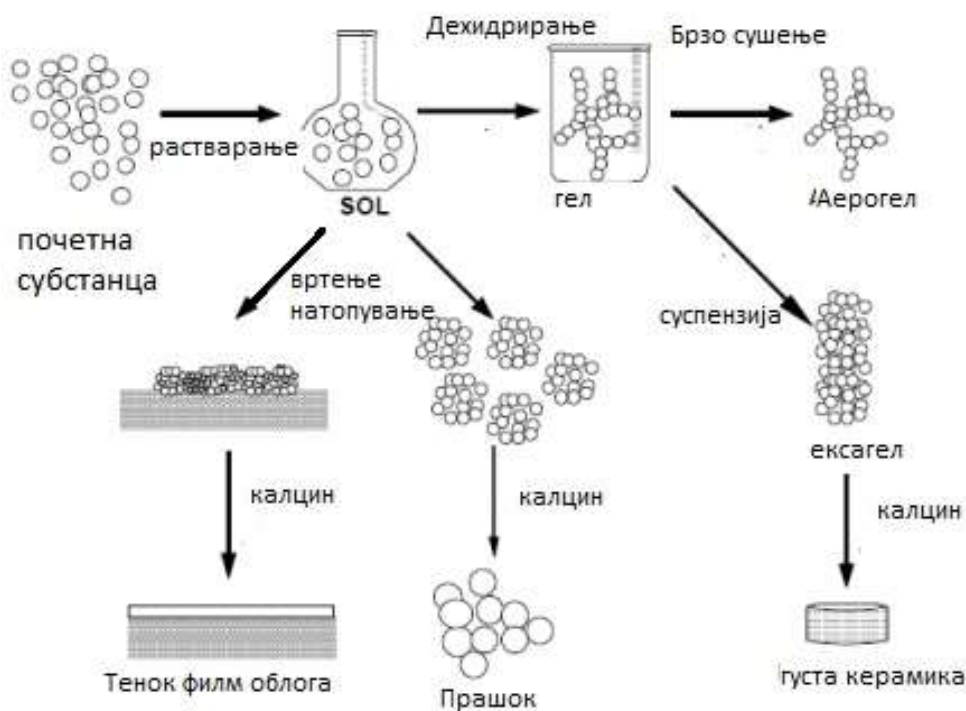
Слика бр 6.3 Анализа на оптички особини преку зрак светлина

Методите на хемиска и физичка ексфолијација, исто така, спаѓаат во оваа категорија. Наночестичките се добиваат во ламеларна форма како нанолистови или наноснегулки. Исползуваат висока продуктивност, погодна цена на чинење како позитивен аспект на нивната примена, но големината на честичките што се добива е широка палета, варира, се содржат многу нечистотии и се добиваат многу дефектни наноструктури.

6.2.2 Bottom-up метод

Оваа метода се користи за производство на сложени наноструктурни материјали од атоми и молекули. Со оваа метода може да се контролираат хемиските и физичките особини на добиените наноструктури. Овие методи вклучуваат гасна фаза или испарувачка фаза (физичка гасна и хемиска гасна депозиција) и реакции во течна фаза (сол-гел, термичка депозиција, електродепозиција и др.). Течната и гасната фаза имаат различни временски скали, побавниот течен процес може да се користи за добивање термодинамички контролирани производи, а со гасната фаза кинетичка контрола.

Производството со фаза на испарување работи на атмосферски притисок и на ниски притисоци. Под испарувачки процес се подразбира процес при кој пареа се собира и кондензира на цврста површина при што се формираат материјали кои имаат барем една димензија во наноголемина. Депозицијата е изведена во вакуум комора за да може да се контролира хемискиот состав. Ако пареата е создадена физички без хемиска реакција, се вика физичко-гасна депозиција, ако материјалот е производ на хемиска реакција, тогаш се вика хемиско-гасна депозиција.



Слика бр. 6.4 Сол-гел процес за синтеза на наноматеријали

Постојат варијации на овие два основни процеса за да се искористат предностите и да се избегнат недостатоците, на процесите. Целта за балансирана примена на двата процеса е да се добијат чистота, структурен квалитет, брзина на раст итн.

Најчесто применувани методи кои се базираат на хемиски методи се сол-гел, пресипитација, термичка декомпозиција, самотонтажа и електродепозиција. Другите

методи, како што се платирање и темплтирање, се применуваат за да се произведат наноструктурни материјали, порозни материјали, наноцевки итн.

Сол-гел постапката се состои во формација на колоидална суспензија (сол) и гелирање на солот во течна форма (гел). Шематски приказ на сол-гел методот е даден на слика бр.6.4.

6.3 ПРИМЕНА НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ

Примената на наноматеријалите е широка, од уреди за складирање на енергија, уреди за откривање закани кај одбранбените механизми, прочистување на вода, производство на облека отпорна на дамки, гуми, во морнарицата, електрониката, кај спортски производи, како и за многу други секојдневни предмети и продукти, креми за сончање, козметика, бои, лакови, а, исто така, и во медицината за дијагностицирање, сликање и испорака на лекови.

Нанооблогите и нанокмползитите се применуваат за прозорци, спортска опрема, велосипеди, автомобили, филери за заби, УВ одбојни облоги на стаклени шишиња за заштита од оштетување од сонцето, тениски топчиња за подолгорочна употреба, бои и лакови.

Овие примери на примена укажуваат на тоа дека во последниве години примената се зголемува и тоа во различни области, во електроника, роботика, биомедицина, автомобилската и градежната индустрија и сето тоа се должи на нивните единствени механички, хемиски, електронски и оптички особини. Во продолжение на ова потпоглавје ќе бидат разгледани некои од овие примени.

6.3.1 Градежна индустрија

Нанотехнологијата и наноматеријалите во градежната индустрија се многу помалку развиени поради недостиг на информации во врска со соодветноста на овие материјали, големата цена и здравствените ризици кои произлегуваат од примената.

За да може да се користат ефикасно наноматеријалите во градежниот сектор, потребно е да се направат истражувања кои ќе дадат точни информации и факти за перформансите на наноматеријалите, нивната реакција со композитните материјали, предноста на примена на наноматеријалите во однос на другите материјали во градежништвото, податоци за карактеристиките и однесувањето на градежните елементи кои имаат наноматеријали, а се под различни услови на оптоварување.

Наноматеријалите главно се користат за да се добијат појаки конструктивни композити, полесни конструкции, подобрени особини на цементните материјали, облоги со минимална потреба за одржување, подобри цевки за спојување материјали, топлинска и звучна изолација, рефлективност на стаклото, репеленти за вода, површини за самочистење и замаглување, заштита од ултравиолетова светлина, сензори со наноголемина за следење на безбедноста на конструкциите и структурното здравје и соларни ќелии.

Примената на некои наноматеријали во градежништвото и нивните ефекти се наведени во табела 6.1.

Табела 6.1 Наноматеријали во градежништвото

НАНОМАТЕРИЈАЛИ	ОСНОВЕН МАТЕРИЈАЛ	МОЖНИ ПРИДОБИВКИ
Јаглородни наноцевки	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост и издржливоста
	Керамики	Зајакнување во термичките и механичките особини
	Наноелектрични механички системи	Процена на правилното функционирање на конструкциите во вистинско време
	Соларни ќелии	Ефикасен медиум на електрони
Силициум диоксид (SiO ₂)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост и издржливоста
	Стакло	Против рефлективна и топлотна изолација
Титаниум диоксид (TiO ₂)	Соларни ќелии	Производство без напојување
	Стакло	Против замаглување, против наталожување, хидрофилност (способност за апсорпција и растворање во вода)
	Цемент и бетон	Способност за самочистење, брзо хидрирање и подобрување на механичката јакост
Железен оксид (Fe ₂ O ₃)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост и издржливост
Бакар оксид (CuO)	Цемент и бетон/челик	Подобрување во механичката јакост и издржливост, заварливост и отпорност на корозија кај челикот
Алуминиум оксид (Al ₂ O ₃)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост
Циркониум оксид (ZrO ₂)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост

Цинк диоксид (ZnO ₂)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост
Калциум карбонат (CaCO ₃)	Цемент и бетон	Засилување на механичката јакост
Хром оксид (Cr ₂ O ₃)	Цемент и бетон	Подобрување во механичката јакост
Сребро(Ag)	Бои	Антимикробни особини

Јаглородните наноцевки (ЈНЦ) се алотропи на јаглород со цилиндрична тубуларна геометрија чиј дијаметар се движи од 1 до 100 nm и има должина до неколку милиметри. Тие може да имаат еден слој на графен изваљан во цилиндрична форма т.н. едносидна јаглородна наноцевка (ЕЈН) или повеќе од еден слој, повеќесидна јаглородна наноцевка (ПЈН). Тие се најјакот и најкрутиот материјал познат досега и со нив може да се постигне големо зајакнување на композитите на база на цемент. Тие покажуваат уникатни електрични, термички и механички особини поради нивната геометрија и ковалентните sp² врски формирани помеѓу одделните атоми на јаглород. На пример, тие имаат осум пати поголема јакост, 1/6-та повеќе густина и пет пати поголем модул на еластичност од челикот.

Некои очекувани придобивки од употребата на јаглородни наноцевки во бетон заедно со некои агенси за дисперзија вклучуваат подобрување на јакоста, издржливоста и спречувањето на пукнатини во бетон, подобрување на механичките и топлинските особини во керамиката и способност за процена на интегритетот кај конструкциите.

Развиени се сензори како нано и микроелектрични механички системи кои се користат во бетонските конструкции за точна процена на исправноста на материјалот или конструкциите, со податоци за појава на пукнатини, корозија, абеење и за напонската состојба во конструкцијата. Овие сензори може лесно да се фиксираат во конструкциите за време на изградбата. Исто така, има паметен агрегат (мултифункционален уред базиран на пиезокерамика) кој се користи за набљудување на особините на бетонот во рана возраст како температура, влага, јакост и релативна влажност. Една од најважните примени на ЈНЦ е подобрување на перформансите на горивото и соларните ќелии кои произведуваат обновлива енергија поради неговите извонредни особини на пренос на електрони.

Наночестички на силициум оксид. Парча од силика или микросилика е нуспроизвод на легури на силициум и феросилициум. Ова е сив прав со површина од 20 m²/g и големини на честички во опсег од 100 до 200 nm. Со додавање на парча на силика (од тежина во бетонска мешавина) може да се зголеми збивачката јакост, затегачката јакост и отпорноста на апсорпција. Овие подобрувања се должат на густото пакување постигнато во системот за цементна паста, при што се намалува целокупната порозност и се подобрува зоната за рамнинска транзиција.

Титаниум диоксид наночестички имаат значително внимание во градежната индустрија поради нивните особини за самочистење и можноста за отстранување загадувачи на воздухот преку фотокаталитички реакции. TiO₂ се полупроводници кои дејствуваат како фотокатализатори кога се озрачуваат со ултравиолетова (УВ) светлина во присуство на гас или течност.

Кога се меша со цемент, тој може фотокаталитички да ги деградира органските загадувачи кои по неутрализацијата се мијат низ хидрофилната природа на површината и оттука одржување на естетските карактеристики на бетонските структури, особено оние

конструирани со бел цемент. Така, TiO_2 наночестичките се додаваат на плочки, прозорци, цементи, бои, итн., поради особини на стерилизирање и отстранување на миризби и кога се вклучени во надворешна конструкција материјалите можат значително да ги намалат концентрациите на загадувачи во воздухот. Покрај тоа, наночестичките TiO_2 се покажаа многу ефикасни во отстранувањето на загадувачите како NO_x , ароматични, алдехиди, амонијак и во моментов се користат во разни инфраструктурни проекти како тротоари, тунели, згради.

