

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАЎБАР КАДРЛАРИНИ
ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ
ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ

ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ
МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ МАРКАЗИ

КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

йўналиши

“КОМПОЗИЦИОН МАТЕРИАЛЛАРНИНГ
ИННОВАЦИОН
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ”

модули бўйича

Ў Қ У В – У С Л У Б И Й М А Ж М У А

Тошкент - 2017

**Мазкур ўқув-услугий мажмуа Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг
2017 йил 18 августдаги 4-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув режа ва дастур
асосида тайёрланди.**

Тузувчилар: **З.А.Бабаханова** - Тошкент кимё-технология институти,
“Силикат материаллар, нодир ва камёб
металлар технологияси” кафедраси доценти, т.ф.н.;

Б.Р.Рузибаев - Тошкент кимё-технология институти,
“Силикат материаллар, нодир ва камёб
металлар технологияси” кафедраси доценти, т.ф.н.;

Р.А.Хабибуллаев - Тошкент кимё-технология институти,
“Целлюлоза ва ёғочсозлик технологияси” кафедраси
доценти, т.ф.н.

Чет эл эксперти: **Enrico Bernardo** – Падуя Университети, “Индустриал
инженерия” факультети профессори

*Ўқув -услугий мажмуа Тошкент кимё-технология институти Кенгашининг
2017 йил 4 июлдагидаги 17-сонли қарори билан нашрга тавсия қилинган.*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Prof Enrico Bernardo
Advanced Ceramics and
Glasses group
Via Marzolo, 9
35131 Padova

tel. +39 049 8275510
fax +39 049 8275505
enrico.bernardo@unipd.it

CF 80006480281
P.IVA 00742430283

Administrative Office
via Gradenigo 6/a
35131 Padova
www.dii.unipd.it

tel. +39 049 8277500
fax +39 049 8277599
segreteria@dii.unipd.it

Padova, May 4th, 2016

To whom it may concern

*Expert Review on the Education Module “Innovative Technology of Composite Materials”,
prepared for the “Chemical technology” specialization on teachers retraining and educational courses*

Based on the proposed program, the Module “Innovative Technology of Composite Materials” is effectively devoted to the study of modern technologies in the production of composites. The module studies materials for matrices and fillers, with their properties and applications. Also the production technologies for polymer-matrix, ceramic-matrix and metal-matrix composites are included. Interestingly, I note that a special attention is paid to carbon-carbon composites and non-traditional composite materials such as Self-Reinforced composites, Biocomposites and Composites for Structural Design.

Based on the information from colleagues, the Module consists of a theoretical part and practical tasks, includes the case studies for self-study programs, the glossary and the list of references. I agree on the fact that the preparation of a glossary, containing reviews in both Uzbek and English languages, will enhance the assimilation of the program.

I think that the module “Innovative Technology of Composite Materials” can be used for educational purposes on teachers retraining and educational courses.

Yours sincerely,

Enrico Bernardo, PhD
Associate Professor
Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Edificio Ex Fisica Tecnica
Via Marzolo, 9
35131 Padova, Italy
phone +39 049 8275510
fax +39 049 8275505
e-mail enrico.bernardo@unipd.it
web <http://www.dii.unipd.it/bernardo>

МУНДАРИЖА

I. ИШЧИ ДАСТУР	5
II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТЕРФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ	11
III. НАЗАРИЙ МАТЕРИАЛЛАР	23
IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ	83
V. КЕЙСЛАР БАНКИ	105
VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ.....	111
VII. ГЛОССАРИЙ.....	113
VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.....	120
IX. ИЛОВАЛАР	121

I. ИШЧИ ДАСТУР

Кириш

Дастур ривожланган мамлакатлардаги хорижий тажрибалар асосида “Кимёвий технология” қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналиши бўйича ишлаб чиқилган ўқув режа ва дастур мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг билимини ва касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади. Дастур мазмуни композицион материаллар инновацион технологиялари соҳасида илмий ва амалий тадқиқотлар, технологик тараққиёт ва технологик жараёнларни ташкил этишнинг замонавий услублари бўйича сўнгги ютуқлар бўйича янги билим, кўникма ва малакаларини шакллантиришни назарда тутди.

Ушбу дастурда композицион материалларнинг инновацион технологиялари, композицион материаллар турлари ва уларнинг ишлаб чиқариш технологиялари, композитларнинг таркиби, структураси, макро ва микромеханикаси, композитлар билан дизайн қилиш усуллари, анъанавий ва ноанъанавий композитлар турлари, нанокompозитлар, биокompозитлар ва уларни ишлаб чиқаришдаги муаммолар баён этилган.

Модулнинг мақсади ва вазифалари

Кимёвий технология қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналишини “Кимёвий технология” мутахассислиги ўқув режасида махсус модуллар блокига киритилган “Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” модули ўқув дастурининг **мақсади** – полимер, металл, керамик-матрицали композитлар ишлаб чиқаришда инновацион технологиялар; нанокompозитлар, биокompозитлар, ламинатлар турлари, материалларда керакли структура ва хоссаларни таъминлашда композицион материалларнинг ўрни ва моҳияти, асосий асбоб ускуналари тўғрисида назарий ва касбий тайёргарликни таъминлаш ва янгилаш бўйича билим, кўникма ва малакаларни такомиллаштиришга қаратилган.

“Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” модулининг **вазифаси** - композицион материаллар ишлаб чиқаришда инновацион технологияларининг амалий принциплари, композицион материалларни заррача, тола ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш; шиша, органик, карбон, керамик тола ва симлар; матрица материаллар;

композицион материалларнинг структура тузилишлари ва хоссаларини, замонавий композицион материалларни ишлаб чиқаришдаги ускуна ва жиҳозларнинг таснифи, тузилиши, худудий муаммоларнинг композицион материаллар ишлаб чиқаришга таъсири, уларни амалиётга қўллаш бўйича малакавий кўникмаларини шакллантириш.

Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблар

“Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” модули бўйича тингловчилар қуйидаги янги билим, кўникма, малака ҳамда компетенцияларга эга бўлишлари талаб этилади:

Тингловчи:

- композицион материаллар таснифи ва турлари;
- заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш;
- матрица полимер, металл, керамика материаллари;
- полимер, металл, керамик-матрицали композитларни олиш жараёнлари;
- нанокompозитлар, биокompозитлар, ламинатлар инновацион технологиялари ҳақида **билимларга эга бўлиши лозим.**

Тингловчи:

- йўналтирилган хусусиятли композицион материал ишлаб чиқаришда матрица материални танлаш;
- полимер, металл, керамик-матрицали композитларнинг таркибларини тузиш;
- зарур сифатдаги композицион материаллар ишлаб чиқариш учун тадбиқ қилинаётган инновацион технологияларнинг режимларини ростлаш **кўникма ва малакаларини эгаллаши зарур.**

Тингловчи:

- замонавий инновацион технологияларнинг имкониятларини намоиш қилиш тамойилларини ажратиб кўрсата олиш;
- технологик операцияларнинг инновацион технология жараёнларидаги ўрнини ва уларнинг характеристикаларини фарқлаш;
- керакли хусусиятларга эга бўлган композицион материал таркибини тузиш ва унинг физик-механик хоссаларини лойиҳалаштириш **компетенцияларни эгаллаши лозим.**

Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар

“Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” курси маъруза ва амалий машғулотлар шаклида олиб борилади.

Курсни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, педагогик технологиялар ва ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва электрон-дидактик технологиялардан;
- ўтказиладиган амалий машғулотларда техник воситалардан, тарқатма материаллар, экспресс-сўровлар, тест сўровлари, гуруҳли фикрлаш, кичик гуруҳлар билан ишлаш, ақлий хужум, кейслар ечиш, ва бошқа интерактив таълим усуллари қўллаш назарда тутилади.

Модулнинг ўқув режадаги бошқа модуллар билан боғлиқлиги ва узвийлиги

“Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” модули қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналишини “Кимёвий технология” мутахассислигидаги “Кимё саноатидаги инновацион технологиялар” ва “Кимё саноатидаги наноматериаллар” модуллари билан узлуксиз боғлиқ бўлиб, ушбу модулларни ўзлаштиришда амалий ёрдам беради. «Композицион материалларнинг инновацион технологиялари» модулини тўлиқ ўзлаштиришда ва амалий вазифаларни бажаришда “Муҳандислик технологиясида тизимли таҳлил асослари (кимёвий технология)”, “Электрон педагогика асослари ва педагогнинг шахсий, касбий ахборот майдонини лойиҳалаш”, ҳамда “Амалий хорижий тилни ўрганишнинг интенсив усуллари” модуллари ёрдам беради.

Модулнинг олий таълимдаги ўрни

“Композицион материалларнинг инновацион технологиялари” модули қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналишини “Кимёвий технология” мутахассислиги бўйича умумкасбий ва ихтисослик фанлари модулларидан дарс берувчи профессор ўқитувчилар учун муҳим ўринни эгаллайди. Ушбу модул Олий таълим муассасаларида таълим берувчи педагоглар томонидан ўқув-илмий ишларни олиб бориш учун асосий назарий ва амалий билимларни беради.

Модул бўйича соатлар тақсимоти

№	Модул мавзулари	Тингловчининг ўқув юкلامаси, соат				
		Ҳаммаси	Аудитория ўқув юкلامаси			Мустақил таълим
			Жами	назай	амалий машғулот	
1.	Композицион материаллар тузилиши. Матрицали ва дисперс фаза. Заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш. Шиша, органик, карбон, керамик тола, симлар. Матрица материаллари: полимерлар, металлар, керамика материаллари.	6	4	2	2	2
2.	Полимер матрицали композитларни олиш жараёнлари. Елимланган ёғоч материаллари. Ламинатлар.	4	4	2	2	
3.	Металл матрицали полимерлар турлари ва олиш жараёнлари. Композитлар микромеханикаси ва макромеханикаси.	4	4	2	2	
4.	Керамик матрицали композитларни олиш усуллари. Углерод-углеродли композитлар. Композитлар билан дизайн. Ноанъанавий композитлар. Нанокompозитлар. Биокompозитлар.	6	6	2	4	
	Жами:	20	18	8	10	2

НАЗАРИЙ МАШЎУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-мавзу: Композицион материаллар тузилиши. Матрицали ва дисперс фаза.

Композицион материаллар тушунчаси. Композицион материаллар тузилиши. Матрицали ва дисперс фаза. Заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш. Шиша, органик, карбон, керамик тола,

симлар. Матрица материаллари. Полимерлар, металлар, керамика материаллари.

2-мавзу: Полимер матрицали композитларни олиш жараёнлари.

Нометалл матрицали материаллар. Полимер матрицалар: Термопластлар ва реактопластлар. Полимер матрицали композитларни олиш жараёнлари. Елимланган ёғоч материаллари. Ламинатлар.

3-мавзу: Металл матрицали полимерлар турлари ва олиш жараёнлари.

Металл матрицалар. Металл матрицали композитларни турлари ва олиш жараёнлари. Композитлар микромеханикаси ва макромеҳаникаси.

4-мавзу: Керамик матрицали композитларни олиш усуллари. Углерод-углеродли композитлар. Композитлар билан дизайн. Ноанъанавий композитлар. Нанокомпозитлар. Биокомпозитлар.

Керамик матрицалар. Керамик матрицали композитларни олиш усуллари. Углерод-углеродли композитлар. Композитлар билан дизайн. Ноанъанавий композитлар. Нанокомпозитлар. Биокомпозитлар. Гибрид композитлар.

АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ

1-амалий машғулот:

Композицион материаллар ишлаб чиқаришдаги мустаҳкамлаштирувчи компонентлар хоссаларини ўрганиш.

Композицион материаллар ишлаб чиқаришдаги толалар хоссаларини ўрганиш. Композицион материаллар ишлаб чиқаришдаги дисперс мустаҳкамлаштирувчи компонентларнинг гранулометриқ таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

2-амалий машғулот:

Матрица материаллари таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

Терморектив полимер материаллар таркиби ва асосий хоссаларини ўрганиш. Термопластик полимер материаллар таркиби ва асосий хоссаларини ўрганиш.

3-амалий машғулот:

Композицион материал таркибини тузиш ва хоссаларини лойиҳалаш.

Полимер матрица асосида композицион материал таркибини тузиш, композицияни тайёрлаш усуллари ва қотириш жараёнини ўрганиш.

4-амалий машғулот:

Шишакомпозитлар ишлаб чиқариш технологиясини ўрганиш.

Шишакомпозит “Триплекс” таркиби, асосий хоссалари ва қўлланилиш имкониятларини ўрганиш.

ЎҚИТИШ ШАКЛЛАРИ

Мазкур модул бўйича қуйидаги ўқитиш шаклларида фойдаланилади:

- маърузалар, амалий машғулотлар (маълумотлар ва технологияларни англаб олиш, ақлий қизиқишни ривожлантириш, назарий билимларни мустаҳкамлаш);
- давра суҳбатлари (ўрганилаётган муаммо ечимлари бўйича таклиф бериш қобилиятини ошириш, эшитиш, идрок қилиш ва мантиқий хулосалар чиқариш);
- баҳс ва мунозаралар (муаммолар ечими бўйича далиллар ва асосли аргументларни тақдим қилиш, эшитиш ва муаммолар ечимини топиш қобилиятини ривожлантириш).

БАҲОЛАШ МЕЗОНИ

№	Баҳолаш турлари	Максимал балл	Баллар
1	Кейс топшириқлари		1.5 балл
2	Мустақил иш топшириқлари	2.5	1 балл

II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТЕРФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ

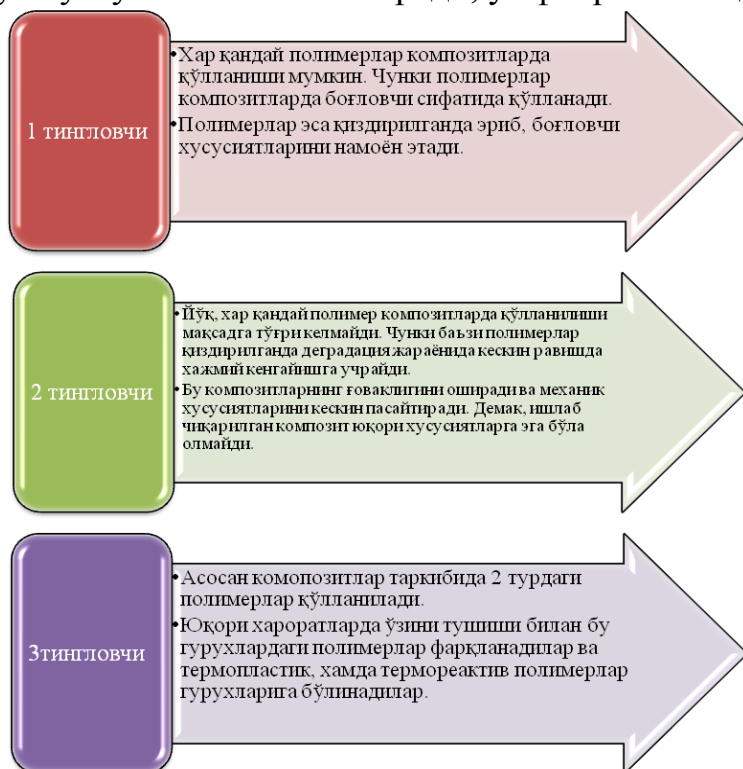
«Ақлий ҳужум» (брейнсторминг) методи

Методнинг мақсади: амалий ёки илмий муаммоларни ҳал этиш фикрларни жамоали генерация қилиш, ўқиб-ўрганиш фаолиятини фаоллаштириш, муаммони мустақил тушуниш ва ҳал этишга мотивлаштиришни ривожлантириш.

• Ақлий ҳужум вақтида иштирокчилар мураккаб муаммони биргаликда ҳал этишга интилишади: уларни ҳал этиш бўйича ўз фикрларини билдиради (генерация қилади) ва бу фикрлар танқид қилинмасдан улар орасидан энг мувофиқи, самаралиси, мақбули ва шу каби фикрлар танлаб олиниб, муҳокама қилинади, ривожлантирилади ва ушбу фикрларни асослаш ва рад этиш имкониятлари баҳоланади. Ҳар бир гуруҳ ичида умумий муаммонинг бир жиҳати ҳал этилади.

Намуна: Ҳар қандай полимер бирикмаларидан композитлар таркибини тузишда фойдаланилиш мумкин-ми?

Тўғридан-тўғри жамоали ақлий ҳужум – иложи борича кўпроқ фикрлар йиғилишини таъминлайди. Бутун ўқув гуруҳи (20 кишидан ортиқ бўлмаган) битта муаммони ҳал этади. Ўқув гуруҳидаги ҳар бир тингловчи ушбу муаммога жавоб беради, ўз фикрини билдириб, далиллар келтиради.



