

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 302/2013

Катарина Р. Гаровић

**Примена композитних полимера у „Металац“
Горњи Милановац**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф.др Богдан Недић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање, систематизацију и приказ података везаних за примену, карактеристике и добијање полимерних композита, са посебним акцентом на полимерне композите са графитом. У посебном делу рада кандидат треба да се упозна са полимерним композитима који се користе у “МЕТАЛАЦ” Горњи Милановац. Такође, у складу са могућностима потребно је извршити експериментална испитивања узорака добијених од коришћених полимерних композита али са различитим уделима графитних прахова.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Увода разматрања,
2. Карактеристике и примена полимерних композита,
3. Добијање полимерних композита,
4. Полимерни композити са графитом
5. Полимерни композити примењени у “МЕТАЛАЦ” Горњи Милановац,
6. Експериментална испитивања
7. Закључак,
8. Литература.

Препоручена литература:

[1] Томислав Филетин, Гојко Марић: „Поступци производње композита“, Факултет стројства и бродоградње у Загребу, Загреб 2013.

[2] Еми Говорчин Бајсић: „Полимерне мешавине“, Факултет хемијског инжењерства и технологије у Загребу, Загреб 2012.

[3] Марица Иванковић: „Полимерни нанокомпозити“, Факултет хемијског инжењерства и технологије у Загребу, Загреб 2007.

Крагујевац, 29.05.2015

ментор:

Проф.др Богдан Недић

Резиме:

У оквиру рада извршено је прикупљање и систематизација података о композитним полимерима, такође су дате и неке од основних карактеристика композитних полимера као и примена истих. Посебно су објашњени композитни полимери са графитом (графитним прахом). Такође је дат опис пуниоца и додатака који се примењују у предузећу „МЕТАЛАЦ“, све у циљу израде узорака са што бољим карактеристикама и својствима. На крају рада дати су примери узорака који су добијени од коришћених полимерних композита, са различитим уделом графита.

Кључне речи:

Полимерни композити, графитни прах, матрица, влакна, Granmatrix.

Summary:

As part of the work carried out the collection and systematization of data on composite polymers are also given and some of the basic characteristics of composite polymers and their application. Especially explained composite polymers with graphite (graphite powder). It gives a description of fillers and additives which are used in the company "METALAC", in order to create patterns with even better characteristics and properties. At the end of the paper are examples of samples that are obtained from used polymer composites containing different proportions of graphite.

Keywords:

Polymer composites, graphite powder, matrix, fibers, Granmatrix.

Садржај

1	УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
2	ПРИМЕНА, КАРАКТЕРИСТИКЕ И ДОБИЈАЊЕ КОМПОЗИТНИХ ПОЛИМЕРА	5
2.1	Примена композитних материјала.....	6
2.2	Карактеристике композитних полимера	8
2.3	Употреба арамидних влакана.....	15
2.4	Структурни композити	20
2.5	Утицај технологије на физичко - механичка својства ламината	20
2.6	Полимерне мешавине	22
2.7	Разлог за мешање полимера и поступци	23
2.8	Компатибилизација	24
2.9	Добијање композитних материјала	24
2.9.1	Добијање композитних материјала са металном основом.....	24
	Поступци у чврстом стању (Solid State Processing)	25
	Високотемпературна синтеза (SPS Self-Propagating Synthesis)	25
	Металургија праха (PM Powder Metallurgy)	25
	Ливење гњечењем (Squeeze Casting)	26
	Брзо очвршћавање (RSP Rapid-Solidification Processing)	26
2.10	Добијање композитних материјала	27
2.10.1	Добијање композита са полимерном основом	27
	Намотавање (Filament Winding).....	27
	Ливење.....	28
	RTM поступак (RTM Resin Transfer Moulding)	29
	Пултрудирање (вучење-екструзија)	29
	Други процеси убризгавања (SCRIMP, RIFT, VARM).....	30
3	ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ СА ГРАФИТОМ	32
3.1	Полимерни композити са графитним прахом	32
3.1.1	Структура графита	33

3.1.2	Графит за суво подмазивање	34
3.2	Полимерни композити са угљеничним влакнима	35
3.2.1	Подела композита на основу ојачивача	36
3.2.2	Угљенична влакна.....	38
3.3	Пример композита са прахом - Графитне четкице	41
3.3.1	Основне димензије четкице	41
3.3.2	Врх четкице	42
3.3.3	Клизна површина четкице.....	45
3.3.4	Облици четкица.....	45
4	ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ ПРИМЕЊЕНИ У ПРЕДУЗЕЋУ „МЕТАЛАЦ“	46
4.1	Особине Granmatrix-a:	48
4.2	Примена Grammatrix-a:	49
4.3	Одржавање:	50
4.4	Пуниоци	50
4.5	Додаци	54
5	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ.....	55
6	ЗАКЉУЧАК	72

1 УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Данас се у свету велика пажња посвећује развоју нових материјала и технологија њихове обраде, са циљем постизања бољег квалитета и што ниже цене производа. Један од тако развијених материјала су и **композитни материјали**.

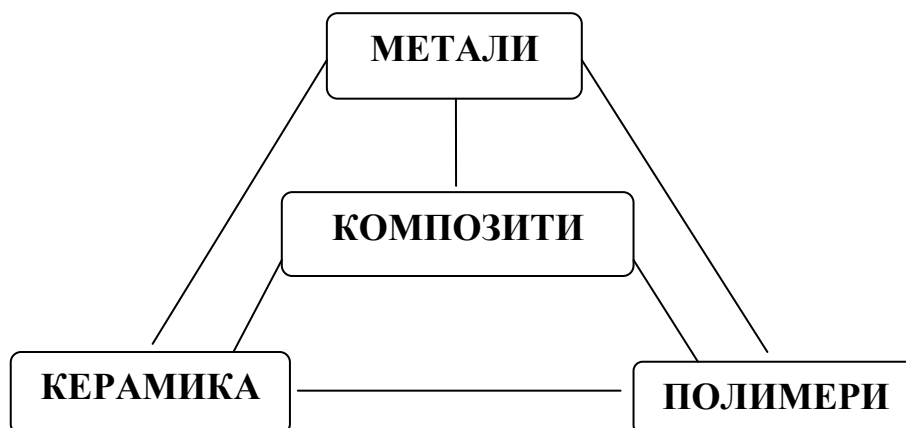
Инжењери пројектују и производе различите предмете са одговарајућим употребним вредностима од тзв. техничких материјала. Зависно од намене предмета, коришћени технички материјали морају имати одговарајућу чврстоћу, добра изолациона својства или својства добре проводности топлоте и електрицитета, да генеришу магнетно поље, да апсорбују или рефлектују светлост, спрече продор нуклеарног зрачења, да егзистирају у неприродном окружењу у условима експлоатације, а да при томе не угрожавају природну средину или коштају превише.

У односу на „традиционалне“ материјале композити поседују бројне предности:

- отпорност на корозију,
- мала густина и мала маса,
- повољан однос чврстоће и густине,
- повољан однос модула еластичности и густине,
- могућност производње делова сложеног облика,
- дужи век трајања,
- могућност „дизајнирања“.

Историјски посматрано, развој и просперитет људског друштва био је уско повезан са способношћу човека да произведе и преради материјале како би задовољио своје потребе. [1]

На слици 1. приказан је однос композитних и класичних материјала.



Слика 1. Однос композитних и класичних материјала [1]

Композит је обликован производ састављен од композитног материјала, одговарајућим технолошким поступцима (ливењем, истискивањем и др).

Композитни материјал је чврст материјал који настаје комбинацијом два или више хемијски различитих крутих али једноставних материјала. Један од њих представља најчешће ојачавајућу фазу и налази се у мањој количини, док је други материјал основни и чини матрицу која је мекша и служи за постизање стабилности ојачавајуће фазе.

Компоненте се међусобно не мешају нити растварају, тако да се унутар композита јасно разликују две или више фазе.

Једна фаза се назива **матрица, основа или везиво (Matrix – енг.)** она окружује и држи заједно групе влакана.

Остале фазе у композитима се називају побољшивачи и њихов задатак је да побољшавају физичке и хемијске особине. Побољшивачи који пре свега појачавају механичке особине називају се ојачивачи (честице, влакна).

Карактеристике ојачивача су да обезбеђују композиту:

- велику чврстоћу и тврдоћу,
- велику еластичност, крутост и др.

Композити су нашли своје место у свету и стекли су свој удео на тржишту.

Предности примене композитних материјала свODE се на уштеди, укупне масе производа али и на перформансе. У употреби са другим материјалима полимерни

композити имају малу тежину и велику чврстоћу (делови направљени нпр. од угљеничних влакана су око 5 пута чвршћи од оних који су направљени од челика, али су и јефтинији), стабилност облика, постојаност према атмосферским утицајима, хемијску постојаност, постојаност према топлоти и др.

У том смислу, њихова примена омогућава значајне уштеде у трошковима инвестиционог одржавања. Композитни материјали доносе и уштеде у смислу трошкова производње, јер омогућавају лакшу обраду, а самим тим и мању потрошњу енергије. Постоје природни композити међу материјалима који су присутни у природи. Кост је природна мешавина калцијумових влакана који су спојени заједно у природној матрици.

Још 1500 година п.н.е Египћани су користили мешавину сламе и глине као материјал за производњу цигле. Проналазак цемента омогућава израду најпре обичног (неармираног) бетона, (честице песка и камена повезане цементом), касније армираног (ојачаног челичним жицама, сајлама) бетона, што су композитни материјали (и данас) у масовној примени. [1]

Иако су композитни материјали били познати у различитим облицима током историје човечанства, историја модерних композита је почела 1937, када су трговци из фирме „Овенс Корнинг фиберглас“ (Owens Corning Fiberglass Company) почели да продају фиберглас заинтересованим у САД. Фиберглас (Fiberglass али и fibreglass, у смислу савитљиво стаклено влакно, често се користи и израз „стаклопластика“) је пронађен готово случајно 1930. Почетни производ од ових фино извучених влакана истопљеног стакла је у облику плоча за изолацију (стаклена вуна), али ускоро следи и производња и продаја конструкционих елемената.

Продавци фибергласа су схватили да је ваздухопловна индустрија вероватни купац за ову нову врсту материјала, јер су настајале многе мале и енергичне авиокомпаније. Изгледало је да стварање нових авиона и иновативних концепата у њиховој производњи готово свакодневне, а многе од ових иновација захтевају нове материјале.

Једна од таквих компанија, Даглас Еркафт (Douglas Aircraft), купује прве ролне фибергласа испоручене на западној обали, јер су веровали да ће им фиберглас помоћи да реше проблеме у производњи. Они су имали уско грло у изради металних калупа за њихов процес извлачења лима (који су назвали формирање хидропресама). За промену дизајна сваког авиона потребни су нови облици у металним калупима што је скуп и дуготрајан поступак.

Дагласови инжењери су покушали са применом пластичних калупа, али они нису могли да издрже оптерећења процеса ковања. Размишљали су да ако пластичне калупе ојачају стакленим влакнима, тако да буду довољно јаки да произведу бар неколико делова, да се тако може брзо потврдити нови дизајн. Ако би се делови показали прихватљиви (употребљиви), онда би се могао израдити метални калуп за пуни производни циклус. У сарадњи са фирмом „Овенс Корнинг фиберглас“, убрзо је извршена примена новог фиберглас материјала и фенолних смола (смола доступна само у то време). Потпуни

успех. Ојачана пластика убрзо постаје стандард за израду прототипних делова.

Многи од алата (сита и решетке), за формирање и одржавање делова и склопова авиона треба да буду јаки, танки и тачног облика (често са сложеним кривинама). Метал није могао лако да испуни све ове критеријуме и тако фибергласом ојачани феноли постају жељени материјал за многе од тих производних алата авионских апликација.

Не дуго после тога, незасићене полиестерске смоле постају доступне (патентирано 1936. године) и на крају (иако не одмах, због релативне лакоће у производњи ове смоле у односу на фенолне), настала је група смола. Пероксид производни системи су већ доступни, бензол пероксид је патентиран 1927, лауроил пероксид 1937, као и многи други пероксиди одмах после тога. Боље перформансе система смола постају доступне са проналаском епоксидне смоле 1938. године.

У оквиру овог рада извршена је анализа композитних полимера, у другом поглављу је детаљно описана примена, основне карактеристике као и добијање композитних полимера.

У трећем поглављу дат је опис полимерних композита са графитом, описана је структура графита као и његова примена. Такође у оквиру овог поглавља су описани композитни полимери са угљеничним влакним, дата је подела композита на основу ојачивача. Поред тога, дат је опис графитних четкица и неке основне карактеристике истих.

Четврто поглавље садржи опис полимерних композита који се примењују у предузећу „Металац“, особине Granmatrix-а, примена, одржавање, поред тога описани су састојци који се користе као пуниоци и додаци приликом израде узорака.

Пето поглавље обухвата опис експерименталног истраживања, примене узорака, њихов састав, као и детаљна објашњења за сваки узорак појединачно.

На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

2 ПРИМЕНА, КАРАКТЕРИСТИКЕ И ДОБИЈАЊЕ КОМПОЗИТНИХ ПОЛИМЕРА

Побољшане особине композитних материјала пружају могућност њихове широке примене. Последњих деценија направљено је мноштво нових композитних материјала са изузетно корисним особинама. Пажљивим избором материјала, ојачивача, матрице и производног процеса којим се они спајају, могу се добити композити са својствима потребним за специјалне примене и као такви користе се у:

- аутомобилској индустрији,
- авионској (конструкциони делови путничких авиона, једрилице, куполе, усмеривачи ваздуха, вертикални стабилизатори, кракови елисе хеликоптера, пропелери и тд),
- свемирској индустрији (стартне ракете, резервоари, млазнице),
- грађевинарству (бетон, малтер, цигле, блокови, пунила, лепкови, унутрашњи зидови, врата, намештај, каде итд),
- спорту – спортска опрема (одећа, обућа, подлоге),
- електронској индустрији (електрична изолација делова, изолација од утицаја електромагнетних таласа, подлоге склопки, кућишта, поклопци, сателитске антене, радарске антене, куполе, канали за каблове),
- машинству (зупчаници, лежачеви, заштитни поклопци, кућишта редуктора, дизалице, руке робота, цеви, боце за компримовани гас, цеви за морске платформе),
- бродоградњи (бродови за спасавање, патролни бродови, рибарски бродови, опрема за искрцавање),
- медицини (вештачке кости, вештачки залиски срца итд),
- војној индустрији – за израду оружја (рукохвати, кућишта, рамови, нишани, ракетни лансери), средстава заштите (заштитне маске, наочаре, оклопи, шлемови итд),
- железници (чеони делови локомотива, конструкциони делови, вагони, врата, седишта и унутрашње преграде путничких вагона, кућишта вентилатора итд).

2.1 Примена композитних материјала

Композити метал - керамика, или угљеник – угљеник су погодни за примену у **медицини**, јер су биокompatibilни, отпорни на корозију, хемијски инертни и добро подносе напрезање и истезање. Они се користе за израду вештачких импанта, попут срчаних зализака, кукова, импланта колена итд. [1]

Срчани залиски се праве од пиролитичког карбона, а кукови од карбон - полимер или карбон – карбон композита. Додатна предност је то што при уградњи карбон – карбон кукова није потребна употреба цементног везива. Карбон - полимер композитни материјали служе и за плоче за остеосинтезу, којима се делови костију причвршћавају један за други.

Механичке особине композита морају одговарати костима, чиме се спречава деградација костију до које често долази када се користе металне плоче. Осим тога, композитна плоча може трајно да остане у организму, јер после неког времена ткиво обраста око ње.

Аутомобилска индустрија, као једна од најзначајнијих великосеријских производних система, све више се ослања на композитне материјале, чак и на местима која су била резервисана за примену високолегираних и издржљивих металних материјала.

Просечан аутомобил има уобичајено велики број делова: делове електроинсталације, разне клизне лежајеве, плоче на кочницама, унутрашње облоге, седишта, пресвлаке, који су направљени од композитних материјала, слика 2.



Слика 2. Приказ путничког аутомобила направљен од композитних материјала [1]

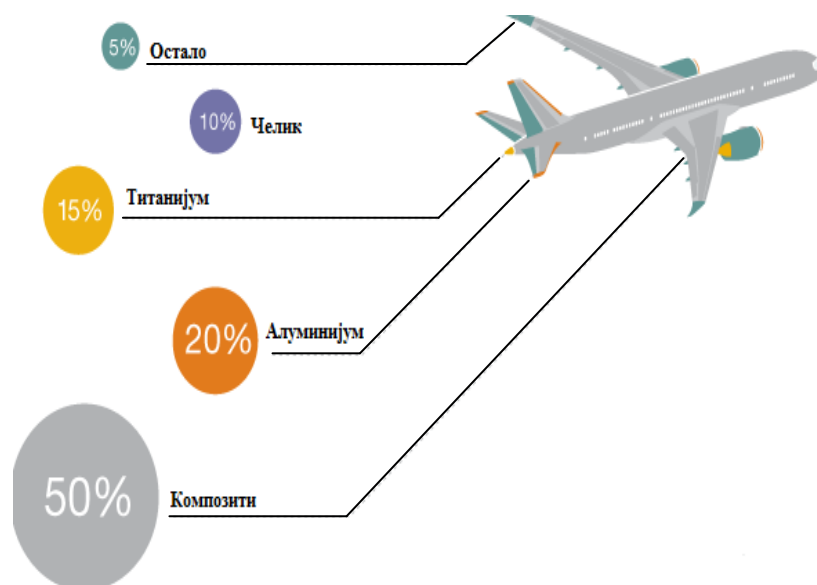
Такође треба истаћи да се од композита граде делови каросерије, комплетне каросерије, кочиони дискови, кочионе облоге, делови мотора, волани, браници, решетке хладњака, вратила трансмисије, резервоари за плин, шасије итд.

Примена композитних материјала у **ваздухопловству** условљена је ниском густином, високом чврстоћом и крутошћу с' обзиром на густину као и одличним физичким својствима.

Употребом композитних материјала у изради авионских конструкција значајно се може смањити тежина авиона и тиме остварити мања потрошња горива. Следећа предност композита је њихова могућност обликовања у производе сложених облика чиме се смањује не само број позиција израде неког склопа, већ и потреба за спајањем и причвршћивањем. Уз мањи број позиција скраћује се време потребно за монтажу, али се смањује и број потенцијално опасних места иницирања пукотине.

У односу на конвенционалне конструкцијске материјале композити су мање осетљиви на појаву различитих облика оштећења што доприноси њиховој трајности.

Спољашњи делови авиона се праве од арамид - алуминијум композита који поседује необичну комбинацију јачине, крутости, отпорности на корозију и мале тежине. Уз то је побољшана отпорност на замор.