Наночестички на железен оксид (Fe_2O_3) може да се користат во бетон како делумна замена на цементот. Наночестичките ги подобруваат јакостите особини на бетонот, но ги намалуваат способноста за обработливост и времето за поставување на бетонот. Во една студија резултатите укажуваат на тоа дека примероците кои содржат до 3 % наночестички Fe_2O_3 се претпочитаат кај високофункционалниот самокомпактен бетон. Сепак, за да се користат овие наночестички треба да се додаде и суперпластификатор за да се зголеми и обработливоста на бетонот.

Наночестичките на бакарен оксид (CuO) во бетонот може да бидат делумна замена на цементот. Овие наночестички ја подобруваат механичката јакост, но ја намалуваат порозноста на бетонот.

Алуминиум оксид Al_2O_3 наночестичките може да се користат во бетонот како делумна замена на цементот, тие ги зголемуваат збивачката јакост, свитливоста и затегачката јакост на одвојување, но, исто така, ја намалуваат неговата обработливост и времето на поставување.

Наночестичките на циркониум оксид ZrO_2 ги подобруваат особините слично како и наночестичките на алуминиум оксидот. Нивното присуство до 2 % по тежина ги зголемува збивачките особини, свитливоста и затегачката јакост на одвојување кај бетонот, при тоа ги намалуваат обработливоста и времето на поставување. Ова се должи на брзата реакција помеѓу калциум хидроксидот и наночестичките ZrO_2 . Хидратацијата на цементот се зголемува и се добиваат поголеми количини на производи од реакцијата. Замената на цементот со овие наночестички ја намалува обработливоста на бетонот, па затоа мора да се користи суперпластификатор.

Цинк диоксид ZnO_2 наночестичките влијаат врз особините на бетонот и цементот, така што со нивна примена до 4 % може да ја подобрат свитливоста и структурата на порите на самокомпресивниот бетон и да ги повратат негативните ефекти на суперпластификаторот поликарбоксилат.

Калциум карбонат CaCO_3 наночестичките, исто така, се предмет на испитување, иако правта на варовник (CaCO_3) обично се смета како инертен и традиционално се користи како материјал за полнење и за подобрување на реолошките особини на бетонот. Со додавање на овие честички како парцијална замена на цементот до 5 % ќе се зголемува хидратацијата, ќе ја подобрат збивачката јакост и времето на поставување.

Наночестичките од хром оксид Cr_2O_3 може да ги подобрат особините на бетонот. Оптималниот процент е 2 %, а 1 % доколку се користи заситена варова вода.

Наночестичките од сребро може да се користат како додаток во боите за

деактивирање на патогени микроорганизми и даваат антимикробни особини на површините, на пример, кај болничките сидови. Ова се должи на фактот што наночестичките од сребро имаат способност за намалување на растот и размножувањето на габите, вирусите и бактериите кои предизвикуваат чешање, инфекција, мирис и болка.

6.3.2 Примена во околната средина

Наночестичките кои се добиваат преку специфични процеси се вели дека се инженерски произведени. Во однос на околината и нивната примена системите кои се еднодимензионални тенки филмови или површини – дводимензионални, може да се применат во електрониката, хемијата и инженерските тенки филмови со големина до 100 nm или монослоеве во полето на соларни ќелии или кај катализатори.

Овие тенки филмови се вметнуваат во различни технологии, вклучувајќи го и развојот на нова генерација на сензорни системи, хемиски и биолошки системи, системи со оптички влакна, магнетно-оптички и оптички уреди. Сончевата светлина е неограничен извор на енергија која не загадува и може да ги замени фосилните горива и бензинот.

Соларните ќелии се подобруваат од генерација на генерација поради важноста за добивање алтернативен начин на енергија. Фотоволтажните уреди се однесуваат на соларни ќелии кои директно ја претвораат сончевата светлина во енергија. Соларните ќелии се основа на фотоволтажната технологија.

Силуциумот е познат полупроводник кој се користи за добивање на соларните ќелии. Има неколку типа на соларни ќелии – монокристални или мултикристални силициумски соларни ќелии и нанокристални соларни ќелии.

Нанооблоги се облоги кои се соодветни за примена кај транспарентните системи за обложување. Облогите од наночестички на титаниум оксид се транспарентни (просирни) и овозможуваат нови особини во споредба со оние кои не се транспарентни облоги. Изборот на производство ќе зависи од примената и побарувањето на облогата.

Процесот сол-гел дава повеќе предности за производителите: пократко производство, се изведува на пониски температури и е потребна помалку енергија. Особините на титаниум оксид, како што се фотокаталитичка ефективност, хемиска стабилност, ниска токсичност, и ниска цена на чинење го прави најсоодветен избор. Исто така, боите кои сами се чистат со цинк оксид се применуваат најмногу.

Оваа примена е застапена најмногу кај градбите, особено во внатрешните и надворешните површини поради загадувањето во воздухот и околината. Иако особините на површините за самочистење се комплексни, се поврзуваат со неколку карактеристики на површините. Површините се суперхидрофилни и капките се распоредуваат низ површината правејќи ги полесни за чистење од цврст материјал.

Понатаму, секој органски материјал како облога на цврсти честички реагира со овие површини преку фотокаталитичка реакција за да им дозволи да паднат или да се измијат полесно. Површините на наночестички на титаниум оксид имаат висока електроспроводливост. Таква површина создава антистатички особини одбивајќи ги честичките или не им дозволува да се натрупуваат на едно место.

Сонокатализаторите се продукт на соноелектрохемијата која значително се применува за добивање нанопудри. Преку ултразвучно каталитичка деградација како процес за третман на отпадните води не се предизвикува дополнително загадување, но се добиваат многу погодни особини. Како подобрување на оваа метода е

ултрасонокатализаторскиот процес кој е познат како сонокатализатор.

Се користи за минерализација на органски загадувачи, за, на пример, синтетички бои кај водени медиуми. Молекулите на водата се користат за добивање хидроксилни радикали кои се реактивни со неизбраните оксиданти и се способни за деколоризирање и минерализирање на бои. Оксидациониот процес на металниот оксиден полупроводник се унапредува преку ултразвучниот површински третман.

Присуството на наночестичките како што е титаниум оксидот го забрзува процесот на раскинување на микронеурчињата кои се добиваат со ултразвучната ирадијација во помали меури и овие ќе го зголемат квантитетот на поголеми температури и притисок, при што ова ќе предизвика добивање поголема количина на хидроксилни радикали кои ги напаѓаат загадувачите и резултира со деградација на загадувачот.

6.3.3 Примена во земјоделството

Примената на наноматеријалите генерално е за заштита на растенијата, откривање на патогеност и откривање на пестициди. Со нивна примена може да се постигне побрзо производство на растенијата, ефикасна заштита на растенијата со намалено влијание врз околината во споредба со традиционалните пристапи. Паметните наносензори се користат за да се открие присуството на пестициди. Наноматеријалите може да ја подобрат гериминацијата на растенијата, но при тоа ќе повлијаат на другите растенија. Во овој случај наноматеријалите се нанесуваат контролирано во плантажи за да се подобрат само одредени билки.

6.3.4 Примена во прехранбена индустрија

Нанотехнологијата нуди можности за примена и во прехранбената индустрија, за сигурност на храната и контрола на квалитетот, а, исто така, и за производство на нови суплемементи и адитиви и разни вкусови. Исто се применува во производство на пакувањата со подобрени термички и механички особини и поголема сигурност. Наносензорите се користат за да ги алармираат потрошувачите доколку храната е со поминат рок. Нанотехнологијата се користи и за производство на поздрава храна.

Наноструктурите се разновидни со погодни особини за додавање во храна во пакуваните производи за да се подобри квалитетот на храната. Примената кај прехраната вклучува:

- подобрување на квалитетот на храната,
- биоактивно зајакнување,
- контролирано испуштање биоактивни компоненти со наноносач енкапсулација,
- модификација на структурата на храната и текстурата,
- откривање и неутрализација на биохемиска, микробиолошка и хемиска алтернација со примена на паметни системи за пакување,
- многу наноматеријали се користат за формирање прехранбени продукти и за подобрување на нивните нутритивни вредности.

Примената на нанотехнологијата во прехранбената индустрија се поврзува главно со наносензори и наноструктурни состојки во храната. Наноструктурните храни може да бидат формулација на храна или пакување на храната. За подобра процена на квалитетот и сигурноста, нанодетектирањето на храната е најсоодветна алатка.

6.4 ВЛИЈАНИЕ ВРЗ ЗДРАВЈЕТО НА ЧОВЕКОТ И ОКОЛИНАТА

Сите градежни материјали и материјалите за одржување мора да бидат компатибилни на околината и да не претставуваат опасност за здравјето на човекот. Проблемите кои произлегуваат од примената на наночестичките се прашината, испуштање на наноматеријалите во водата, земјата и испуштањето на штетни материјали за време на изградбата и одржувањето на конструкциите.

Јаглородните наноцевки имаат антибактериски особини и се потенцијално штетни за белите дробови, ја оштетуваат мембраната, ги забавуваат респираторните функции, ја оштетуваат дезоксирибонуклеинската киселина (ДНК) итн.

Наночестичките на титаниум оксид под дејство на ултравиолетовата светлина или сончевата светлина произведуваат реактивни кислородни елементи кои предизвикуваат оштетување на ДНК, токсичност на клетките и инфламација кај цицачите. Исто така, и наночестичките на силициум оксидот имаат карциногени влијанија, ја нарушуваат бактеријата поради појава на реактивните кислородни елементи и токсичност кај алгите. Бакар оксид или бакарните наночестички предизвикуваат оксиден напон и оштетување на ДНК кај човекот, алгите, бактериите итн.

Цената на наноматеријалите и нанотехнолошката опрема е висока, поради новата технологија и опремата што се користат за синтеза и карактеризација на материјалите. Нанотехнологијата и наноматеријалите треба да се користат во посебни случаи за да се дадат единствени решенија со ефективна цена. Тие се предизвик за градежништвото и истражувачите за решавање на економски проблеми поврзани со изведбата на нано базирани конструкции кои даваат услуга за минимална цена како јавни објекти.

Прашања:

1. Што е наноука, а што е нанотехнологија?
2. Во каква форма можат да се јават наноматеријалите?
3. Накратко објасни за механичките особини.
4. Накратко објасни за физичките особини.
5. Накратко објасни за оптичките особини.
6. Како се анализира формирањето на наночестичките?
7. Кои се методите за производство на наноматеријалите?
8. Скицирај го шематски *bottom up* и накратко објасни.
9. Скицирај го шематски *top down* и накратко објасни.
10. Напиши општо каде се применуваат материјалите.
11. Примена во градежна индустрија општо.
12. Накратко објасни за јаглородни наноцевки.
13. Накратко објасни за наночестички на силициум оксид.
14. Накратко објасни за наночестички на титаниум оксид.
15. Накратко објасни за наночестички на железен оксид.
16. Каде се применуваат наноматеријалите во околната средина?
17. Што се соларни ќелии?
18. Што се нанооблоги?
19. Што се сонокатализатори?
20. Каде се применуваат наноматеријалите во земјоделството и со која цел?
21. Објасни накратко за примената на наноматеријалите во прехранбената индустрија.

22. Како влијаат наноматеријалите врз здравјето на човекот и околината?

Литература

Salman A, Application of nanomaterials in environmental improvement, Intechopen.2020

Lav R.K, Joe M.J.M., Reza E., Edmund W.S., Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection a review, Crop protection 2012

Benelmekki M., Nanomaterials-The original product of nanotechnology, Chapter 1, Iop Concise Physics

Daniyal M.,Azam A, Akhtar S, Application of nanomaterials in Civil engineering, Chapter 6, Springer Nature Singapore 2018

Gaffe E., Nanomaterials: a review of the definitions, applications, health effects. How to implement secure development, Nanomaterials Research group, Site de Sevenans

Shafiq M., Anjum S., Heano C., Anjum I., Abbasi B.H., An overview of the applications of nanomaterials and nanodevices in the food industry, Foods, 2020

Algarasi A., Introduction to nanomaterials, 2011

Prokopivny V.,Lohmus R., Hussainova I.,Prokopivny A.,Vlassov S., Introduction to nanomaterials and nanotechnology,University of Tartu, 2007

7. БИОМАТЕРИЈАЛИ: ВОВЕД, ДИЗАЈН И ПРИМЕНА

Материјалите кои може да ги извршуваат функциите на живите материи се нарекуваат **биоматеријали**. Биоматеријалите се дизајнирани за да се инкорпорираат во биолошки системи. Тие може да бидат синтетички или од природно потекло, во контакт со ткиво, крв и биолошки флуиди, за протетика, дијагностика, терапевтски, за складирање итн.