ХУЛОСА:

- Композитларда полимерлар боғловчи сифатида қўлланилади. Полимерлар қиздирилганда боғловчилик хусусиятига эгадир, юқори ҳароратдаги табиатига кўра 2 турга бўлинади: термопластик ва термореактив полимерлар.
- Композитларда боғловчи матрицалар сифатида қаттиқ эпоксид, полиэфир, фенол смолалар қўлланилади.
- Полимер матрицалар юқори мустаҳкамлик ва эластик хоссалар; агрессив муҳитларга бардошлик; яхши антифрикцион ва фрикцион хоссалар, ҳамда юқори иссиқлик химоялаш ва амортизация хусусиятларини таъминлайди.
- Полимер матрицалар қотган ҳолатда етарли мустаҳкамликка эга ва захарли моддаларни кўп миқдорда чиқармайдиган бўлиши талаб этилади.

“Венн диаграммаси” методи

Методнинг мақсади: Бу метод график тасвир орқали ўқитишни ташкил этиш шакли бўлиб, у иккита ўзаро кесишган айлана тасвири орқали ифодаланади. Мазкур метод турли тушунчалар, асослар, тасавурларнинг анализ ва синтезини икки аспект орқали кўриб чиқиш, уларнинг умумий ва фарқловчи жиҳатларини аниқлаш, таққослаш имконини беради.

Методни амалга ошириш тартиби:

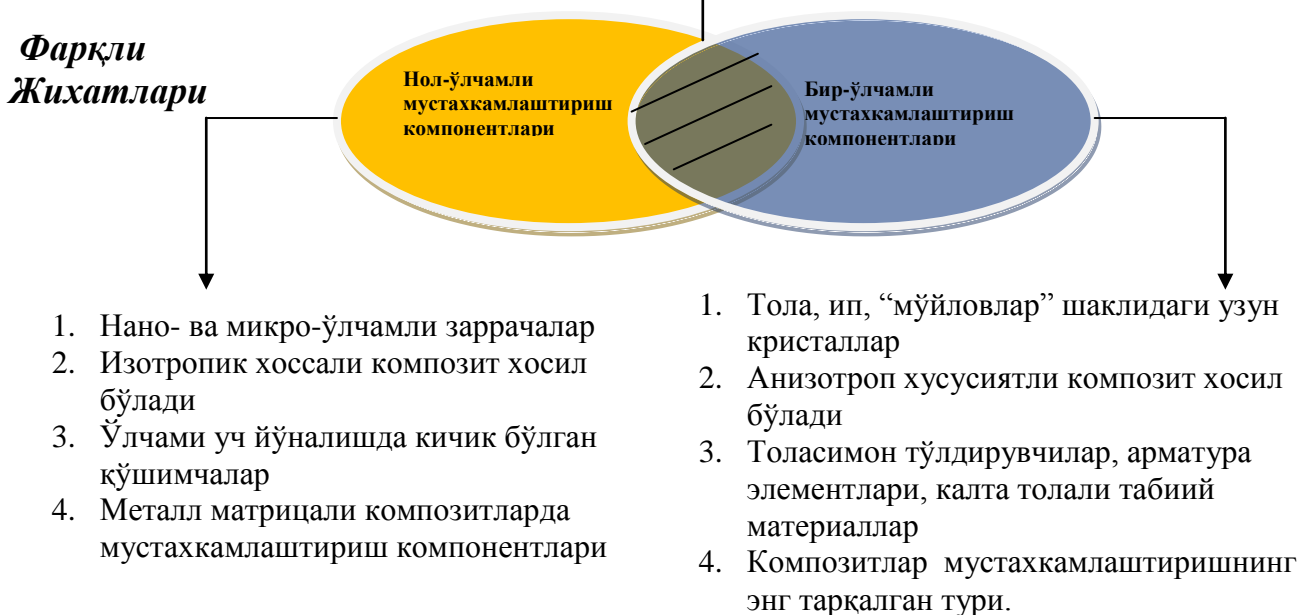
- иштирокчилар икки кишидан иборат жуфтликларга бирлаштириладилар ва уларга кўриб чиқиладиган тушунча ёки асоснинг ўзига хос, фарқли жиҳатларини (ёки акси) доиралар ичига ёзиб чиқиш таклиф этилади;
- навбатдаги босқичда иштирокчилар тўрт кишидан иборат кичик гуруҳларга бирлаштирилади ва ҳар бир жуфтлик ўз таҳлили билан гуруҳ аъзоларини таништириладилар;
- жуфтликларнинг таҳлили эшитилгач, улар биргалашиб, кўриб чиқиладиган муаммо ёхуд тушунчаларнинг умумий жиҳатларини (ёки фарқли) излаб топадилар, умумлаштириладилар ва доирачаларнинг кесишган қисмига ёзадилар.

Намуна 1:

“Нол-ўлчамли мустаҳкамлаштириш компонентлари” ва “Бир-ўлчамли мустаҳкамлаштириш компонентлари” мавзуси бўйича “Венн диаграммаси”.

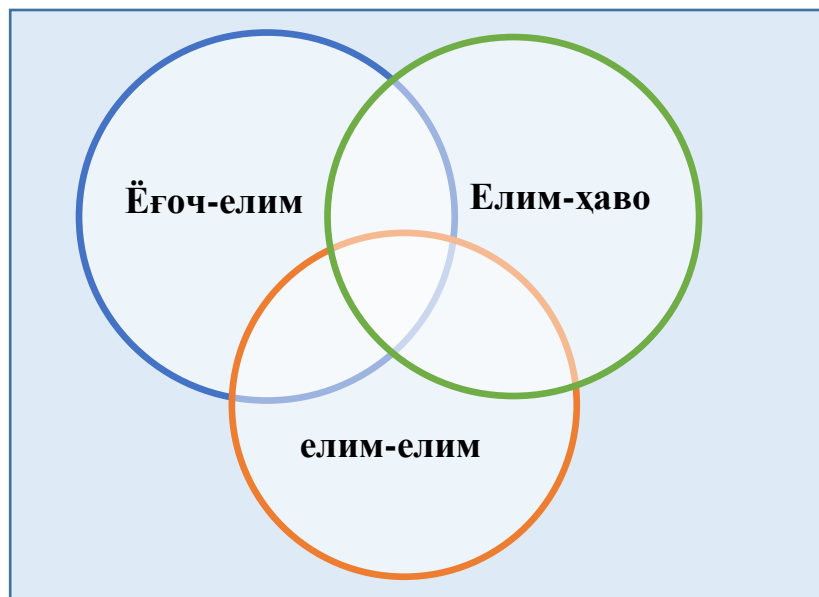
Умумий жиҳатлари:

1. Композитларда мустаҳкамлаштирувчи вазифасини бажаради.
2. Композитларнинг термик бардошлигини оширади.
3. Композитларнинг мустаҳкамлигини оширади.
4. Композитларнинг қаттиқлигини оширади.



Намуна 2:

Елимланган материаллардаги адгезия ва когезия кучлари бўйича “Венн диаграммаси”.



“КЕЙС – СТАДИ” методи

«Кейс-стади» инглизча сўз - (case – аниқ вазият, ҳодиса, study - ўқитиш). Бу метод аниқ вазият, ҳодисага асосланган ўқитиш методи ҳисобланади. Кейс- услуб (Case study) – бу реал иқтисодий ёки ижтимоий вазиятлар таърифини қўллайдиган таълим бериш техникасидир. Бунда *вазият* деганда бирон аниқ ҳодисанинг таърифи назарда тутилади. Гуруҳга ҳақиқий ахборот тақдим этилиб (у ҳақиқий ҳодисага асосланган ёки ўйлаб чиқилган бўлиши мумкин), муаммоларни муҳокама қилиш, вазиятни таҳлил этиш, муаммонинг моҳиятини ўрганиб чиқиш, уларнинг тахминий ечимларини таклиф қилиш ва бу ечимлар орасидан энг яхшисини танлаб олиш таклиф этилади.

«Кейс - стади» методи бўйича ишлаш:

1. Якка тартибда ишлаш (умумий вақтнинг 30% си):

Вазият билан танишиш (матн бўйича ёки сўзлаб бериш орқали). Муаммоларни аниқлаш. Ахборотни умумлаштириш. Ахборот таҳлили.

2. Гуруҳда ишлаш (умумий вақтнинг 50% си):

Муаммоларни ҳамда уларнинг долзарблиги бўйича кетма-кетлигини (иерархиясини) аниқлаш. Муқобил ечим йўллари ишлаб чиқиш. Ҳар бир ечимнинг афзал ва заиф жihatларини белгилаш. Муқобил ечимларни баҳолаш.

3. Якка тартибда ва гуруҳда ишлаш (умумий вақтнинг 20% си):

Муқобил вариантларни қўллаш имкониятларини асослаш. Ҳисобот ҳамда натижалар тақдимотини тайёрлаш.

Кейс ҳаракатлари ўз ичига қуйидагиларни қамраб олади: Ким (Who), Қачон (When), Қаерда (Where), Нима учун (Why), Қандай/ Қанақа (How), Нима-натижа (What).

“Кейс методи” ни амалга ошириш босқичлари

Иш босқичлари	Фаолият шакли ва мазмуни
1-босқич: Кейс ва унинг ахборот таъминоти билан таништириш	<ul style="list-style-type: none"> ✓ якка тартибдаги аудио-визуал иш; ✓ кейс билан танишиш(матнли, аудио ёки медиа шаклда); ✓ ахборотни умумлаштириш; ✓ ахборот таҳлили; ✓ муаммоларни аниқлаш
2-босқич: Кейсни аниқлаштириш ва ўқув топшириғни белгилаш	<ul style="list-style-type: none"> ✓ индивидуал ва гуруҳда ишлаш; ✓ муаммоларни долзарблик иерархиясини аниқлаш; ✓ асосий муаммоли вазиятни белгилаш
3-босқич: Кейсдаги асосий муаммони таҳлил этиш орқали ўқув топшириғининг ечимини излаш, ҳал этиш йўллари ишлаб чиқиш	<ul style="list-style-type: none"> ✓ индивидуал ва гуруҳда ишлаш; ✓ муқобил ечим йўллари ишлаб чиқиш; ✓ ҳар бир ечимнинг имкониятлари ва тўсиқларни таҳлил қилиш; ✓ муқобил ечимларни танлаш
4-босқич: Кейс ечимини ечимини шакллантириш ва асослаш, тақдимот.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ якка ва гуруҳда ишлаш; ✓ муқобил вариантларни амалда қўллаш имкониятларини асослаш; ✓ ижодий-лойиҳа тақдимотини тайёрлаш; ✓ якуний хулоса ва вазият ечимининг амалий аспектларини ёритиш

Кейс 1. «Кевлар» толалари билан мустаҳкамлаштирилган полимер – матрицали композитлар юқори эластиклик модулига эга, шунинг учун улар дунё бўйича қуролли кучларни ҳимоялаш воситаларида кенг қўлланилади (бронежилетлар тайёрлашда). Аммо бундай композитларнинг термик бардошлиги паст кўрсаткичларга эга.

Композитларнинг термик бардошлигини қандай ошириш мумкин?

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгилаш(индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Янги термик бардош ва юқори эластик модулига эга бўлган композитнинг таркибини тақлиф этиш (жуфтликлардаги иш).

Кейс 2.ДСП, фанера, МДФ, ДСтП материаллари ёғочсозликда мебель ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади. Бироқ, улар Ўзбекистонга асосан четдан келтирилади. Ўзбекистонда елимланган ёғоч материаллар ишлаб чиқаришни ташкил қилиш учун имкониятларни изланг.

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгиланг, зарур билимлар рўйхатини тузинг (индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Ёғоч хом ашёсини тўплаш бўйича бажариладиган ишлар кетма-кетлигини белгиланг (жуфтликда ишлаш).
- Елимланган ёғоч материаллар бозори истеъмолчиларини изланг.
- Бажарилган ишларни тақдимот қилинг.

Кейс 3

Турли ёғочлардан олинган елимланган материаллар турлича физик-механик хоссаларни намоён қилади. Ўзбекистон шароитида қайси елимланган ёғоч материалини ишлаб чиқариш ҳар тарафлама фойдали?

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:

• Елимланган материалларнинг структурасини ўрганиб чиқинг (якка тартибда).

• Уларда қўлланиладиган елимларни гуруҳларга ажратинг (жуфтликда).

• Мебель ва дугадгорлик буюмларининг конструктив элементларини ўрганинг (гуруҳда).

• Ишлаб чиқариш мумкин бўлган энг самарали елимланган ёғоч материалини танланг.

• Кейс натижаларини намоён қилинг.

“Тушунчалар таҳлили” методи

Методнинг мақсади: мазкур метод тингловчилар ёки қатнашчиларни мавзу бўйича таянч тушунчаларни ўзлаштириш даражасини аниқлаш, ўз билимларини мустақил равишда текшириш, баҳолаш, шунингдек, янги мавзу бўйича дастлабки билимлар даражасини ташхис қилиш мақсадида қўлланилади.

Методни амалга ошириш тартиби:

- иштирокчилар машғулот қоидалари билан таништирилади;
- тингловчиларга мавзуга ёки бобга тегишли бўлган сўзлар, тушунчалар номи туширилган тарқатмалар берилади (индивидуал ёки гуруҳли тартибда);
- тингловчилар мазкур тушунчалар қандай маъно англатиши, қачон, қандай ҳолатларда қўлланилиши ҳақида ёзма маълумот берадилар;
- белгиланган вақт якунига етгач ўқитувчи берилган тушунчаларнинг тўғри ва тўлиқ изоҳини уқиб эшиттиради ёки слайд орқали намойиш этади;
- ҳар бир иштирокчи берилган тўғри жавоблар билан ўзининг шахсий муносабатини таққослайди, фарқларини аниқлайди ва ўз билим даражасини текшириб, баҳолайди.

Намуна: “Модулдаги таянч тушунчалар таҳлили”

Тушунчалар	Сизнингча бу тушунча қандай маънони англатади?	Қўшимча маълумот
Композицион материал	Ишлаб чиқарилган, икки ёки кўпроқ физикавий ва кимёвий ҳар хил бўлган, матрица (интерфейс) ичида тартибли жойлашган фазалардан ташкил топган материал.	
Матрица, интерфейс	Композицион материалнинг бир бутунлигини таъминловчи боғловчи компонент	
Матрица материаллари	Металл, керамика, полимер материаллар	

Изоҳ: Иккинчи устунчага қатнашчилар томонидан фикр билдирилади. Мазкур тушунчалар ҳақида қўшимча маълумот глоссарийда келтирилган.

“SWOT-таҳлил” методи

Методнинг мақсади: мавжуд назарий билимлар ва амалий тажрибаларни таҳлил қилиш, таққослаш орқали муаммони ҳал этиш йўлларни топиш, билимларни мустаҳкамлаш, такрорлаш, баҳолаш, мустақил, танқидий фикрлаш, ностандарт тафаккурни шакллантириш.



Намуна 1: Толали мустаҳкамлаштириш компонентлари учун SWOT таҳлилини ушбу жадвалга туширинг.

S	Толали мустаҳкамлаштириш компонентларининг кучли томонлари	Мустаҳкамлиги энг юқори кўрсаткичларга эга композитларни имкониятлари...
W	Толали мустаҳкамлаштириш компонентларининг кучсиз томонлари	Толали мустаҳкамлаштирилган композитларнинг анизотроплиги
O	Толали мустаҳкамлаштириш компонентларининг имкониятлари (ички)	Янги турдаги юқори хусусиятли толалар яратилмоқда – бор толалари, углерод толалари...
T	Тўсиқлар (ташқи)	Толали компонентлар матрица материаллари билан ҳўлланилиши ва араллиши қийинлиги...

Намуна 2: Ёғоч-елим адгезияси учун SWOT таҳлилини амалга оширинг.

S	Кучли томонлари	<ul style="list-style-type: none"> • ёғоч юзасига елим текис тақсимланади; • елим ёғоч юзасига пуркаш, ролик билан суркаш, шпател билан суркаш, қуйиш каби турли усуллар билан берилиши мумкин; • очик ва ёпиқ ҳолатларда қотиши мумкин; • ион боғланишлар энг кучли боғланиш ҳисобланади.
W	Кучсиз томонлари	<ul style="list-style-type: none"> • очик ҳолатда қотганда эритувчини чиқариб юбориш керак; • елим ва ёғоч ўртасида мослашувчанлик бўлиши лозим; • дисперс боғланишлар энг кучсиз боғланиш ҳисобланади.
O	Имкониятлари (ички)	<ul style="list-style-type: none"> • ёғоч структурасига боғлиқ; • кимёвий боғлар ҳам, механик боғлар ҳам яхши адгезия бериши мумкин; • дисперсион, икки қутбли ва водород боғлари узилса намлик таъсирида қайта тикланиши мумкин.
T	Тўсиқлар (ташқи)	<ul style="list-style-type: none"> • ковалент боғлар узилса қайта тикланмайди; • дисперсия кучлар молекулалар орасида бўлганда жуда суст бўлади, атомлар орасида бўлганда эса жуда кучли ҳисобланади.