Слика 3. Места употребе композитних материјала у савременим путничким авионима (Извор Боинг 737) [1]

2.2 Карактеристике композитних полимера

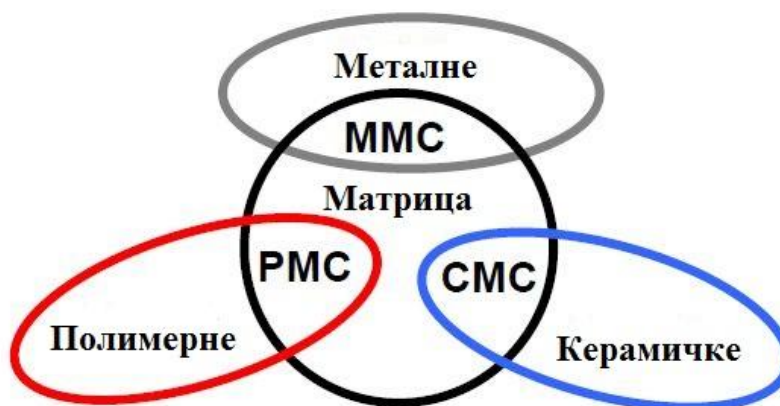
Својства композита одређена су својствима основних компонената, њиховим садржајем, врстом и оријентацијом ојачања.

Главне карактеристике композита су:

- велика чврстоћа,
- мала вредност густине,
- ниска топлотна и електрична проводљивост,
- висока специфична крутост,
- велика отпорност на корозију,
- висока постојаност на хемијски утицај,
- висок коефицијент термичког ширења и др.

Као што је већ напоменуто, композити се према основи (матрици) деле на:

- металне,
- полимерне и
- керамичке.



Слика 4. Групе композитних материјала [1]

Од њихових особина, заступљености, расподеле и везивања зависиће својства новонасталог материјала. Све композите карактеришу неке заједничке одлике које их чине посебним и издвајају од других материјала: велика крутост – могу бити јачи од челика, мала густина и маса, отпорност на корозију и високе температуре, могућност обраде и обликовања у сложене облике, издрживост и постојаност.

Табела 1. Механичка својства неких материјала матрице.

Врста матрице Matrix	Густина	Истежање	Затезна чврстоћа	Модул еластичности	Модул смицања
	ρ [g/cm ³]	ϵ [%]	Rm [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Полиестер	1.5	5	90	4.5	2
Винил естер	1.15	5	90	4	-
Бизмалемид	1.32	6.6	78	3.6	1.8
Полиимид	1.89	3	120	4.9	-
Полиестер имид	1.27	60	105	3	-
Полиамид имид	1.40	12-18	95-185	5	-
PPS	1.34	3	70-75	3.3	-
Полиетеретеретон	1.32	150	92-100	-	-
Полисулфон (PS)	1.24	50-100	70-75	2.5	-
Полипропилен (PP)	0.90	300	25-38	1-1.4	-
Поликарбонат (PC)	1.20	50-100	45-70	2.4	-
Алуминијум	2.70	-	200	70	-
Ti-6Al-4V	4.5	-	1000	110	-
Боросиликатно стакло	2.3	-	100	60	-
MgO	3.60	-	97-130	210-300	-
Al ₂ O ₃	4.00	-	250-300	360-400	-
SiC	3.20	-	310	400-440	-
Епокси смоле	1.40	8.5	130	6	2.2

Металне матрице - Ови материјали су изграђени од једног или више металних елемената, а могу садржати и поједине неметалне елементе (C, N, O). Метали имају кристалну структуру у којој су атоми међусобно распоређени у простору, градећи кристалне решетке. Метали поседују изузетно добру електричну и топлотну проводљивост, имају способност да загревањем отпуштају електроне, не пропуштају светлост, имају релативно добру чврстоћу и пластичност на собној температури.

Као материјали матрице могу се користити разни метали попут суперлегура на бази никла и кобалта, титанових легура као и лаквих магнезијумових и алуминијумских легура посебно погодних у ваздухопловству.

Ојачавањем металне матрице ојачалима у облику честица, континуалних и дисконтинуалних влакана мењају се својства матрице и оно што је веома важно повећава се специфична чврстоћа и специфична крутост. [3]

Материјали континуалних влакнастих ојачивача могу бити угљеник, силицијум карбид, бор, алуминијум и тврди метали, док се као материјали дисконтинуалних влакана користе угљеник и алуминијум.

Значајна предност металних композита у односу на полимерне је могућност њихове примене при знатно вишим радним температурама. Међутим, ови композити су значајно скупљи од полимерних, па је њихова употреба прилично ограничена.

Прерада композита са металном матрицом се састоји од најмање два корака. Први корак представља сједињавање, (нпр. уградња ојачивача у матрицу), а други је обликовање. У ту сврху развијене су многе методе од којих су неке прилично софистициране, док се нпр. метални композити са дисконтинуираним влакнима обликују уобичајеним поступцима као што су ковање, ваљање и екструдирање.

Полимерне матрице - Већина полимерних материјала састоји се од органских једињења која садрже угљеник, водоник и друге неметалне елементе. Структура полимерних материјала је некристална, мада неки од њих могу имати комбиновану – некристалну и кристалну структуру. Састоје се од полимерне смоле као матрице и ојачивача углавном у облику влакана. Садрже релативно чврста, крута влакна у дуктилној и жилавој полимерној смоли. Врло чести композити стакленог и угљеничног ојачања садрже крута и чврста, али крта влакна уграђена у полимерну матрицу, која није углавном ни крута ни чврста.

Кад је реч о полимерима, они се деле у две велике групе:

- дуромере и
- пластомере.

Дуромери при загревању стварају и реверзибилне хемијске везе међу полимерним ланцима који су међусобно снажно умрежени. При поновном загревању они не мењају стање, већ остају крути све док се под деловањем високе температуре потпуно не разграде. Ово указује и на велики проблем при њиховој примени, који је данас све важнији. Није их могуће рециклирати размекшавањем матрице већ само механички уситнити чиме се добијају ситне грануле које у себи садрже и влакна и матрицу.

Дуромери су полимери који се најчешће користе у производњи композита због релативно ниже цене, ниских производних температура, ниске вискозности при производњи и доброг квашења влакана.

За разлику од њих, **пластомери** имају својство да се при хлађењу стврдњавају, али се при поновом загревању размекшавају па их је могуће поновно обликовати. Ово омогућује поправљање делова који су израђени од ових композита, као и њихово делимично рециклирање. Код пластомера је могућа одређена кристаличност, док су дуомери искључиво аморфни. Кристаличност је узрокована усмереношћу ланаца. Они делови полимера (или они полимери) који су кристалични имају већу густину, али и боља механичка својства и отпорност утицају растварача (што је узрокована смањеном молекуларном активношћу, односно већом уређеношћу молекула).

Керамичке матрице - Керамички материјали су неорганска једињења метала и неметала. Структура керамичких материјала може да буде кристална и комбинована, кристално – некристална. Керамички материјали су веома тврди, крти, поседују велику чврстоћу на високим температурама, отпорни су на хемијске утицаје, отпорни су на хабање, имају веома ниску електричну и топлотну проводљивост. Обично је једна фаза матрица континуирана и окружује остале. [1]

Керамика је опште позната као материјал који задржава добру механичку отпорност при високим температурама, док је њен основни недостатак склоност кртом лому због изразито ниске ломне жилавости у односу на метале што се покушава превазићи развојем савремених керамичких композита. Уградњом честица или вискера једног керамичког материјала у матрицу од друге врсте керамике ломна жилавост се може повећати и до 10 пута. То се постиже међуделовањем припадајуће пукотине и ојачивача при чему честице или вискери спречавају ширење пукотине.

Опште је познато неколико техника за заустављање или успоравање ширења пукотине. У случају керамичких композита ојачаних честицама цирконијум оксида успоравање је последица напрезања индуковане фазне трансформације честица ZrO_2 у непосредној близини пукотине што резултује појавом напрезања под притиском при чему се пукотина затвара. Код композита ојачаних керамичким вискерима успоравање се заснива на заобљавању врха пукотине, апсорбовању енергије током затезања при чему се вискери одвајају од матрице или долази до прерасподеле напрезања у ивичним подручјима пукотине.

Тако ојачани керамички композити изузетно су отпорни на појаву пузања и топлотне шокове узроковане наглим променама температуре. Композити керамичке матрице производе се поступцима врућег пресовања (НР), врућег изостатичког пресовања (ННР) и синтеровања.

Керамички композити се примењују за механички и триболошки оптерећене делове изложене високим радним температурама ($>1600\text{ }^{\circ}\text{C}$), као што су на пример поједини делови мотора.

Основна улога матрице је да:

- осигура добро повезивање са осталим компонентама,
- формира и осигурава спољашњи облик конструктивног елемента,
- осигура заштиту осталих компоненти од спољашњег утицаја,
- преноси оптерећења на влакна.

У табели 2. Дата су својства материјала матрице.

Својства	Метали	Полимери	Композити
Густина (ML^{-3})	2-16	1-2	2-17
Температура ($^{\circ}C$)	200-3500	70-200	2000-4000
Топлотна проводљивост	висока	ниска	средња
Топлотна издржљивост	средња	висока	ниска
Специфични топлотни капацитет	низак	средњи	висок
Електрична проводљивост	висока	врло ниска	врло ниска
Затезна чврстоћа (МПа)	100-2500	30-300	10-400
Модул еластичности (GPa)	40-400	0.7-3.5	150-450
Тврдоћа	средња	ниска	висока
Отпорност на корозију	средња-слаба	добра-средња	добра

Према врсти ојачала композитни полимери се деле на:

- композити ојачани честицама,
- композити ојачани влакнима:
 - стаклена влакна,
 - угљенична влакна,
 - арамидна влакна,
 - борна влакна и др.
- структурни композити:
 - слојевити композити (ламинати),
 - сендвич конструкције,
- полимерне мешавине.

Композити ојачани честицама садрже матрицу у којој су уграђена ојачала у облику дискретних, једнако распоређених тврдих и кртих честица.

Разликују се композити са великим честицама, композити са дисперзијом, тј. ојачани врло малим честицама (10 до 250 nm), које повећавају чврстоћу успоравањем кретања дислокација у материјалу.

Примери композита ојачаних честицама су:

- бетон (који се може додатно ојачати армирањем),
- абразивне пасте за полирање и др.

Композити ојачани влакнима садрже меканију матрицу у коју су уграђена чврста, крута и крта влакна. Делотворност ојачања највећа је управо у тим композитима. Оптерећења се са матрице преносе на влакна, па су она основни носиоци оптерећења. [7]

Најчешћа је полимерна матрица од незасићених полиестера и винилних естера, за захтевније примене и од епоксидних смола, а ојачава се стакленим, арамидним (заштитни

непробојни материјал), или угљеничним влакнима, композит са полимерном матрицом ојачан стакленим влакнима има у смеру влакана влачну чврстоћу приближно једнаку челику, али је од њега 14 пута лакши.

Метална матрица састоји се од легура алуминијума, магнезијума, титанијума или бакра ојачаних влакнима угљеника, бора, алуминијума или силицијум карбида. Композит са алуминијумском матрицом ојачаном угљеничним влакнима користи се нпр. за израду делова мотора, авиона и свемирских летелица. Керамичка матрица ојачава се керамичким влакнима од силицијум карбида или нитрида, композит се користи за резне алате јер је веома отпоран на прслине.

Угљенична матрица ојачава се угљеничним влакнима, материјал је велике чврстоће и отпоран на високим температурама и налази примену у ракетним моторима и турбинама. Хибридним композитима називају се они којима се јединствена матрица ојачава са више врста влакана.

Стаклена влакна су највише употребљавана ојачала за пластомерне и дуромерне композите.

Главне предности употребе стаклених ојачања су:

- висок степен односа чврстоће/тежине,
- димензијска стабилност,
- постојаност на повишеној температури и корозији,
- добра електрична својства,
- релативно једноставна производња, а самим тим и ниска цена.



Слика 5. Приказ стаклених влакана [17]

Три су најпознатија типа стаклених влакана. Е-стакло је најчешће употребљавано стакло. Има ниску еластичну проводљивост, добру чврстоћу и крутост. Ц-стакло се одликује високом хемијском постојаношћу, али је пуно скупље од Е-стакла и има мању чврстоћу. С - стакло има већи модул еластичности, вишу температурну постојаности, али и изузетно високу цену.

Употреба одговарајуће врсте ојачања зависи по примењеном поступку прераде и захтевима квалитета коначног производа. Тако се континуирани ровинг (благо увијене нити), користи при преради поступком шприцања и пултрудирања (континуирана производња пуних или шупљих бесконачно ојачаних пластичних профила провлачењем смолом импрегнираног струка или стаклених влакана кроз загрејану млазницу, а затим кроз загрејани алат за очвршћивање).

Стаклена влакна, су влакна која су добијена из расторљеног стакла, извлачењем нити и намотавањем на брзоротирајући ваљак или центрифугалним поступком уз дување. Ради се стакло различитих врста и својстава која су последица механичког састава, односно специфичног удела појединих оксида.

Стаклена влакна су чврста, негорива, већином отпорна на хемикалије и добрих изолацијских својстава, али крута и крта. Обично се разврставају према подручју примене.

Текстилна стаклена влакна углавном се раде за разноврстан текстил, а производе се малих дебљина или филаментна (неограничене дебљине). Од влакана малих дебљина производи се предена пређа за ткање и плетење или се таква влакна прерађују у неткане текстиле различитих врста (филтри, стаклена вуна и сл).

Изолацијска стаклена влакна углавном се производе од Е-стакла и Д-стакла и прерађују се у неткане текстиле који се користе у грађевинарству и индустрији, за топлотну и електроизолацију.



Слика 6. Приказ изолацијских стаклених влакана [17]

Стаклена микровлакна врло су фина влакна размера од 10 nm, до 2 μ m. Примењују се за микропорозне мембране и врло захтевне филтрације у хемијској и прехранбеној индустрији, где се уз хемијску и топлотну отпорност, искоришћава њихова велика специфична површина.

Шупља стаклена влакна производе се од С-стакла и ХС-стакла, а у посебну се групу сврставају због специфичних морфолошких својстава. У средњем делу влакана је уздужна шупљина (око 30% површине пресека), па су она лагана, али велике чврстоће

постигнуте специјалном врстом стакла. Примењују се за ојачавање композита за прецизну технику. Посебну групу чине оптичка влакна, биконституијска стаклена влакна грађена од две врсте стакла која имају различите индексе преламања, а у влакну су распоређена тако да чине језгро и омотач. Примењују се у оптичким телекомуникацијама и за специјалне примене.

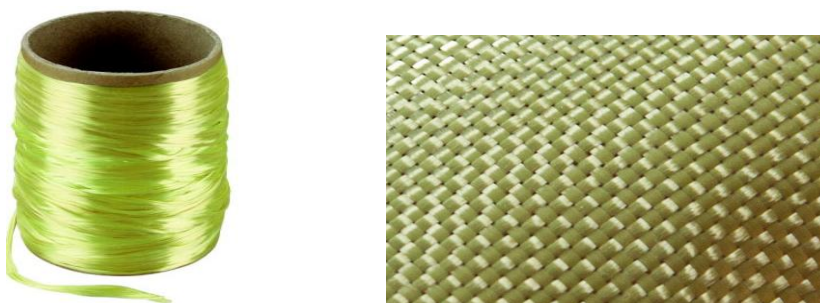
Органска - Арамидна влакна (ароматски полиамиди), су синтетичка влакна која имају ароматске групе, повезане арамидним групама. Висок однос чврстоће и модула еластичности према тежини, висока жилавост, добра диелектрична својства, добра хемијска постојаност као и добра обрада. Пружа арамидним влакнима широке могућности употребе, поседују изванредну отпорност на удар, постојана су у широком температурном опсегу од -196°C до 260°C , не топе се и не скупљају. [8]

Арамидна влакна први пут је комерцијализовала фабрика DuPont, SAD под називом “Кевлар”. Данас се арамидна влакна производе у четири фабрике: Teijin Aramid (Немачка), DuPont (SAD), Kolon Industries (Кореја), Kamenskvolokno (Русија).

Најпознатије органско влакно „Кевлар“ је познатије као арамидно влакно. Арамид (ароматизовани поиаמיד), је синтетички материјал који спада у групу високо ароматизованих полиамида са сређеном унутрашњом структуром. Имају веома високу цену производа.

2.3 Употреба арамидних влакана

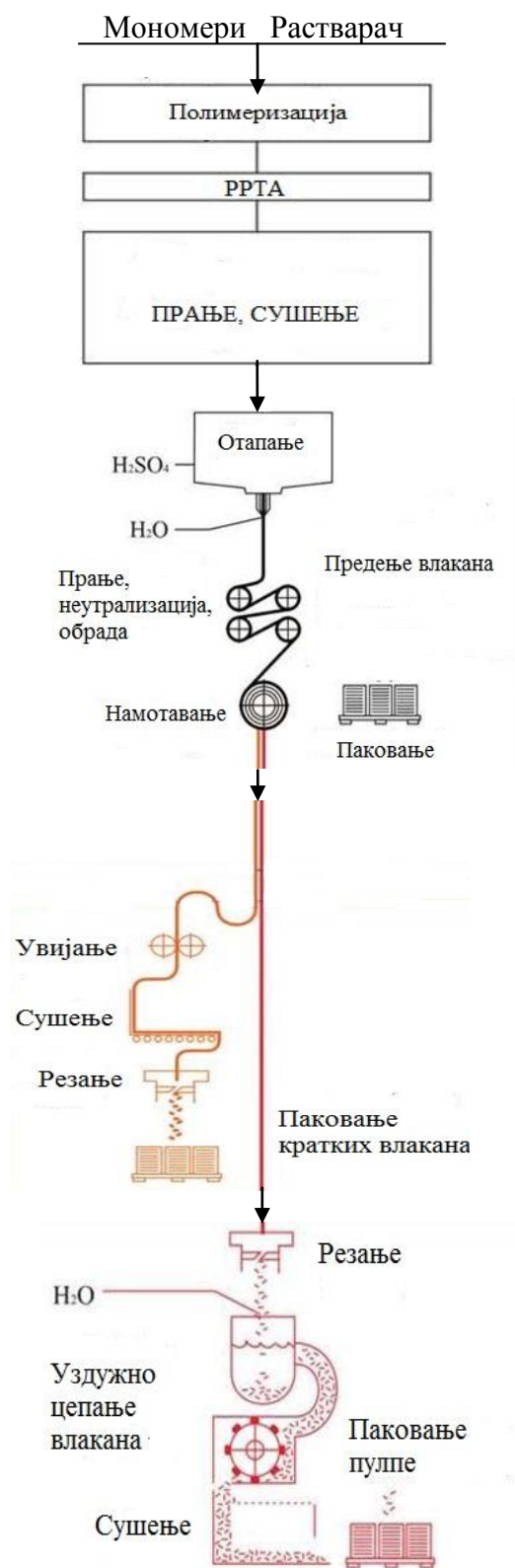
Најчешћи облици арамидних влакана су филаментална влакна, кратка влакна (штапели), и пулпа. Производња наведених врста влакана започиње екструдирањем и предењем континуираних влакана.