Главната карактеристика на биоматеријалите е нивната способност да бидат во живи системи, при тоа тие треба да бидат биолошки одржливи и биокомпатибилни. Со терминот „биокомпатибилност“ се опишува однесувањето на материјалот во живо ткиво, при што не предизвикува несакани ефекти, како токсичност, физиолошка реактивност или имунолошка реакција. Тие може да бидат метали, керамики, полимери, хидрогелови или композитни материјали.

За да се одреди примената на одреден материјал, мора да се испитаат неговите структурни, хемиски, физички и биолошки карактеристики, па според нив може и да се класифицираат и да се разграничат на повеќе типови. Така, на пример, керамиките, стаклата и полимерите се со одреден степен на променлива биоактивност.

Биоматеријалите не треба да се помешаат со биолошките материјали. Биолошките материјали, како кожа, артерија, се произведени од биолошки системи.

Науката која се занимава со испитување на биоматеријалите е широка и интердисциплинарна. За испитување на овие материјали е потребно познавање од три различни области: наука за материјалите и инженерство, биологија и филозофија на клетки и молекуларна биологија, анатомија, клинички науки во заболечарство, офтомологија, ортопедија, пластична и реконструктивна хирургија, кардиоваскуларна хирургија, неврохирургија, имунологија, хистопатологија, експериментална хирургија, ветеринарна медицина и хирургија.

Според тоа, науката за проучување на биоматеријалите или науката за биоматеријали се состои од елементи на медицина, биологија, хемија, инженерство за ткива и наука за материјалите. Ова поле на истражување е во стабилен и засилен развој, па поради тоа сè повеќе компании се насочени кон инвестиции за добивање нови производи.

Повеќето биоматеријали денес се развиени или поединечно или во комбинација на различни класи. Овие класи на материјали имаат различна поставеност на атомите кои ја претставуваат разноликоста на структурните, физичките, хемиските и механичките особини, па според тоа се можни и различни алтернативни примени во телото.

Биоматеријалите може да имаат бенигна функција, како што има стент за срце, или да бидат биоактивни и да се применуваат повеќе за интерактивна цел како хидропатен обложен имплант на колк. Тие исто се користат секојдневно кај забните импланти, хирургијата и за достава на лек. Примената на биоматеријалите ќе биде посебно разгледана подолу во овој текст.

7.1 ДИЗАЈН И ВИДОВИ НА БИОМАТЕРИЈАЛИ

Успешната примена на биоматеријалите во телото зависи од повеќе фактори, како што се: особините на материјалот, дизајнот и биокомпатибилноста на материјалот, а исто така и од други фактори кои не се под контрола на инженерот што вклучуваат техники применети за време на хирургијата, здравјето и состојбата на пациентот и неговите активности. Повеќето синтетички материјали кои се применуваат за импланти се општо познати материјали. Овие материјали може да се поделат на: метали, полимери, керамики и композити. Во табела 7.1 се дадени некои примени на овие метали.

Иако многу уреди и импланти се дизајнирани за да ја третираат болеста или повредата, основните аспекти кои се вклучени во дизајнирањето на биоматеријалите се разгледани од:

- соодветна спецификација за која биоматеријалот е избран да се дизајнира;
- точна карактеризација на околината каде што биоматеријалот треба да работи и ефектите кои произлегуваат од околината врз особините на биоматеријалот;
- разграничување на должината на времето за кое материјалот треба да функционира;
- јасно разбирање на биоматеријалот во однос на сигурноста пред да се примени.

Табела 7.1. Материјали кои се применуваат во тело

Материјали	Предности	Недостатоци	Примери
Полимери (најлон, силиконска гума, полиестер, полиетрафуроетилен и др.)	Издржливи Лесно производство	Не се доволно јаки, се деформираат со време, може да се распадат	Конци, крвни садови, седиште на колк, уши, нос, други меки ткива
Метали (Ti и неговите легури, Co-Cr легури, нерѓосувачки челик, Au, Ag, Pt итн.)	Јакост, жилавост, дуктилност	Може да кородираат, густ, потешко се прават	Замена за зглоб, коскена плочка, шрафови, забни корени импланти, пејсер и жици
Керамика (алуминиум оксид, калциум фосфат вклучувајќи го хидрохиапатит, јаглерод	Висока биокомпатибилност, инертни, голема збивачка јакост	Кршливи, не се издржливи, тешки за правење	Заби, замена на колк, облога на забни и ортопедски импланти
Композити (јаглерод-јаглерод, зајакнување со жица или влакна цемент)	Јакост, направени по мерка	Тешки за правење	Зглобни импланти, срцеви комори

7.1.1 Метали

Како класа на материјал, металите се најмногу применувани онаму каде што е потребно носење товар. Кај ортопедската хирургија се имплементираат метални импланти кои се од едноставни жици и шрафови, до фиксирање на плочи и целосни протези на

зглобови за колкови, колена, рамо, зглобови на раце итн. Металните импланти се употребуваат кај максилофацијалната хирургија, кај кардиоваскуларната хирургија и како забни материјали. Иако многу метали и легури се применуваат за медицински уреди, најчесто применувани се нерѓосувачкиот челик, комерцијално чист титаниум и неговите легури, и легурите на кобалт.

Металите се применуваат како биоматеријали поради нивната одлична електрична и термичка спроводливост, а и поради одличните механички особини. Првата метална легура развиена специјално за употреба кај човекот е „ванадиум челик“ за изработка на коскени плочки (шерманови) и шрафови. Повеќето метали, како што се: железо, хром, кобалт, никел, титаниум, танталиум, ниобиум, молибден и волфрам може да бидат толерирани од телото во помали количини.

Некои од овие елементи се неопходни во природните форми како кај црвените крвни зрнца, но не може да бидат толерирани во големи количини. Биокompatибилноста на металните импланти е загрижувачка затоа што може да кородира, а тоа може лошо да влијае на ткивото и органите во околината. Токму поради оваа причина е исфрлен од употреба „ванадиум челик“, па е прифатен нерѓосувачкиот челик (18-8 или тип 302 според класификација). Со мал процент на молибден за да се подобри отпорноста од корозија, овој челик е познат како тип 316L и се користи за производство на импланти.

Брзиот развој на полето на биоматеријалите предизвика поголем дел од медицинските производи да бидат направени од метал, како што се: забни импланти, краниофицијални плочки и шрафови, делови од вештачко срце, пејсмејкери, клипови, комори, балонски катетри, медицински уреди и опрема, фиксатори на коски, забни материјали, медицински заштитни производи од радијација, протетика и ортодонтски уреди за биомедицински примени.

Инженерите преферираат да ги избираат металите како клучни во дизајнот на производите за биомедицинската употреба. Главниот критериум во изборот за биомедицинската примена е одличната биокompatибилност, соодветни механички особини, добра отпорност на корозија и ниска цена на чинење.

7.1.2 Полимери

Низа на разновидни полимери се употребуваат во медицината како биоматеријали. Нивната примена е од фацијална протеза до трахеални цевки, од делови за бубрег и црн дроб до делови од срце, од забна протетика до зглобови на колк и колено. Полимерните материјали исто се користат за медицински лепила и затвораи и за облоги со различни функции.

Полимерите се соодветни материјали за биомедицинска примена и се применуваат кај кардиоваскуларните уреди за замена и пролиферација на разни меки ткива. Голем број на полимерни материјали се применуваат за импланти. Голем дел од нив се применуваат за градни протези, вештачки срца, срцеви залистоци, леќи, фиксатори на екстракорпорелни оксигенатори дијализи, покривни материјали за медицински производи, хируршки материјали, лепила за ткива итн.

Композицијата, структурата и организацијата на конституентите макромолекули ги специфицираат особините на полимерите. Понатаму, различноста во апликациите побарува производство на полимери со различни структури и состави, со соодветни физиохемиски, интерповршински и биомиметни особини, за да одговараат на целта на примена.

Предноста на полимерните биоматеријали во однос на другите видови материјали

се:

- лесно се произведуваат;
- лесно се одвива секундарната фаза на производство;
- можност за посакувани механички и физички особини;
- разумна цена.

7.1.3 Керамики

Керамиките имаат голема примена како обновливи материјали во стоматологијата. Нивната примена во други области во биомедицината не е толку голема како што е онаа на металите и полимерите. Слабата ломна жилавост на керамиките ја ограничува нивната примена.

Нивната примена е мотивирана поради нивната инертност во телото, формабилност во бројни облици и порозност, високата збивачка јакост и одлични карактеристики на абеење. Керамиките се применуваат како делови од мускулоскелетниот систем, протези за колкови, вештачки колена, коскени графтови, забни и ортопедски импланти, орбитални и средни импланти за уво, срцеви залистоци, облоги за да се подобри биокомпатибилноста на металните импланти.

Биокерамиките од фосфати се широко прифатени за производство на идеални биоматеријали благодарение на нивната висока компатибилност и интеграција на коска, а исто така и нивната голема сличност со минералните компоненти на коските. Помеѓу керамиките, апатитот ја има најглавната улога. Калциум-фосфат-базираниот биоматеријал се применува за различни примени низ телото, покривајќи ги сите области на скелетот. Хидроксапатит е применет за филери во коски и како имплант каде што не е потребно оптоварување како што се носна коска и средно уво. Овој материјал се применува и како облога кај нерѓосувачкиот челик, титаниум и неговите легури итн.

7.1.4 Композити

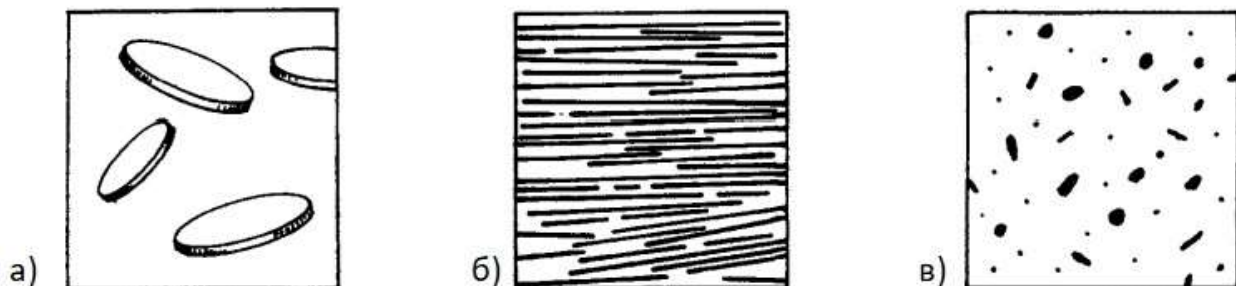
Композитните биоматеријали најуспешно се применуваат во стоматологијата како репаративни и забни цемента. Иако јаглерод-јаглерод и зајакнатите со јаглерод полимерни композити се од голем интерес за поправка на коски и зглобови поради нискиот модул на еластичност, овие материјали немаат доволни механички и биолошки особини за да ги направат соодветни за оваа примена. Композитните материјали се користат за протетични екстремитети, каде што комбинацијата на ниска густина/маса и висока јакост ги прави идеални за таа примена.

Композитите се инженерски материјали кои имаат две или повеќе физички и/или хемиски посебни, соодветно поставени и дистрибуирани конституенти со различни физички особини од оние индивидуалните конституентни материјали. Композитите имаат континуирана главна фаза која се вика матрица и една или повеќе дисконтинуитетни дисперзни фази кои се нарекуваат зајакнување, кои имаат супериорни особини во однос на матрицата.