“Хулосалаш” (Резюме, Веер) методи

Методнинг мақсади: Бу метод мураккаб, кўптармоқли, мумкин қадар, муаммоли характеридаги мавзуларни ўрганишга қаратилган. Методнинг моҳияти шундан иборатки, бунда мавзунинг турли тармоқлари бўйича бир хил ахборот берилади ва айтилган пайтда, уларнинг ҳар бири алоҳида аспектларда муҳокама этилади. Масалан, муаммо ижобий ва салбий томонлари, афзаллик, фазилат ва камчиликлари, фойда ва зарарлари бўйича ўрганилади. Бу интерфаол метод танқидий, таҳлилий, аниқ мантиқий фикрлашни муваффақиятли ривожлантиришга ҳамда ўқувчиларнинг мустақил ғоялари, фикрларини ёзма ва оғзаки шаклда тизимли баён этиш, ҳимоя қилишга имконият яратди. “Хулосалаш” методидан маъруза машғулотларида индивидуал ва жуфтликлардаги иш шаклида, амалий ва семинар машғулотларида кичик гуруҳлардаги иш шаклида мавзу юзасидан билимларни мустаҳкамлаш, таҳлили қилиш ва таққослаш мақсадида фойдаланиш мумкин.

Методни амалга ошириш тартиби:



тренинг-ўқитувчи иштирокчиларни 5-6 кишидан иборат кичик гуруҳларга ажратади;



тренинг мақсади, шартлари ва тартиби билан иштирокчиларни таништиргач, ҳар бир гуруҳга умумий муаммони таҳлил қилиниши зарур бўлган қисмлари тўширилган тарқатма материалларни



ҳар бир гуруҳ ўзига берилган муаммони атрафлича таҳлил қилиб, ўз мулоҳазаларини тавсия этилаётган схема бўйича тарқатмага ёзма баён қилади:



навбатдаги босқичда барча гуруҳлар ўз тақдимотларини ўтказадилар. Шундан сўнг, тренер томонидан таҳлиллар умумлаштирилади, зарурий ахборотлар билан тўлдирилади ва мавзу

Намуна 1:

Композицион материаллар					
Полимер матрицали		Металл матрицали		Керамик матрицали	
афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги
Хулоса:					

Намуна 2:

Алтернатив ёқилғи турлари					
Фанера		MDF		OSB	
афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги
Хулоса:					

«ФСМУ» методи

Технологиянинг мақсади: Мазкур технология иштирокчилардаги умумий фикрлардан хусусий хулосалар чиқариш, таққослаш, қиёслаш орқали ахборотни ўзлаштириш, хулосалаш, шунингдек, мустақил ижодий фикрлаш кўникмаларини шакллантиришга хизмат қилади. Мазкур технологиядан маъруза машғулотларида, мустақамлашда, ўтилган мавзуни сўрашда, уйга вазифа беришда ҳамда амалий машғулот натижаларини таҳлил этишда фойдаланиш тавсия этилади.

Технологияни амалга ошириш тартиби:

- қатнашчиларга мавзуга оид бўлган якуний хулоса ёки ғоя таклиф этилади;
- ҳар бир иштирокчига ФСМУ технологиясининг босқичлари ёзилган қоғозларни тарқатилади:



- иштирокчиларнинг муносабатлари индивидуал ёки гуруҳий тартибда тақдимот қилинади.

ФСМУ таҳлили қатнашчиларда касбий-назарий билимларни амалий машқлар ва мавжуд тажрибалар асосида тезроқ ва муваффақиятли ўзлаштирилишига асос бўлади.

Намуна 1.

Фикр: “Полимер матрицали композитлар энг юқори физик-механик ва кимёвий хоссаларга эгадир”.

Топшириқ: Мазкур фикрга нисбатан муносабатингизни ФСМУ орқали таҳлил қилинг.

Намуна 2: “Елимланган материалда елим ва ёғочнинг бир-бирига мослашувчанлиги катта аҳамиятга эга” фикрини ФСМУ орқали таҳлил қилинг.

Ф	• “Елимланган материалда елим ва ёғочнинг бир-бирига мослашувчанлиги катта аҳамиятга эга”.
С	• “Елим ва ёғоч бир бирига адгезияси юқори бўлса, елим ёғочга мос бўлади”.
М	• “Карбамид-формальдегид елимларининг ёғочга адгезияси юқори бўлади, чунки уларда метилол гуруҳлари ва ёғочдаги гидроксил гуруҳлари билан кучли боғлар ҳосил бўлади”.
У	• “Карбамид-формальдегид елимлари асосидаги елимланган ёғоч материалларида метилол гуруҳлари ва ёғочдаги гидроксил гуруҳлари билан кучли боғлар ҳосил қилиши сабабли адгезия юқори бўлади”.

“Синквейн” методи

“Синквейн” – тингловчини ижодий фаоллаштиришга, фаолиятни баҳолашига йўналтирилган таълим машқи ҳисобланади. Синквейн-французча сўздан олинган бўлиб, бешлик деган маънони билдиради. “Синквейн” методини амалга ошириш босқичлари:

1. Ўқитувчи тингловчиларга мавзуга оид тушунча, жараён ёки ҳодиса номини беради.
2. Тингловчилардан улар ҳақидаги фикрларини қисқа кўринишда ифодалашлари сўралади. Яъни, шеърга ўхшатиб 5 қатор маълумотлар ёзишлари керак бўлади.

У қуйидага қоидага асосан тузилиши керак:

- 1-қаторда мавзу бир сўз билан (одатда от билан) ифодаланади.
- 2-қаторда мавзуга жуда мос келадиган иккита сифат берилади.
- 3-қаторда мавзу 3та ҳаракатни билдирувчи феъл билан фойдаланилади.
- 4-қаторда темага доир муҳокама этувчиларнинг ҳиссиётини ифодаловчи жумла тузилади. У тўрт сўздан иборат бўлади.
- 5-қаторда мавзуни моҳиятини ифодаловчи битта сўз берилади. У мавзунинг синоними бўлади.

Намуна. “Матрица” сўзига синквейн тузинг.

1. Матрица.
2. Боғловчилик хусусияти.
3. Хажм бўйича тенг тақсимланган.
4. Композитнинг бир жинслилигини таъминлайдиган керамик, полимер ёки металл материал.
5. Компонент.

“Кластер” методи

Фикрларнинг тармоқланиши “Кластер” – бу педагогик стратегия бўлиб, у тингловчиларни бирон бир мавзуни чуқур ўрганишларига ёрдам бериб, тингловчиларни мавзуга тааллуқли тушунча ёки аниқ фикрни эркин ва очик равишда кетма-кетлик билан узвий боғлаган ҳолда тармоқлашларига ўргатади.

Фикрларни тармоқлаш қуйидагича ташкил этилади:

1. Ҳаёлга келган ҳар қандай фикр бир сўз билан ифода этиб кетма-кет ёзилади.

2. Фикрлар тугамагунча ёзишда давом этавериш керак.

3. Иложи борича фикрларнинг кетма-кетлиги ва ўзаро боғлиқлигини кўпайтириш.

Намуна. “Композицион материаллар турлари” мавзусига “Кластер” график органиайзерини тузинг.

“Ассесмент” методи

Методнинг мақсади: Мазкур метод таълим олувчиларнинг билим даражасини баҳолаш, назорат қилиш, ўзлаштириш кўрсаткичи ва амалий кўникмаларини текширишга йўналтирилган. Мазкур техника орқали таълим олувчиларнинг билиш фаолияти турли йўналишлар (тест, амалий кўникмалар, муаммоли вазиятлар машқи, қиёсий таҳлил, симптомларни аниқлаш) бўйича ташҳис қилинади ва баҳоланади.

Методни амалга ошириш тартиби:

“Ассесмент” лардан маъруза машғулотларида тингловчиларнинг ёки катнашчиларнинг мавжуд билим даражасини ўрганишда, янги маълумотларни баён қилишда, семинар, амалий машғулотларда эса мавзу ёки маълумотларни ўзлаштириш даражасини баҳолаш, шунингдек, ўз-ўзини баҳолаш мақсадида индивидуал шаклда фойдаланиш тавсия этилади. Шунингдек, ўқитувчининг ижодий ёндашуви ҳамда ўқув мақсадларидан келиб чиқиб, ассесментга қўшимча топшириқларни киритиш мумкин.

Намуна 1. Ҳар бир катакдаги тўғри жавоб 0,5 балл (тест, қиёсий таҳлил, тушунча таҳлили учун) ёки 1 баллгача (амалий кўникма, кейс учун) баҳоланиши мумкин.



Тест

Икки ўлчамли тўлдирувчилар

- а) Майда заррачали кўшимчалар
- б) Ленталар, матолар, матлар, тўрсимон элементлар
- в) Бир ўлчамли кўшимчалар
- г) Майда заррачали кум, металллар, фосфатлар



Қиёсий таҳлил

Дисперс мустаҳкамлаштирилган ва толали мустаҳкамлаштирилоган композитларни таққосланг.



Тушунча таҳлили

Никель ва алюминий асосида тайёрланган композитлар -



Амалий кўникма, кейс

Дисперс фаза кўрсаткичларини келтиринг ва уларнинг аниқлаш усулларини ифодалаб беринг.

Намуна 2. Ҳар бир катакдаги тўғри жавоб 0,5 балл (тест, қиёсий таҳлил, тушунча таҳлили учун) ёки 1 баллгача (амалий кўникма, кейс учун) баҳоланиши мумкин.



Тест

Карбамид-формальдегид елимларининг ёғочга адгезияси юқорими?

- А) ҳа
- Б) йўқ
- С) ҳар доим эмас



Қиёсий таҳлил

Қутбли ва ион боғланишларни ўзаро таққосланг.



2. Тушунча таҳлили

Ион боғланиш бу – ...



Амалий кўникма

Ван Дер Вальс кучларини ёғоч-елим композициясида қандай ҳолатларда ҳосил бўлишини асослаб беринг.

III. НАЗАРИЙ МАТЕРИАЛЛАР

1-мавзу: Композицион материаллар тузилиши. Матрицали ва дисперс фаза. Заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш. Шиша, органик, карбон, керамик тола, симлар. Матрица материаллари: полимерлар, металлар, керамика материаллари.

Режа:

- 1.1. Композицион материаллар тушунчаси.
- 1.2. Композицион материаллар тузилиши.
- 1.3. Матрицали ва дисперс фаза. Заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш.
- 1.4. Шиша, органик, карбон, керамик тола, симлар.
- 1.5. Матрица материаллари. Полимерлар, металлар, керамика материаллари.

Таянч иборалар: *композицион, матрица, интерфейс, мустаҳкамлаштириш (армировка), тўлдиргич, дисперс, қатламли, тола, ип, ровинг, мат, шиша, керамик тола, металл матрица, органик, графит, углерод тола, дисперс-мустаҳкамлаштирилган, толали композитлар, қатламли композитлар, композитлар, матрица, термопласт, терморектив полимер, эпоксид смола, фенол, полиэфир, винил эфир, алюминий, никель, қотишмалар, шишакерамика, кристаллизация катализатори, керамика.*

1.1. Композицион материаллар тушунчаси.

Конструкцион материалларнинг механик мустаҳкамлигини ошириш – машинасозликда энг долзарб муаммо бўлиб қомакда. Аммо материалларнинг мустаҳкамлиги ошиши уларнинг пластиклигини кескин пасайишига ва синишга мойиллигини оширишга олиб келмакда. Бу эса юкори мустаҳкамликга эга бўлган материалларнинг конструкцион материал сифатида қўлланилишига тўсқинлик қилиб келмакда.

Пластикликга эга матрица ва юкори мустаҳкамликга эга бўлган толалар (матрицадан мустаҳкамлиги анча юкорироқ бўлган материаллар) асосида олинган композицитлар конструкцион материалларнинг эксплуатацион хоссаларини кескин кенгайтириб бормакда. Албатта, энг замонавий турбиналар ёки космик техникаси конструкциясини ушбу агрессив муҳитда ишлай оладиган ва юкори даражали нагрузкаларни кўтара оладиган материалларсиз хозирда тасаввур этиб бўлмаиди.

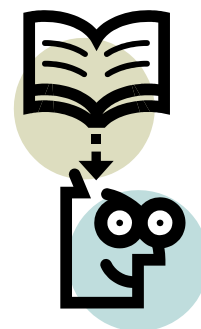
Композицион материаллар чукур тарихга эга ва табиатда кенг учрайди. Мисол тариқасида кокос пальмасининг баргларини келтиришимиз мумкин: барг тузилиши армировка – мустаҳкамлаштирувчи толалар жойлашган

консоль деб тушунтирилса ҳам бўлади. Ёғоч ҳам ўз навбатида толали композитдир: целлюлоза толалари лигнин матрицасида жойлашган. Целлюлоза толалари чўзилиш бўйича юқори мустаҳкамликга эга ва юқори даражада эгилувчанликга ҳам эга (қаттиқлиги паст), лигнин матрицаси эса ўз навбатида ушбу толаларни бирлаштириб, материалга қаттиқлик беради. Суяк – табиий композицион материалга яна бир намуна бўла олади. Суяк бутун танадаги жисмларнинг оғирлигини кўтаради. Суяк қисқа ва юмшоқ коллаген толаларида иборат бўлиб, улар апатит номли минерал матрицада жойлашган бўлади. Вайнер ва Вагнерлар (1998) суякнинг структурасини ва хоссаларини яхши ўрганган. Элисс (2000) ва Уэйнрайтлар эса (1982) структура-функция ва унинг ўсимлик ва ҳайвонот оламида тарқалиши хақида ўз ишларини тақдим этганлар. Табиий композитлардан ташқари композициялар концепцияси жуда кўп техник материаллар яратишда ҳам кенг қўлланилиб келган.

Масалан, каучукдаги сажа, портланцементнинг ёки асфальтнинг қум билан қоришмалари (бетон ёки асфальт бетон) ушбу материалларга мисол бўла олади. Шундай қилиб таъкидлаш керак-ки, композицион материаллар концепцияси янги деб қабул қилина олмайди. Аммо композицион материалларнинг технологияси охириги замонда кенг ривожланиб, фаннинг инновацион йўналишларидан бири деб хисобланиши керак.

XX асрнинг охирига ва XXI асрнинг бошларига тўғри келган композицион материалларнинг инновацион технологиялари фанининг ривожланиши ва инновацион ғоялари машинасозлик, авиа-, космик-техникаси, атом энергетикаси, электроника материаллари, компьютерлар ва бошқа соҳаларни ривожланишига олиб келди.

Композицион материаллар – турли хоссаларга эга бўлган компонентлардан ташкил этган мураккаб системалардир. Бир бутунлик ҳамда мутаҳкамликни таъминловчи эластик ва қаттиқ фазалар аралашмасидан топган материал композицион материал деб аталади. Бунда ҳар бир компонент алоҳида композицион материалнинг ҳамма хосса-хусусиятларига тўлиқ жавоб бера олмайди. Оптимал шароитларга жавоб берадиган компонентларни тўплаб талабга тўғри келадиган композицион материални яратиш мумкин



Бу композицион материалларнинг энг кучли томонларидан биридир: керакли хосса хусусиятлари таъминлаш мақсадида турли компонентларни танлаш имконияти мавжуд бўлиб, ҳар бир эксплуатация шароитлари (аэрокосмик структуралар, лодкалар, автомобил ёки электр двигатели учун) учун максимал эффективликга эга бўлган махсус материал яратиш имкониятини мавжуд.

Счиер ва Юргенс (1983) композитларни реактив самолетларида қўлланилиши ўрганиб, шундай хулоса қиладилар:

"Композитлар (композицион материаллар) лойиҳалаш учун кенг имкониятлар туғдирди, материаллар дизайнерлари ҳар бир йўналиш учун

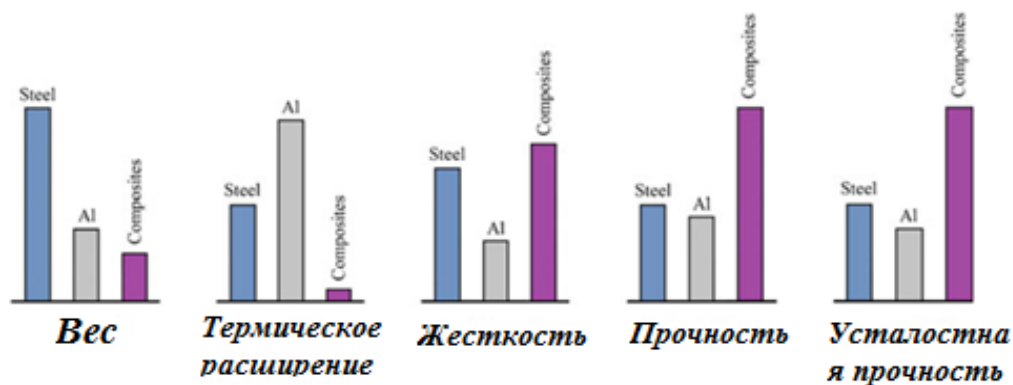
уларнинг оғирлигини ва нархини эътиборга олган ҳолда турли хоссаларга эга бўлган янги материалларни яратга катта ва чексиз имкониятлар берди”.