Слика 7. Арамидна влакна [7]

Како се у производном процесу за отапање арамида употребљава готово 100% сулфатна киселина, након екструдирања настављају се операције прања и неутрализације влакана па, ако је потребно, додатне обраде којима се модификују одређена својства влакана. Након тога следи намотавање и паковање влакана. [8]

Производња кратких влакана започиње увијањем влакана која се затим третирају средством за завршну обраду. Завршна обрада најчешће укључује и третирање површине влакана за повећање њихових адхезивних својстава. Након сушења увијена влакна режу се на потребну дебљину и пакују. Производња пулпе започиње резањем влакана на потребну дебљину. Кратка влакна затим се подвргавају уздужном цепању у мокром стању. Тако произведена пулпа може се паковати у мокром стању или се може сушити и паковати сува. На слици 8. биће приказан процес производње арамидних влакана.



Слика 8. Процес производње арамидних влакана [8]

Полимеризација – У првој фази мономер се претварају у фини прах. Тај материјал већ поседује топлотну и хемијску постојаност влакна и у таквом стању најчешће се користи као ојачало за различите полимерне материјале.



Слика 9. Приказ праха добијен полимеризацијом [7]

Предење влакана – Друга фаза обухвата отапање полимера. Структура кратких влакана (филамената), је приближна кристалној структури.



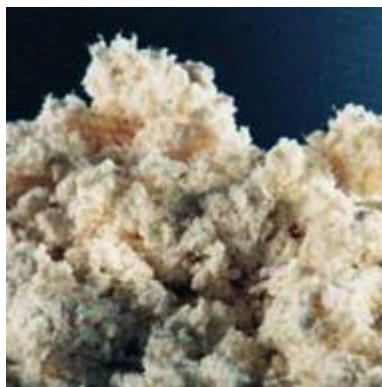
Слика 10. Предење влакана [7]

Производња кратких влакана (штапела) – За производњу кратких влакана, влакна се увијају и врши се завршна обрада. Након сушења влакна се режу на захтевану дебљину, а затим пакују.



Слика 11. Приказ кратких влакана [7]

Производња пулпе – За производњу пулпе, влакна се прво режу, а затим се уздужно цепају. Тако добијена пулпа може се паковати влажна или се може сушити и паковати сува као што је већ напоменуто. Најширу примену арамидна влакна нашла су у индустрији гумених производа. [8]



Слика 12. Приказ пулпе [7]

Борна влакна одлику се великом затезном чврстоћом, имају позитиван коефицијент линеарног ширења (сличан титану). Недостаци су им отежана обрадивост и обликовање, због изразито велике тврдоће. Ово су сама по себи композитна влакна будући да је посебним поступком напаравања бор нанесен на основно угљенично (израђено из смоле) или волфрамово влакно.

Борна влакна имају знатно већи пречник (125-140 μm) у односу на друге врсте влакана (нпр. угљенично влакно је пречника 10 μm). Због врло високе тврдоће бора, ови се композити врло тешко накнадно обрађују (нпр. бушење или резање), што је уз високу цену, главни разлог што су их у ваздухопловним конструкцијама у потпуности истиснули композити са угљеничним влакнима.

Табела 3. Физичко – механичка својства борног влакна.

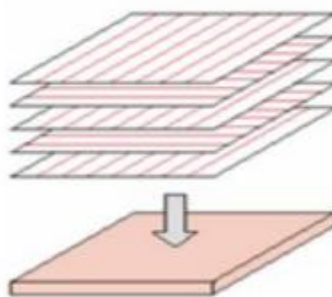
Влакно	Густина ρ	Затезна чврстоћа R_m	Модул еластичности E	Специфична чврстоћа R_m/ρ	Специфични модул E/ρ
Борно	2600	800	385-430	1,18	148

Угљенична или метална влакна понекад се превлаче слојем бора како би се побољшала укупна својства влакана. Због високе цене употреба ових влакана ограничена је на делове са великим топлотним оптерећењима и на спортске производе. Бор у епоксидној матрици има боља механичка својства него било које влакно појединачно.

2.4 Структурни композити

Слојевити композити – ламинати - Основа композитне конструкције је ламинат. Ламинати су структурирани полимерни композити који као ојачање могу користити више врста влакана.

Полимерни ламинати су хемијском реакцијом чврсте и влакнима ојачане епоксидне или полиестерске смоле. Ламеле са различито оријентисаним влакнима ојачала слажу се и лепе међусобно у ламинат уз деловање притиска, као што је приказано на слици 13, где се добија ламинатна структура композита. [6]



Слика 13. Ламинарна структура композита [6]

2.5 Утицај технологије на физичко - механичка својства ламината

За разлику од класичних бродограђевинских материјала (дрво, челик, алуминијум), физичко - механичка својства грађевинских елемената бродова од ојачаног полиестера формирају се током израде (ламинирања) самих грађевинских елемената и зависе од:

- начина ламинирања,
- радионичких услова у којима се врши ламинирање,
- степену обучености радника и организацији рада.

Сендвич конструкције састоје се од танких слојева и лаганог средњег дела који служи за попуњавање. Ни материјал за попуњавање, као ни спољашњи слојеви не морају бити чврсти нити крути, али ће сендвич имати ова својства. Најчешће су спољашњи слојеви направљени од материјала веће чврстоће и крутости, док су материјали за попуњавање најчешће порозни (пенасти), полимери, синтетички каучук итд.

Функције језгра су да раздваја површинске слојеве, па се самим тим супротставља деформисању у смеру вертикалном на раван, да би се осигурала крутост у равнима

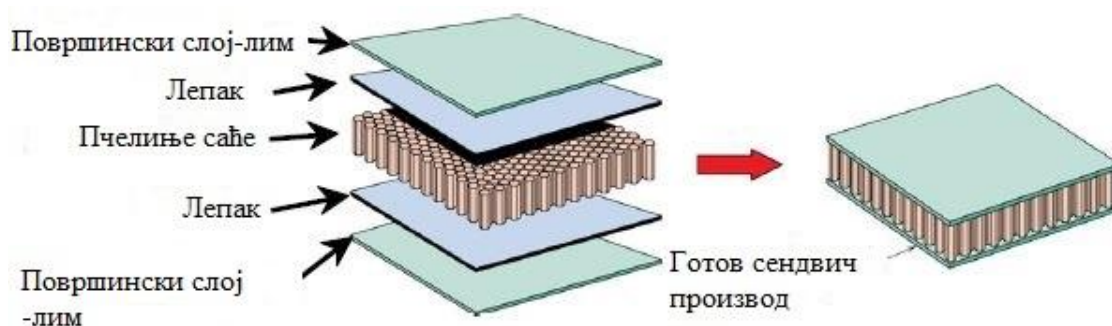
вертикалним на површински слој. Површински слојеви носе оптерећења у смеру равни, а такође и попречна напрезања услед савијања. [6]

У бродоградњи, посебно место заузимају сендвич конструкције на основу полимерних материјала. Предности оваквих конструкција су:

- крутост,
- отпорност на замор,
- жилавост,
- хемијска постојаност итд.

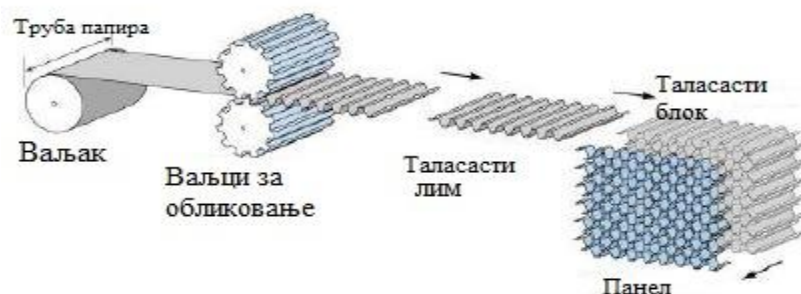
Једна од најбитних предности сендвич конструкција је смањење масе конструкције, а самим тим повећање носивости и смањење потрошње горива брода.

Као пример такође може послужити структура у облику пчелињег саћа која се примењује у авиоиндустрији.



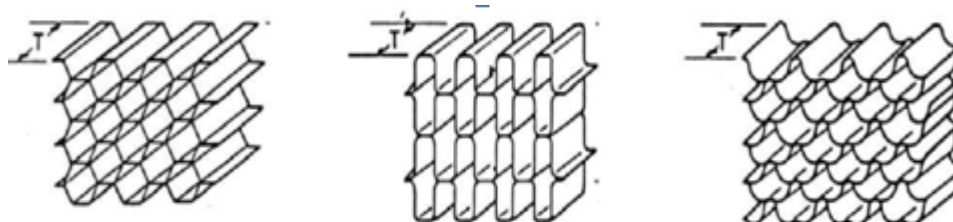
Слика 14. Приказ сендвич панела [6]

Структура у облику сендвича има језгро мале тежине израђеног у облику пчелињег саћа. Лимови се најчешће израђују од алуминијума, а саће од стаклених влакана, арамидних влакана и папира повезаних епокси смолом.



Слика 15. Поступак израде сендвич конструкције [6]

Ваљане алуминијске фолије или лимови обликују се провлачењем кроз профилисане ваљке и тако профилисани међусобно спајају стварајући структуру са шестоугло обликованим ћелијама. Осим хексагоналног облика ћелија могући су и други облици зависно од начина профилисања, слика 16.



Слика 16. Облици језгра алуминијумског композитног сендвича [6]

Језгро мора бити положено тако да је основна ћелија нормална на област површинских слојева да би се постигла крутост у области нормалној на спољни слој. Саћаста језгра се могу израдити и лепљењем танких алуминијумских трака на изолованим (појединачним) местима.

Када се ћелије испуне стакленом вуном или пенастим полиуретаном добијају се облоге за термичку и антивибрациону изолацију.

Примена сендвич конструкција сваким даном је све већа. Сендвич конструкције се највише примењују у авиоиндустрији (оплате крила, трупа, репа, за унутрашње уређење авиона и сл.), у грађевинарству (кровови, подови, преградни зидови итд.), у аутомобилској индустрији као и у бродоградњи.

Испуњен део у сендвич конструкцијама има функцију да раздвоји две спољашње плоче и да спречи деформације које су управне на раван плоче, као и да обезбеди одређен степен чврстоће на смицање, дуж равни које су управне на плоче.

2.6 Полимерне мешавине

Полимерне мешавине се добијају мешањем више компонената у циљу добијања нових материјала што је јефтинији и краћи начин у односу на синтезу нових полимера. Употреба полимера као композита и пластике са додацима износи приближно 29% док је употреба чисте смоле смањена на мање од 50%. Следи развој комплексних вишекомпонентних/вишефазних мешавина, пена и ојачаних полимерних смеша и мешавина. Полимерне мешавине су мешавина два или више полимера или кополимера. [9]

Полимер – полимерни материјали или смола са линеарном, разгранатом или умреженом структуром.

Кополимер – полимерни материјали који могу бити састављени од једне континуиране фазе/матрице и једне или више диспергиране фазе, или једне или више континуираних фаза унутар којих се налази једна или више диспергирана фаза.

С' обзиром на величину честица деле се на микрокомпозите (величина честица од 10^{-8} до 10^{-6}) и макрокомпозите (величина честица $>$ од 10^{-6}).

2.7 Разлог за мешање полимера и поступци

Мешањем два или више полимера, настају полимерне мешавине побољшаних хемијских и физичких својстава. Уопштено су својства полимерних мешавина контролисана својствима компонената тј. морфологијом мешавина и међуделовањима компоненти у мешавинама.

Структура мешавина одређена је могућношћу мешања њених компоненти. Потпуна неумешаност резултује хетерогеном структуром и лошим својствима. Цена полимерних мешавина зависи од цене основних полимерних компонената и међуповршинских модификатора и може се израчунати помоћу израза:

$$C = W_1C_1 + W_2C_2 + W_3C_3 + K$$

Где су W и C масени удео и цена по килограму компоненте, где K представља цену поступка умешавања по килограму мешавине.

Поступци мешања - код поступка мешањем долази до преноса полимерних ланаца насталих на површини у циљу добијања хомогене мешавине. Постигнута хомогеност зависи од природе компонената које се мешају као и од начина мешања. Припрема полимерних мешавина може се постићи: механичким мешањем, отапањем (добијање филма, сушење), полимеризацијом и реактивним мешањем.

Механичко мешање и својства мешања су зависна од брзине и температуре мешања. Хомогена мешавина се може постићи тек након фазе топљења у процесу. [9]

Мешање у раствору је често коришћен поступак припреме полимерних мешавина у лабораторији. Компоненте се топе у одговарајућем растварачу и интензивно мешају. Мешавина се раздваја таложењем или испаравањем растварача. Структура насталих мешавина зависи од састава мешавине, интеракције компонената у мешавини, врсти растварача и начину раздвајања. Предности процеса су брзо мешање, без велике потрошње енергије и могућности избегавања разних хемијских реакција.

Потребно је да су полимери у облику латекса (млечни сок из каучуковог дрвета) или емулзије. Процесом мешања и уклањања воде, добија се одлична дисперзија и раздвајање засебне фазе.

2.8 Компатибилизација

Компатибилизатори смањују енергију активације између полимера у неумешаном полимерном саставу и тиме омогућавају боље повезивање, а самим тим и боља механичка својства. Постоје два основна начина компатибилизације неумешаних полимера, додаток одговарајућег блок или цепаног кополимера и додаток реактивног кополимера.

Додатак кополимера - блок или цепани кополимери са сегментима са могућношћу мешања са појединачним компонентама полимера показују тенденцију локализације на међуфазној површини између немешаних фаза мешавине.

Додатак реактивних кополимера – Ови кополимери настају директно на међуповршини и повећавају адхезију. Реактивна компатибилизација полимера, могућа је и уз помоћ нискомолекулних хемикалија као што су пероксиди (настају као умрежени кополимери) и више функционалне хемикалије, настаје хемијска веза између два основна полимерна ланца при чему настаје блок кополимер – компатибилизатор.

2.9 Добијање композитних материјала

2.9.1 Добијање композитних материјала са металном основом

Поступци добијања композита могу се поделити на примарне и секундарне:

Примарним поступцима композити се добијају синтеровањем од материјала матрице и ојачивача. Ојачивач се уграђује у матрицу на потребним местима и у потребним количинама, при чему се стварају потребне везе.

Секундарни поступци су сви остали поступци за прераду примарног композита у готов производ. У зависности од коначног производа (облика, састава, жељених особина) и примењеног начина производње оба поступка се могу одвијати истовремено.

У општем случају поступак добијања композита зависи од начина инфилтрације фазе ојачивача, као и према врсти и облику фазе ојачивача. Механичке карактеристике, хемијски састав матрице и ојачивача (дебљина и дужина влакана, начин слагања и размештај влакана, величине, облика и распореда честица), одређују избор поступка производње. Потребно је познавање термодинамичких процеса и могућих реакција матрица-ојачивач, радне температуре, ради избора оптималног поступка производње композита. [9]

Многи ојачивачи и матрице нису компатибилни и не могу се прерадити у композите без прилагођавања њихових својстава. Постоје композити где је веза ојачивач-основа слаба и неопходно ју је ојачати. Са друге стране треба избегавати прекомерну активност на међуграници (која може ослабити карактеристике материјала у додиру), посебно код реактивних саставних елемената. Решење се постиже адекватном површинском обрадом, превлаком ојачивача или прилагођавањем састава матрице.

Поступци у чврстом стању (Solid State Processing)

Ови поступци се одвијају при нижим температурама, где постоји могућност боље контроле термодинамичких процеса. Главни поступци за добијање композита у чврстом стању су дифузно спајање материјала у облику танких слојева и синтеровање.

Процеси наношења матрице у којима се материјал матрице наноси на влакно, укључује електрохемијско привлачење, плазма спреј поступак и физичко таложење из гасовите фазе. После процеса наношења одвија се дифузно спајање на повишеној температури и високом притиску. Степен дифузије мора бити ограничен због могућег пораста нежељених кртих фаза на контактної међуповршини.

Један од начина ограничавања дифузије је истискивање слоја влакана и матрице кроз алат. Такође се може применити и топло ваљање, при чему се деформације морају ограничити како би се спречило померање влакана ојачивача и избегла оштећења.

Повишене температуре се користе ради олакшаног течења матрице, али се мора избећи прекомерно загревање које може довести до хемијске реакције влакана. Недостатак ових поступака је што захтевају чисте површине при покушају самог спајања. Неопходно је претходно чишћење самог материјала и одвијање поступка у вакууму.

Високотемпературна синтеза (SPS Self-Propagating Synthesis)

Високотемпературна синтеза топлим пресовањем је релативно јефтин и једноставан процес којим се могу производити композити са малом порозношћу и тродимензионалном структуром између интерметалних слојева и металних матрица. Истовремено дејство притиска и реакције синтезе омогућују смањење порозности произведеног материјала и равномерну расподелу честица у металној матрици.

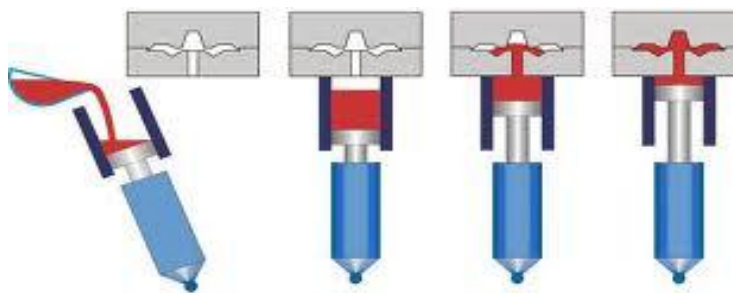
Металургија праха (PM Powder Metallurgy)

Металургијом праха се остварује повезивање праха са честицама, плочицама или вискерима ојачивача. Два (или више), праха се мешају, понекад и уз помоћ везива. Керамичке честице које треба да осигурају високу чврстоћу композита су реда величине 5 μm , док је величина праха легуре матрице (алуминијум или магнезијум), од 20-40 μm . Разлика у величини честица прахова омогућава стварање непрекидне мреже малих керамичких честица око већих зрна матрице.

Стварањем мреже настала порозност се мора поунити растопљеном легуром матрице током попуњавања (топло пресовање). Ако полазни прах лако оксидира, врло фини субмикронски оксиди могу се концентрисати на границама зрна значајно смањујући жилавост изворног материјала. Поступак обухвата: просејавање брзо очврслих честица, спајање честица са фазом или фазама за ојачање са или без везива, очвршћивање смесе ојачивача и матрице на око 75% густине, истискивање гаса и завршно сједињавање истискивањем, ковањем, ваљањем или неком другом топлим обрадом.

Технологијама металургије праха могуће је добити много различитих композитних материјала са металном основом врхунског квалитета. Висока цена производње, ограничава примену ових технологија. [9]

Ливење гњечењем (Squeeze Casting)

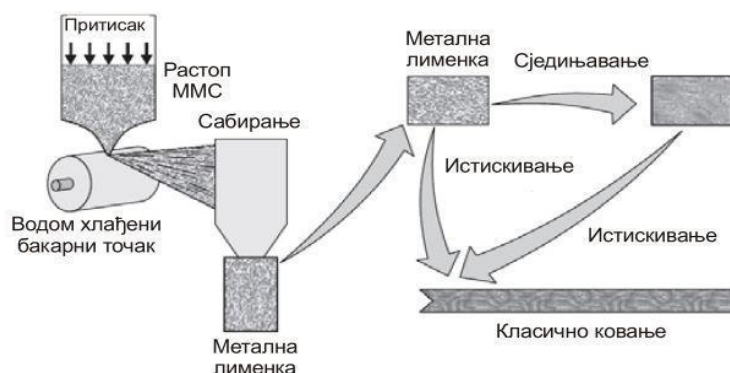


Слика 17. Ливење гњечењем [9]

Ливење гњечењем подразумева утискивање порозне керамичке форме у прегрејан калуп, који ће се касније испунити течним металом. Помоћу притиска течни метал улази у керамичку форму при чему настаје чврст композит. Током овог поступка долази до истовременог очвршћавања основе уз остваривање чврсте граничне површине ојачивач-основа. Предност описаног поступка је у томе што се добија компактан композитни материјал минималне порозности. Поступак смањује утрошак материјала и енергије производећи делове завршне мере (нема даље обраде) и нуди способност селективног ојачавања елемената.