Посебно постои и трета фаза, која се вика интерфаза, помеѓу матрицата и зајакнувачката фаза. Тие имаат посебни особини и се обично појаки од кој било друг поединечен материјал од кои се направени, па според тоа се применуваат таму каде што ткивото треба да се развива. Тие се идеални за носечки оптоварувања кај ткивата, затоа и научниците посебно се посветени за развој на уреди во оваа проблематика. Примената каде што е потребно тврдо ткиво како што е кај черепот, коските, коленото, зглобовите, забите, колкот и други зглобови е возможна со композити кои се зајакнати со влакна.

Главната предност на овие биоматеријали во однос на металите и керамиките е

тоа што композитите овозможуваат алтернативна рута за подобрување на многу непосакувани особини од хомогените материјали. Особините на конституентите имаат значајно влијание кај композитните материјали. На слика бр.7.1 е даден шематски приказ на основните вклучоци (конституенти) во композитен материјал.



Слика бр.7.1 Морфологија на основни вклучоци а) честички б) влакна в) келии

7.1.5 Природни материјали

Постојат материјали добиени од животинско и растително потекло кои се сметаат за биоматеријали. Предноста за користење на овие материјали е што се познати за телото. Природните материјали обично не создаваат проблеми поради токсичност. Исто така, тие може да носат делови со специфично протеинско врзување и други биохемиски сигнали кои може да му помагаат на ткивото да зарасне или да се интегрира. Од друга страна, пак, природните биоматеријали може да предизвикаат имуногеност.

Друг проблем особено кај природните полимери е тоа што имаат тенденција да се распаѓаат на температури пониски од нивната точка на топење. Ова го ограничува производството за импланти со различна големина и форма. Пример за природен материјал е колагенот, кој најчесто се наоѓа во фибрилна форма, има карактеристики на тројно спирална структура и е најпревалентен протеин во животинскиот свет. Постојат најмалку десет типа на колаген во телото. Тип 1 е доминантен во кожата, коските и тетивите. Тип 2 во зглобната 'рскавица во зглобовите, а тип 3 е главен конституент на крвните садови. Колагенот е испитан опширно како биоматеријал.

Најчесто е имплантиран во сунѓереста форма која нема значајна механичка јакост или крутост. Комерцијално е достапен како производ за лекување рани. Вбризгуваниот колаген се користи за козметички потреби. Други природни биоматеријали се корал, читин (од инсекти), кератин (од коса) и целулоза (од растенија).

7.2 ПРИМЕРИ НА ПРИМЕНА НА БИОМАТЕРИЈАЛ

Дизајнот и изборот на материјали за биомедицинските уреди може да биде едноставен кај едноставните уреди, како што се, на пример, забните титаниумски импланти, а може да биде и многу сложен кај посоефицицираните, односно оние како склоп од повеќе делови и материјали како што е кардиопејсмејкерот.

Во табела 7.2, 7.3 и 7.4 се наведени примени на биоматеријалите по области, по делови од телото и во системи.

Во продолжение се дадени повеќе фотографии (слика бр.7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9) како пример за различни примени на биокомпатибилните материјали.

Табела 7.2. Примена на биоматеријали

Област	Пример
Замена на оштетен дел	Вештачки колк, бубрег машина за дијализа
Помош при лекување	Конци, плочки од коски и шрафови
Подобрување на функција	Пејсмејкер, Интерокларни леќи
Корекција на функционална абнормалност	Пејсмејкер
Корекција на козметички проблем	Промена на големина на гради и брада
Помош во дијагноза	Проба и катетер
Помош во третман	Катетер, драинер

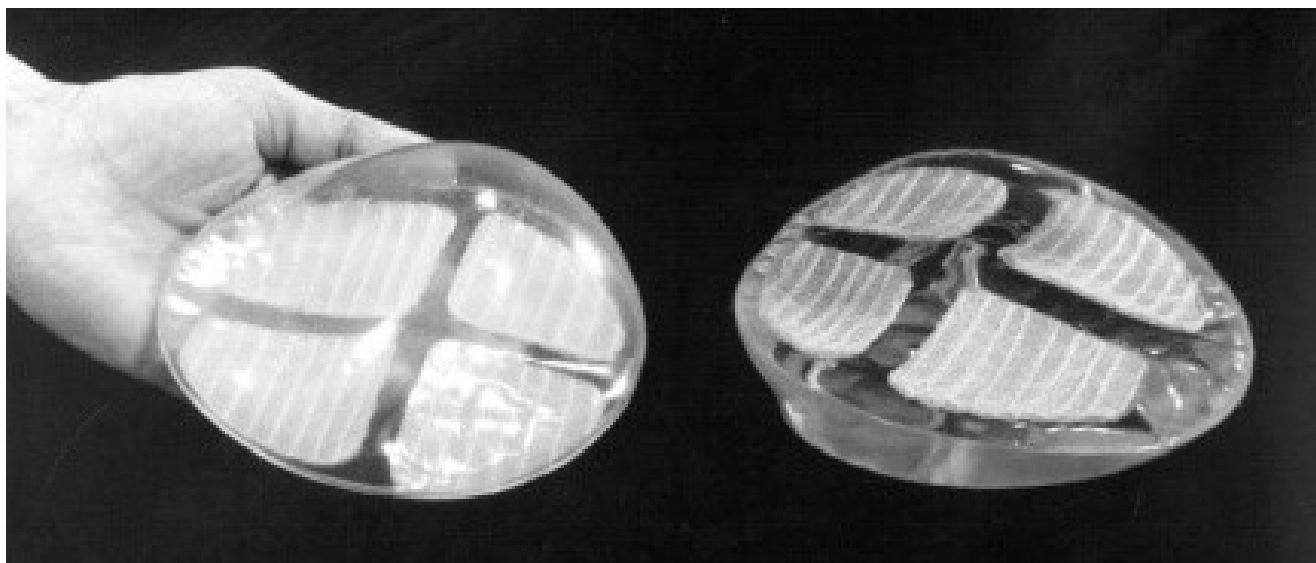
Деликатноста на дизајнот и функцијата на еден производ изработен од биоматеријал се образложени во последователните потпоглавја, преку конкретна примена за замена на колк, колено и вградување на пејсмејкери.

Табела 7.3. Примена на биоматеријали како органи

Орган	Пример
Срце	Пејсмејкер, вештачка аорта, вештачко срце
Бели дробови	Машина за кислород
Око	Контакт леќи, интерокуларни леќи
Уво	Вештачки стремен, вештачки полжав (кохлеа)
Коска	Коскена плочка, интрамедуларна прачка
Бубрег	Бубрег машина за дијализа
Мочен меур	Катетер, стент

Табела 7.4. Примена на биоматеријали како систем во тело

Систем	Пример
Скелетен	Коскена плочка, замена на целосен зглоб
Мускулен	Конци, стимулатор на мускул
Крвен	Вештачки аорти, крвни садови
Респираторен	Машина за кислород – оксигенатор
Покривен (кожен)	Конци, покривки за изгореници, вештачка кожа
Уринарен	Катетер, стент, машина за дијализа
Нервен	Хидроцефален сушач, нервен стимулатор
Ендокрин	Микрокапсулни панкреасни клетки
Репродуктивен	Промена на големина на гради и др. замени



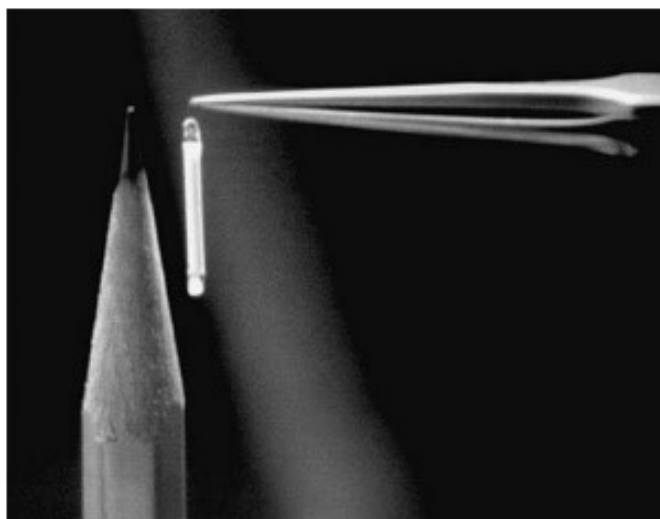
Слика бр.7.2 Силастични мамарични протези – силикони од 1964 г.



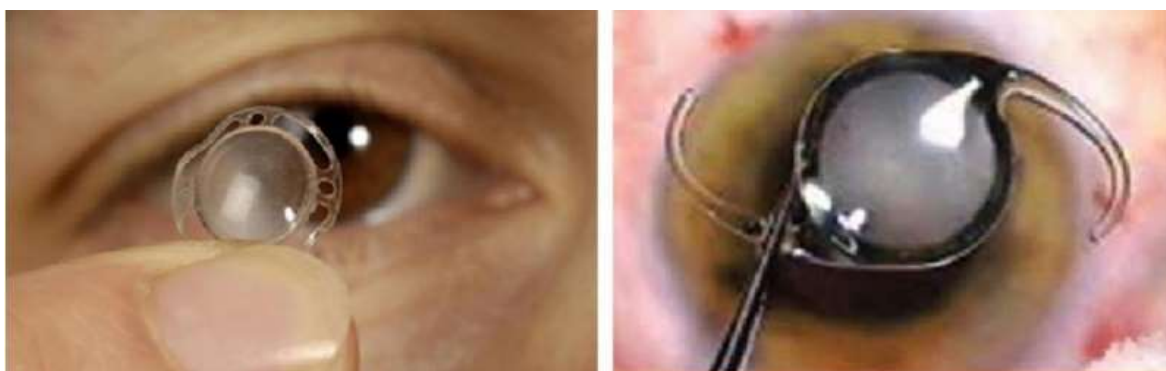
Слика бр.7.3 Силиконски импланти за намалување на психолошкиот стрес по губење на тестис поради рак или друга траума