Охириги йилларда металл ва нометаллар асосида юқори мустаҳкамлик ва қаттиқликга эга бўлган ноорганик толалар, ипсимон крситаллар, ноорганик заррачалар билан армировка (мустаҳкамлаштирилган) қилинган сунъий композитлар қаторлари яратилди.

Толалар сифатида турли кристалларнинг ипсимон шакллари, SiO_2 , SiC , Al_2O_3 таркибли йўналтирилган кристаллизация ёки пардан юпка симга чўктириш усуллари ёрдамида ҳосил қилинган юпка кварц толалали, қўлланилмоқда.

Ҳамма сунъий композицион материалларнинг умумий структураси турли компонентларнинг бир ҳажмда жойлашиши билан боғлиқ, бу ерда бир компонент пластикликга эга (боғловчи), бошқа компонент эса юқори мустаҳкамлик ва қаттиқликга эга (тўлдиргич) бўлиши шартлидир.

Композицион материаллар ривожланиши 1965 йилдан бошлаб кескин қадамлар билан бошланди. 1960-чи йиллардан бошлаб юқори мустаҳкамликга, қаттиқликга эга бўлган ва енгил материалларга турли соҳаларда эҳтиёж ўсиб борди – аэрокосмик техникада, энергетикада ва қурилишда. Шу вақтда бу материалларга қўйилган янги талаблар шунчалик юқори ва турли бўлганлиги муносабати билан ҳеч қандай анъанавий материал бу талабларга тўлиқ жавоб бера олмади. Ва ўз навбатида бу шароитлар композицион материалларнинг концепциясига катта эътиборни қаратди.



Расм 1.1. Анъанавий монолит материалларнинг ва композицион материалларнинг хоссаларини солиштириш (оғирлиги, термик кенгайиши, қаттиқлиги, механик мустаҳкамлиги, вақтга бардошлиги)¹

Расм 1.1 да монолит материаллар (алюминий ва пўлат) ва композицион материалларнинг хоссалари солиштирилган (Deutsch 1978). Бу расмдан кўришиб турибдики, композицион материалларни қўллаш натижасида конструкцияларнинг оғирлигини, термик кенгайишини кескин камайтириш (4-10 маротабага), шу вақтнинг ўзида қаттиқлик ва механик мустаҳкамлик, вақтга бардошлик кўрсаткичларини кескин (2-3 маротабага) ошириш мумкин.

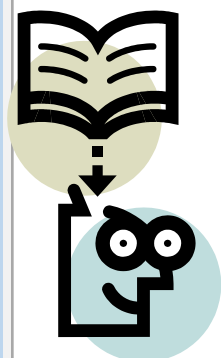
¹ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 4 p.

Композицион материаллар технологиясини ривожланиши яна бир тамойил билан боғлиқдир - илм ва фан ривожланиб, ишлаб чиқариш ва лойиҳалаш ишлари билан бир вақтда олиб борилди. Янги материал яратилишидан бошлаб уни эксплуатацияга киритишгача олиб бориш, ишлаш вақтида унинг хосса хусусиятлари назорат қилиш, ишлаб чиқариш нуқсонларини текшириш натижасида композицион материалларнинг хоссалари кескин ривожланиб борди. Бу борада ёқилгини тежашга ҳам катта эътибор қаратилди. Шунинг учун ҳаёт ва ишлаб чиқаришни ҳамма соҳаларида енгил, аммо мустаҳкам ва қаттиқ структураларга талаб ва эҳтиёж тобора ўсиб борди. Замон талабларига ва прогрессив технологияларнинг ривожланишига энг асосий туртки бўлиб композицион материалларнинг ривожланишини келтиришимиз мумкин.

Шиша толалар билан мустаҳкамлаштирилган смолалар йигирманчи асрнинг бошларидан қўлланилиб келмоқда. Шиша толалар асосида олинган композитлар енгил ва мустаҳкамликга эга бўлиб, қаттиқлиги (Юнг модули) унчалик юқори эмаслиги билан ажралиб туради. XX асрнинг охирида янги “замонавий (такмиллаштирилган) толалар кашф этилди: бор, углерод, кремний карбиди ва алюминий оксиди (Чаула 1998, 2005) асосида олинган бундай толаларнинг Юнг модули (модуль упругости) юқори кўрсаткичларга эгаллиги аниқланди. Бу толалар смола, металл ва керамик матрицаларда армировка компонентлари сифатида ҳозирги вақтда кенг қўлланиб келмоқда.

Композицион материаллар қўйидаги шартларга жавоб бериши керак:

1. Материал ишлаб чиқарилиши керак (табиий композицион материаллар – масалан, ёғоч бу гуруҳга кирмайди).
2. Материал икки ёки кўпроқ физикавий ва кимёвий ҳар хил бўлган, матрица (интерфейс) ичида тартибли жойлашган фазалардан ташкил топган бўлиши керак.
3. Композитнинг хосса-хусусиятлари ҳеч қайси унинг алоҳида компонентларида тўлиқ ҳажмда намоён бўла олмайди.



Толали мустаҳкамлаштирилган композитлар бошқа турдаги композитлардан кўра кенг қўлланилиши, кўпгина материалларнинг толали кўринишида энг юқори мустаҳкамликга эгаллиги билан боғлиқдир. Аммо толали композитларда мустаҳкамлаштириш асосан тола йўналишига параллел бўлади, демак ҳосил бўлган композит анизотроп хоссаларга эга бўлади. Агар композит ҳамма йўналишда бир хил хоссаларга эга бўлиши керак бўлса (изотроп модда), ламинат ёки икки турдаги материалдан ташкил топган сэндович панелларни танлаш мумкин. Баъзи вақтларда эса композитларда қўлланилган толалар мустаҳкамлигига катта эътибор берилмайди: масалан, юқори ўтказгичларда ўтказувчи матрица билан биргаликда ультра ингичка толалар қўлланилади.²

² Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 5 p.

1.2. Композицион материаллар тузилиши.

Композицион материалнинг бир бутунлигини таъминловчи компонент ташкил этувчига боғловчи компонент (**матрица, интерфейс**) деб аталади. Бошқа компонентлар (**армировка, мустаҳкамлаштириш, тўлдирувчи** ва ҳоказо) нинг шу матрицада жойлашиши маълум геометрик қонуниятга бўйсиниши ёки бўйсинмаслиги ҳам мумкин. Матрица қўшимчалар орасида махсус юпка қатлам бўлиб, у ажралиш юзасини белгилайди (1.5-расм). Композицион материалларни синфларга ажратишда матрица ёки арматура ва қўшимчаларнинг турига, микротузилиши хусусиятлари ва материални олиш усулига ҳам эътибор берилади.

Матрица материалнинг турига қараб, композицион материаллар куйидаги турларга бўлиниши мумкин: “металл матрицали”, органик бўлмаган (органик бўлмаган полимерлар, минераллар, углеродли, керамик), органик матрицали ва кўп матрицали аралаш композицион материаллар.

Боғловчи материалнинг вазифаси маҳсулотга маълум геометрик шакл бериб қолмасдан, балки у кучланишларни ҳажм бўйича бир хил тақсимланишини ҳам таъминлайди ва маълум механик хоссани шакллантиради, ҳамда арматура ёки қўшимчаларни ташқи муҳитдан сақлайди. Композицион материалнинг иссиқ ва коррозияга бардошлилик, электр ва иссиқликни сақлаш қобилияти, қайта ишлаш технологияси каби муҳим хоссалари боғловчининг хусусиятларига боғлиқ. Лекин армировка (мустаҳкамлаштириш) ва қўшимча элементларнинг турига қараб ҳамда уларнинг матрицада жойлашиши ва геометрик ўлчамларига қараб, композицион материалларнинг хоссалари ўзгаради. Масалан, композицион материалга қўшимчалар, яъни арматура элементлари (одатда, 10%дан кўпроқ миқдорда қўшилади) асосан, механик хоссаларни кучайтириш учун қўшилади. Бунда мустаҳкамлик, зичлик, пластиклик ортиб, материалнинг зичлиги, электр хоссалари, иссиқлик ўтказувчанлиги ва бошқа хусусиятлар маълум йўналишда ёки фақат алоҳида олинган жойлардагина ўзгаради.

Композицион материалларнинг энг муҳим хусусиятлари деформацияга мустаҳкамлигидир. Тўлдирувчилар сифатида қўлланиладиган элементлар одатда майда кукун ёки калта тола ҳолатда бўлади. Бундай қўшимчалар асосан материалнинг таннархини камайтиради. Лекин улар композицион материалнинг мустаҳкамлигини 1,5-2,0 баробар ошириши ҳам мумкин. Маълум миқдордаги (арматура) қўшимчалар материалнинг мустаҳкамлигини 2-10 баробарга оширади. Композицион материалларда тўлдирувчи ва қўшимча (арматура) материаллар биргаликда қатнашиши ҳамда уларнинг ўлчамлари ва жойлашиши ҳар хил бўлиши мумкин. Улчами уч йўналишда кичик бўлган қўшимчаларга кум, майда (кукун) дончаларга эга бўлган металллар, фосфатлар, шиша ва лойсимон микросфера шаклдаги материаллар киради (1.2-расм). Тўлдиргичнинг шакли бўйича улар 3 турга бўлинади (расм 1.2): нол-ўлчамли, бир-ўлчамли, икки ўлчамли. Бир ўлчамли қўшимчаларга толасимон тўлдирувчилар, арматура элементлари, калта толали табиий материаллар (масалан, асбест), ўсимлик материаллари, толасимон кристаллар

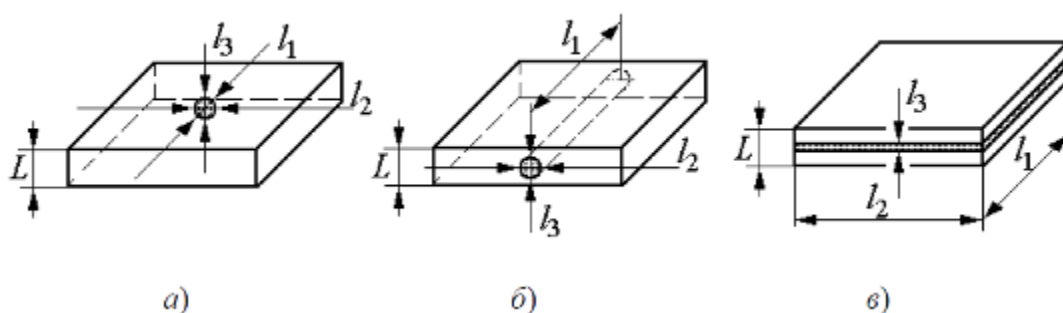
(оксидлар, алюминий нитрид, бериллий оксиди, бор карбиди, кремний нитриди), узун толали ҳар хил органик бирикмалар ва ҳоказолар киради. Икки ўлчамли тўлдирувчиларга ленталар, матолар тўрсимон ва бошқа арматура элементларни келтириш мумкин.

Композицион материаллар хоссаларига қўшимча элементлар (тўлдирувчи) нинг таъсири жуда катта бўлганлиги учун кўпинча шу композицион материалнинг номи унинг тўлдирувчиси номи билан ҳам айтилади. Масалан, графитопластлар, шиша толали композициялар, органопластиклар ва хоказо.

Композицион материалларни макротузилиши бўйича ҳам фарқлаш мумкин (1-диаграмма). Юқорида таъкидлаганимиздак, матрицада тўлдирувчилар тартибсиз жойлашиши мумкин, лекин кўпинча уларнинг тартибли жойлашишига эришишга ҳаракат қилинади. Ҳар хил ўлчамга эга бўлган тўлдирувчи ва арматуралар биргаликда катнашганда уларнинг ўзаро тартибли жойлашиш имкониятлари кўп булади.

Композицион материалларнинг хоссалари ҳамма йўналишда бир хил булса, бундай материал хоссалари изотроп бўлади. Бундай материалларга кукун ҳолидаги қўшимчалари хаотик жойлашган композициялар киради. Материалларнинг турли йўналишлардаги хоссалари фарқ қилса, бундай композициялар анизотроп хоссаларга эга дейилади. Бундай композицияларда арматура сифатида толалар, пластинкалар, матолар, тўрлар маълум йўналишда жойлаштирилган бўлади.

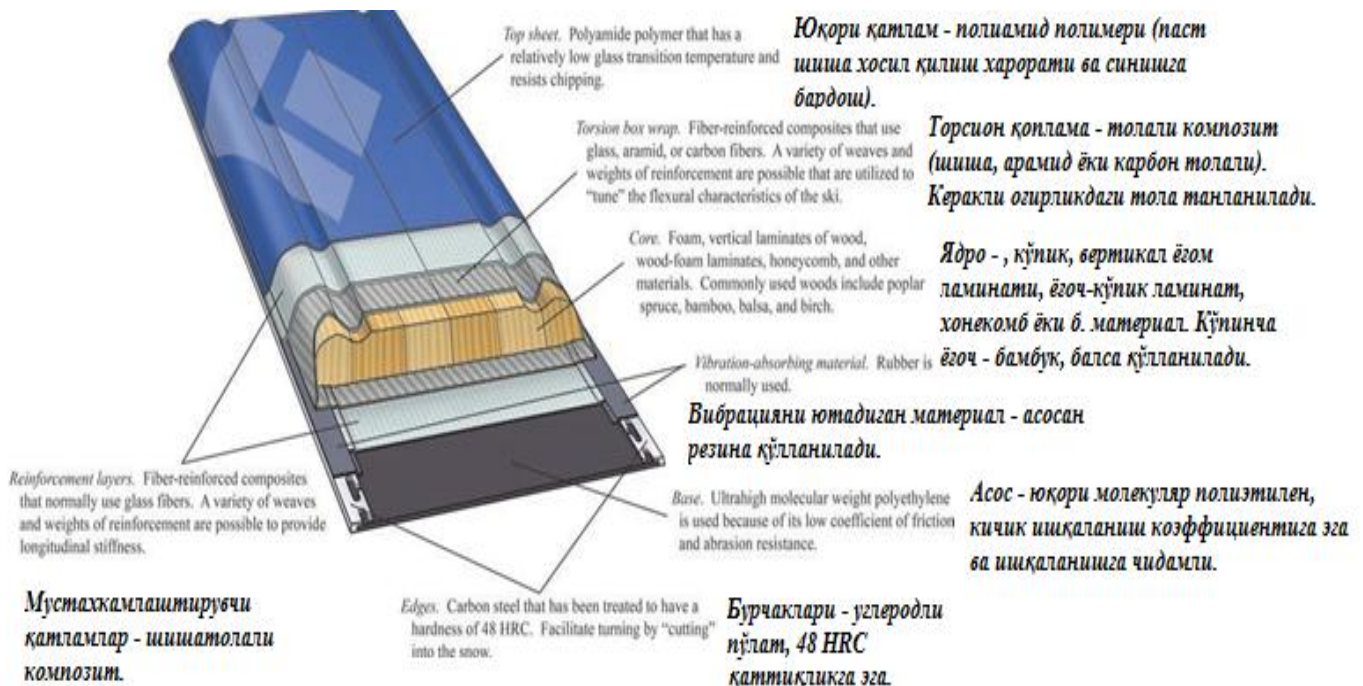
Тўлдиргичнинг турига қараб композицион материаллар *дисперс-мустаҳкамлаштирилган, толали ва қатламли композитларга ажралади.*



Расм 1.2. Армировка тўлдиргичлар: а- ноль ўлчамли, б – бир ўлчамли; в- икки ўлчамли, l_1, l_2, l_3 - тўлдиргич ўлчамлари; L – матрица қалинлиги.



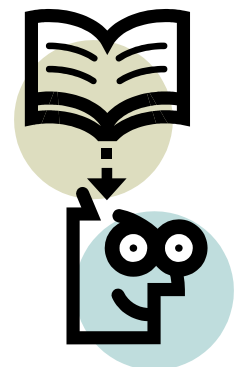
Top photograph— iStockphoto. Bottom diagram courtesy of Black Diamond Equipment, Ltd.)



Расм 1.3. Тоғ чанғиси конструкциясида қўлланилган композитлар турлари.³

Тўлдиргичлар заррачаларини кўриниши бўйича тоғали ва дисперс турларига ажралади (порошоклар). Армировка тўлдиргичларнинг жойлашиши бўйича (расм 1.4-1.5) тоғали композицион материаллар 3 гуруҳга ажралади: бир ўқли, икки ўқли ва уч ўқли (фазовий) мустаҳкамлаштириш (армировка).