Брзо очвршћавање (RSP Rapid-Solidification Processing)

Код метала осетљивих на пораст зрна (као што је магнезијум), коначна величина зрна понекад је превелика што погоршава механичке карактеристике материјала. Због тога се при развоју низа легура користи поступак брзог очвршћавања за постизање жељене микроструктуре (слика 18).



Слика 18. Поступак брзог очвршћавања [9]

Микроструктура ових легура карактерише се уједначеним саставом, уситњеним микро саставним елементима, високим степеном презасићености и задржаним метастабилним фазама.

Три су начина коришћења брзог очвршћавања у производњи композита:

1. атомизација,
2. добијање трака (meltspun ribbon) и
3. добијање листића (meltspun flake).

Последњи начин је најперспективнији јер довољно велика брзина очвршћавања омогућава добијање листића дебљине 40-60 μ m. Листићи добијени овим начином широки су и дуги 6-8 mm и имају мали однос запремина/површина. Листићи се могу директно сјединити у композитни производ без даље промене величине. Траке захтевају даљу обраду ради смањења (њихове) величине, што може довести до запрљаности и оксидације.

2.10 Добијање композитних материјала

2.10.1 Добијање композита са полимерном основом

Влакнима ојачани композити полимерне матрице могу се произвести различитим методама, од којих су најчешће: намотавање, ливење, РТМ поступак, пултрудирање, напрскавање, ручно полагање (ламинирање), вакуумско спајање.

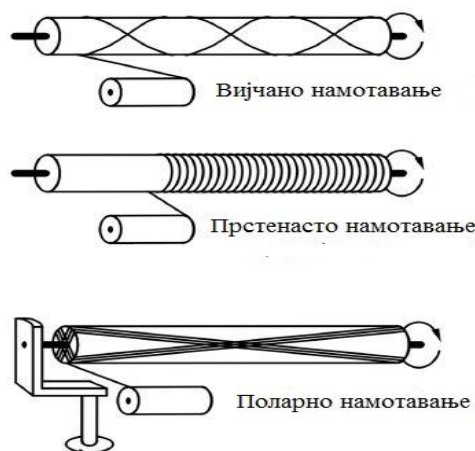
Намотавање (Filament Winding)

Намотавање (engl. Filament Winding) је поступак при којем се континуална влакна која служе као ојачивач намотавају на модел (обично цилиндрични), тако да обликују шупљи део. Влакна се најпре воде кроз течност која садржи смолу, а затим се континуално намотавају на цилиндрични модел, често применом аутоматизоване опреме за намотавање.

Постоји више типова намотавања:

- навртањем,
- прстенасто (ободно) и
- поларно

од којег зависе и механичка својства, (слика 19). Након наношења низа слојева следи отврдњавање у пећи или при собној температури, након чега се модел одстрањује. Као алтернатива могу се намотавати танки слојеви. Намотавањем се постиже врло висок однос чврстоће и густине као и висок степен оријентисаности влакна. Уобичајене намотане конструкције су оплате (кућишта) ракетних мотора, резервоари и др.



Слика 19. Приказ намотавања филамената, прстенастог (ободног) и поларног намотавања [9]

За производњу кружних и овалних делова (цеви, резервоари итд.), влакна се умачу у смолу, а затим се намотавају у различитим облицима и смеровима. Један од главних параметара је брзина облика на којем се влакна намотавају.

Предности:

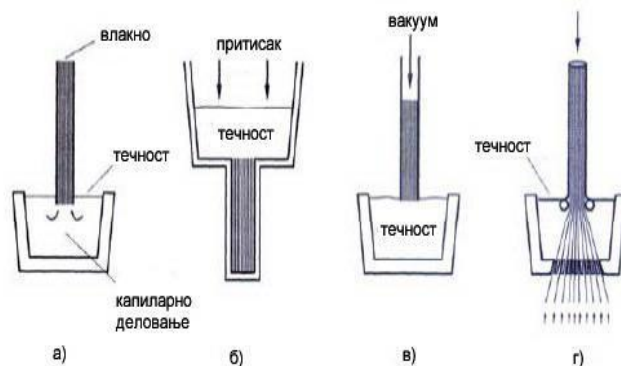
- врло брза и економична метода,
- контрола брзине намотавања,
- може се регулисати удео смоле на влакнима,
- трошкови су мањи због тога што се троше појединачна влакна, а не ткања,
- могу се добити одлична механичка својства композита ако се влакна слажу у смеру деловања оптерећења.

Недостаци:

- облици производа који се добијају су ограничени,
- смештај влакана на различите облике није увек лак,
- немогућност уздужног постављања влакана,
- трошкови дела на коју се намотава могу бити високи у случају израде великих делова,
- спољашња површина производа није увек естетски прихватљива,
- прилично недорађена спољашња површина делова искључиво конвексног облика.

Ливење

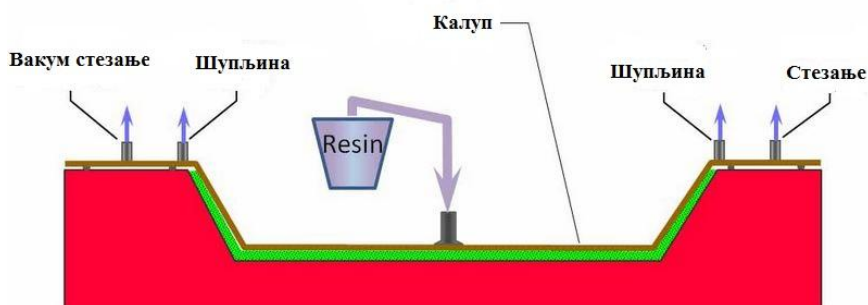
Полимерни композити могу се произвести различитим поступцима ливења. У зависности од начина како се течност полимерне смоле уноси између влакана разликује се капиларно деловање, ливење под притиском, вакуумско инфилтрирање или континуално ливење, (слика 20).



Слика 20. Производња композита ливењем) капиларно деловање, б) ливење под притиском, в) вакуумско инфилтрирање, г) континуално ливење [9]

PTM поступак (RTM Resin Transfer Moulding)

На слици 21. приказан је начин ливења под притиском познат као PTM поступак (engl. Resin Transfer Moulding). Полимерна смола улива се под млазом у калупну шупљину и распоређује око ојачивача, а након полимеризације подстакнуте загревањем, калуп се уклања и добија се производ готовог облика.



Слика 21. PTM поступак [9]

На овај начин могу се лити епоксидне, полиестерске, винилестерске и фенолне смоле, а као ојачивачи користе се разна влакна.

Предности RTM технике су: велики запремински удео ојачивача, ниски садржај ваздуха, добри радни услови као могућност аутоматизације процеса, одличан изглед завршне површине, док су недостаци: веома сложен и велики алат, висока цена алата и ограничење на производе малих димензија.

Пултрудирање (вучење-екструзија)

Пултрудирање се примењује за производњу композитних производа константног попречног пресека (нпр. штапови, цеви, греде итд.). Овим поступком, шематски

приказаним на слици 22, сноп континуалних влакана претходно натопљен дуромерном смолом провлачи се кроз алат одговарајућег облика и након тога следи отврдњавање чиме се добија коначан облик. Уређај за извлачење вуче производ кроз алате и тиме одређује брзину процеса.



Слика 22. Приказ поступака пултрудирања [9]

Применом одговарајућих алата могу се произвести цеви, шупљи елементи или различити производи константног облика. Главни ојачивачи су стаклена, угљенична и арамидна влакна уобичајених односа од 40 до 70 запреминских %. Најчешће се као матрице користе полиестерске, винилестерске и епоксидне смоле.

Предности поступка:

- брз и економичан поступак израде,
- хомоген материјал и својства,
- могућност израде сложених профила.

Мане поступка:

- анизотропност и
- висока цена алата.

Други процеси убризгавања (SCRIMP, RIFT, VARM)

Ткања се полажу у калуп, а на њих се ставља површински покров и плетиво (слика 23). Помоћу вакуум пумпе се уклања зрак, а затим следи убризгавање смоле.

Матрице: епоксидне смоле, полиестери и винил естери. Као ојачања могу послужити све врсте влакана.

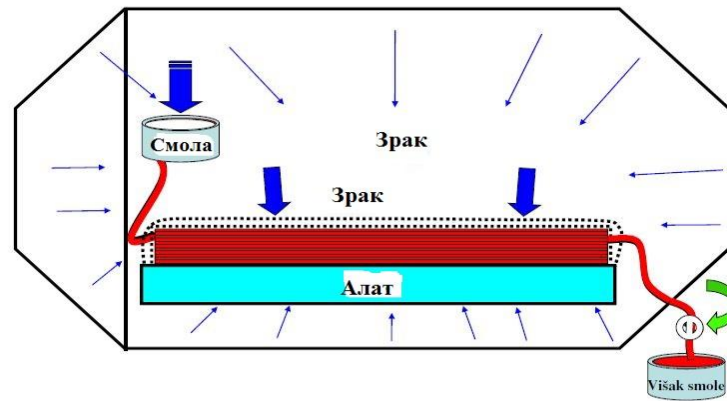
Предности:

- много мањи трошкови израде алата, будући да као горњи део калупа служи покривач из којег се исисава ваздух,
- могућа је производња делова великих димензија,

- могуће је и коришћење алата који се иначе примењују у поступку ручног полагања.

Недостаци:

- извођење процеса је релативно сложено,
- морају се користити смоле мале вискозности,
- могућа је појава локалитета у које није импрегнирана смола (шкарт).



Слика 23. Приказ поступака убризгавања [9]

Плетиво олакшава проток смоле и влажење ојачања.

3 ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ СА ГРАФИТОМ

3.1 Полимерни композити са графитним прахом

Графит или графитни прах је природни облик угљеника, уско је повезан са индустријом челика, где се примењује као подлога за ливачке лонце, такође има велику примену у аутомобилској индустрији где се примењује код кочионих облога, заптивки итд. а поред тога може се примењивати и за суво подмазивање. Одржава стабилност и својства при температури од 3600° C. [13]

У природи се угљеник налази у облику спојева, али и у слободном стању. Угљеник је саставни део биљног и животињског света. У атмосфери се налази као CO₂ и у стенама као карбонат, најчешће калцијума и магнезијума. Особине угљеника представљене су у табели 4.

Табела 4. Особине угљеника

Параметар/Величина	Вредност
Хемијски симбол	C
Атомски број	6
Маса (m)	12,0107
Густина (g/cm ³)	2,267
Тврдоћа (Мосова скала)	1-2

Графит је по саставу мекан и флексибилан, али не поседује својсва еластичности, црне је боје. Потражња за графитним прахом расте за око 5% на годишњем нивоу, што говори да је примена графитног праха веома распрострањена.

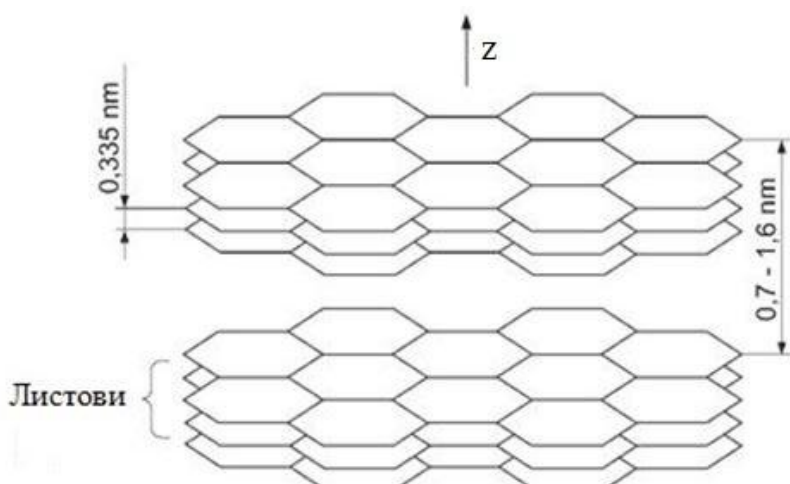


Слика 24. Графитни прах [15]

3.1.1 Структура графита

Графит је алотропска модификација угљеника лиснате макромолекуларне структуре (слика 25). Сваки лист садржи хексагонски поређане атоме угљеника, од којих је сваки повезан са три суседна С-атома ковалентним везама. Размак између суседних листова (или графитних равнина), је $0,335\text{ nm}$, то је око 2,4 пута више од удаљености између суседних угљеникових атома унутар појединачне равнине ($0,142\text{ nm}$).

Између суседних листова постоје слабе Van der Waalsove силе које допуштају одређеним атомима и молекулима да се сместе у међуслојни простор графита повећавајући међуслојни размак.



Слика 25. Структура графита [11]

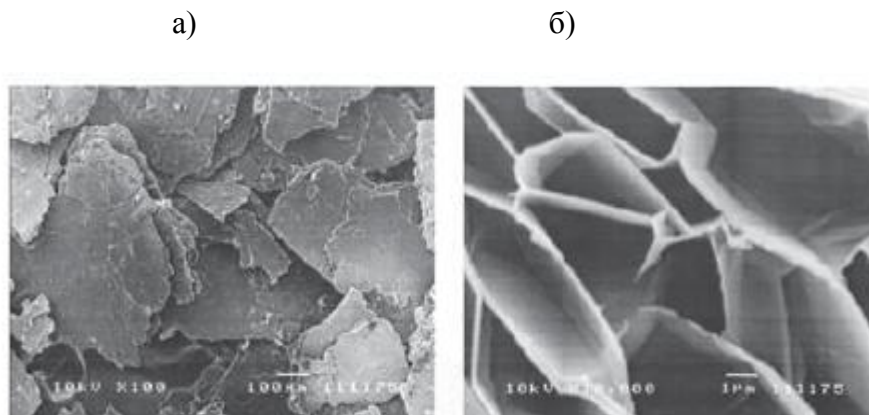
Графит се одликује одличном топлотном и електричном проводношћу, има веома приступачну цену па постаје све примењенији као пуниоц у полимерним композитима. Међутим, графитни слојеви без набоја немају афинитет, али ни простор за интеркалирање хидрофилних или хидрофобних органских молекула или полимера. За разлику од минерала глине, графит није могуће модификовати. Везе између графитних слојева могу се прекинути нпр. јаким оксидацијским средствима, при чему настаје графитни оксид.

Структура графита је задржана и у графитном оксиду, али је његов ароматски карактер делимично изгубљен. Захваљујући функционалним групама уграђеним у угљеничне листове (хидроксилне, карбонилне, епоксидне и др.), графитни оксид је поларан и хидрофилан па се лако интеркалира са полимерима као што је полиетилен-оксид и поливинил-алкохол. [11]

За добијање полимерних композита претежно се примењује експандирани графит добијен наглим загревањем интеркалираних компонената. Природни графит се преводи у

интеркалирани или експандирани графит обично мешањем графита са смесом концентроване сумпорне киселине. Сумпорна киселина делије као интеркаларна компонента. Брзим загревањем долази до испаравања интеркалиране компоненте и наглог пораста притиска, као резултат тога је велико проширење слојева дуж осе Z.

Проширивање графита резултује настајањем многобројних пора различитих величина (од 10 nm до 10 μ m), као што је приказано на слици 26. Међуслојни простори експандираног графита лако се интеркалирају физикалном апсорпцијом.



Слика 26. Приказ а) природног, б) експандираног графита [11]

Потпуно раслојавање графита у полимерној матрици нема прецизно значење и обично не подразумева једнослојне листове, као у случају слојевитих силиката.

Раслојавањем графитних честица (дебљине око 0,4 – 60 μ m), на слојеве дебљине око 1nm добијају се ојачала високог степена. Диспергирањем листова у матрици енормно се повећава гранична површина (2 630 m²/g), која је одлучујућа у побољшању физичких и механичких својстава насталих композита.

3.1.2 Графит за суво подмазивање

Графит представља кристални облик угљеника у коме су атоми груписани хексагонално и у нормалним слојевима. У његовој хексагоналној структури, везе између угљеникових атома у слоју су јаке хемијске кованентне везе, тако да су слојеви јако повезани и кристали су отпорни на савијање или кидање слојева.

Постоје две основне групе графита: природни и синтетички. Природни графит се јавља у великим рудним жилама или у љуспама. Међутим, доста варира у погледу степена кристалности и чистоће. Чистоћа варира од 80 до 90 %, али се рафинацијом може повећати и до 98 %. Синтетички графит је јако кристаличан и веома чист, па садржи у просеку око 98,5 % C. Графит је најпогоднији за подмазивање у нормалним условима,

међутим може да поднесе сталне температуре од 450 °C у атмосфери и да при томе обезбеди ефикасно подмазивање. [11]

Основне карактеристике графита као мазива су:

- мало трење 0,05-0,15 зависно од притиска,
- добра адхезија,
- добра термичка или електрична проводљивост,
- употребљивост на ниским температурама и на температурама до 540 °C,
- лоше перформансе у вакууму или када је веома сув,
- добре перформансе у присуству течности,
- због боје није прихватљив за одређене примене.

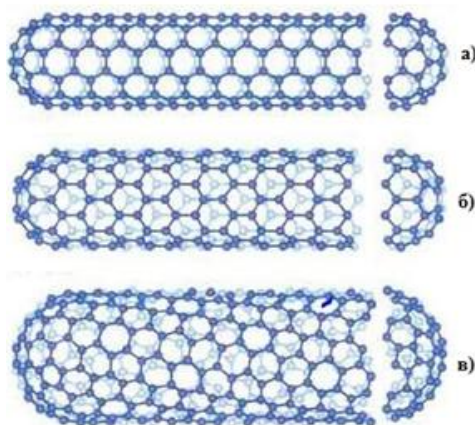
3.2 Полимерни композити са угљеничним влакнима

Полимер ојачан угљеничним влакнима, пластика ојачана угљеничним влакнима или термопластика ојачана угљеничним влакнима је изузетно издржљив и лаган полимер који садржи угљенична влакна.

Полимер ојачан угљеничним влакнима може бити скуп за производњу, али се уобичајено користи кад год је потребан висок однос издржљивости према тежини као и чврстоћи. Користи се у авиоиндустрији, аутомобилској и грађевинској индустрији, производњи спортске опреме, итд.

Везујући полимер је обично смола као што је епокси, али понекад се користе и други термоојачавајући или термопластични полимери као што су полиестер, винил естер или најлон. Композит може да садржи и друга влакна као што су арамиди попут кевлара, алуминијума, полиетилена ултра велике молекуларне тежине, или стаклених влакана.