Слика бр.7.4 Силиконски катетер, испразнувач, цевки и канали



Слика бр.7.5 Имплант макрокапула со молив и пинцета за споредба на големините



Слика бр.7.6 Офтамолошка апликација на биоматеријали - леќи



Слика бр.7. 7 Залисток на срце и вештачко срце



Слика бр.7.8 Фотографија од а) вештачка кожа и б) имплант за гради

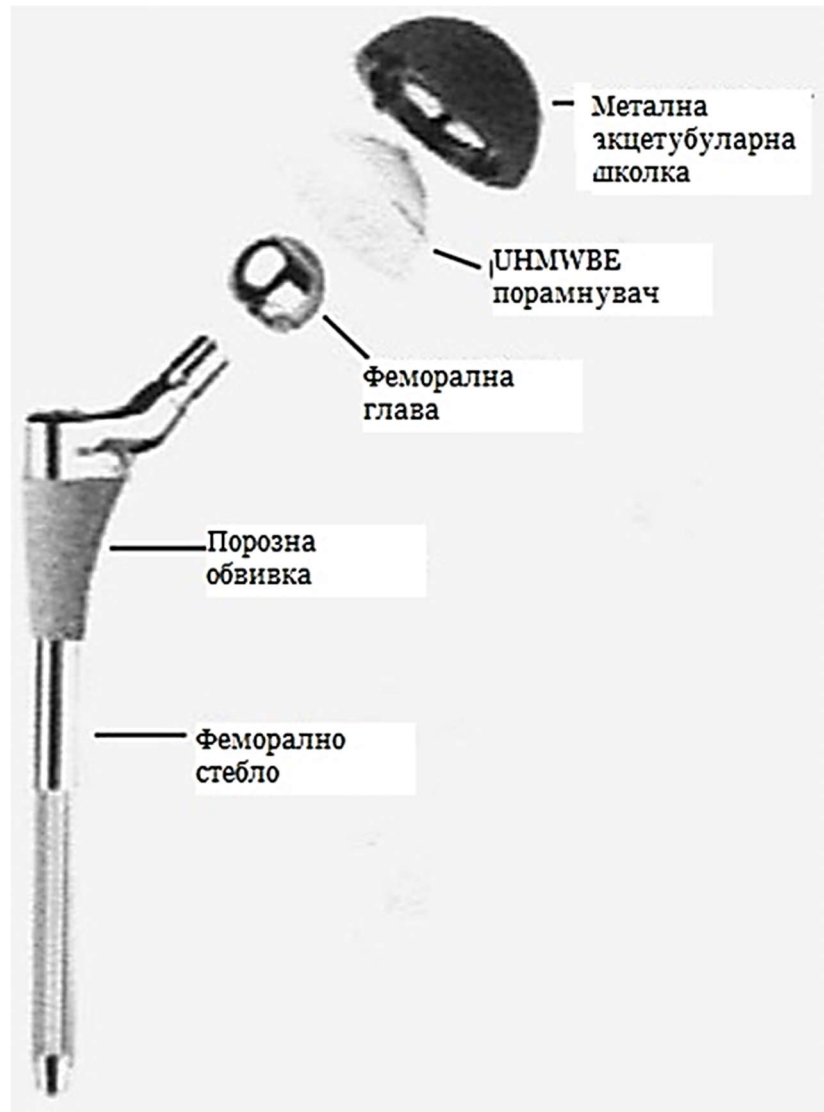


Слика бр.7.9 Примена во стоматологија а) корен на заб и б) вештачки заби

7.2.1 Целосна замена на колк

Целосна замена на зглоб се смета за големо достигнување во ортопедската хирургија и креацијата на новиот зглоб или артропластијата е третман на дегенеративни зглобови за да се намалат болките и да се поврати движењето.

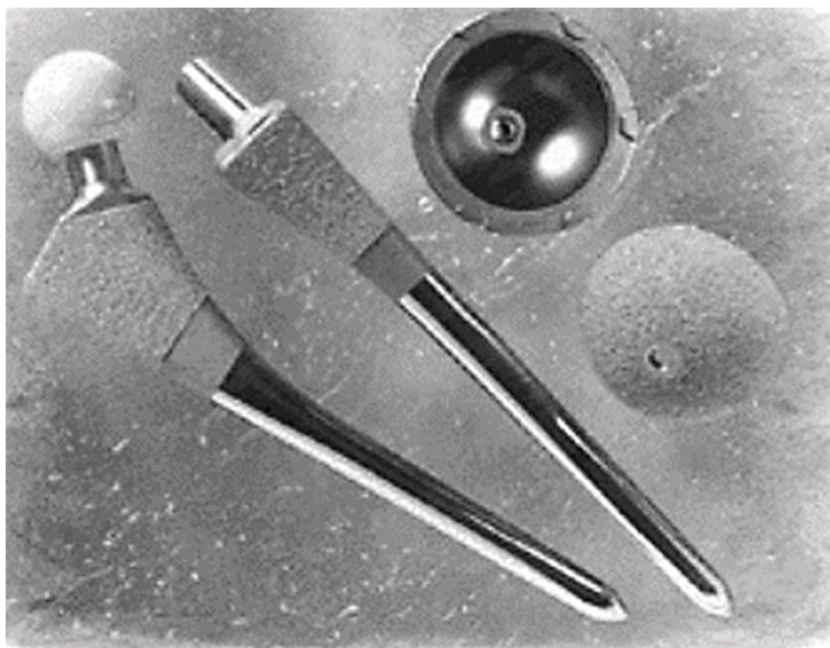
Артропластијата на колк генерално побарува да биде заменета горната коска фемур (коска на бутот) и коската на бедрото (дел од пелвис) да биде заменета или површински подобрена. На слика бр. 7.10 се гледаат компонентите во несклопен имплант за целосна замена на колк, при што овој е дизајниран со порозен дел.



Слика бр 7.10 Целосна реконструкција на колк

Ова е типичен колк кој има феморална дршка, топка, полимерна UHMWPE (кратенка за високомолекуларен масен полиетилен) чашка. Феморалните компоненти се произведени од легури на кобалт, молибден и хром, или кобалт, молибден, никел, хром или од титаниумски легури. Топката е направена од полирана легура на кобалт и хром или од керамика (алумина). Дизајнот каде што дршката и топката се од различни

материјали е чест, на пример, импланти кои имаат феморална дршка од титаниумска легура ќе имаат хром-кобалт легура за феморална глава.



Слика бр.7. 11 Протетика за колк заедно со делови обложени со порозен материјал



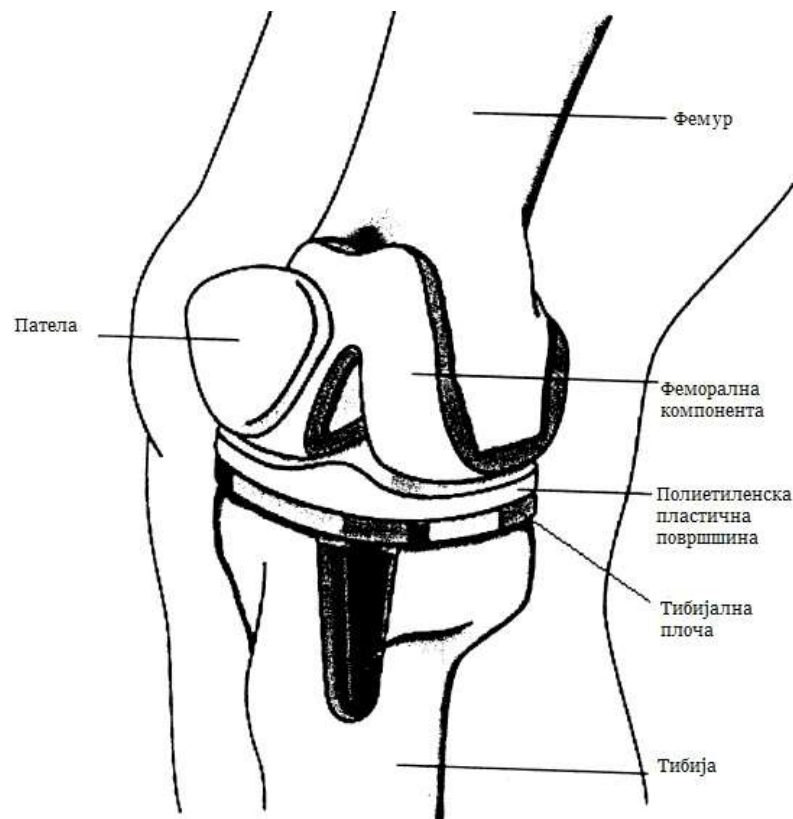
Слика бр.7.12 Слика на склопена протеза со комбинирани материјали за реконструкција на колк

Исто така, чашката може да биде директно поставена на пелвисот или да биде

ставена во метална школка. Дизајнот може да варира од исправени до искривени дршки, платформи или без платформи, со дупки во фероморната дршка итн. На слика бр. 7.11 е дадена протетика за колк заедно со делови обложени со порозен материјал, а на 7.12 е дадена склопена протеза со комбинирани материјали за реконструкција на колк.

7.2.2 Импланти во колено

Во целосна артропластија на колено, површините на долниот фемур (бутна коска), тибиа (голема писка–коска под колено) и коленовата капсула се заменети од протеза направена од метална легура и полимерни материјали. Повеќето од другите структури на коленото, како што се лигаментите, остануваат недопрени. За поедноставување, коленото се смета за голем зглоб бидејќи има способност да се витка и исправа. Во реалноста тоа е многу посложено, бидејќи површините се тркалаат и лизгаат и така коленото се витка. Првите дизајни беа поедноставни, но сега поновите се со цел да ги ископираат оригиналните покомплексни движења. Може да се заменат три површини на коската за време на оваа операција, долниот краен дел, а бутната коска, горната површина на коската под коленото и задната површина на чашката на коленото. Компонентите се дизајнирани така што металот секогаш артикулира кон пластиката за помало триење, а тоа овозможува мазно движење и резултира со минимално абеење. На слика бр.7.13 е прикажана шема на коленото и имплантите.



Слика бр.7.13 Компоненти на артропластија, целосна реконструкција на колено

7.2.3 Кардиоваскуларни пејсмејкери

Кардиоваскуларните пејсмејкери генерално се применуваат за да го регулираат отчукувањето на срцето. Овој систем нанесува точни сигнали за да го предизвика срцевиот мускул да се собира и предизвикува срцето да чука на начин многу сличен на природниот ритам на срцето.

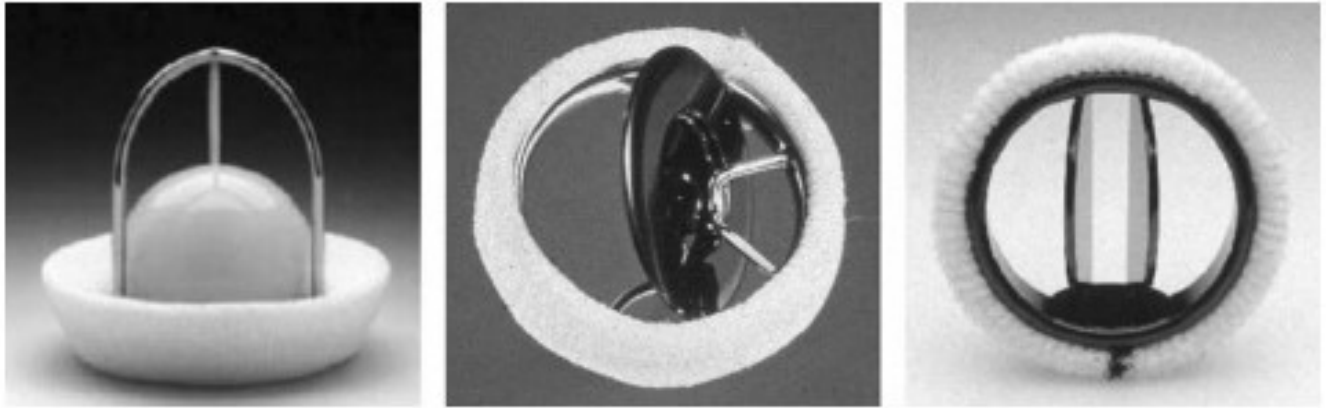
Овој уред се состои од генератор на пулс, барем една електрода и една или две водилки кои го поврзуваат пејсмејкерот со срцето. На слика бр. 7.14 е даден приказ на овој уред. На слика бр. 7.15 е даден приказ на срцев залисток, лево – инженерско ткиво и десно – вистински залисток.



Слика бр.7.14 Кардиоваскуларен пејсмејкер



Слика бр.7.15 Фотографија на живо, инженерско ткиво на срцев залисток по 14 дена на биомиметно кондиционирање во пулсно-дупликат-биореактор базирано на брзо бидеграбилен синтетички материјал (десно) и срцев залисток (лево)



Слика бр.7.16 Различни модели на протетични срцеви залистоци

Генераторот за пулс служи и како куќиште за батерија и колото за напојување. Се поставува помеѓу кожата и пекторалниот мускул. Запечатената литиум-јодна батерија му дава електрична енергија на пејсмејкер. Ова мало коло ја конвертира електричната енергија во мали електрични сигнали. Исто така, го контролира и времето на достава на овие сигнали до срцето. Конектор од полиуретан се наоѓа врз пејсмејкерот. На слика бр. 7.16 е даден различен дизајн на срцев залисток.