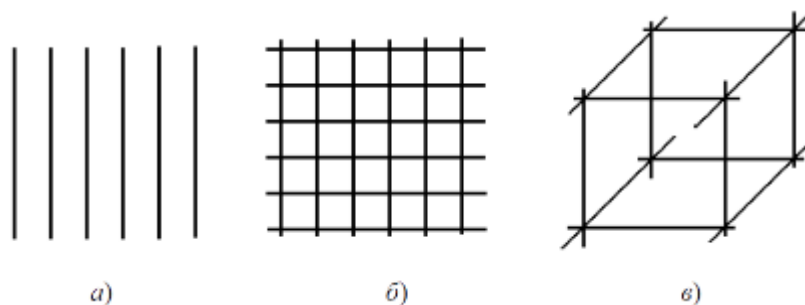
Бир ўқли мустаҳкамлаштиришда тўлдиргичнинг миқдори 1...5%ни, икки ўқли армировкада – 15...16%, уч ўқли армировкада –15%дан ортиқ бўлади. Қатламли композитларда тўлдиргич сифатида қоғоз, мато ёки асбестнинг текис листлари қўлланилиши мумкин.



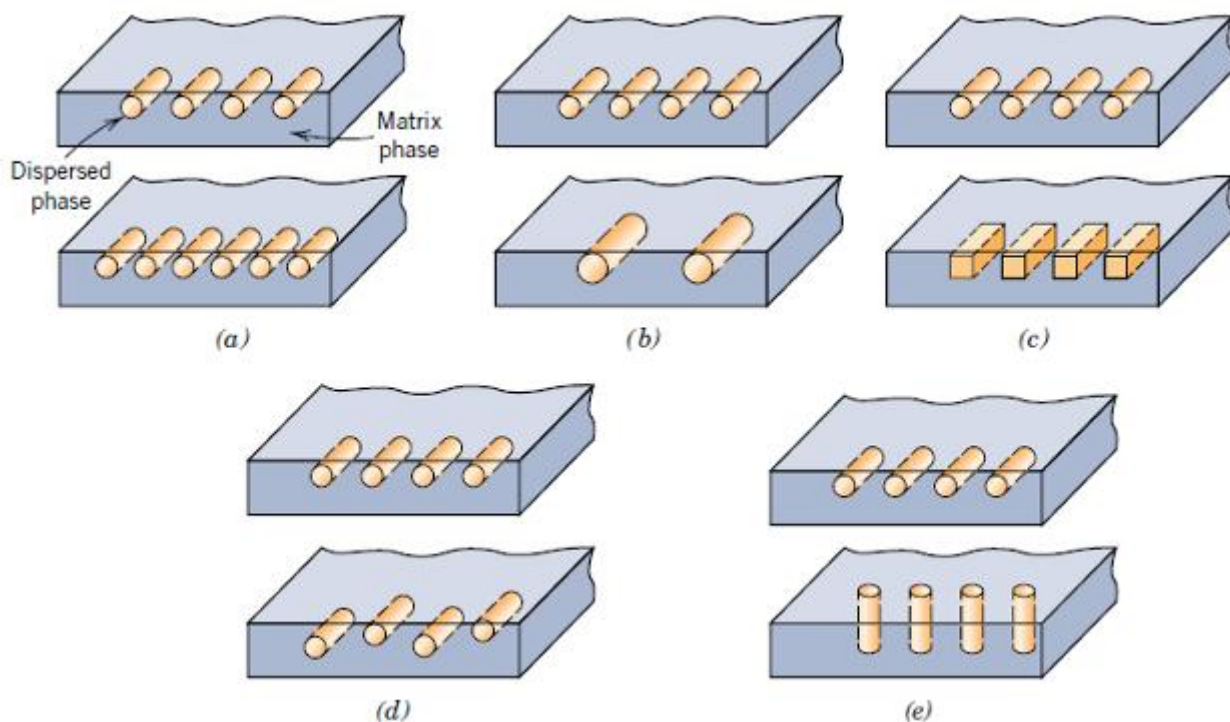
³ William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 626 p.

Материал хоссаларининг комплексини кенгайтириш ёки баъзи хоссасини кучайтириш мақсадида композит таркибида бир вақтни ўзида турли шаклдаги тўлдиргичлар ҳам қўлланилиши мумкин (бир ва икки ўлчамли), баъзи вақтларда бир шаклдаги аммо ҳар хил ўлчамдаги тўлдиргичлар қўлланилади.

Икки ва ундан кўп турдаги мустаҳкамлаштириш тўлдиргичлари қўлланилган композицион материаллар полиармировка қилинган деб аталади.



Расм 1.4. Армировка схемалари: а – бир ўқли; б – икки ўқли; в – уч ўқли.

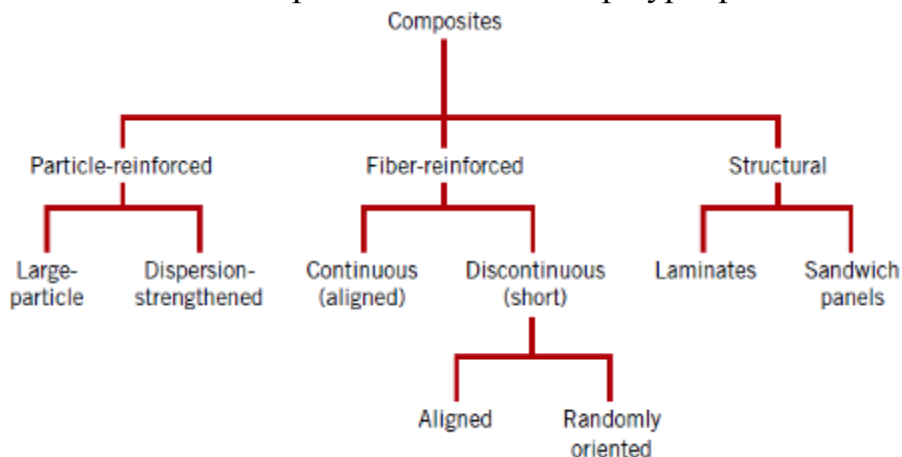


Расм 1.5. Композитлар хоссаларига таъсир этувчи дисперс фаза заррачаларининг турли хил геометрик ва фазовий кўрсаткичлари: а – концентрация, б - ўлчамлар, с - шакл, d- шакл, е – заррачалар йўналиши (ориентацияси).⁴

Биз бу фан модулида қўйидаги композитлар турларини ва уларни ишлаб чиқариш технологияси ўрганиб чиқамиз:

⁴ William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 629 p.

1-диаграмма. Композитлар турлари.

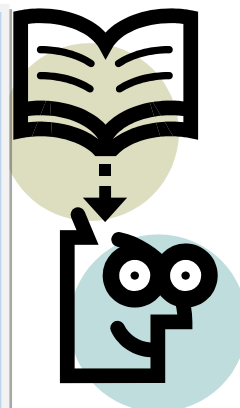


1.3. Матрицали ва дисперс фаза. Заррачалар, толалар ва структура даражасида мустаҳкамлаштириш.

Толали композицион материаллардан фарқли дисперс мустаҳкамлаштирилган композитларда матрица оғирлик ва мустаҳкамликни таъминловчи асосий элемент ҳисобланади. Дисперс заррачалар металлда дислокацияларнинг ҳаракатини секинлаштиради, оддий ва юқори ҳароратларда унинг мустаҳкамлигини оширади.

Дисперс-мустаҳкамлаштирилган композицион материалларнинг энг асосий афзаллиги – унинг хоссаларини изотроплигидир.

Дисперс заррачаларнинг улчамлари 0,01...0,1 мкм бўлганда улар материалнинг юқори мустаҳкамлигини таъминлайди. Заррачаларнинг миқдори уларнинг фазода жойланишига боғлиқ бўлиб, одатда хажм бўйича 5-10 %ни ташкил этади.



Мустаҳкамлаштириш компонентлари сифатида юқори ҳароратли ва кийин эрувчан фазалар– оксид, нитрид, борид, карбид (Al_2O_3 , SiO_2 , BN, SiC ва б.)лар қўлланилади. Дисперс-мустаҳкамлаштирилган композицион материаллар асосан порошок металлургия усуллари ёки суюқ металл таркибига қуйиш олдидан тўлдиргичлар қўшиш усуллари ёрдамида ишлаб чиқарилади.

Энг кўп тарқалган дисперс-мустаҳкамлаштирилган композицион материаллар алюминий ва никель асосида тайёрланади.

Алюминий асосида тайёрланган материаллар “пишган алюминий порошоги” (САП) деб аталади ва алюминий, ҳамда Al_2O_3 (18% гача) заррачаларидан иборат бўлади. САП материали (жадвал 1.1) юқори мустаҳкамликга эга бўлиб, оловбардошлиги, коррозион бардошлиги ва хоссаларнинг термик стабиллиги билан ажралиб туради. Алюминий оксиди миқдори ошиши билан материалнинг мустаҳкамлиги, қаттиқлиги, оловбардошлиги ошади ва пластиклиги камайиб боради.

САП иссиқ ҳолда яхши деформацияга мойил, совуқ ҳолда қийинроқ, қирқиш билан онсон ишлов берилади, контакт ва аргон-дуга сваркаси билан яхши ишлов берилади. САПдан листлар, профиллар, штамп формалари, фольга ишлаб чиқарилади.

САП дан поршень штоклари, компрессор лопаткалари, вентилятор ва турбиналарнинг парраклари, трансформатор обмоткалари тайёрланади.

Жадвал 1.1. САП композитларининг механик хоссалари.

Материал	Микдори Al ₂ O ₃ , %	σ _B , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %
САП-1	6...8	300	220	7
САП-2	9...12	350	280	5
САП-3	13...17	400	320	3
САП-4	18...22	450	370	1,5

Никель асосида тайёрланган композитларда матрица сифатида никель ва унинг хром билан қотишмалари қўлланилади (хромнинг микдори - 20%гача). Мустаҳкамлаштириш компонентлари: торий ва гафний оксидлари. Максимал мустаҳкамлаштириш гафний оксидининг микдори 3,5...4% бўлганда намоён бўлади: σ_B = 750...850 МПа, δ = 8...12%.

Никель асосидаги материаллар юқори оловбардошлик, юқори ҳароратларда структура бузилишига қаршилиги билан ажралиб туради. Аммо материалларнинг қўлланилиши фақат бу соҳалар билан чекланиб қолмайди. Уларнинг қўлланилиши двигателларни кучланиши, энергетик ва транспорт ускуналарини кучланишини кескин ошириб беради ва ускуна-жиҳозларнинг оғирлигини камайтириш имконини беради.

1.3. Шиша, органик, карбон, керамик тола, симлар.

Толали мустаҳкамлаштирилган композитлада тўлдиргичлар сифатида тоза элементлар ва юқори ҳароратли бирикмалар (В, С, Al₂O₃, SiC ва б.) толалари ва ипсимон кристаллари қўлланилади, ҳамда металл ва қотишмалар симларидан (Мо, W, Ве, юқори мустаҳкам пўлатлар ва б.) фойдаланилади. Армировка учун диаметри бир неча микрондан юз микронгача диаметрли узлуксиз ва дискрет толалар қўлланилади.

Назарий ҳисобларга кўра, мустаҳкамлаштирувчи тола диаметри d қанчалик кичик бўлса, демак унинг узунлиги диаметрига кўра қанчалик катта бўлса, шунчалик материалда тартиблик даражаси юқори бўлади. Бу назарий ҳисоблар амалий жихатдан ҳам тасдиқланди.

Толали композицион материаллар мустаҳкамлиги асосан толанинг хоссаларига боғлиқ, матрица эса армировка элементлари орасида кучланишларни тарқатиш вазифасини бажаради.

Қаттиқ армировка толалари материалга тушган кучланишни ўзига олиб, композициянинг мустаҳкамлигини ва қаттиқлигини толалар йўналиши бўйича кучайтириб беради.

Матрица толаларга кучланишни тўлиқ ўтказиб бериш учун, армировка толаси-матрица орасида мустаҳкам боғланиш бўлиши шарт. Бу шартни

бажариш учун матрица толани тўлиқ қоплаши керак: материалда матрицани миқдори 15-20%дан юқори бўлиши керак.

Материал тайёрланишида ва эксплуатация шароитида матрица ва тола орасида ўзаро таъсирланиш бўлиши керак эмас (ўзаро диффузия таъкикланади), чунки бундай диффузия мустаҳкамликни пасайишига олиб келади. Матрица ва тола орасида фазалар адгезияси намоён бўлади. Матрица ва тўлдиргич чегарасидаги сирт таранглиги юқори бўлса, тола устига оралик қатлам ҳосил қилувчи махсус қоплама берилади.

Композицион материалда толалар ёриқлар тарқалиш тезлигини кескин камайтиради ва деярли бутунлай тўсатдан мўрт синишни бартараф этади. Бир ўқли композицион материалларда механик хусусиятларнинг тола йўналиши ва қарама-қарши йўналишлари бўйлаб анизотропияси намоён бўлади.

Толали тўлдиргичлар турлари ва хоссалари.

Металл мустаҳкамлаштириш тўлдиргичлари:

Пўлат сими (коррозион-бардош пўлат) – алюминийни армировка қилиш учун;

Mo, W, Ta симлари– оловбардош матрицаларни мустаҳкамлаштириш учун;

Бериллий сими – юқори солиштира мустаҳкамлик ва паст зичликга эга; алюминий, магний, титанни армировка қилиш учун қўлланилади.

Толалар:

Бор толалари юқори мустаҳкамлик, қаттиқлик, юқори ҳароратда бузилишга чидамлилиги билан ажралиб туради; бор толалари 70...200 мкм диаметрига эга; улар металл ва полимер матрицалани армировка қилиш учун қўлланилади; бор толалари вольфрам сими устига бор бирикмасини чўктириш усули билан олинади;

Углерод толалари – юқори мустаҳкамлик ва механик хоссаларни термик стабиллиги билан ҳарактерланади; улар инерт шароитда синтетик органик толаларни юқори ҳароратда ишлов бериш усули ёрдамида олинади (вискоза, полиакрилнитрит); дастлабки хом ашё турига қараб турли углерод толалар олиш мумкин: иплар, сим, мато, лента, войлок; алюминий ва магнийни армировка қилиш учун қўлланилади;

Керамик толалар - оксид, нитрид, карбидлар (кремний карбиди, алюминий оксиди) юқори қаттиқлик, мустаҳкамлик ва термик барқарорликга эга; алюминий ва магнийни армировка қилиш учун қўлланилади;

Ипсимон кристаллар - сапфир Al_2O_3 , кремний карбиди титанни армировка қилиш учун қўлланилади;

Шишатола - мустаҳкамлик, термик бардошлик, диэлектрик хоссалар, паст иссиқлик ўтказувчанликга эга; шиша массасини махсус фильералар орқали тортиш усули ёрдамида олинади; иссиқлик изоляция материаллар, конструкцион материаллар ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Бир турдаги толалар билан армировка қилинган композицион материаллар толанинг номига қараб номланади.

Карбоволокнитлар – мустаҳкамлаштириш учун углерод толаси

қўлланилади. Мустаҳкамликни 2200 °Сгача ва паст ҳароратларда ҳам сақлайди. Улар сув ва кимёвий бардош. Мустаҳкамлиги -1000 МПа гача.

Карбоволокнитлар пароход- ва автомобилсозликда (спорт машиналар кузовлари, шассиси, пропеллерлар); подшипник, иссиқлик панеллари, ЭВМ қисмлари тайёрлашда қўлланилади.

Шишаволокнитлар – шиша толаларни ўз ичида тутган, композит тарқибда 80%гача бўлганда унинг мустаҳкамлиги 700МПа ни ташкил қилади, совуқга чидамли (-196 °С гача) ва иссиқга чидамли (400 °С гача); юқори юклашда яхши ишлайди; улар арзон ва дефицит бўлмаган хисобланади. Камчилиги: модуль Юнга кичиклиги (модуль упругости).

Шишаволокнитлар юқори аниқликдаги арматурали деталларни олишда қўлланилади. **Шиша толаларнинг** ҳар хил турлари полимер матрицаларнинг мустаҳкамлаштиришда кенг қўлланилади.

Хозирги вақтда армировка компонентлар сифатида “Кенгайтирилган толалар (“Расширенные волокна” катта қизиқиш туғдирмоқда. Улар юқори мустаҳкамликга, юқори қаттиқликга ва кичик зичликга эга.

Кўпгина табиий толаларни юқори механик кучлашиларда эксплуатация қилинмайдиган композитларни тайёрлашда қўллаш мумкин (Чавла 1976; Чавла ва Бастос 1979). Уларнинг асосий афзаллиги – арзонлигидир. Табиий толалар- ўсимлик дунёсида кенг тарқалган: целлюлоза толалари – пахта, зигир, жут, каноп, сизал ва рами толалари текстил саноатида кенг қўлланилади, ёғоч ва сомон эса қурилиш ва саноатда.

Арамид толалар - 1960-чи йилларда кашф этилган, улар шишатолаларга қараганда қаттиқроқ ва енгилроқдир. Арамид толалари: Кевлар - Du Pont фирмасиники, Twaron - Teijin Aramid фирмасида ишлаб чиқарилади. Гел туқимачилик усулида юқори мустаҳкамликга эга полиэтилен толаси 1980-чи йилларда таклиф этилди.