На својства финалног производа од полимера ојачаног угљеничним влакнима такође може да утиче и врста адитива који се додају у везујућу матрицу (смолу). Најчешћи адитив је силицијум диоксид, али могу да се користе и други адитиви као што су гума или угљеничне наноцеви.



Слика 27. Приказ угљеничних наноцеви различитог пречника а) фотела б) цик-цак в) киралне наноцеви [11]

Три главна поступка добијања угљеничних цевчица су: поступак са електричним луком, ласерским одсецањем и хемијска депозиција из парне фазе (хемијско напаравање). Први и други поступак укључују испаравање угљеника (са графитних електрода) и његову рекомбинацију у наноцеви.

Полимерни материјали ојачани влакнима налазе данас посебно место код композитних материјала због својих изузетно квалитетних својстава. Донедавно су се ти материјали готово већином користили на пољима машинства и електротехнике. Тек задњих неколико година почињу интензивна истраживања и развој на пољу грађевинарства.

Највише се користе за носиве конструкцијске елементе као што су жице, траке, шипке, каблови, затим за плоче, греде, профиле, сендвич-конструкције, стубове, као и за спајање конструкцијских елемената. Своју примену налазе у високоградњи и нискоградњи, и то посебно у градњи нових и санацијама већ изведених конструкција.

3.2.1 Подела композита на основу ојачивача

Основна подела влакана је на:

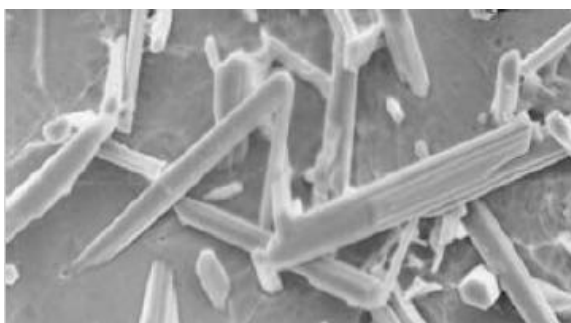
- вискере,
- влакна и
- жице.

Вискери су врло танке нити монокристала са мало неправилности у грађи кристалне решетке. Производе се са димензијама од 0,1 μm до 5 μm и дебљине приближно 5mm. Могуће је пронаћи вискере врло различитих облика и димензија. Могу бити израђени од угљеника (графита), SiC, Al₂O₃.

Ојачавала могу бити распоређена на различите начине. Једносмерно усмеравање континуираних влакана може се применити на израду производа код којих се желе постићи боља механичка својства у једном смеру. На тај начин долазе до изражаја анизотропна својства композита.

Код ортогоналних вишесмерних и кратких случајно усмерених влакана композити имају израженија изотропна својства. Од влакана се могу изградити тканине или траке. Слојеви трака могу се различито усмеравати.

Једносмерна влакна имају оптималну крутост и чврстоћу када је оптерећење паралелно са влакнима. Осим у једном смеру влакна можемо полагати ортогонално или под неким другим углом. [1]

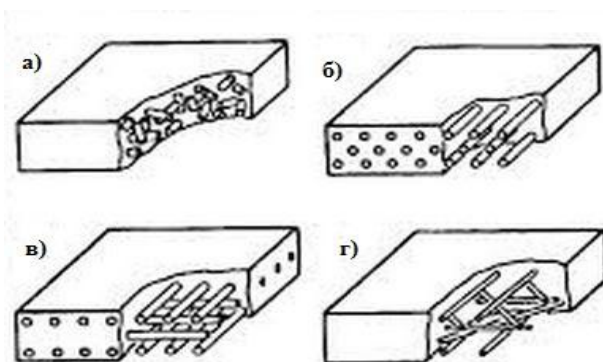


Слика 28. Изглед вискера [1]

Када говоримо о искоришћењу механичких својстава вискера, као једна од основних карактеристика је да цена због скупих поступака производње врло висока. Због тога се развој материјала ојачаних вискерима усмерава за сада само на примену у екстремним условима (нпр. у свемирској и војној технологији).

Влакна као саставни део полимерних композита имају функцију да повећају чврстоћу и крутост материјала матрице у циљу задовољавања одређених конструкцијских захтева. У принципу, влакна као носиоци оптерећења треба да буду што чвршћи и крући. Због тога се за влакна преферирају материјали високе специфичне чврстоће и високе специфичне крутости (специфични модул еластичности).

Влакна могу бити или испрекидана и дискретно распоређена у основи (матрици) или непрекидна и исто усмерена, слика 29.



Слика 29. а) Кратка произвољно оријентисана влакна, б) дуга влакна распоређена у једном правцу, в) дуга влакна у међусобно два управна правца, г) дуга влакна испреплетана-произвољно оријентисана [1]

Зависно од распореда влакана варирају својства композита. У случају континуирано усмерених влакана својства композита могу бити врло анизотропна тако да је у смеру влакана чврстоћа висока, а вертикално на њих значајно нижа. Изотропнија својства срећу се код композита ојачаних случајно усмереним кратким влакнима.

3.2.2 Угљенична влакна

Добијају се процесима оксидације и карбонизације полазећи од полиакрилних и целулозних влакана или од битумена. Зависно од полазних компоненти и начина израде разликују се две основне врсте:

- влакна високе чврстоће и
- влакна високог модула.

Угљенична влакна се одликују изванредним својствима:

- високом густином,
- високом чврстоћом и модулом еластичности,
- добром хемијском постојаношћу, па се у комбинацији са епокси смолама користе за конструкцијске композите.

Цена ових влакана је веома висока 30 до 40 пута већа од стаклених влакана. Уз високу цену недостатак му је мала жилавост и истезање. Поступци прераде слични су као и при примени стаклених ојачања. Примењују се у авиондустрију, војној индустрији, затим електроници, хемијским и нафтним постројењима, као и за израду спортске опреме.

Угљенична влакна по својој структури нису у целости кристална, већ се састоје од графитних и некристалних подручја која не садрже тродимензионални распоред атома угљеника у облику хексагоналне кристалне решетке карактеристичне за графит. [1]

Прва угљенична влакна била су направљена из Rayon-а, али поступак је убрзо избачен због малог процента угљеника који се на тај начин добијао, као и слабих механичких својстава.

Већина угљеничних влакана која се користе у авионским и другим конструкцијама су направљена из полиакрилонитрил (PAN) влакана или из различитих смола, процесом угљенификације, при чему се поступци производње могу значајно разликовати. PAN поступком се производе влакна са процентом угљеника до 50 % док се влакна из смоле одликују процентом угљеника до 80 %.

Према основним механичким карактеристикама, угљенична се влакна класификују као НМ (високог модула еластичности), HS (високе чврстоће) и IM (умереног модула еластичности), понекад се користи и ознака UHM (врло високи модул еластичности).

Влакна добијена из смоле генерално имају већи модул еластичности, али и мању чврстоћу при сабијању и затезању у односу на PAN влакна. Ова су влакна и знатно више порозна, што додатно утиче на њихову чврстоћу.

Влакна од смоле могу имати и добру електричну проводљивост, просечног су пречника 10 -11 μm , за разлику од PAN влакана пречника 5-10 μm . У попречном пресеку, угљенична влакна могу имати радијални облик (базалне равни су радијално усмерене), облик концентричних слојева (базалне равни концентричне), трансверзално изотропни или језгро и спољашњу љуску (најчешћи облик, карактеристичан за PAN влакна).

Према крутости ова се влакна могу поделити у четири групе:

- стандардног модула еластичности (220 GPa);
- средњег или прелазног модула еластичности (240 GPa);
- високог модула еластичности (300 GPa);
- ултрависоког модула еластичности (450 GPa).

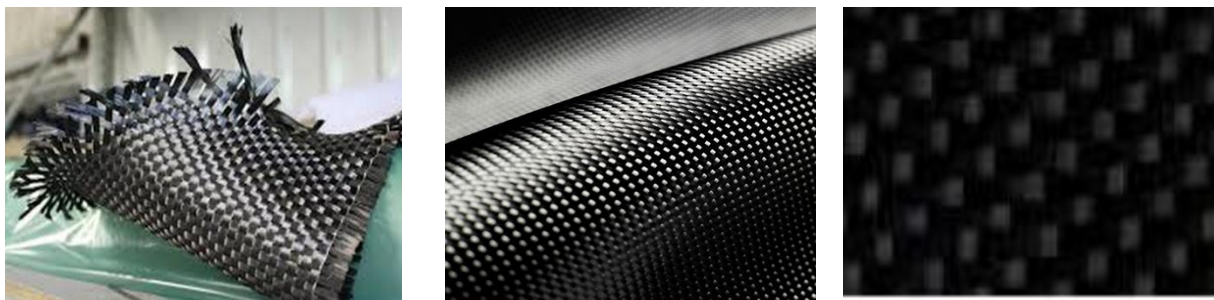
Табела 5. Употреба механичких својстава стандардних угљеничних влакана са челиком повишене чврстоће.

Материјал	Затезна чврстоћа (GPa)	Модул еластичности (GPa)	Густина (g/cm^3)	Специфична чврстоћа (GPa)
Угљенична влакна	3,5	230	1,75	2
Челик повишене чврстоће	1,3	210	7,87	0,17

Угљенична влакна (карбонска влакна), влакна која садрже најмање 90% угљеника, врло су фина, већином кружног пресека црне боје. Добијају се из већ обликованих других органских влакана, претежно полиакрилонитрилних влакана велике чврстоће, а у мањој мери и од целулозних вискозних влакана.

Угљенична влакана ултрависоког модула еластичности поседују највишу крутост од свих влакнастих ојачивача, а она средњег модула еластичности највише су чврстоће међу свим познатим влакнима. За ојачавање се користе угљенична влакна пречника између 4 и 10 μm која могу бити континуална или резана.

Влакна се уобичајено превлаче заштитним епоксидним слојем који побољшава адхезију са полимерном матрицом. Композити угљеничног ојачања користе се на пример за израду намотаних кућица ракетних мотора као и бројних других конструкцијских елемената војних и комерцијалних летелица (нпр. делови крила, тела, стабилизатора и компоненти за управљање).



Слика 30. Приказ угљеничних влакана [15]

Према уделу угљеника молекулској и надмолекулској структури разликују се анизотропна и изотропна угљенична влакна. Познатија су и заступљенија у употреби анизотропна угљенична влакна (графитна влакна) са графитном структуром угљеника, са уделом угљеника већим од 95%

Графитна влакна већином се производе у облику неувијене мултифиламентне благо увијене нити (тзв. ровинг), која садржи од сто до неколико хиљада врло финих филамената. Користи се за ојачавање композита, било у изворном облику или се за исту намену прерађује у различите дводимензионалне и тродимензионалне структуре.

Изотропна угљенична влакна садрже 70 до 90% угљеника, поликристалне су грађе и немају преовладавајућег смера оријентације структурних елемената, па се понашају као изотропни материјал. Због тога механичка својства нису тако изврсна као код графитних влакана. Изотропна угљенична влакна претежно се производе као кратка влакна и даље прерађују у неткани текстил, врсте и облика зависно од намене.

За угљенична влакна карактеристична су следећа својства:

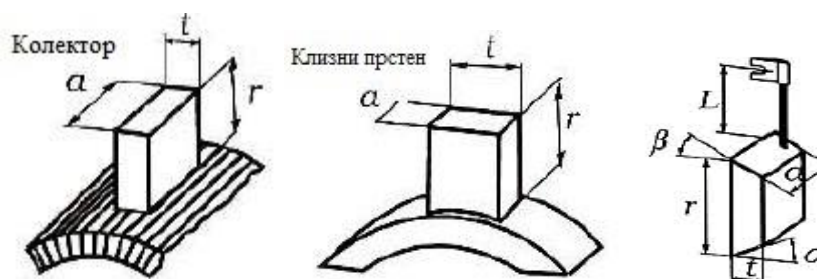
- велика чврстоћа (3000 до 5000 N/mm^2),
- висок модул еластичности (код графитних влакана $200\,000$ до $450\,000 \text{ N/mm}^2$),
- велика крутост,
- мала густина у односу на металне нити ($1,5$ до $2,2 \text{ g/cm}^3$),
- отпорност на топлоту од 3600 до $4000 \text{ }^\circ\text{C}$,
- хемијска инертност,
- отпорност на корозију,
- отпорност на киселине,
- добра топлотна и електрична проводљивост,
- врло мала апсорпција рендгенских зрака,
- неупијање влаге и изврсна биокompatibilност.

3.3 Пример композита са прахом - Графитне четкице

Четкице су најважнији део електромотора, преко којег се остварује клизни контакт за пренос електричне струје на многим електричним машинама. На првим електричним машинама четкице су се израђивале од снопова бакарних жица по којима су и добиле назив. [14]

3.3.1 Основне димензије четкице

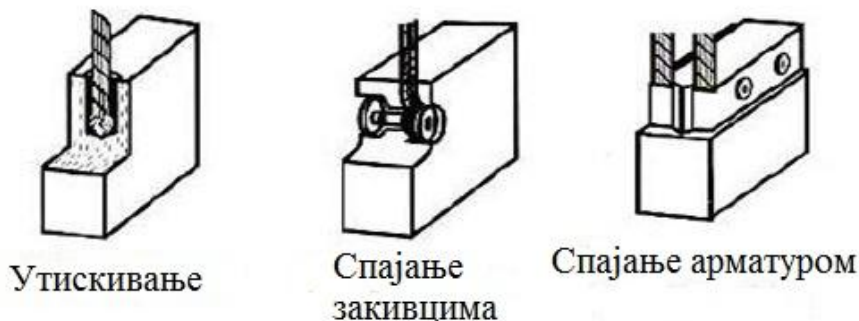
У зависности од употребе четкице, за колектор или клизни прстен, основне димензије четкица се дефинишу као на слици 31:



Слика 31. Приказ основних димензија четкица [14]

Различити стандарди, различито дефинишу облик димензија али је основна карактеристика дужина четкице.

Постоје три основна начина спајања. Сва три случаја имају одређену примену и намену. Први случај је спајање утискивањем, други спајање закивцима, а трећи случај је случај спајања арматуром.

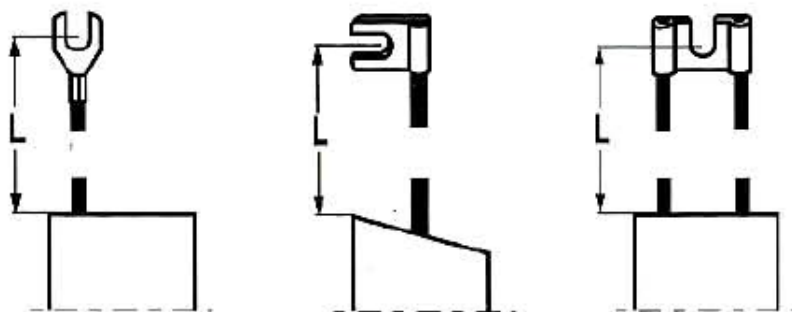


Слика 32. Начин спајања [14]

Спајање закивцима се користи у случајевима врло меких четкица које не могу да издрже поступакутискивања, а спајање арматурама се користи у специјалним условима.

Стандардне дужине четкица су:

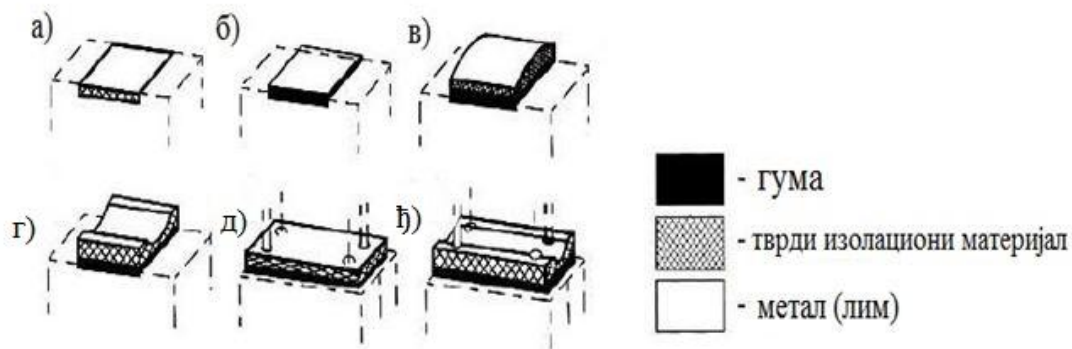
L (mm) 16-20-25-32-40-50-56-63-71-80-90-100-112- 125-140-160



Слика 33. Приказ стандардних дужина четкица [14]

3.3.2 Врх четкице

Материјали за четкице се деле према методама производње. Постоји више примера изгледа врха четкице чији врхови могу бити израђени од гуме, од тврдог изолационог материјала као и од метала (лим), слика 34.



Слика 34. Изглед врха четкице [14]

Четкице су најважнији део електромотора, преко кога се остварује клизни контакт за пренос електричне струје на многим електричним машинама. На првим електричним машинама четкице су се израђивале од снопова бакарних жица, по којима су и добиле назив.

Постоји пет главних група материјала за израду четкица, према којима је извршена њихова подела :

Угњено графити

Производња:

Природни и вештачки графит се меша са везивом, пресује, а затим термички загрева на температури око 1200°C .

Основне карактеристике:

Велика тврдоћа, средњи пад напона као и веома добра полирајућа својства.

Подручје примене:

Стари мотори, електрични ручни алат, кућни апарати и др.

Меки графити

Производња:

Основни састојак је природни графит који се меша са везивом и након тога термички обрађује на температурама изнад 1200°C .

Основне карактеристике:

Врло меки материјали са малим отпором. Имају способност чишћења и отпорне су на вибрације.

Подручје примене:

Челични прстенови великих брзина, турбо генератори.

Електро графити

Производња:

Процес производње је сличан као и у случају претходне две врсте само што је температура и до 2800°C. При тако високим температурама све нечистоће испаравају, а структура графита је врло правилна. Процес загревања и хлађења траје од 3 до 4 недеље.

Основне карактеристике:

Густина струје 10-12 A/cm² али добро подносе преоптерећења, поседују добру електричну и топлотну проводљивост.

Подручје примене:

Користи се за све модерне уређаје. Како за стационарне, тако и за вучне, за велике брзине и за све врсте оптерећења и напона.

Метало графити

Производња:

Ово су материјали који се добијају синтеровањем металних прахова са природним графитом. У основи се користи прах са додатком калаја и олова. Температура синтеровања је око 850°C. Могуће је добити металографит тако што се графит импрегнира растопљеним бакром.

Основне карактеристике:

То су четкице велике густине. Подносе струјна оптерећења до 30 A/cm². Обзиром да имају веома мало трење и мали пад напона губици су врло мали.

Подручје примене:

Примењују се за споре једносмерне машине са малим напоном, асинхрони уређаји са бронзаним прстеновима са или без уређаја за подизање четкица.

Бакело графити

Производња:

Природни или вештачки графит се меша са смолама на бази бакелита. Након пресовања иде се на полимеризацију.

Основне карактеристике:

Овакве четкице су великог механичког и електричног отпора. Карактеристична је велика разлика у отпорности у односу на различите правце.