Прашања:

- 1.Што се биоматеријали?
- 2.Што е биокompatibilност?
- 3.Од што зависи успешната примена на биоматеријалите?
- 4.Кои материјали се набројани во групата на биоматеријали?
- 5.Кои се основните аспекти за дизајн на биоматеријали?
- 6.Каде се применуваат металите и зошто?
- 7.Каде се применуваат полимерите?
- 8.Кои се предностите на примена на полимерните биоматеријали во однос на други видови биоматеријали?
- 9.Каде се применуваат керамиките и зошто?
- 10.Каде се применуваат композитите?
- 11.Која е предноста на користење композити во однос на другите материјали?
- 12.Кои се предностите и недостатоците на примената на природните материјали?
- 13.Од каков материјал се изработува вештачки колк и каков може да биде дизајнот?
- 14.Какви се новите дизајни на колено?
- 15.Како функционира пејсмејкер?

Литература

- M. Omid, A.Fatehinya, M.Farahani, Z.Akbari, S.Shahmoradi, F.Yazdian, M. Tahriri, K. Moharmazadeh, L.Tayebi, D.Vashae, Characterization of biomaterials, Biomaterials for oral and dental tissue engineering, Elsevier 2017
- A.Tathe, M. Ghodke, A.P.Nikalje, A brief review: biomaterials and their application, International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Vol 2, 2010
- G.M.Raghavendra, K.Varaprased, T.Jayaramudu, Biomaterials: design, development and

biomedical application, Chapter 2, DOI:10.1016/B978-0-323-32889-0.00002-9, 2015
Joon B.Park, Joseph D.Bronzino, Biomaterials, principles and applications, ISBN-0-8493-1491-7, CRC Press LLC, 2003
Donglu Shi, Introduction to biomaterials, ISBN 7-302-10807-2/Q 47, 2006
Buddy D. Ratner, Allan S.Hoffman, Frederick J. Schoen, Jack E. Lemons, Biomaterials science, an introduction to materials in medicine, 2nd edition, Elsevier 2004
G.M.Raghavendra, K.Varaprasad, T.Jayramudu, Biomaterials: Design, Development and Biomedical Applications

8. ПАМЕТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Науката за материјалите се занимава со проучување и развој на многу нови материјали со висок квалитет и ефикасност, кои наоѓаат примена во различни области. Материјалите станаа мултифункционални и побаруваат оптимизирање на категоризацијата и особините. Развојот на материјалите и фокусот во последните 10 години беше насочен кон композитните материјали, а сега веќе следен чекор е насочување на вниманието кон паметните материјали.

Паметни материјали се оние материјали кои реагираат на надворешно влијание (оптоварување, притисок, електрични, магнети полиња, температура итн.) и промените од околината, при што тие ги активираат нивните функции соодветно на промените. Тие се нова генерација на материјали кои ги надминуваат конвенционалните конструктивни и функционални материјали. Способноста да ги менуваат физичките особини на специфичен начин кога се под некое надворешно влијание ги прави овие материјали паметни. Тие може да ги менуваат обликот, крутоста, пригушувањето на вибрации и вискозноста, за да се адаптираат на новонастанатата состојба. Нивната мултифункционалност и способност да запамтат и сензорно да детектираат промени ги прави да бидат паметни.

Паметните материјали може да ги евидентираат грешките и пукнатините и затоа се многу корисна алатка за дијагностика кај конструкциите. Примената на овие материјали е широка, особено во аероиндустријата, производството, медицината, градежните системи итн.

8.1 КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПАМЕТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Паметните материјали се применети како актуатори и сензори, тие може да се стимулираат од надвор за да се иницира соодветна реакција и да бидат контролирани. Во табела 8.1 е дадена релацијата стимулација-реакција, кај паметните материјали.

Неодамна направениот прогес кај овие материјали за дистрибуирани актуатори и сензори придонесе за поголем интерес кај паметните структури. Кога паметните материјали се поврзани или вградени кај конвенционалните структури, тие структури добиваат детектирачки, оперативни и процесни или контролни особини, кои во суштина се основните активни карактеристики кај паметните структури.

Паметните структури може да детектираат надворешни грешки и да одговорат на нив, со активна контрола во реално време за да ги постигнат моменталните побарувања. Ова значи дека може да детектираат промена на температура, притисок, деформација, да ја дијагностицираат природата и големината на проблемот, да започнат со соодветна активност за да се реши проблемот, а, исто така, да ја складираат таа информација за процесот во меморија и да научат да ги користат истите активности при следно појавување на проблемот.

Ова укажува на тоа дека во еден паметен систем има повеќе вградени компоненти за детектирање и пренос на податоци, приемник на податоци, управувачка и контролна единица, единица за делегирање инструкции и уред за извршување.

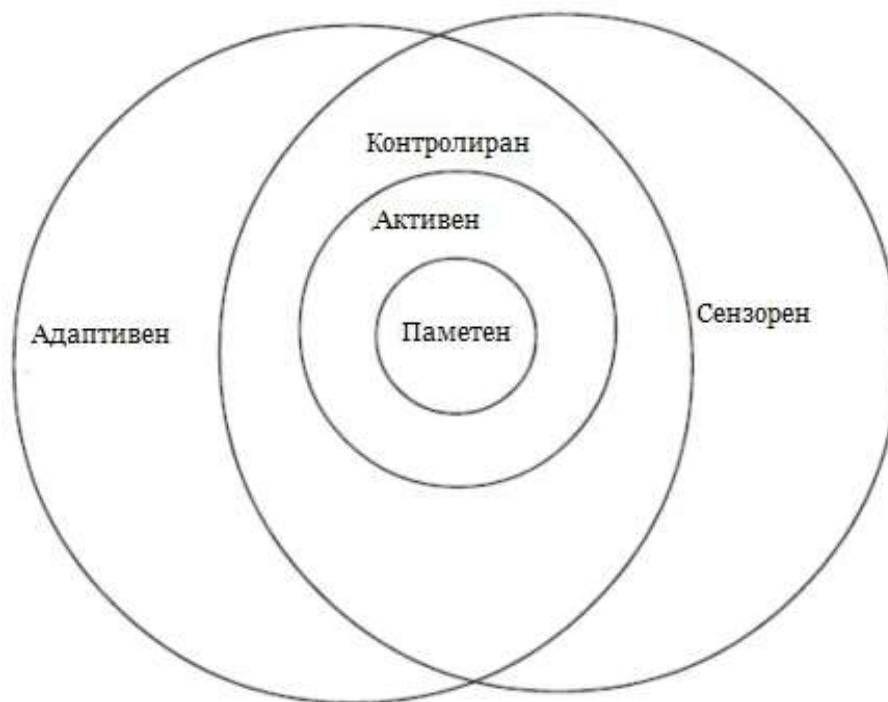
Паметните материјали се класифицираат во две категории: активни и пасивни.

- **Активните материјали** се оние кои имаат капацитет да ја модифицираат својата геометрија или материјалните особини под дејство на електрични, термички и магнетни полиња, со капацитет да спроведуваат енергија.
- **Пасивните** се спротивни на активните и не може да спроведуваат енергија. Оптичките влакна се добар пример за пасивни паметни материјали. Тие се сензори, но не и актуатори и трансдуктори.

Паметните структури може да се класифицираат според нивото на софистицираност, како што е прикажано на слика бр. 8.1.

Сензорната структура содржи сензори, но не и актуатори (оператор) за мониторинг на состојбата на структурата. Адаптивната структура нема сензори, но има актуатори кои активираат промени на системот контролирано. Контролирана структура резултира од комбинација на сензорни и адаптивни структури во кои и двата сензора и актуатори се интегрирани во затворен систем со цел активно да се контролира состојбата на системот.

Активна структура е контролирана структура која содржи интегрирани сензори и актуатори кои ги исполнуваат и структурните и контролните функции. Паметна структура е активна структура која има интегрирано висококонтролна логика и електроника како додаток на актуаторите и сензорите.



Слика бр.8.1 Општ шематски приказ на категоризација на паметните структури

Постојат повеќе типови на паметни материјали:

- 1.Пиезоелектрични;
- 2.Електростриктивни;

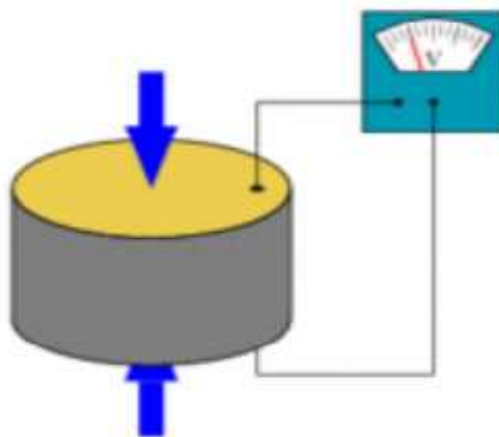
- 3.Магнетностриктивни;
- 4.Реолошки;
- 5.Термички-респонсивни;
- 6.Електрохромни;
- 7.Фулерентни;
- 8.Биомиметни;
- 9.Паметни гелови;
- 10.pH-осетливи материјали.

Табела 8.1. Актуатори и сензори – класа на паметни материјали

	Класа на материјал	Стимулатор	Реакција
Сензори	Пиезоелектрични	Промена на Т	Електрична поларизација
	Пиезоелектрични	Механичко ϵ	Електрична поларизација
	Електростриктивни	Механичко ϵ	Електрична поларизација
	Магнетностриктивни	Механичко ϵ	Промена на магнетното поле
	Електроактивни полимери	Механичко ϵ	Електрична поларизација
	Електролуминесцентни	Електрично поле	Емисија на светлина
	Фотолуминесцентни	Инцидентно светло	Емисија на светлина
	Електрохромни	Електрично поле	Промена на боја
Актуатори	Пиезоелектрични	Електрична струја	Механичко ϵ
	Електростриктивни	Електрична струја	Механичко ϵ
	Магнетностриктивни	Магнетно поле	Механичко ϵ
	Легури со мемориран облик	Промена на Т	Механичко ϵ
	Електроактивни полимери	Електрично поле	Механичко ϵ
	Електрореолошки флуиди	Електрично поле	Промена на вискозност
	Магнетнореолошки флуид	Промена на Т	Промена на вискозност

Паметните материјали може да се поделат на материјали кои директно или индиректно се спојуваат. Пиезоелектричните материјали, легуриите со мемориран облик, магнетностриктивните керамики и магнетните легури со мемориран облик се активни материјали кои се со директно врзување. Ова значи дека или механичкото или немеханичкото поле може да служи како влез, додека другото ќе биде излез.

Спротивно на активните материјали, материјалите како што се електрореолошкиот флуид и магнетнореолошкиот флуид, промена во електричното поле или магнетното поле може индиректно да се врзе со механичкото однесување преку промена на вискозноста на флуидот. На слика бр. 8.2 е даден приказ на пиезоелектричен филм и шематски приказ на пиезоелектрична керамика.



Слика бр.8.2 Пиезоелектричен филм и керамика

Пиезоелектрични материјали. Способноста на материјалите (кристали и керамики) да произведуваат електричен потенцијал како одговор на нанесено механичко оптоварување се нарекува пиезоелектричност. Многу природни и синтетички материјали имаат пиезоелектрични особини, кои може да се класифицираат на: природни кристали, течни кристали, некристални, текстури и синтетички пиезоелектрични материјали (види табела 8.2). При тоа, треба да се укаже на тоа дека сировите синтетички материјали се изотропни и непиезоелектрични, тие стануваат анизотропни и пиезоелектрични по нанесување на високи електрични полиња на повишена температура.

Пиезоелектричните материјали произведуваат електричен напон кога се под дејство на оптоварување, а исто така кога врз нив ќе се нанесе електричен полнеж или промена на напонот, пиезоелектричниот материјал ќе покаже механичка промена. Овие настани се нарекуваат директни и обратни ефекти. Конструкциите направени од паметни материјали се така дизајнирани да може да се свиткуваат, да се шират или собираат кога се под дејство на напон. Такви се: оптички уреди, магнетни глави,

печатачи, тастатури на компјутери, високофреквентни звучници, микрофони, сензори на притисок итн. Моќностите за примена на пиезоелектричните производи сè уште се во подем, се чини дека важни технички примени се во иднина загарантирани.