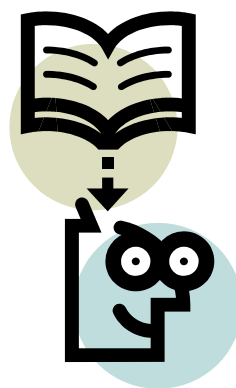
Юқори эффективликга эга бўлган керамик толалар – ХХчи асрнинг охирида кашф этилди: бор, кремний карбиди, углерод ва алюминий оксиди асосида тайёрланган. Баъзи керамик толалар янги ишлаб чиқариш усуллари ёрдамида ишлаб чиқилди: бу золь-гель технологиялар ва назорат қилинадиган органик прекурсорлар пиролизи усуллари дир.

Толалар юқори эффектив конструкцион материаллар сифатида қўлланилиши 3 асосий тамойилларга асосланади (Дрешер, 1969):

1. Заррача ёки бошқа таркибий қисм ўлчамларига қараганда анча кичик диаметри. Бу ҳажм бирлигида анча юқори назарий мустаҳкамликни таъминлашга ёрдам беради. Бу эффект – ўлчамлар эффекти деб аталади: қанчалик заррачалар ўлчамлари кичик бўлса, шунчалик материалда дефектлар ҳосил бўлиш эҳтимоли кичик бўлади.

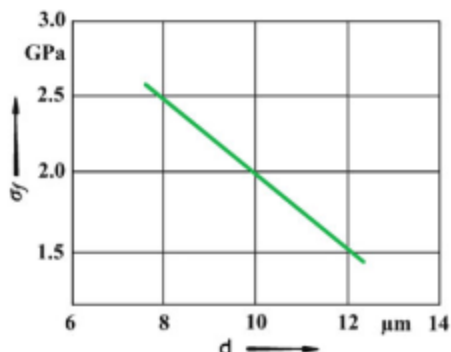
2. Ўлчамларнинг ўзаро нисбати юқори кўрсаткичга эга (узунлик/диаметр, l/d), материалга берилган кучланишни қаттиқ ва мустаҳкам толага узатишга ёрдам беради.

3. Эгилувчанлиги юқори даражада, бу кичик Юнг модули ва кичик



диаметр билан узлуксиз боғлиқ хусусиятдир. Бундай эгилувчиқ толали композитларни тайёрлаш учун турли хил усулларни қўллашга имконият беради.

Расм 1.6. да углерод толасининг унинг диаметри ошиши билан мустаҳкамлиги камайишини кўришимиз мумкин (Де Ламот и Перри, 1970).



Расм 1.6. Углерод толасининг мустаҳкамлиги (σ_f) унинг диаметри (d) ўсиши билан пасаяди.⁵

Бороволокнитлар – мустаҳкамлаштирувчи компонент – бор толалари; матрица – эпоксид ва полиамид смолалар. Сиқилишга, эгилишга юқори мустаҳкамликга, кичик силжишга мойиллиги, юқори қаттиқлик ва эластикли модули, иссиқлик ва электр ўтказувчанликга эга. Бороволокнитлар радиация, сув, органик эриткичлар ва ёқилғи материаллар таъсирига бардошлиги билан ажралиб туради.

Бороволокнитлардан профиллар, панеллар, роторлар ва компрессорлар қисмлари, винтларнинг парраклари ва вертолётлар трансмиссия валлари тайёрланади. Жадвал № 1.2 да 8 турдаги керамик материал толаларини қаттиқлиги келтирилган.

Жадвал 1.2. 8 турдаги керамик материал толаларини қаттиқлиги⁶.

Table 12.6 Vickers (and Knoop) Hardnesses for Eight Ceramic Materials

Material	Vickers Hardness (GPa)	Knoop Hardness (GPa)	Comments
Diamond (carbon)	130	103	Single crystal, (100) face
Boron carbide (B ₄ C)	44.2	—	Polycrystalline, sintered
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	26.5	—	Polycrystalline, sintered, 99.7% pure
Silicon carbide (SiC)	25.4	19.8	Polycrystalline, reaction bonded, sintered
Tungsten carbide (WC)	22.1	—	Fused
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	16.0	17.2	Polycrystalline, hot pressed
Zirconia (ZrO ₂) (partially stabilized)	11.7	—	Polycrystalline, 9 mol% Y ₂ O ₃
Soda-lime glass	6.1	—	

Оргаволокнитлар полимер боғловчи ва синтетик толаларни таркибида тутган композитлардир. Улар кичик оғирлиги, турли кучланишларга бардошлиги ва ҳароратни кескин ўзгаришига барқарорлиги билан фарқланадилар. Камчиликлари: сиқилишга мустаҳкамлиги кичиклиги, юқори силжиш хусусияти. Оргаволокнитлар агрессив муҳитларга ва иссиқ иқлим шароитларига бардошлиги билан ҳарактерланадилар, ҳамда юқори диэлектрик хоссаларга ва кичик иссиқлик ўтказувчаликга эга.

⁵ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 8 p.

⁶ William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 491 p.

Оргаволокнитлар изоляцион ва конструкцион материал сифатида электр- ва радиосаноатда, автомобилшуносликда, авиасозликда қўлланилади. Оргаволокнитлардан трубалар, реактив сақлаш резервуарлари, пароход корпуслари қопламалари тайёрланади.

1.7-Расмда шиша толаларнинг анъанавий технологик тизими келтирилган (Е-шиша мисолида). Хом ашёлар бункерда эритилади, эритилган шиша электр ёрдамида қиздирилган платина втулка ёки тигелларга узатилади; ҳар бир втулкада 200тача тешиклари бор (фильера). Эритилган шиша ўз оғирлиги таъсирида ушбу тешиклардан ўтиб, узун узлуксиз тола ҳосил қилади, улар ип ҳолатида барабанга терилади. Толанинг диаметри втулка тешигининг диаметрига боғлиқ, массанинг қовушқоқлиги таркиб ва температура функциясидир.

Шиша толалар ва уларнинг хоссалари.

Хозирги вақтда турли кимёвий таркибларда шиша толалар чиқарилмоқда. Шиша толаларнинг кимёвий таркиби: кремний оксиди (~ 50-60% SiO₂), қолгани - кальций, бор, натрий, алюминий, темир оксидлари.

Жадвал 1.3 да баъзи кенг тарқалган шиша толалар кимёвий таркиби келтирилган.

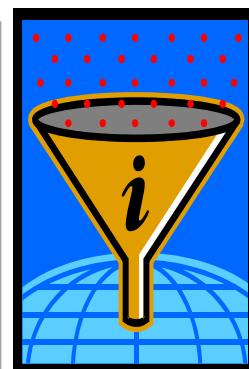
Жадвал 1.3. Кенг тарқалган шиша толаларни кимёвий таркиби.

Composition	E glass	C glass	S glass
SiO ₂	55.2	65.0	65.0
Al ₂ O ₃	8.0	4.0	25.0
CaO	18.7	14.0	–
MgO	4.6	3.0	10.0
Na ₂ O	0.3	8.5	0.3
K ₂ O	0.2	–	–
B ₂ O ₃	7.3	5.0	–

“E –glass” (Е-шиша) - деб электр толалар белгиланади, Е-шиша яхши электр изолятор, бундан ташқари яхши механик ва эластиклик модулига эга;

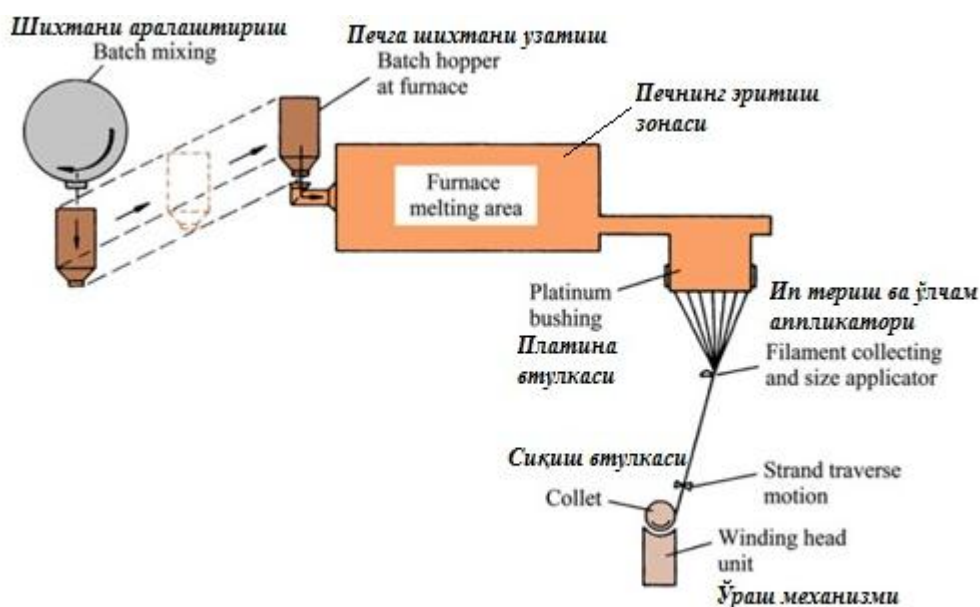
“C –glass” (С-шиша) – деб коррозия турдаги толалар белгиланади, С-шиша бошқа шиша турларига қараганда юқори кимёвий коррозияга бардошлиги билан тавсифланади;

“S –glass” (S-шиша) – энг юқори термик ва оловбардошликга эга шишалардир.



Шиша толаларнинг асосий қисми Е-шишадан тайёрланади, аммо ишлаб чиқарилган Е-шишанинг жуда кам қисми электр соҳаси бўйича қўлланилади.⁷

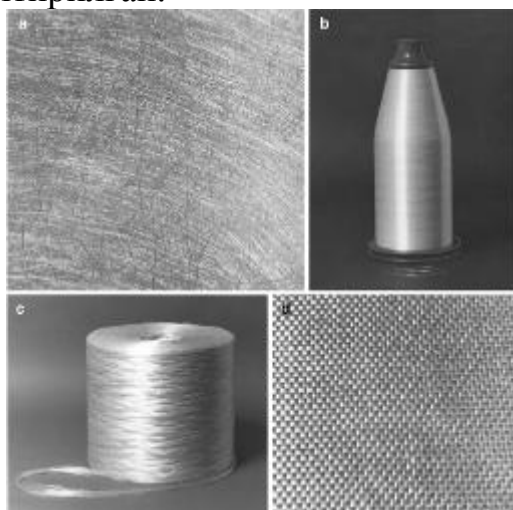
⁷ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 12 p.



1.7.-Расм. Е-шиша толасининг анъанавий ишлаб чиқариш технологик тизими.⁸

Илгари заводларда шиша толаси тўғри эритмадан эмас, балки биринчи босқичда шиша бўлаклари (глиба) ишлаб чиқарилар эди. Шиша бўлаклари эритилиб, ундан тола чўзилар эди. Замонавий ишлаб чиқаришларда шиша толаси эритилган шиша массасидан тўғридан - тўғри ишлаб чиқарилмоқда.

Шиша толаларнинг ишлаб чиқаришдаги турлари 1.8-расмда келтирилган.



Расм 1.8. Ишлаб чиқариладиган шиша толалар турлари: а – қичқа тола, b – узлуксиз шишатола, с- ровинг, d – шиша мат.⁹

Е-шишаларнинг асосий механик хусусиятлари: кичик зичлик, юқори мустаҳкамлик, Юнг модули – ўрта кўрсаткичларга эга. Шиша толалар полиэфир, эпоксид, фенол смолалар билан биргаликда армировка компоненти сифатида қўлланилади. Шишатола анча арзон ва турли кўринишда ишлаб чиқарилади (расм 1.8): узлуксиз ип алохида толалардан

⁸ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 13 p.

⁹ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 13 p.

иборат; ровинг эса параллел иплардан ташкил топган; қисқа тола – ипдан ёки 5-50 ммли қисқа ровничадан иборат, бундан ташқари шишатола тўқима мато ёки тўқилмаган матлар кўринида ҳам ишлаб чиқарилади.

Намлик шишатоласининг мустаҳкамлигини пасайтиради. Бундан ташқари шиша тола вақт давомида чарчашга учрайди: узоқ вақт давомида доимий кучланиш таъсир этган ҳолатда шиша тола таркибида ёриқлар тез ўсиши намоён этиши мумкин. Шунинг учун вақт ўтиш билан шиша толанинг механик хоссалари кескин пасайиб боради, ammo қисқа вақт давомида мустаҳкамлиги яхши ҳисобланади.



Шишатола билан армировка қилинган смолалар қурилишда ва саноатда кенг қўлланилади. Улар **шишапластик ёки GRP** деб номланади: бошқа конструкцион материаллар қопламалари сифатида, ёки юк ташимайдиган девор панеллари, структураларнинг таркибий қисмлари, дераза рамалари, цистерналар, труба ва трубопроводлар сифатида кенг қўлланилади. 1960-чи йиллардан бошлаб лодкалар корпуслари шишапластикдан ишлаб чиқарилди. Кимё саноатида ҳам шишапластиклар кенг қўлланилади – резервуарлар, трубопровод ёки технологик танклар сифатида. Бундан ташқари **шишапластиклар (GRP)** темир йўллари, автомобил транспорти, аэрокосмик саноатида ўз ўрнини топган.

Углерод толалар ва уларнинг қўлланилиши.

Углерод – енгил, кичик зичликга эга элементдир. Унинг зичлиги 2,268 г/см³. Углерод турли кристалл формаларда учрайди. Катта қизиқиш графит структурасига қаратилмоқда, графитда углерод атомлари гексагонал қатламлар кўринишида жойлашган. Олмос ҳам ўз ўрнида муҳимдир: углерод атомлари уч ўлчамли конфигурация шаклида жойлашган бўлиб, жуда кичик структура эгилувчанлигига эга. Янги углерод кўринишларида бири – фуллеренлар, молекуляр таркиби C₆₀ ёки C₇₀; нанотрубкалар – чузик фуллеренлардир.

Графит шаклидаги углерод анизотроп хусусиятларга эга: қатлам орасида Юнг модулининг назарий қиймати 1000 ГПа, С ўқи атрофида эса модуль 35 ГПа га тенг. Графит структураси зич упаковка қилинган (1.9.-расм). Углерод толани ишлаб чиқаришда асосий мақсад – тола гексагонал текисликлар йўналишида жойлашган бўлиши керак. Юқори Юнг модулли углерод толалари ишлаб чиқариш учун бирламчи органик толаларнинг биринчи босқичида карбонизация қилинади, кейинги босқичда эса графитизация жараёнилари ёрдамида ишлаб чиқарилади. Бирламчи органик тола – бу карбонизация жараёнида эримайдиган махсус текстил полимер толадир. Бу органик тола узун занжирли молекулалардан иборат топган (0,1-1 мм- чўзик ҳолатдаги узунлиги). Бу толалар асосан паст механик хоссаларга эгадир. Органик толалар сифатида полиакрилонитрил (ПАН) кенг қўлланилади.

Ундан ташқари сунъий ипак ва смола, поливинил спирти, полиимидлар ва феноллар асосида олинган толалар ҳам карбонизация қилиниши мумкин.

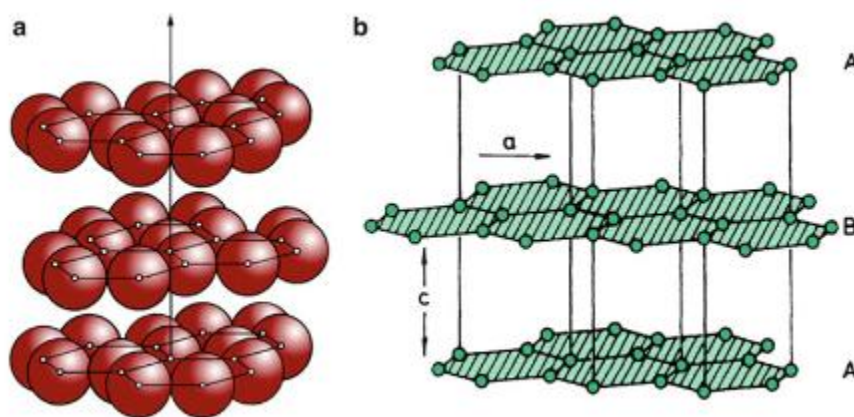
Углерод толанинг асосий ишлаб чиқариш босқичлари қўйидагича:

1. Тола ҳосил қилиш босқичи. Хўл ёки қуруқ усулда бирламчи органик толадан, масалан ПАНдан тола тортилади, ёки эритмасидан тортиш усули ёрдамида.

2. Стабилизация босқичи. Кейинги юқори ҳароратли босқичларда толани эришдан сақлаш учун ўтказилади.

3. Термик ишлов бериш - карбонизация, нокарбонат элементлардан холи қилиш учун

4. Опционал термик ишлов бериш босқичи - графитизация, бу жараён углерод толасини хоссаларини яхшилашга имконият беради.