Подручје примене:

Наизменични мотори типа Schrage и Schorth.

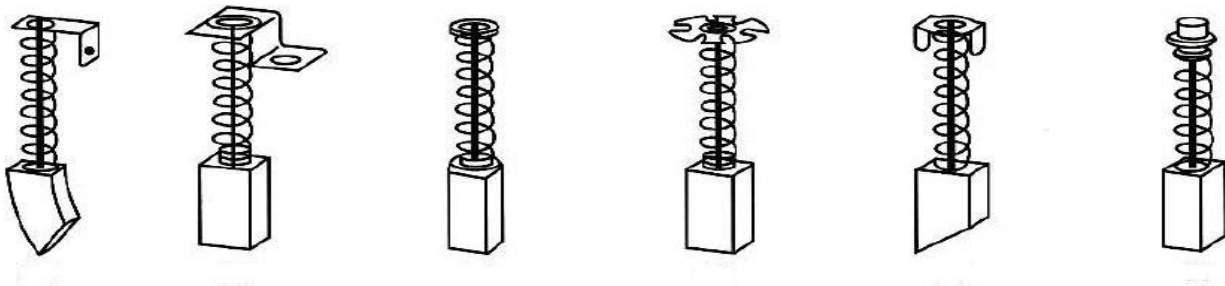
Све врсте материјала могу се накнадно импрегрирати да би им се за одређене услове поправила радна својства. [14]

3.3.3 Клизна површина четкице

Клизна површина четкице мора бити прилагођена закривљености колектора или клизног прстена. Прилагођеност се постиже најбоље брусним каменом за колекторе и прстенове. Данас се у већини случајева, нарочито за прву уградњу на четкицама изводи потребна закривљеност колектора или клизног прстена.

3.3.4 Облици четкица

Поједини примери четкица приказани су на слици 35.



Слика 35. Неки од облика четкица [14]

4 ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ ПРИМЕЊЕНИ У ПРЕДУЗЕЋУ „МЕТАЛАЦ“

Предузеће „Металац“, Горњи Милановац је поред велике економске кризе не само у нашој држави већ и широм света, у свом послу међу водећим на балканском, европском, а у последњем времену је почео извоз својих производа и на Америчком тржишту. Предузеће „Металац“ се не базира само на производњи кухињског посуђа, него и производњи бојлера, кварцних и Granmatrix судопера, амбалажа и најновијег производа, соларних пећи. Тако да велики значај предузеће Металац даје развоју нових производа који би задовољавали све веће потребе потрошача. [16]

Полимерни композити примењени у предузећу обухватају примену нових материјала, а један од материјала који се користи за израду читавог низа производа су **Solid surface** материјали.

Ретки су материјали који пружају толико могућности примене и обликовања као што су тзв.

Историја Solid surface материјала (у даљем тексту), започела је шездесетих година прошлог века, у време хладног рата, када су се научници и експерти из разних области такмичили у иновацијама, уз подршку највиших државних органа. Америчка компанија DuPont, окупила је тим од шест инжењера, чији је задатак био да, користећи нове технологије и доступне материјале, произведу нови материјал за комерцијалну употребу. Иако је прва Solid surface плоча произведена 1964. године, за званични почетак историје Solid surface материјала се сматра 8. октобар 1968. године, када је издат нови патент за материјал под именом Corian.

Најзаслужнији у тиму стручњака који су произвели Corian, био је хемијски инжењер др. Don Slocum чије се име налази на оригиналном патенту. Прва и основна примена Solid surface материјала, била је у области кухињског и купатилског намештаја тј. радних површина у овим просторијама. Временом се примена ширила тако да је данас, 40-ак година након свог настанка постао незаобилазан материјал при изради намештаја и опремању ентеријера свих врста.

Појам Solid surface (у буквалном преводу - масивне, копактне, чврсте површине), постао је универзални назив за све композитне материјале сличне намене, хомогене и

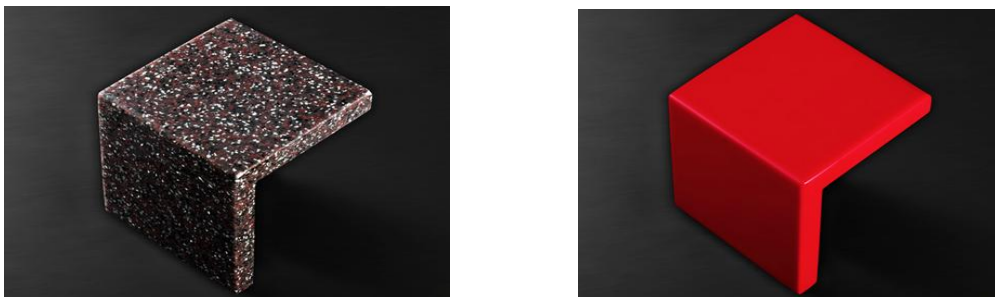
непорозне структуре по целом пресеку, а изведене по рецепту пуниоц/везивно средство/адитиви.

Најважније особине Solid surface материјала које их издвајају у поређењу са конвенционалним материјалима су:

- апсолутно су хомогене и непорозне структуре,
- имају високу отпорност на киселине и хемијска средства,
- површине се лако одржавају и чисте,
- не изазивају алергију код људи и животиња,
- отпорни су на UV зраке,
- температурна отпорност 230°C,
- могу се произвести елементи у 2D и 3D облицима,
- лако се обрађују и репарирају алатима за дрво,
- велики избор боја и текстура прилагодљивих просторима различитих намена.

„**GRANMATRIX**“ је полиестерски, акрилно – модификован композитни материјал са високим садржајем алуминијум – трихидроксида као пуниоца, састојка који коначном материјалу даје чврстоћу, температуру, електричну и хемијску отпорност. На тај начин се добија материјал који изгледа као камен, а обрађује лако као дрво.





Слика 36. Приказ боја и дезена Granmatrix-a [17]

„GRANMATRIX” је материјал који се изливањем може преточити у било коју форму. Предузеће „Металац инко“ од Granmatrix-a производи плоче (различитих димензија и дебљина), и друге облике (умиваоници, судопере, каде итд).

4.1 Особине Granmatrix-a:

- широк спектар боја и дезена - Металац инко у палети тренутно има више од четрдесет боја, при чему је палета практично неограничена,
- додир топлог племенитог камена,
- невидљиви спојеви и прелази између делова – тзв. моноблок изглед, односно утисак да је крајњи производи направљен из једног дела,
- антибактеријска, непорозна и хемијско-физички отпорна површина - што Granmatrix чини одличним избором у области припреме хране и здравственим установама,
- једноставно фабриковање и инсталација,
- једноставно чишћење и одржавање,
- репарабилност – било каква оштећења (ситне огреботине и сл.) могу се поправити, тако да производ, који је годинама био у употреби, може поново изгледати као нов,

„GRANMATRIX” је материјал са термообликујућим особинама, што значи да се може загревати и савити у различите тродимензионалне облике, што доприноси броју различитих могућности примене.

4.2 Примена Grammatrix-a:

„**GRANMATRIX**” материјали су идеални за кухињске плоче и друге површине где се екстремна издржљивост, вишенаменска употреба и лепота која траје подразумевају. Широком разноврсношћу боја и стилова „**GRANMATRIX**” се савршено уклапа у сваки декор и архитектонски дизајн. Због своје непорозности „**GRANMATRIX**” плоче су лаке за одржавање.

Такође, јединствене могућности термообликовања омогућавају да се „**GRANMATRIX**” плоче обликују како би се уклопиле у било који дизајн. „**GRANMATRIX**” се може обрађивати класичним алатима за обраду дрвета из чега произилазе неограничене могућности дизајна.

У кухињи:

- моноблок,
- кухињске радне плоче и судопере,
- угаоне кухиње, трпезаријски столови.



Слика 37. Примери **Granmatrix** судопера и плоча [17]

У купатилу:

- умиваоници,
- моноблок туш кабине или каде,
- панелно покривање зидова уместо керамичких плочица.

У опремању ентеријера:

- пултови,
- намештај,
- фасаде,
- потпрозорници.

У лабораторији:

- лабораториски пултови и судопере за рад са агресивним хемикалијама..

4.3 Одржавање:

„GRANMATRIX” је материјал који се својим супериорним карактеристикама уклапа у савремен начин живота. Захваљујући физичко – хемијској отпорности, одржава се једноставно и не захтева употребу специјалних средстава. Изузетно, у случајевима неадекватне употребе, могућа су оштећења, која се лако неутралишу захваљујући репарабилности материјала.

Мере предострожности укључују и избегавање стављања посуђа директно са грејних тела на радну површину. Иако „GRANMATRIX” плоче могу издржати температуре и до 225°C, изложеност продуженој или екстремној топлоти, због особине термоформабилности, може проузроковати деформацију материјала услед тежине вреле посуде. [16]

4.4 Пуниоци

Пуниоци су хемијски неутралне супстанце које се додају у циљу постизања тражених особина: побољшања механичких особина, термичке или електричне проводности, отпорности на хабање итд.

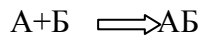
С’ обзиром на облик, пуниоци могу бити:

- прашкасти - метални прах, графит, чађ, камено и дрвено брашно и кварцни песак,
- влакнасти - металне жице,
- лиснати - фолије или металне мреже.

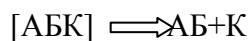
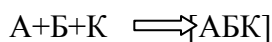
Неоргански пуниоци смањују запаљивост вештачких материја, а посебно метални прах који још повећава термичку и електричну проводност, азбест повећава изолационе особине, графит поправља отпорност на хабање. Органски пуниоци, углавном дрвено брашно и тканине, повећавају својства јачине смола, док чађ у великој мери повећава својства јачине каучука.

Катализатор је хемијска супстанца, која се додаје реакционом систему да би убрзала реакцију.

Реакција без катализатора:



Реакција са катализатором:



Механизам деловања катализатора је такав да он смањује енергију активације (енергију потребну довести споља систему да би дошло до реакције), градећи са реактантама прелазни комплекс (у датом примеру то би био нестабилни [АБК] комплекс), мањег енергетског садржаја него што је он за прелазни комплекс реактаната без везаног катализатора.

Катализатор не утиче на положај повратне реакције, јер убрзава реакцију у обе стране. Катализатор може да повећа селективност реакције уколико убрзава стварање главног продукта, а не убрзава (или мање убрзава) споредне реакције.

Посебно важна група катализатора су биокатализатори односно ензими које катализују биохемијске реакције у организмима. Ензими су посебно ефикасни катализатори специфичног дејства. То значи да делују на тачно одређену супстанцу (супстрат), катализујући тачно одређену реакцију коју убрзавају и неколико хиљада пута. Као додатак користи се и Алуминијум хидроксид чија је величина честице од 16,5 до 21 μm .

Алуминијум хидроксид, молекулска формула $\text{Al}(\text{OH})_3$, је најстабилније једињење алуминијума под нормалним условима. Може се наћи у природи у облику руде гипсит.

Алуминијум хидроксид се састоји од једног атома алуминијума и од три OH^- групе.



Слика 38. Епрувета са Al_2O_3 [17]

Кварц (кварцни прах) познат као силицијум диоксид. Кварцни прах је тврд, отпорон на ударе, главна минерална компонента је SiO_2 , беле је боје, безбојан, тачније

провидан. Густине 2.65g/cm^3 , поседује добра механичка, хемијска и топлотна својства не реагује са киселинама осим са флуороводеничном киселином (HF). Тачка топљења је 1650°C , моларна маса $60,08\text{g/mol}$, тачка кључања 2.230°C . Кварцни прах није отпоран на хабање.



Слика 39. Кварцни прах [17]

Као основни материјал користе се:

Епокси смоле налазе примену у индустрији као смоле за ливење, лакови и лепкови. Ливене епокси смоле ојачане стакленим влакнима имају јачину на кидање и савијање 400-500 МПа, па се могу употребити за делове шкољке аутомобила. Лакови од епокси смола пре свега се користе као електро-изолациони материјал, а лепкови за спајање метала, вештачких материја и порцелана, као и за лепљење алуминијумских хладњака.

Мешавина епокси смола са металима у праху или са стакленим тканинама се користи за поправку оштећених или улупљених делова шкољке аутомобила. Штавише, овако се може поправити и резервоар за гориво. Ако је пунилац смоле спрашени метал добија се “хладни лем“, који се може наносити четком или пнеуматским пиштољем. Овај лем добро приања за метал па се њиме могу поправити спољна оштећења на многим деловима, укључујући и неке ливачке грешке.

Осим тога, епокси смолама облажу се радне површине матрица, калупи за полиестерске ламинате, ливачки модели, алати за израду полиуретанских профила, монтажни алати, облоге алата за дубоко извлачење и сл.

Акрилне смоле се добијају хемијским процесом полимеризације акрилне и метаакрилне киселине. Полимери естера акрилне киселине су истегљиви и меки, док су исти производи метаакрилне киселине знатно тврђи. Највише се примењује полиметилмета-акрилат познат под називом органско стакло или плексиглас.

Производи од плексигласа су прозирни, отпорни на атмосферске утицаје, већину хемикалија, угљоводонике и уља, а уз то имају добре механичке особине и могу се бојити.

Плексиглас се може сећи, бушити, брусити и лепити. Лепак се припрема растварањем мале количине овог полимера у анхидриду сирћетне киселине или у концентрованој сирћетној киселини.

У аутомобилској индустрији користе се ливена стакла као и различити профили израђени бризгањем. Ова окна су 2.25 пута лакша од обичног стакла, безбеднија су и могу се лакше обликовати. Пропуштају инфрацрвене зраке, па се користе за бочна окна туристичких аутобуса. Од обојеног плексигласа праве се заштитници од бљештаве светлости. Методом бризгања праве се чашице за таложење нечистоћа код пумпи и филтера за гориво, лампе за унутрашње осветљавање возила, контролна окна, облоге за задња светла и сл.

Полиуретан се добија адиционом полимеризацијом соли изоцијанске киселине и гликола и по структури је сличан полиамидима. Зависно од унетих додатака добијају се производи различитих особина и облика: влакана, разних профила израђених бризгањем. Од полиуретана такође се праве лепкови за лепљење метала са гумом, са пластиком или са стаклом. У шкољкама аутомобила полиуретани се углавном користе као пенасти производи.

Они могу бити еластични, пластични или еласто-пластични, а отпорни су на киселине, алкалије, мазиво, гориво, влагу, а уз то су незапаљиви. Пенасти производи од полиуретана пригушавају ударна оптерећења петоструко више него каучук. Зато се од полиуретана граде делови седишта аутомобила, наслони, инструмент табли, облоге за антизвучну изолацију. Од полиуретана се праве зупчасти каишеви који се одликују бешумним радом, самоподмазивањем, добрим механичким особинама и отпорношћу на уља и масти.

Полиуретан одлично приања за метале, па се употребљава за електро-изолацију каблова, за заштитне превлаке пода шкољке од корозије. Полиуретанске превлаке су еластичне, отпорне на удар и абразију као и на температурске промене.

Реакцијске смоле појављују се на тржишту као двокомпонентни систем у облику полуфабриката. Једна компонента је делимично умрежен термопластичан полимер, отопљен у неком органском раствору или без њега. Друга компонента је иницијатор умрежења на хладно (катализатор). Мешањем на месту примене, након хемијске реакције, добије се термостабилан умрежен полимер.

Као пуниоци се још користе и прахови. Конкретно за предвиђена испитивања, користиле су се две врсте праха.

- графитни прах, намењен за четкице код електромотора, честица већих димензија,

- прах за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника.

4.5 Додаци

Додацима се мењају нежељена својства производа. Тако су познати додаци за снижавање или потпуно елиминирање скупљања и за побољшавање ватроотпорности. Модификатори вискозности полиестерских и епокси смола снижавају вискозитет па самим тим омогућавају ефикасну импрегнацију већих количина ојачала и тиме побољшавање механичких својстава композита. Иницијатори, убрзивачи и инхибитори продужавају време складиштења полупроизвода, скраћују циклус умрежавања и снижавају максималну температуру реакције. У додатке убрајамо још и пигменте, УВ-стабилизаторе, индикаторе, парафин.

Пигмент је материјал који изгледа обојено као резултат селективне апсорпције светлости. Обојеност долази услед одбијања и преламања светлости, флуоресценције или фосфоресценције. Могу бити природни и вештачки, органски и неоргански.

Неоргански пигменти имају већи значај од органских јер се користе за бојење скоро свих површина кожа, текстил, дрво, стакло.

Природни неоргански пигменти су по хемијском саставу минералне материје, карбонати, фосфати и различитих метала. Веома су постојани према светлости, атмосферским утицајима и високој температури. Неоргански пигменти се јављају у великом асортиману боја и нијанси.

Органски пигменти су производи дестилације катрина каменог угља. Називају се катринсе боје и на тржишту се јављају у великом броју. Користе се за бојење пластичних маса, гуме, керамике, текстила, стакла.

Природне органске боје су најскупље јер су постојане нетоксичне, отпорне на атмосферске утицаје, имају добру примену у бојењу прехранбених производа. Ове боје су производ лучења жлезде инсеката шкољки, док се већи број ових пигмената налазе у етарским уљима и разним плодовима биљака. У биологији пигмент је било која супстанца која даје боју ћелијама или ткивима.

За предвиђена испитивања коришћени су бели и црни пигменти, који су приказани на слици 40.



Слика 40. Приказ белог и црног пигмента [17]

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

У овом поглављу су описани узорци испитивања и приказане су фотографије пре и после полирања узорака.

Приликом испитивања су добијени узорци пречника 100 мм и дебљине од 4 до 10 мм.

Узорци су са различитим процентом пуниоца и осталих додатака. Такође у циљу испитивања могуће је мешање графитног праха са праховима који се користе у компанији “Металац“, Горњи Милановац.

У наредном делу детаљно су описани састав и добијени узорци.

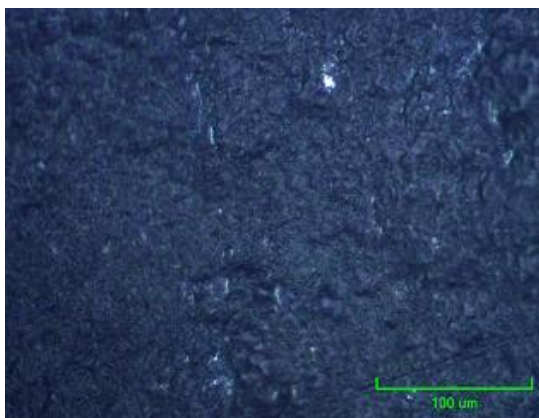
Узорак 1.

Састав:

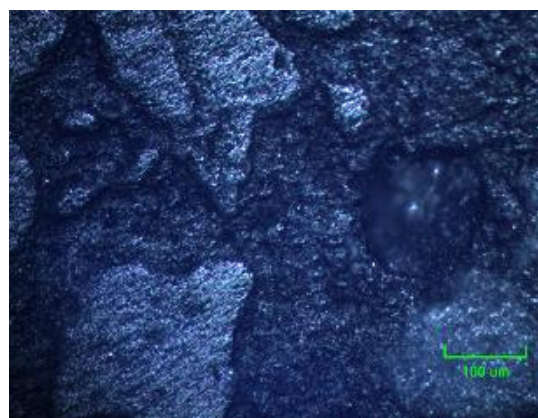
Прах намењен за четкице код електромотора, узорак је дебљине 4mm.