Табела 8.2. Пиезоелектрични материјали

Природни кристали	Кварц, Рошел сол, амониум фосфат итн.
Некристални	Стакло, гума, парафин итн.
Текстури	Коски, дрва итн.
Синтетички пиезоелектрични материјали	Пиезокерамики, Кристални, пиезоелектрични полимери

Електростриктивни материјали. Ги имаат истите особини како пиезоелектричните материјали, но механичката промена е пропорционална на квадрат од електричното поле. Овие карактеристики ќе предизвикуваат секогаш поместување во иста насока (слика бр.8.3).



Слика бр.8.3 Електростриктивни материјали кај светилка

Магнетостриктивни материјали. Под дејство на магнетно поле овие материјали подлежат на промени и предизвикуваат механичка деформација, па може да се користат како сензори или актуатори. Овие материјали се состојат од мали феромагнети. Феромагнетите се од железо, никел или кобалт и имаат мали магнетни моменти како резултат на нивните 3Д школки кои не се комплетно полни со електрони. Исто како и легурата на никел и титаниум, овие материјали може да се користат за активно пригушување на вибрации.

pH-осетливи материјали. Овие материјали ја менуваат бојата при промена на киселост. Ова може да најде примена кај боите за да се детектира корозија.

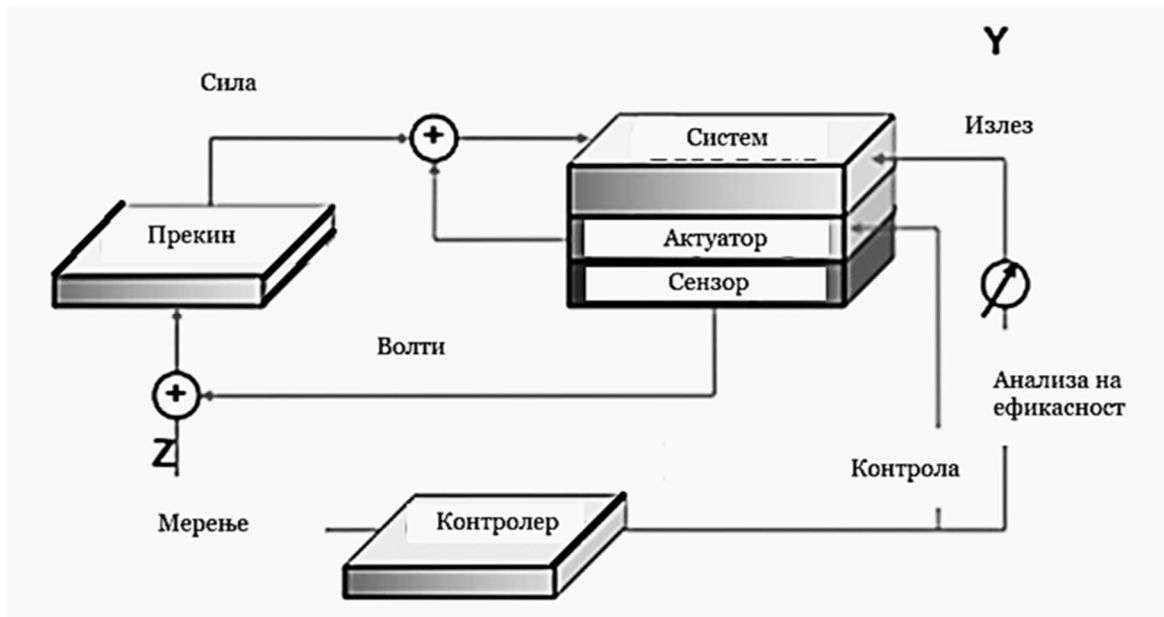
Реолошки материјали. Тие се во течна фаза и може да имаат веднаш промена

со примена на електрично или магнетно полнење. Се користат кај кочници, апсорбери на шок и издув кај автомобилите.

Општо, овие материјали може да ја менуваат нивната физичка состојба многу брзо како реакција на одреден стимулатор. Тие реагираат кога им е нанесено електрично или магнетно поле. Материјалот секогаш се менува од течна во цврста состојба и обратно. Доколку реагира на електрично поле се нарекуваат уште и електрореолошка течност, а кога се под дејство на магнетно поле магнетно-реолошка течност. За разлика од електрореолошките, овие работат во присуство на нечистотии и се потребни само мали напони за да бидат стимулирани. На слика бр. 8.4 е даден шематски приказ на паметен систем.

Термички-респонсивни материјали. Термо-респонсивен е оној материјал кој може да ги менува особените како реакција на промените во температурата. Такви материјали се **легурите кои го памеат својот облик (легури со мемориран облик)** или **полимерите со мемориран облик**. На различни температури може да имаат различен облик, може да се деформираат и да се вратат во првобитниот облик кога се изложени на температура. Таква легура е легурата на титаниум и никел, нитинол, која е отпорна на корозија, како и нерѓосувачкиот челик.

Оваа легура најде голема примена во биомеханиката. Тие се корисни кај термостатите, стентовите, деловите во автомобилите и воздухопловството. Полимерите со мемориран облик по изложување на температура се враќаат во првобитниот облик. Се користат како биоразградливи хируршки структури кои ќе го обезбедат потребното затегнување и кај самопоправливи каросерии на возила кои си го враќаат обликот при постепено загревање на владбатиот дел од удар.



Слика бр.8.4 Паметен систем

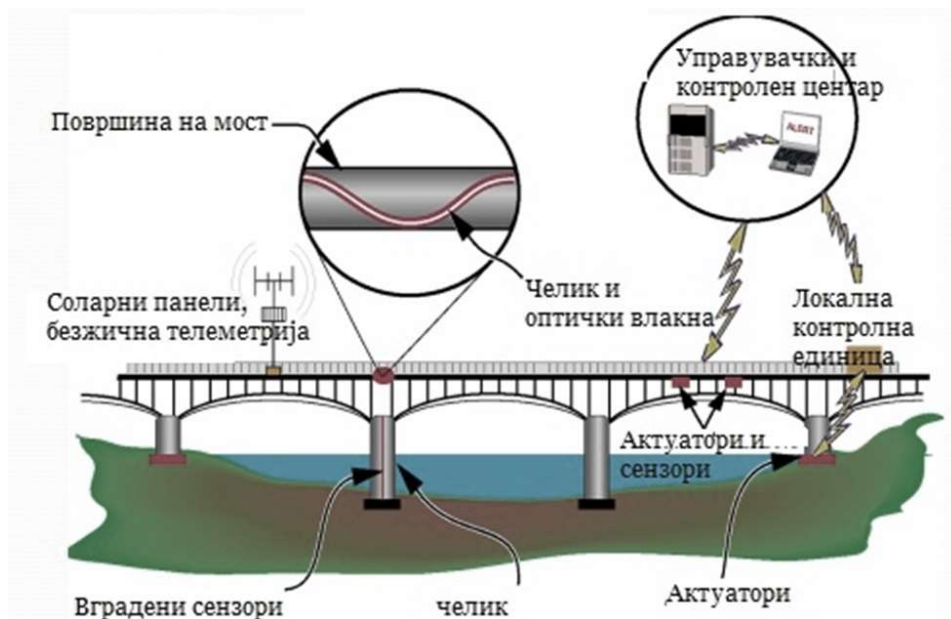
Електрохромни материјали. Хромогените системи ја менуваат бојата кога се под дејство на електрични, оптички или термички промени. Електрохромност е способноста на материјалот да ги менува неговите оптички особини кога е под дејство

на напон. Тие се применуваат кај LCD (течни – L, кристални – C, екран –D) и катодата кај литиумските батерии. Различни типови на материјали и структури може да се користат за да се конструираат електрохромни материјали. Електрохромните екрани се базираат на кој било материјал кој ја менува бојата во зависност од нанесениот потенцијал. Фотохромните слично реагираат на светлината. Кога се изложени на јака светлина потемнуваат.

Фулерентни материјали. Тие се сферично затворени молекули со атом на јаглерод во кошовите на полихедрална структура која се состои од пентагони и хексагони. Вообичаено се користат кај полимерните матрици кои се применуваат кај паметните системи. Се применуваат во електронските и микроелектронските уреди. Овие се произведуваат преку празнење на лак помеѓу јаглеродни електроди во инертна атмосфера.

Овие материјали се дизајнирани да ги имитираат биолошките системи во поголема или помала мера. Биомиметиката веќе е наука во подем. Биолошките структури имаат неколку карактеристики: чувство, актуација, адаптивност, самопоправање, самореплицирање и репродукција. Колку повеќе се застапени овие особини, толку материјалот е попаметен. На слика бр. 8.5 е даден пример за примена на паметен системи кај мостовите, а на слика бр. 8.6 е дадена примена на електрохромен материјал кај воздухопловите.

Паметен гел. Гелот е цврст во облик на желе со особини кои се од меки и слаби до тврди и жилави. Геловите се дефинираат како супстенцијално дилутни напречно-врзани системи, кои немаат проток кога се во стабилна фаза. Повеќето се течни, но се однесуваат како цврсти поради тродимензионалниот напречно врзан систем во течноста. Тоа е, всушност, причината зошто течноста станува гел и придонесува кон адхезивното лепење. Тие се молекуларна дисперзија на течност во цврсто тело, во кое течните партикули се дисперзирани во цврстиот медиум. Хидрогелот може да се собере и прошири поради мали промени на температурата или pH вредноста.



Слика бр.8.5 Примена на паметни системи кај мостовите



Слика бр.8.6 Примена на електрохромни материјали кај прозорци од авион

8.2 МЕХАНИЗАМ НА ТРАНСФОРМАЦИЈА НА ПАМЕТНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ

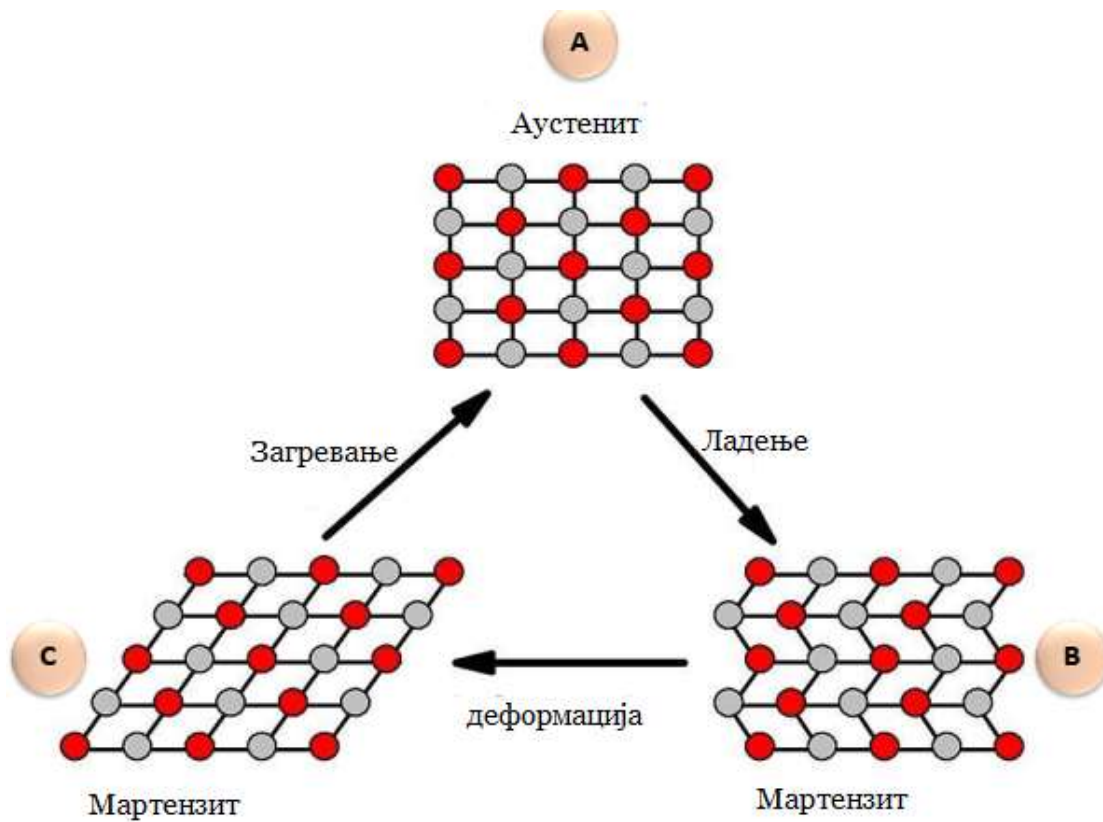
Паметните материјали постојат во две стабилни фази на различни температури. Аустенитна фаза која е на висока температура и мартензитна фаза која се појавува на ниска температура. На одредена температура паметниот материјал ќе остане во својата термодинамичка стабилна фаза, но кога температурата ќе се промени, трансформација настанува на овие две фази.