Расм 1.9. Графит структураси.

А - Графит атомларининг жойлашиши; б - графитнинг гексагонал кристаллик структураси.¹⁰

Углерод толаси ишлаб чиқаришнинг асосий босқичлари қўйидагича:

1. Тола ҳосил қилиш босқичи. Хўл ёки қуруқ усулда бирламчи органик толадан, масалан ПАНдан тола тортилади, ёки эритмасидан тортиш усули ёрдамида.

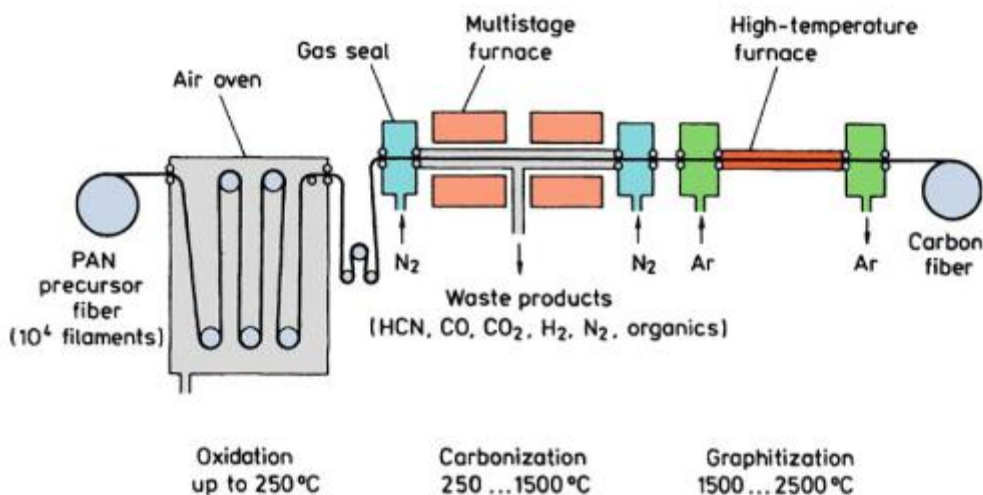
2. Стабилизация босқичи. Кейинги юқори ҳароратли босқичларда толани эришдан сақлаш учун ўтказилади.

3. Термик ишлов бериш - карбонизация, нокарбонат элементлардан холи қилиш учун

4. Опционал термик ишлов бериш босқичи - графитизация, бу жараён углерод толасини хоссаларини яхшилашга имконият беради.

1.10.-расмда полиакрилонитрил (ПАН)дан углерод толасини ишлаб чиқариш соддалаштирилган технологик тизими келтирилган.

¹⁰ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 25 p.



Расм 1.10. Полиакрилонитрил (ПАН)дан углерод толасини ишлаб чиқаришнинг соддалаштирилган технологик тизими.¹¹

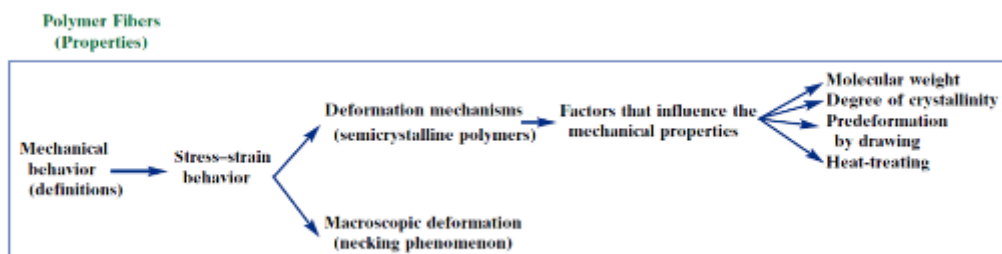
Углерод толалар техникада кенг қўлланилади: аэрокосмик саноатда, спорт маҳсулотларини ишлаб чиқаришда. SHATTLE (АҚШ) ракета-ташувчининг эшиги ва корпуси углерод толали/эпоксид смола композитидан тайёрланган. Замонавий самолётлар, масалан Boeing 787 (Dreamliner) фюзеляжи ва қанотлари углерод толаси / эпоксид композитлардан тайёрланиб келмоқда. Уларнинг нархи доимий равишди пасайиб бормоқда, шунинг учун қўлланилиш соҳалари ҳам кенгайиб бормоқда. Углерод толали композитлар технологик жиҳозлар - турбина, компрессор, шамол тегирмонлари қанотлари, маховиклар тайёрлашда; медицинада эса – жиҳозлар ва имплантатлар (тизза суставлари) тайёрлашда қўлланилмоқда.

Органик толалари ва уларнинг қўлланилиши.

Органик тоаллар, масалан арамидные ва полиэтилен юқори мустаҳкамликга ва эластикли модулига эгадир.

Полиэтилен тола (гель-иплар, сорт СВМПЭ) таркибида 90-95% кристаллик фаза тутуган бўлиб, унинг зичлиги 0,97 г / см³.

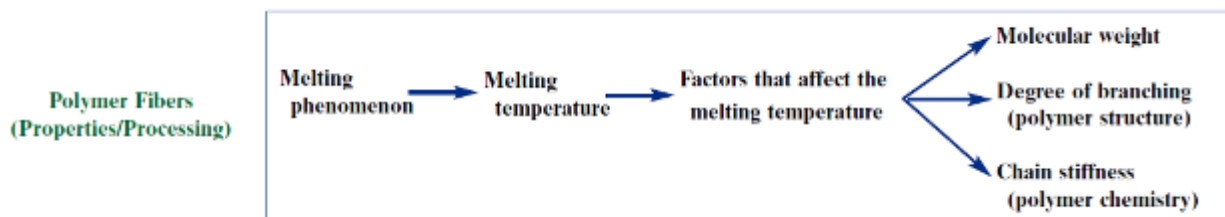
Полимер толаларнинг механик хоссалари схемада келтирилган:



Полимер толанинг ишлаб чиқариш технологияси ва ишлатилиш имкониятлари уларнинг эриш ҳароратига боғлиқдир, бу боғлиқликни

¹¹ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 27 p.

кўйидаги схемадан кўришимиз мумкин¹²:



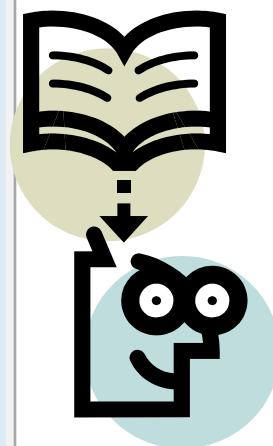
Арамид толаси ўта енгил бўлиб, юқори қаттиқлик ва чўзилишга мустаҳкамликга эга. Энг машхур сортлари: **Кевлар -49 ва 29**. Кевлар -29 сортининг эластиклик модули икки баробар пастроқ, аммо бузилиш деформацияси коэффиценти кевлар-49га қараганда икки баробар каттароқдир. Шунинг учун Кевлар-29 кўролга қарши ҳимоялаш жилетларни тайёрлашда қўлланилади. Аммо арамид толаси бошқа органик толалар каби сиқилишга мустаҳкамлиги паст (эгилишга мустаҳкамлигини 1/9 қисмини ташкил этади), бу толанинг анизотроплиги билан боғлиқдир. Бу хусусиятларга кўра арамид толалари сиқилиш билан боғлиқ ҳолларда қўлланилмайди.

Кевлар- арамид толасининг қўлланилиш соҳалари:

1. **Кевлар**- шиналардаги резинани армировка қилиш (ремень, енгил ва оғир автомобилларнинг радиал шиналари), умуман резинатехника маҳсулотлар ишлаб чиқаришда.

2. **Кевлар-29**. Канатлар, кабеллар, қопламали матолар, архитектура матолари ва баллистик химоя матолари ишлаб чиқаришда. Кевлар-29 дан тайёрланган жилетлар кўп мамлакатларнинг ҳуқуқни муҳофаза қилиш органлари ходимлари томонидан ишлатилади.

3. **Кевлар-49** - эпоксид, полиэфир ва бошқа смолаларни армировка қилиш учун, аэрокосмик, денгиз, автомобил ва спорт маҳсулотларини ишлаб чиқаришда қўлланилади.



Расм 1.11. Кевлар-29 арамид толаси асосидаги композицион маҳсулотлар.¹³

¹² William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 619 p.

¹³ William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 649-650 p.

Арамид толаси яхши антивибрацион хусусиятларга эга. Бошқа полимер толалар каби, арамид толалари ультрабинафша нурлага чидамлилиги паст. Ультрабинафша нурлари таъсирида арамид толалар сариқ ва жигар рангига ўтади, ўз механик хоссаларини йўқотади. Шунинг учун Кевлар-толалар люминесцент лампалар ёки дераза ойналардан 0,3 м узоқроқда сақланиши ва қўлланилиши керак.

Керамик толалар ва уларнинг қўлланилиши.

Керамик толалар юқори мустаҳкамлик, эластиклик модулига эга, ҳамда улар юқори ҳароратлар ва агрессив муҳитларга бардошлиги билан ажралиб туради. Шунинг учун керамик толалар юқори ҳароратли конструкцион материаллар ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади.

Керамик толалар ишлаб чиқаришнинг 3 асосий усули мавжуд: буғдан кимёвий чўкма ҳосил қилиш; полимерлар пиролизи ва золь-гель усули.

Золь-гель методлар кремний оксиди ва алюминий оксиди асосида оксидли толалар ишлаб чиқариш учун қўлланилади. Полимерлар пиролизи ҳам янги усуллардан биридир: кремний, углерод ёки азот тутган полимерлар (кремний органик бирикмалар) керамик юқори ҳароратли толаларга айлантирилиши мумкин. Бу усул 1.7.-расмда келтирилган углерод толалар ишлаб чиқаришга ўхшаш бўлиб, пиролиз натижасида SiC, Si₃N₄, B₄C, ва BN таркибли керамик тола, кўпик ёки қопламалар ҳосил қилиш мумкин.

1.5. Матрица материаллари. Полимерлар, металлар, керамика материаллари.

Композит материалнинг компонентлари геометрик кўриниши бўйича фарқланади. **Матрица** деб бутун ҳажм бўйича узлуксиз жойлашган компонент аталади. Композицион материалда матрицалар сифатида металлар ва уларнинг қотишмалари, органик ва ноорганик полимерлар, керамик материаллар қўлланилади.

Материалнинг хоссалари компонентларнинг физик-кимёвий хоссаларига ва улар орасидаги боғларнинг мустаҳкамлигига боғлиқдир. Композицион материал компонентлар ҳар хил хоссаларга эга бўлиши керак. Армировка (мустаҳкамлаштириш) компонентлари юқорида таъкидланганидек юқори каттиқ ва мустаҳкамликни таъминлайдилар.

Армировка компонентларини ва матрицани асосида тайёрланган композиция нафақат дастлабки компонентлар хоссаларини ўзида мужассамлаштиради, балки янги, бошланғич компонентларга хос бўлмаган

Конструкцион композитларда армировка компонентлари асосан керакли механик хусусиятларни (мустаҳкамлик, термик бардошлик, қаттиқлик ва б.) таъминлайди, **матрица** эса армировка элементларини бирга ишлашини, уларнинг механик бузилишдан ва агрессив кимёвий муҳитлардан ҳимоялаш вазифасини бажаради.



хусусиятларни ҳам намоён қилиши шарт. Масалан, армировка компонентлари ва матрица орасида ажралиш чегараси мавжуд бўлса, бу материалнинг ёриқларга чидамлигини оширади.

Матрица материали турига қараб композитларни қўйидагича классификация қилиш мумкин:

- *полимер матрицали композитлар*
- *керамик матрицали композитлар*
- *металл матрицали композитлар*
- *оксид-оксид композитлар*

Композицион материалларда матрица материалнинг бир жинслигини, монолитлигини таъминлайди, буюмнинг шаклини ва армировка компонентларнинг ўзаро жойлашишини сақлайди, таъсир этаётган кучланишларни материал ҳажми бўйича тақсимлайди, толаларга бир хил кучланишни тақсимлашга ҳаракат қилади. Бундан ташқари матрица армировка компонентлани механик ва кимёвий таъсирлардан ҳам химоялайди.

Полимерлар.

Полимерлар керамика ва металлларга нисбатан мураккаб структурага эгадир, аммо полимерлар арзон ва уларга осонлик билан ишлов бериш мумкин. Хоссаларига келсак, полимерлар мустаҳкамлик ва эластиклик модули кўрсаткичлари паст, эксплуатация ҳароратлари юқори бўлмаган материаллардир. Ультрабинафша, ёруғлик нурлари ва баъзи эритгичларни узоқ вақтда таъсири полимерларнинг деградациясига ва хоссаларини кескин пасайишига олиб келади. Ковалент боғлар асосида ташкил этилганлиги муносабати билан полимерлар асосан иссиқликни ва электрни ёмон ўтказадилар. Аммо кимёвий моддалар таъсирига металллардан кўра чидамлироқдир.

Металл матрицалар.

Металлар универсал конструкцион материаллардир. Металлар ўзининг мустаҳкамлиги ва қаттиқлиги билан ажралиб туради. Металлар пластик деформация қилиниши ва уларнинг хоссалари турли усуллар билан кучайтирилиши мумкин, бу асосан дислокациялар деб аталадиган чизиқли дефектларнинг ҳаракати билан боғлиқ бўлади. Ҳамма металлар (металл шишалардан ташқари) кристалл тузилишга эга. Асосан металлар 3 та кристалл сингонияларда кристалланади:

- ёнлари марказлашган кубик (ГЦК)
- ҳажми –марказлашган кубик (ОЦК)
- олтибурчакли зич упаковка қилинган (НСП)

Металл матрицали композитларнинг (ММК) 3 тури мавжуд:

- **Дисперс-муштаҳкамлаштирилган ММК**
- **қисқа тола ва мўйловлар билан армировка қилинган ММК**
- **узлуксиз тола ва листлар илан армировка қилинган ММК.**



Керамик матрицалар

Керамик материаллар қаттиқ ва мўрт бўлади. Керамик материаллар мўртлигидан ташқари, баъзи хоссалари турлича бўлиши мумкин. Реактив двигателларда қўлланиладиган металл- суперқотишмалар 800 °С ҳароратигача яхши хусусиятларга эга, аммо 1100 °Сда металл қопламаси оксидланиши бошланади. Ундан юқори ҳароратларда эса бошқа турдаги конструкцион материаллардан фойдаланиш керак бўлади. Шу ерда керамик материаллар керакли хоссаларни намоён қилиши мумкин.

Керамика материалларнинг асосий камчилиги – уларнинг мўртлиги, шунинг учун уларни муштаҳкамлаштириш зарур бўлади.

Шишакерамик материаллар – керамик материалларнинг махсус гуруҳини ташкил қилади. Улар композицион материал каби ҳажм бўйича 95-98 фоизи кристалл фазадан, қолган қисми эса шиша фазадан иборат бўлади. Кристалл фаза ўта нозик (заррачалар диаметри 100 нмдан кичик) структурага эга. Бундай кичик кристалларни ўстириш учун шиша массаси таркибига катализатор (одатда TiO_2 ва ZrO_2) қўшилади ва олинган шиша йўналтирилган кристаллизацияга учрайди.

Энг мухим шишакерамик материаллар:

1. $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ системасида: кичик термик кенгайиш коэффициентига ва демак юқори термик бардошликга эга. Бу турдаги материаллар «Corning ware» савдо белгиси билан ишлаб чиқарилади.

2. $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ системаси: юқори электрик бардошликга ва юқори механик муштаҳкамликга эга.

Керамик матрицали материаллар турли кукун методлар билан ишлов берилиши мумкин (анъанавий поликристалл керамика олиш усуллари), ҳамда махсус замонавий керамик матрицаларнинг синтез усуллар ёрдамида олиниши мумкин.

Назорат саволлари:

1. Табиатда учрайдиган армировка қилинган композитларни, уларнинг структура ва хоссаларини келтиринг.

2. Voyager самолети мисолида композицион материалларнинг авиасозликда қўлланилиши ўрганиб чиқинг.
3. Одам тирноғи - толали композитдир. Унинг компонентлари, микроструктураси ва хоссаларини ўрганиб чиқинг.
4. Композицион материалларнинг фуқаро самолётларида қўлланилишини ўрганиб чиқинг, асосий эътиборни Boeing 787 ва Airbus A380га қаратинг.
5. Композитнинг керамик матричасига ишлов бериш натижасида материалнинг мустаҳкамлиги пасаяди. Сабабини тушунтириб беринг.
6. Керамик матрицали композитлар олишда золь-гель ва полимер пиролиз усуллари қўлланилиши мумкин-ми? Бу усуллар қандай композитлар олишда қулай хисобланади?
7. Деярли нолга тенг бўлган иссиқликдан кенгайиш коэффициентига эга бўлган углерод тола билан мустаҳкамлаштирилган шишакерамик композит олиш мумкин ми? Сабабини тушунтириб беринг.
8. Нима учун керамик матрицали композитларни ишлаб чиқаришда кўра иссиқлик хоссаларга катта эътибор беришимиз керак (металл матрицали композитлар билан солиштиринг)?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. - 7-67 p.
2. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012.- 289-305 p.
3. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 629-645 p.
4. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011.-5-35 с.
5. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов. – М. : Профессия, 2010. – 120-150 с.