24% смоле, 5% праха, 70.8% црног кварца (величина честице 230 μ m-просечна величина), 2% катализатора у односу на смолу (2x24:100=0.48gr).

а)



б)

**1-а) Пре полирања**

Узорак је црне боје, површина је изузенто храпава. Храпавост површина узорка потиче од крупнијих зрна кварца (Al_2O_3) која су код овог узорка прекривена пунилом (мешавином смоле, праха и катализатора). Међутим како сва зрна нису идеално покривена пунилом могу се уочити на површини и ивице кварцних зрна беле боје. На површини се уочавају и рупице мањих димензија величине око 2 μ m, које су вероватно последица испадања ситних зрна кварца.

1-б) После полирања

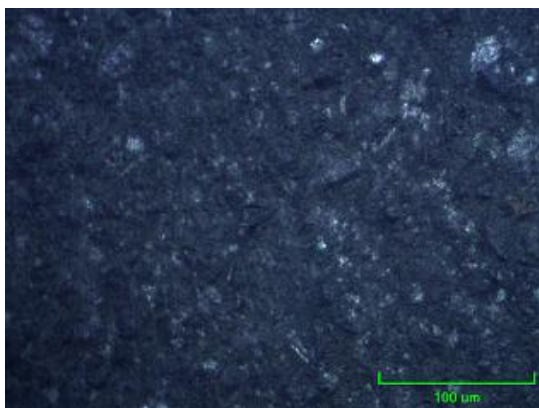
Површинска храпавост узорка након извршеног полирања је смањена и то пре свега скидањем врхова кварца који су надвисили слој пунила. Како су ова зрна била делимично прекривена танким слојем пунила зрна кварца се нису могла јасно видети. Међутим након извршеног полирања на површини се могу јасно уочити зрна кварца величине око 230 μ m. Ова зрна су беле боје и изузетно неправилног облика. Треба нагласити да иако се поступком полирања смањила површинска храпавост узорака, то смањење није драстично. На површини се може уочити и кратери који су настали као последица чупања зрна кварца (Al_2O_3) из матрице за време поступка полирања. Величина ових кратера је око 200 μ m.

Узорак 2.**Састав:**

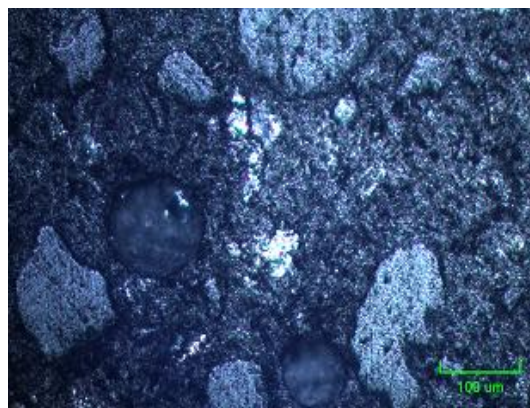
Прах намењен за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, дебљине 4mm.

24% смоле, 5% праха, 70,8% кварца, 2% катализатора у односу на смолу, почетно време желирања 13:22-13:37, пече се на температури 85°C, 3 сата.

а)



б)

**2-а) Пре полирања**

Узорак је црне боје, површина узорка је мање храпава у односу на површину узорка 1. На површини се могу уочити ивице кварца беле боје која нису прекривена пунилом (смешом смоле, праха и катализатора). Такође се на површини могу уочити и мале рупице величине око 2 μm . Узрок настанка ових рупица је вероватно испадање ситнијих зрна кварца.

2-б) После полирања

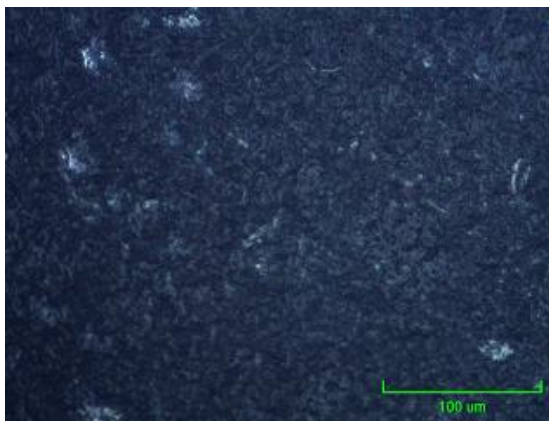
Храпавост површине након извршеног полирања је приближно иста. На површини се јасно могу уочити зрна кварца (беле боје) димензија око 100-200 μm . Зрна кварца су неуједначеног облика и димензија. На површини се могу уочити и кратери чије се димензије крећу од 70 до 120 μm . И који су вероватно настали чупањем зрна кварца из матрице за време поступка полирања.

Узорак 3.

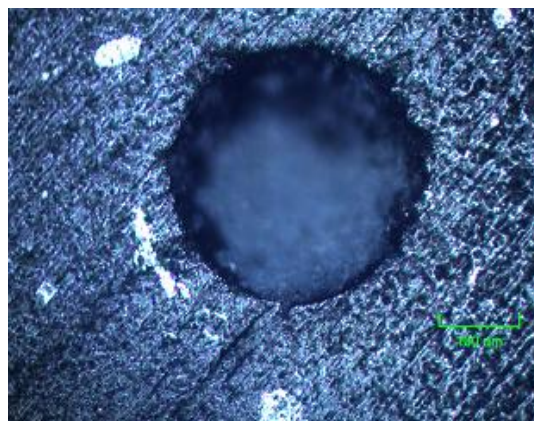
Састав:

Granmatrix боја црна, 40% смоле, 5% праха за подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, 1% пигмента, 53,6% - Al_2O_3 (величина честице од 16,5 до 21 μm), 1,2% катализатора у односу на смолу, почетно време желирања 13:53 - 14:16.

а)



б)



Узорак је дебљине 4 mm.

3-а) Пре полирања

Узорак је црне боје, површина узорка је веома глатка. На површини узорка се могу уочити зрна кварца беле боје и рупице величине око 1 μm .

3-б) После полирања

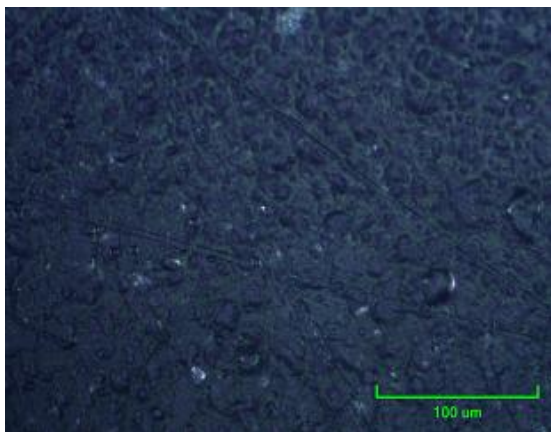
Након извршеног полирања на површини узорка се могу јасно уочити зрна кварца (Al_2O_3) чије су димензије око 17-21 μm . Облик и димензије ових зрна су различити. На површини се може уочити и кратер димензија око 300 μm . Овај кратер је настао вероватно као последица испадања групе зрна за време поступка полирања. Површинска храпавост овог узорка је слична као и пре поступка полирања.

Узорак 4.

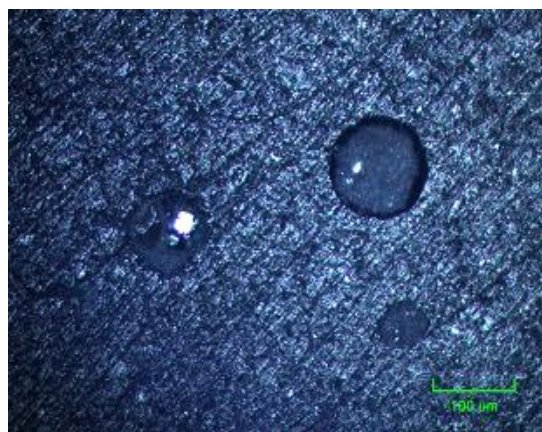
Састав:

Granmatrix – боја црна, прах за четкице код електромотора, 40% смоле, 1% пигмента, 53,6 Al_2O_3 (величина честице од 16,5 до 21 μm), 5% додатка – праха, 1.2% катализатора, време желирања 13:56 – 14:21.

а)



б)



Узорак дебљине 4 mm.

4-а) Пре полирања

Узорак је црне боје, површина узорка је релативно глатка. На површини узорка се могу уочити мала зрна кварца беле боја. Међутим њихова уочљивост у односу на узорак 3 је много лошија.

4-б) После полирања

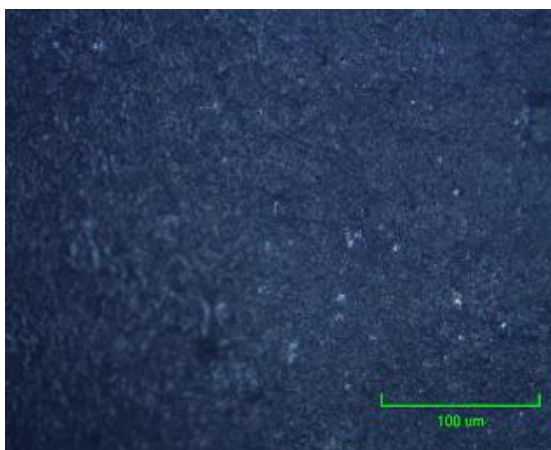
Након извршеног поступка полирања на површини се могу јасно уочити зрна кварца. На површини су присутни и кратери који су као и код узорка 3 вероватно настали испадањем групе зрна кварца. Површина је црне боје са веома великим бројем зрна кварца беле боја. Храпавост површине узорка након извршеног полирања је слична као и пре полирања.

Узорак 5.

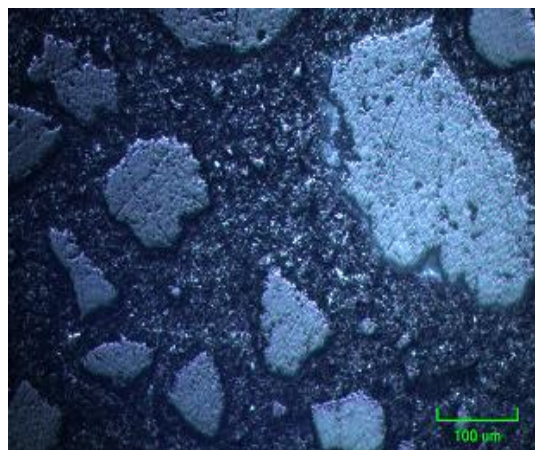
Састав:

Прах намењен за четкице код електромотора, додаток Со -1%, 24% смоле, 70,8% црног кварца, 2% катализатора. Ливено у већим калупима, време желирања 14:14-14:36.

а)



б)

**5-а) Пре полирања**

Узорак је изразито црне боје, површина узорка је у односу на узорак број 4 знатно храпавија. На површини узорка се могу уочити беле тачке које представљају зрна кварца. Могу се уочити и ситније рупице величине око 1 μm .

5-б) После полирања

Након извршеног полирања на површини узорка јасно се могу уочити зрна кварца (беле боје) која су различитих димензија и облика. Величина ових зрна креће се од 10 до 250 μm . Исполирана површина има нешто мању храпавост.

Узорак 6.

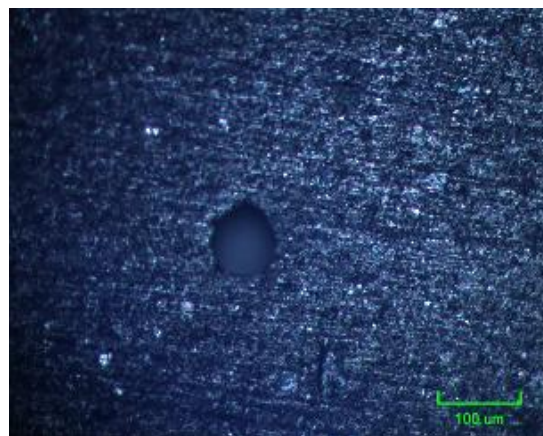
Састав:

Прах намењен за четкице код електромотора 5%, granmatrix- бела боја, 40% смоле, 53,6% Al_2O_3 (величина честице од 16,5 до 21 μm), 1,5% пигмента-бели пигмент, време желирања 14:56-15:19.

а)



б)



Узорак је дебљине 4 mm.

6-а) Пре полирања

Веома изражене црне боје, површина узорка веома глатка, на појединим местима се уочавају мале честице беле боје, као и мале јамице величине до 0,1 mm.

6-б) После полирања

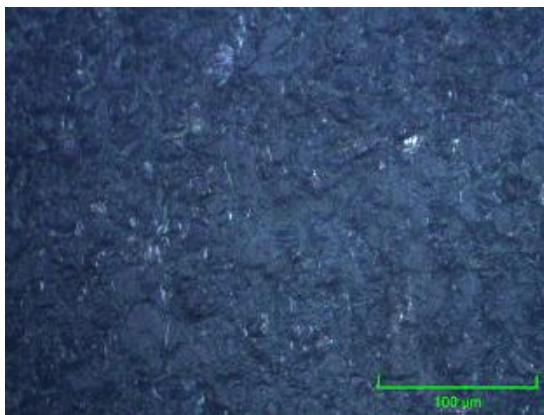
Полирањем је добијена површина приближно исте храпавости као и пре полирања. Полирањем је уочен већи број кратера правилног округлог облика, пречника до 0,1 mm. Највероватније су настали испадањем груписаних честица графита. Јасно се уочавају честице Al_2O_3 .

Узорак 7.

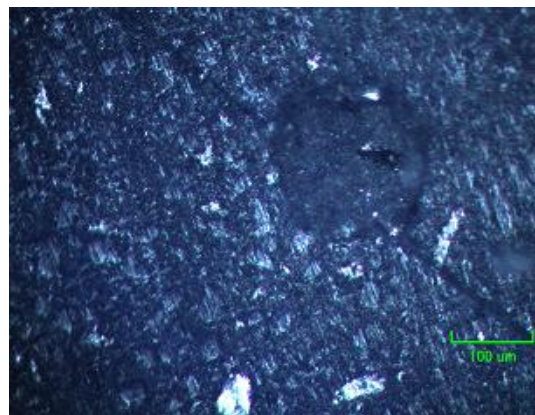
Састав:

Прах намењен за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника-бела боја, 5% праха, 40% смоле, 53,6% Al_2O_3 (величина честице од 16,5 до 21 μm), 1.5% пигмента-бели пигмент, време желирања 14:56-15:19.

а)



б)



Дебљина узорка 4 mm.

7-а) Пре полирања

Уједначене сиве боје, површина узорка веома глатка. На површини се могу уочити беле тачкице које представљају део кварцних зрна. Међутим ова зрна су веома тешка за уочавање јер су већим делом прекривена пунилом.

7-б) После полирања

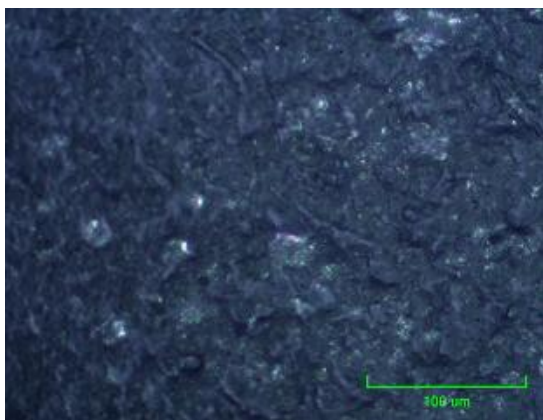
Након извршеног полирања на површини узорка се могу јасно уочити кварцна зрна беле боје. Њихов облик и димензије су различите. При чему се димензије ових зрна крећу од 20 до 50 μm . Храпавост полиране површине је слична као и пре поступка полирања.

Узорак 8.

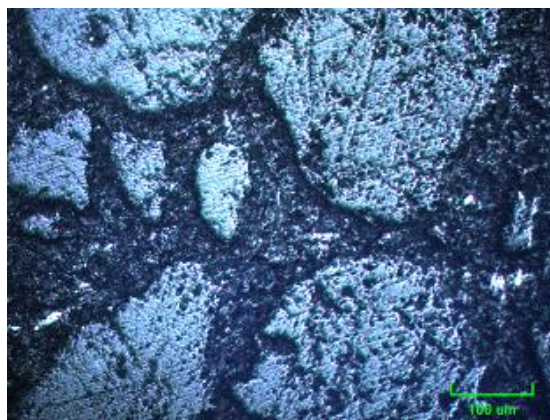
Састав:

Прах намењен за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника 5%, 24% смоле, 5% катализатора, 70,8 кварца, ливено у већем калупу.

а)



б)



Дебљина узорка 10 mm.

8-а) Пре полирања

Узорак је црне боје, површина узорка је релативно глатка. На површини узорка се могу делимично уочити зрна кварца (Al_2O_3) беле боје. На површини узорка могу се уочити и ситне рупице величине око 1 μm .

8-б) После полирања

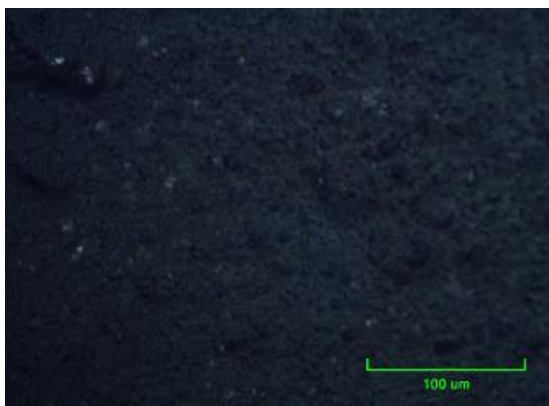
Након извршеног полирања на површини узорка се могу јасно уочити зрна кварца (беле боје), различитог облика и димензија. Величина кварцних зрна се креће од 80 до 300 μm .

Узорак 9.

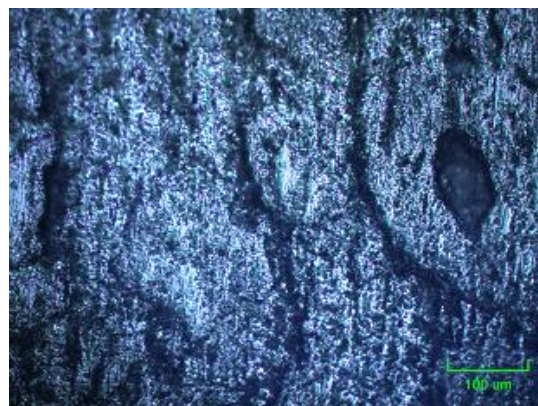
Састав:

5%, праха намењеног за четкице код електромотора 24% смоле, 70,8% црног кварца, 2% катализатора, ливено у већем калупу.

а)



б)



Дебљина узорка 10 mm

9-а) Пре полирања

Узорак је црне боје, површина узорка је веома глатка. На површини узорка се на појединим местима могу уочити беле тачкице које представљају непрекривене делове кварцних зрна. Површина узорка на себи садржи и рупице величине око 1 μm .