Поради овој механизам на трансформација, паметните материјали може да имаат специјални особини, како што се ефектот на мемориран облик и супереластичност. На слика бр.8.7 е прикажана оваа трансформација кај нитинол. Кај оваа легура со мемориран облик редоследот на атомите кога се лади е од лево кон десно. Исто така, може да се забележи дека распределбата е близначно-мартензитна (редовите на атомите наликуваат на близнаци во огледало од тука и името на фазата и дислокацијата).

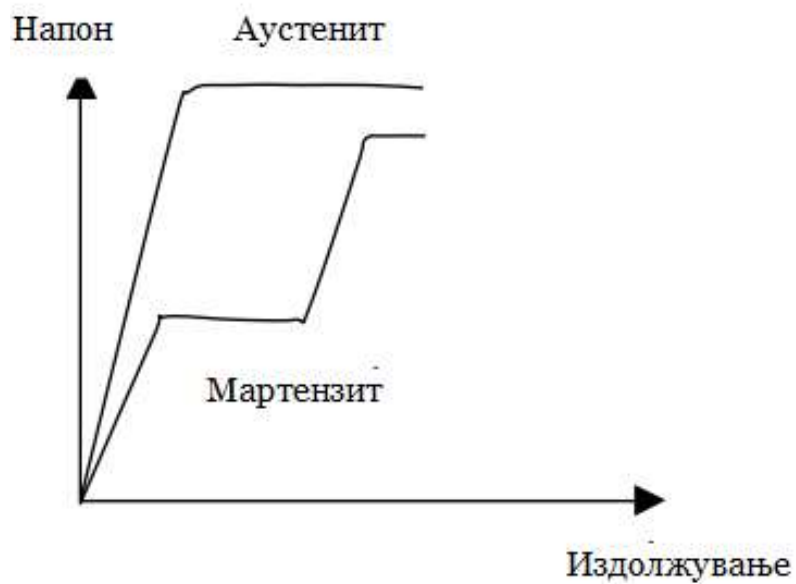
Процесот на повторно преориентирање на атомите по извршената деформација се вика неблизначна состојба на мартензит. Значи, кога паметниот материјал е во мартензитна фаза, со појава на близначење во зрната, е под дејство на надворешно оптоварување и се претвора во близначен мартензит со променета ориентација, при тоа нема промена на температурата. Кога се зголемува температурата на оваа структура, овој близначен мартензит се претвора во аустенит. Аустенитот ќе се врати во првобитниот мартензит со дислокација на близначење кога температурата ќе се намали.

Кога се разгледува напон – издолжување кривата на паметните материјали фазите на мартензит и аустенит се однесуваат поинаку.

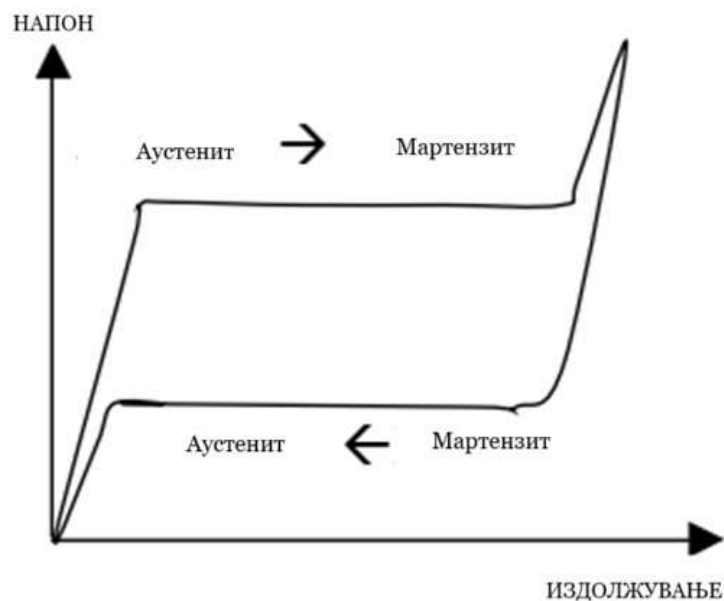
На слика бр.8.8 може да се види дијаграмот на паметниот материјал во двете фази, на слика бр.8.9 е прикажана кривата напон – издолжување при промена на фазите кај супереластичните паметни материјали кога се под дејство на оптоварување.



Слика бр.8.7 Циклус на загревање и ладење кај нитинолна кристална структура



Слика бр.8.8 Напон – издолжување во две фази



Слика бр.8.9 Супереластично однесување

Прикажана е промената од аустенитна во мартензитна состојба и обратно. Оваа особина може да се користи за рехабилитација на испукан бетон. Супереластичниот паметен материјал се употребува за зајакнување, има висок енергетски капацитет преку повторливи фазни трансформации и одлични заморни особини и отпорност на корозија.

8.3 ПРИМЕНА НА ПАМЕТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Паметните материјали се употребуваат комерцијално и во индустријата. Примената во инженерството може да се подели во две групи како: сензори и сензорни уреди; и мотори и актуатори.

Се применуваат во нашето секојдневие, мехатрониката, како оптички влакна, актуатори, сензори, микроелектро механички системи, контрола на вибрација, контрола на звук, контрола на облик, здравје на производ или набљудување на векот на производот, мониторинг на лек, активна и пасивна контрола, самопоправање, вештачки органи, дизајнирани магенти, пригушување на аероеластичност и распределба на напон.

Се среќаваат кај вселенските системи, фиксни и ротирачки крила кај авионите, градежни конструкции, машински алати, рекреативни и медицински уреди.

Се применуваат во медицината (уреди во педијатрија), градежното инженерство (згради, автопати, мостови), автомобилската индустрија (кочници, апсорбери на шокови, паметни автомобили и камиони) и дијагностика на кожа. Се применуваат за паметни површини и паметни вакуум-чистачи. Основните особини на паметните материјали, вклучувајќи ги супереластичните и легурите со мемориран облик, наоѓаат примена во: авиони, ортопедска хирургија, забни протези, роботика, намалување на

вибрациите кај хеликоптерските перки, паметни штофови, спортска опрема, паметни стакла, сеизмичка рехабилитација на мостови, поправка и зајакнување на бетонските структури.

Паметните системи, исто така, ја осеќаат околината и одговараат на неа, но се изработени од повеќе материјали. Тие може да бидат конструирани со традиционална технологија, во која се внесени паметните материјали. Пејсмејкерите се паметни системи за да реагираат на неправилното работење на срцето со електричен импулс кој го регулира.

Паметните материјали се следната генерација која има потенцијал да влијае на различни области. Технологијата е интердисциплинарна и е во подем. Конструкциите, како што се: згради, мостови, цевни системи, бродови, авиони, треба да бидат така дизајнирани и редовно испитани за да се спречи истрошување или дефект кој ќе ја загрози правилната работа. Со овие материјали може да се намалат трошоците за одржување и да се зголеми нивниот век. Сензорите веќе широко се применуваат кај многу мостови во светот. Способноста сами да се репарираат може да биде важна особина за средини под вода и во вселената.

Паметните материјали и нивната технологија нудат многу поволности и во нуклеарната индустрија за подобрување на сигурноста, личната изложеност на радијација и подобрување на работењето.

Во конструктивното инженерство паметните материјали се користат за мониторинг на градежните инженерски конструкции за да се процени нивната издржливост. Тие може да детектираат и да се адаптираат на средината каде што се наоѓаат, на тој начин што се придвижуваат, вибрираат итн. Паметните структури се развиваат за да го набљудуваат структурниот интегритет на авионите и леталата во вселената.

Во биомедицината и медицинската дијагностика сè уште се во фаза на испитување. Способноста за биоразградливост на овие материјали може да ги направи корисни за доставување лек. Биосензорите направени од паметни материјали може да го надгледуваат нивото на шеќер кај дијабетичарите и да комуницираат со пумпа која ќе го вбригува инсулинот по потреба. Човечкото тело ги уништува овие сензори, па се прават напори за да се заштитат од оваа средина на примена. Се произведуваат ортопедски помагала и импланти кои може да осетат дали коските зараснуваат. При замена на зглобови кога се лабави или доколку постои инфекција. Други примени ги вклучуваат кај болестите како што се артритис и дегенерација најчесто кај постарата популација, овие системи може да ги направат прехранбените производи полесно да се отвораат и да се надгледува болниот за да се осигура неговото здравје.

Прашања:

- 1.Што се паметни материјали?
- 2.Како се класифицираат паметните материјали?
- 3.Кои се активни, а кои пасивни материјали?
- 4.Нацртај и објасни ја категоризацијата на паметните структури.
- 5.Накратко објасни за пиезоелектрични паметни материјали.
- 6.Накратко објасни за електростриктивни материјали.
- 7.Накратко објасни за магнетостриктивни материјали.
- 8.Накратко објасни за реолошки материјали.
- 9.Накратко објасни за термички-респонсивни материјали.

- 10.Накратко објасни за електрохромни материјали.
- 11.Накратко објасни за фулерентни материјали.
- 12.Накратко објасни за паметни гелови.
- 13.Колку фази постојат кај паметните материјали и што се случува кога се затоплуваат и ладат?
- 14.Објасни ги кривите напон –издолжување во две фази.
- 15.Каде се применуваат паметните материјали во инженерството?
- 16.Наброј неколку примени во медицината, авиоинженерството, авиоиндустријата, конструктивното инженерство.

Литература

- Sagar P.Hubbali., Mahadev N, Harkude, Praveen D. Jadev, A review on introduction, classification and applications of smart materials, international journal of management, technology and engineering, Volum 8, 2018
- Susmita Kamila, Introduction, classification and applications of smart materials: an overview, American journal of applied sciences 10 (8):876-880, 2013
- V.K.Wadhawan, Smart structures and materials, Researchgate 2005
- Ghareeb N.,Farhat M.,Smart materials and structures: State of the art and applications, Nanotechnology and Applications, 2018
- H.S.Tzou, H.J.Lee, S.M.Arnold, Smart materials, precision sensors/actuators, smart structures and structronic systems
- C.S.Cai,Wenjie Wu,Suren Chen, George Voyiadjis, Applications of smart materials in structural engineering, Department of Civil engineering, Louisiana State University,2003
- S.E.Prasad, A.Ahmad, T.A.Wheat, The role of smart materials and structures in robotics
- Parihar A.A, Kajal D. Khandagle, Pallavi P.Jivrag, Smart materials, Journal of mechanical and civil engineering, Volume 13, issue 5, 2016

Ниту еден дел од оваа публикација не смее да биде репродуциран на било кој начин без претходна писмена согласност на авторот

Е-издание: https://www.ukim.edu.mk/e-izdanija/MAF/Sovremeni-materijali_Voved-vo-modernite-inzhenerski-materijali.pdf



Елисавета Дончева е вонреден професор на Машински факултет – Скопје при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“. Нејзиното поле на научен интерес е: заварување, заварливост на метали, современи инженерски материјали, површински третман, нумеричко моделирање, иновации во проектирање на конструкции, спојување на нежелезни материјали.