9-б) После полирања

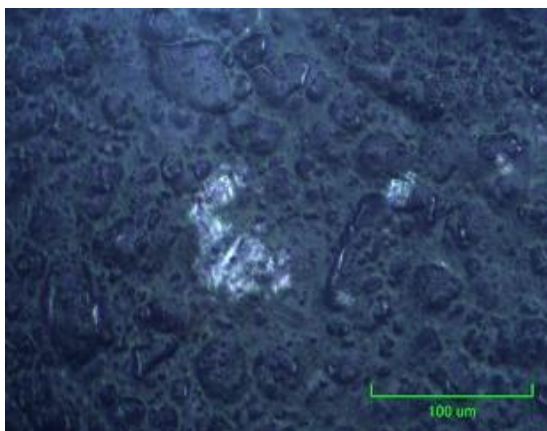
Површина узорка након извршеног полирања је приближно сличне хrapавости као и пре полирања. На површини узорка се могу уочити веома велики број белих тачака које представљају зрна кварца. Димензије ових зрна су знатно мање у односу на зрна кварца код узорка 8. Површина узорка на себи садржи и бразде које су се вероватно формирале као последица одвајања крупнијих зрна кварца, који су се у току поступка полирања нашли између брусног папира и површине узорка и деловале као абразивне честице.

Узорак 10.

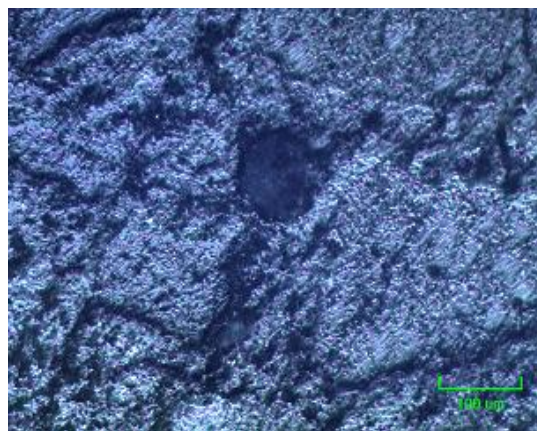
Састав:

Прах намењен за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника 1%, 24% смоле, 75% кварца, 1.9% катализатора.

а)



б)



Дебљина узорка 10 mm.

10-а) Пре полирања

Узорак је црне боје и његова површина је релативно глатка. На површини се могу уочити мале беле тачкице које представљају зрна кварца.

10-б) После полирања

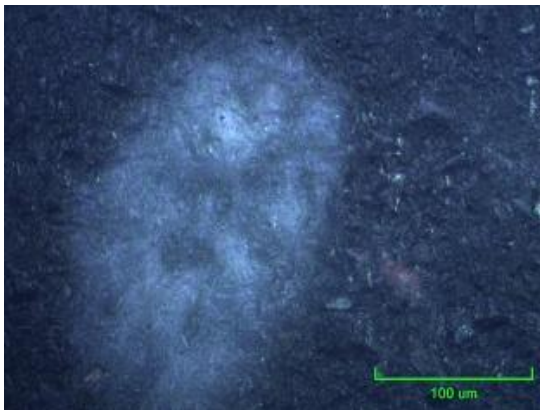
Након извршеног поступка полирања на површини узорка се може уочити јако велики број белих тачака које представљају зрна кварца. Поред тога на површини се могу уочити и кратери величине око 80 μm , који су вероватно настали као последица одвајања групе кварцних зрна. На површини су присутне и бразде које су настале абразивним дејством крупнијих честица у току поступка полирања.

Узорак 11.

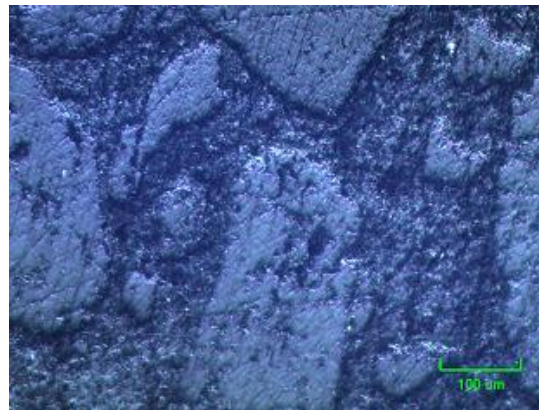
Састав:

24 % смоле, 75,8% кварца, 1.9 катализатора, узорак је без графита.

а)



б)



Узорак дебљине 10 mm.

11-а) Пре полирања

Узорак је црне боје, површина узорка је релативно глатка. На површини овог узорка могу се уочити зрна кварца беле боје. Површина на себи садржи и ситне рупице величине око 1 μm .

11-б) После полирања

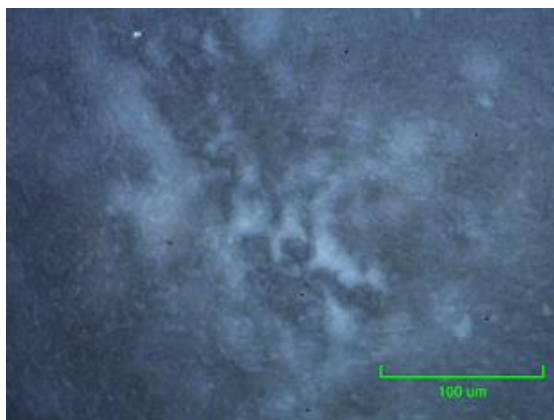
Након извршеног полирања на површини узорка могу се јасно уочити зрна кварца. Облик и димензије ових зрна су различити. Димензије ових зрна су до око 300 μm . Површина узорка након полирања је приближно исте хrapавости као и пре полирања.

Узорак 12.

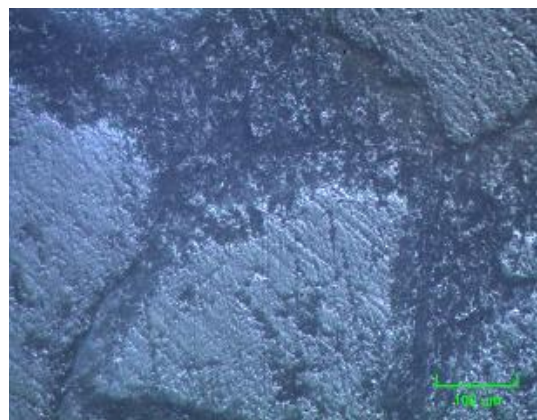
Састав:

24% смоле, 75,8 % кварца - беж боја, 1.9 катализатора, узорак је без додатака графита.

а)



б)



Дебљина узорка 10 mm.

12-а) Пре полирања

Узорак је беле боје, површина узорка је веома глатка. На површини узорка се могу голим оком уочити зрна кварца браонкасте боје. Површина узорка на себи садржи и рупице чија је величина око 1 μm .

12-б) После полирања

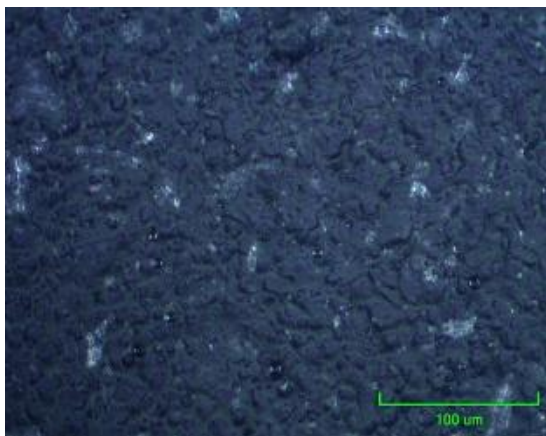
Након извршеног полирања на површини се могу уочити зрна кварца чије су облик и димензије различите. Димензије ових зрна су до 300 μm . Храпавост површине узорка је приближно иста као и пре полирања. На површини се могу уочити рупице величине око 1 μm .

Узорак 13.

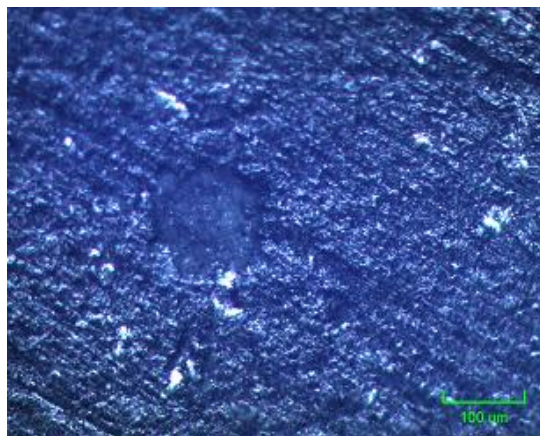
Састав:

Granmatrix, 40% смоле, 5% праха намењеног за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, 53.6% Al_2O_3 (величина честице од 16,5 до 21 μm), 1.2% катализатора.

а)



б)



Дебљина узорка 10 mm.

13-а) Пре полирања

Узорак је црне боје. Површина узорка је релативно глатка. На површини узорка се не виде јасно зрна кварца јер су прекривена танким слојем пунила. Али се на појединим местима могу уочити беле тачкице које представљају зрна кварца. На површини узорка се налазе и рупице чије су димензије до 2 μm .

13-б) После полирања

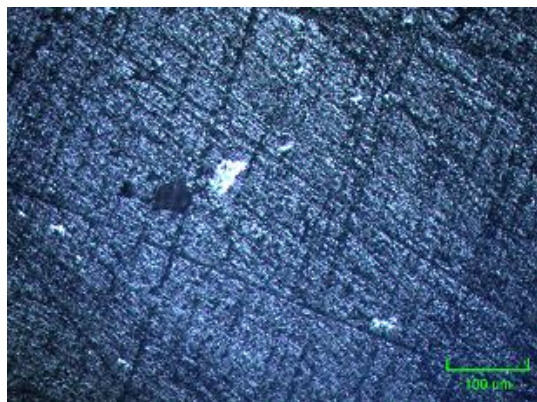
Након извршеног полирања на површини узорка могу се јасно уочити зрна кварца. Облик ових зрна је различит као и њихове димензије. Димензије ових зрна се крећу од 15 до 21 μm . На површини узорка могу се уочити и бразде које су настале као последица абразивног дејства крупнијих зрна кварца.

Узорак 14.

Састав:

97 % смоле, 3% графита намењеног за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, 2% катализатора, време желирања 12:55-13:12, пече се на температури 85°C, 2 сата.

а)



Дебљина узорка 10 mm.

14-а) Површина узорка је релативно глатка. Узорак је црне боје. На површини узорка се могу уочити рупице димензија до 4 μm.

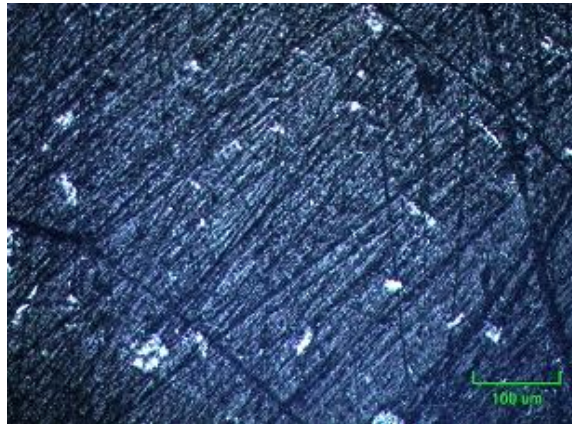
Након извршеног полирања на површини узорка се могу јасно уочити честице графита. Честице графита имају различити облик и димензије. Димензије ових честица крећу се од 10 до 150 μm. На површини узорка могу се уочити и бразде настале у току полирања, настале као последица дејства абразивних честица.

Узорак 15.

Састав:

94% смоле, 6% графита намењеног за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, 2% катализатора, време желирања 12:55-13:12.

а)



Дебљина узорка 8 mm.

15-а) Површина узорка је црне боје и релативно је глатка. На површини узорка се могу уочити рупице величине око 2 μm.

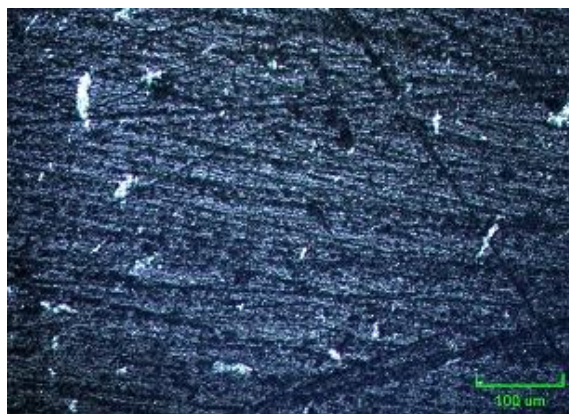
Након извршеног полирања на површини узорка постају видљиве честице графита. Облик и димензије ових честица су различите, при чему се димензије крећу између 10-70 μm. На површини се могу запазити и бразде настале као последица дејства абразивних честица у току поступка полирања.

Узорак 16.

Састав:

91% смоле, 9 % графита намењеног за суво подмазивање лежајева и тешко оштећених зупчаника, 2% катализатора, време желирања 12:55-13:12.

а)



Дебљина узорака 8 mm

16-а) Површина узорка је релативно глатка и црне је боје. На површини узорка могу се уочити рупице димензија до 2 μm.

Након извршеног полирања на површини узорка се могу јасно уочити честице графита. Честице графита имају различити облик и димензије. Димензије ових честица крећу се од 5 до 80 μm. На површини узорка могу се уочити и бразде настале у току полирања, као последица дејства абразивних честица.

6 ЗАКЉУЧАК

Класични материјали претежно поседују добре хемијске и физичке особине (механичке, триболошке, електричне). Међутим, најчешћи је случај да поседују и неко одступање у потребним особинама које значајно ограничава област примене материјала (нпр. непостојаност на високим/ниским температурама, у агресивној средини, корозиона отпорност). Истраживање нових материјала је увело у употребу композитне материјале као материјале који имају најмање „непожељних“ особина.

Истраживања у области композитних материјала имају за циљ да побољшају структурне, термичке, хемијске или неке друге карактеристике појединачних материјала, или да се изради предмет који има оптималан однос производна цена захтеване карактеристике, чиме би се значајно снизила цена готовог производа.

Само у последњих 50-тих година у употребу је ушло више нових материјала него у свим претходним вековима. Истраживањем су добијени нови материјали чије карактеристике нису публиковане па се сада среће случај да инжењери и технолози не познају добро карактеристике нових материјала па изостаје њихова примена у складу са њиховим могућностима.

У овом раду је дат преглед историјског развоја индустријских композитних материјала, најзначајнијих тренутака од тридесетих година прошлог века до данас. Из истог се види да је главни окидач био ратни напор да се произведе боље и јефтиније борбено средство, а да су се последице тога (по завршетку рата, у мирнодопској производњи) осетиле у производњи квалитетне и јефтине „робе широке потрошње“.

Такође је дат увид у поделе композитних материјала. Поделе се могу извести на онолико начина на колико је могуће посматрати жељене особине композита. Овде су приказане основне поделе при чему су посматрани само ојачивачи или само матрице. Даљим укрштањем ових подела може се добити нови велики скуп детаљнијих подела и на основу ојачивача и матрице.

Конструктивна употреба композитних материјала је врло разноврсна и широка. Данас се не може наћи област људског живота у којој композитни материјали немају свог „представника“. Савремена аутоиндустрија, авиоиндустрија, грађевина, медицина итд.

Један од најбрже растућих сегмената индустрије композита је подручје копненог транспорта, при чему највећи део отпада на аутомобилску индустрију. Иако се може очекивати да ће индустрија композита расти, брзина раста ће зависити од неколико чинилаца. Најважнији је технички напредак који ће омогућити производњу високих серија убрзањем процеса производње. Остали се односе на конкурентност цене материјала, својства и трајност композита у широком спектру употребе. Интензивно се ради на замени постојећих материјала композитима са биљним влакнима.

Данас се врши све већи притисак на произвођаче материјала и крајњих производа да воде рачуна о последицама њихових производа на околину и то од почетка процеса производње, циклуса примене и крајњег искориштења производа. Овакав „еко дизајн“ је постао филозофија која се све интензивније примењује за све већи број материјала и еко-производа. Ови захтеви, у комбинацији са неопходним производним трошковима, однедавно су изазвали значајан интерес за добијање еко композитних материјала тако да је фокус академског света као и многих индустрија све више је усмерен према композитима ојачаним природним влакнима.

У оквиру испитивања израђени су примери са различитим % графитног праха, смоле, пигмента, кварца, катализатора, алуминијум хидроксида и других додатака, све у циљу побољшања механичких и физичких карактеристика. Сви узорци се након умешавања стављају у пећ, где се пеку на температури од 85° C, 3h.

Захвалница

Изјављујем да сам Мастер рад израдила самостално, користећи стечена знања за време студирања и наведену литературу. Захваљујем се ментору Проф. Др Богдану Недићу на инструкцијама и помоћи током израде Мастер рада. Уједно бих се захвалила колективу компаније „Металац“ на помоћи при изради узорака за испитивање, као и на стеченом практичном знању.

Литература

- [1] Марко Раденковић: завршни рад „Композитни материјали“, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац 2013.
- [2] Ивица Смојвер: „Механика композитних материјала“, Факултет стројства и бродоградње у Загребу, Загреб, 2007.
- [3] Фрањо Ковачичек, Ирина Жмак: „Метални композити“, МАТРИБ 2004.
- [4] Томислав Филетин, Гојко Марић: „Поступци производње композита“, Факултет стројства и бродоградње у Загребу, Загреб 2013.
- [5] Ј. Индоф, Ђ. Шпаничек: „Примена сендвич конструкције“, XVI СОРТА 2004.
- [6] Г. Марић: „Композитни Материјали“, ФСБ, Загреб 2012/2013.
- [7] Јелена Магдаленић Бујанић, Божо Бујанић: стручни рад, „Арамидна влакна“, Хрватска 2011.
- [8] Еми Говорчин Бајсић: „Полимерне мешавине“, Факултет хемијског инжењерства и технологије у Загребу, Загреб 2012.
- [9] Нино Рашић, Иван Рубил, Ален Живолић: „Хибридни материјали - Нанокомпозити“, Факултет електротехнике и рачунарства у Загребу, Загреб 2014.
- [10] Бранка Дугић Којић, Перо Дугић, Марица Дугић: „Утицај чврстих додатака на карактеристике мазивих масти“, Модрича.
- [11] Марица Иванковић: „Полимерни нанокомпозити“, Факултет хемијског инжењерства и технологије у Загребу, Загреб 2007.
- [12] Иван Савуљ: „Испитивање својстава композитних материјала“, Факултет стројарства и бродоградње у Загребу, Загреб 2012.
- [13] <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=62994>
- [14] <http://www.ranex.rs/cetkice>
- [15] <https://www.google.rs/imghp?hl=sr&ei=OMGNVfP6H46s7AbIzJHwDg&ved=0CAIQqi4oAQ>
- [16] <http://www.granmatrix.com/#/home>
- [17] <https://www.google.rs/>