2-мавзу: Полимер матрицали композитларни олиш жараёнлари. Елимланган ёғоч материаллари. Ламинатлар.

Режа:

- 2.1. Нометалл матрицали материаллар.
- 2.2. Полимер матрицалар: Термопластлар ва реактопластлар.
- 2.3. Елимланган ёғоч материаллари – полимер матрицали композиция сифатида
 - 2.3.1. Елимланган ёғочда инобатга олинадиган омиллар
 - 2.3.2. Елимларнинг қўлланилиши. Ёғочни елимлаш. Адгезия назарияси. Ёғоч структурасининг адгезияга таъсири.

Таянч иборалар: *Елимлар, кимёвий боғлар, елимлаш жараёни босқичлари, фанера, OSB, MDF, адгезия кучлари, елимлаш жараёнида инобатга олинадиган омиллар, боғловчи миқдори, текстолит, генитакс, асотекстолит, шишатекстолит, кевлар, термопласт, терморреактив полимер, эпоксид смола, фенол, полиэфир, винил эфир.*

2.1. Нометалл матрицали материаллар.

Полимерлар углерод ковалент-боғланган йирик занжир молекулалар кўринишда тасаввур этишимиз мумкин. Кичик молекулалардан йирик молекулаларни ташкил этиш жараёни полимеризация деб аталади, демак полимеризация кўпгина мономерларни бирикиш жараёнидир.

Полимеризациянинг 2 асосий реакцияси мавжуд:

1. Конденсация-полимеризация. Бу жараёнда молекулалар босқичли реакцияга киришиб, реакция натижасида оддий бирикма ҳам ҳосил бўлади (сув).

2. Бирикиш- полимеризация. Бу жараёнда мономерлар ўзаро бирикишиб, полимер ҳосил бўлади, аммо қўшимча бирикмалар ҳосил бўлмайди. Бундай реакциялар катализаторлар иштирокида бажарилади. Этилен (C_2H_4) молекулаларининг чизикли бирикиши полиэтилен молекуласини ҳосил бўлишига олиб келади (этилен молекулалари цепочки). Полимернинг оғирлиги ҳамма мономерларнинг молекула оғирлиги суммасига тенг.

2.2. Полимер матрицалар: Термопластлар ва реактопластлар.

Полимерлар реакцияга киришиш табиатига кўра 2 турга бўлинади: Терморреактив ва термопластик полимерлар¹⁴.

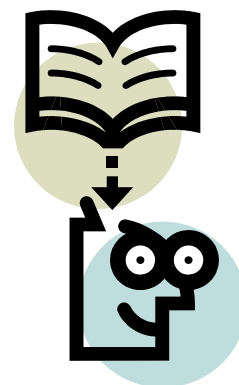
Матрицалар сифатида каттиқ эпоксид, полиэфир, фенол смолалар қўлланилади. Полимер матрицали композитларнинг афзалликлари: юқори

¹⁴ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 73-76 p.

мустаҳкамлиги ва эластик хоссалари; агрессив муҳитларга бардошлиги; яхши антифрикцион ва фрикцион хоссалари, ҳамда юқори иссиқлик ҳимоялаш ва амортизация хусусиятларидир.

Терморреактив полимерлар – полимер занжири ҳосил бўлаётганда қотиш реакцияси ҳам содир бўлади. Полимерлар реакция натижасида қотиб қолади. Ушбу реакциялар махсус кимёвий моддалар таъсирида, ёки иссиқлик ва босим таъсирида, ёки мономерларга электронлар оқимини таъсир этиш натижасида содир бўлади.

Термопластлар – полимерлар температура ва босим таъсирида оқувчанлик эга бўладилар ва иссиқлик таъсирида юмшоқ ёки пластик ҳолатга ўтадилар. Хона ҳароратигачан совутилганда бундай полимерлар ҳам қотади. Уларнинг иссиқлик таъсирида эриши молекуляр структураси ва шакли, молекулалар ўлчамлари ва массаси, боғланишлар тури (ковалент



Композитлар олишда полимерлар ёки тоза ҳолатда (порошок, гранула, листлар, пленкалар), ёки боғловчи ҳолатида қўлланилади.

Терморреактив полимер материаллар

Композитлар олишда терморреактив полимерлар боғловчи сифатида қўлланилади. Терморреактив полимер боғловчи синтетик смола (полимер ёки олигомер таркибли) ва қотирувчилар ёки инициаторлар, катализаторлар, қотишни тезлаштирувчилардан ташкил топган икки ёки кўп-компонентли системадир. Полимер боғловчилар кўпинча пассив ёки актив эритгичлар, пигментлар ва буёвчилар, пластификаторлар, стабилизаторлар ва бошқа компонентларни ўз таркибида тутган бўлади. Булар боғловчига ёки композитга керакли технологик ва эксплуатацион хоссаларни таъминлайди.

Боғловчи компонентнинг таркиби қотиш жараёнининг механизмига ва қотган модданинг зарур бўлган механик хоссаларига боғлиқ ҳолда танланади.

Полимер матрицали композитларни тайёрлашда асосан полиэфир, эпоксид ёки фенолоформальдегид боғловчилар қўлланилади: булар қотган ҳолатда етарли мустаҳкамликка эга ва захарли моддаларни кўп миқдорда чиқармайдилар.

Полиэфир-малеинатлар (полиэфир смолалар) таркиби, кимёвий тузилиши ва молекуляр оғирлигига қараб қуюқ суюқлик ёки қаттиқ модда кўринишида бўлади. Қотиш ҳарорати ва тезлиги қўлланилган инициатор ва тезлаштирувчи турига боғлиқ бўлади. Паст ҳароратли қотириш учун асосан бензоил перекиси ёки изопропилбензол гидроперекиси (гипериз)

кўлланилади, юқори ҳароратли жараёнлар учун – трет-бутилпербензоат кўлланилади.

Тезлаштирувчилар сифатида учламчи аминлар, масалан диметил, диэтил- и диэтаноламин ва б. кўлланилади; гидроперекислар билан биргаликда нафтен кислоталарнинг кобальт тузлари, масалан, кобальт нафтенати (номи «ускоритель НК») ишлатилиши мумкин.

Эпоксид смолалар эрувчан қуюқ суюқликлар ёки мўрт қаттиқ моддалар кўринишида учрайди, кўп материалларга яхши адгезия қилади, ва қотиш жараёнида озгина қисқаради. Эпоксид смолаларнинг физик хоссалари 2.1 жадвалида келтирилган.

Жадвал 2.1. Эпоксид смолаларнинг физик хоссалари

Смола тури	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	Физикавий ҳолати, 20°C
ЭД-22	-10	Суюқ
ЭД-20	0	Суюқ
ЭД-16	10	Қуюқ суюқлик
ЭД-10	50	Қаттиқ
ЭД-8	70	Мўрт

Эпоксид смолалар қотирувчилари сифатида аминлар (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, пиридин) – совуқ ҳароратли қотирувчилар; ҳамда кислотали қотирувчилар (маллеин ва фталат ангидридлари) – юқори ҳароратли қотирувчилар кўлланилади.

Фенолоформальдегид смолалар қуюқ суюқлик ёки мўрт қаттиқ шаффор масса кўринишида учрайди. Бу масса $60\text{--}120^\circ\text{C}$ ҳароратда суюқ ҳолатга ўтади.

Агар полимерларда молекулалар тўқималар сифатида боғланган бўлса, бундай полимерлар қиздирилганда юмшамайдилар. Бундай боғланган структурали полимерлар термореактив полимерлардир. Термореактив полимерлар қиздирилганда парчаланадилар. Материалда боғланишлар ўзаро боғланганлиги молекулаларнинг ўзаро ҳаракатига тўсиқлик қилади, шунинг учун полимер қаттиқ ва мутаҳкам бўлади. Мисол қилиб вулканизация резинаси, яъни олтингугурт билан боғланган каучукни келтиришимиз мумкин. Вулканизация қилинган резина мустаҳкамлиги табиий каучукдан 10 маротаба баланддир.

Термопластик полимерлар.

Ҳарорат таъсирида юмшайдиган ёки эрийдиган полимерлар – термопластик полимерлар деб аталади. Бу турга паст ва юқори зичликдаги **полиэтилен, полистирол** ва **полиметилметакрилатлар** киради.



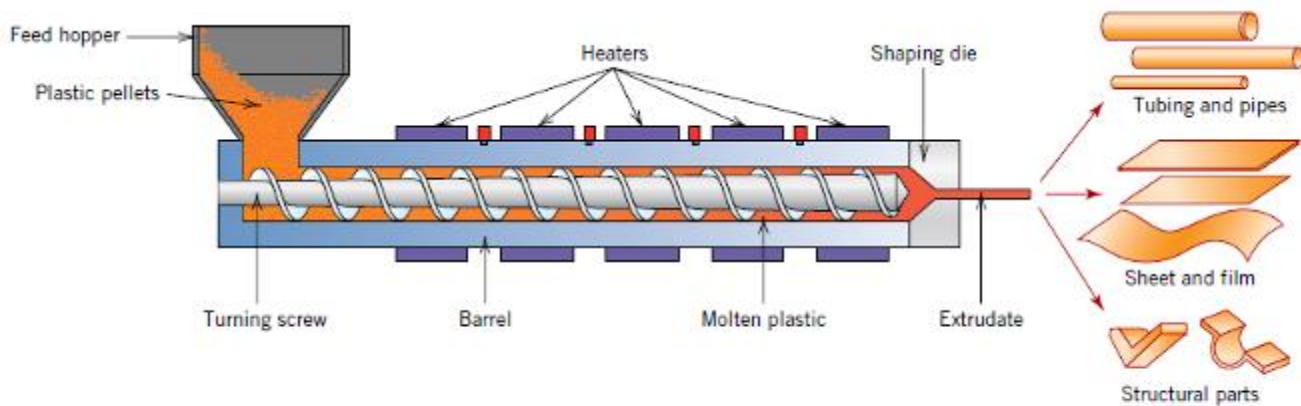


Figure 15.25 Schematic diagram of an extruder. (Reprinted with permission from *Encyclopædia Britannica*, © 1997 by Encyclopædia Britannica, Inc.)

Расм 2.1. Полимер материалар ишлаб чиқаришда қўлланиладиган экструдернинг схематик кўриниши.

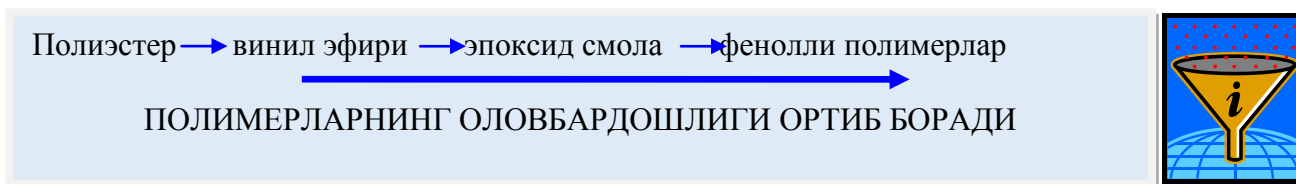
Полимер материалларнинг оловбардошлиги.

Ҳамма полимерларнинг оловбардошлиги қуйидагиларга боғлиқ бўлади: олов тарқалиш майдони, ёқилғини таъсири ва кислород индекси. Кислород индекси (LOI) – бу ёниш давом этиш учун зарур бўлган кислороднинг минимал қийматини белгилайди.

Полимернинг ёнувчанлик даражаси (ёки РМС) қўйидаги параметрларнинг функцияси ҳисобланади:

- матрица тури ва ҳажми (асосий таъсир кўрсатади)
- оловбардош кўшимчалар ҳажми
- армировка компонентларнинг тури ва ҳажми.

Полимерларнинг оловбардошлиги келтирилган қаторда ўсиб боради:



Фенол полимерлари кичик ҳажмда тутун чиқарадилар ва токсик чиқиндилар ҳосил қилмайдилар. Фенол матрицаларнинг яна бир афзаллиги – ёниш жараёнида улардан полукокс ҳосил бўлади, у эса яхши иссиқлик изолятори ҳисобланади. Терморектив матрица сифатида полиэстер қўлланилган ҳолда албатта оловбардош кўшимчалар ишлатилиши керак. Полиэстер асосида олинган композитларнинг оловбардошлигини таъминлаш мақсадида баъзи вақтларда кўп миқдорда шиша толаси қўшилади.

Матрица материаллари сифатида анъанавий термопластик смолалар - полипропилен, нейлон, термопластик полиэфирлар (ПЭТ, ПБТ) ва поликарбонатларни қўллаш мумкин. Ҳозирги вақтда янги термопластик матрица материаллари таклиф этилмоқда – бу полиамид имид, полифениленсульфид (ПФС), полиарилсульфон (polyarylsulfone) ва полиэфир-эфиркетон кетонлардир (PEEK).

2.3. Елимланган ёғоч материаллари – полимер матрицали композициялар сифатида

Елимлар билан ишлаш анча қийин, чунки бу битта фан ўрганадиган соҳа эмас. Елим мустаҳкамлигининг муҳимлиги, полимер занжиридаги, ёғочдаги ва фазалар оралиғидаги асосий ва иккиламчи кимёвий боғларни алоҳида ўрганишни талаб этади. Демак, мустаҳкамликни ҳам кимёвий, ҳам механик нуқтаи назардан ўрганиш зарур.

Одатда, елимлаш жараёни учта босқичда амалга оширилади. Энг аввало, елим яхши ёпишиши учун ёғоч юзаси елимлашга тайёрланади. Бунда юзага механик ёки кимёвий усул билан ёки аралаш усулда ишлов берилиши мумкин. Баъзи ҳолатларда, юзанинг хўлланишини яхшилаш ёки ифлосланган юзага суркалиши учун боғловчи модификацияланиши мумкин. Елимланган ёғоч материалларининг тарихи эрамиздан олдинги 3000 йилларга, мисрликларга бориб тақалади.

Елимланган ёғоч ва қоғоз ишлаб чиқаришда турли елимлар қўлланилишига қарамасдан елимли композицияларнинг илмий асослари ҳалигача тўлиқ ўрганилмаган. Боғловчи моддалар кимёси тўлиқ ўрганилган, лекин елимлар қандай қилиб ёғочни ёпиштиради, бунда ташқи ва ички омилларнинг илмий асослари тўлиқ очиб берилмаган.

Иккинчи босқичда, боғловчи ёғоч юзаси билан молекуляр даражада контактга киришади; бунинг учун боғловчи суюқ ҳолатда бўлиши ва асосга тўлиқ ётқизилиши зарур. Бу жараёнда ёғоч реологияси ва сирт кучлари ҳақидаги билимлар жуда зарур бўлади. Юза кучлари ёғоч ва елимнинг қутбланган ва қутбланмаган ташкил қилувчилардан иборат бўлади. Уларни ўзгартириш орқали мустаҳкам ва узок муддат турғун бўладиган боғларни ҳосил қилиш мумкин.

Учинчи босқичда, боғловчи қотади ва тикилади.

2.3.1. Елимланган ёғочда инобатга олинадиган омиллар

Энг йирик ёғоч маҳсулотлари бозори бу – фанера, ориентирланган қириндили плиталар (OSB), ёғоч толали (MDF) ва ёғоч қириндили плиталар ишлаб чиқаришдир. Фанерадан ташқари барча плиталарда елимлар ёғоч заррачалари билан яхлит ёғоч-елим матрицасини ҳосил қилади.



Плиталарнинг мустаҳкамлиги берилаётган кучнинг елим ва ёғоч фазаларига текис тақсимланишига боғлиқ. Композицияларда (ёғоч толали ёки қириндили плиталарда) елим ва ёғоч (толалар ёки қириндилар) ўртасида адгезия кучлари пайдо бўлади; кейин улар юқори температура остида прессланади ва тайёр маҳсулот олинади. Бундай жараёнда ишлатиладиган елим хона температураси остида қотиб қолмасдан, юқори температура таъсирида прессланганда қотиши зарур.

Ёғоч-елим аралашмаларида ва елимланган ёғоч буюмларидан фойдаланишда қуйидаги омилларга эътиборни қаратиш зарур (1-жадвал).

Елимланган ёғоч материалларда боғловчи миқдори 2-8% эканлигини

ҳисобга оладиган бўлсак, унинг нарҳини билиш жуда муҳим. Бундан ташқари, ёғоч юзалари жипс ёпишганлиги сабабли уларнинг оралиғига жуда кам елим сарфланади, бироқ ёғочнинг елимни шимиши катта муаммоларни келтириб чиқаради. Бошқа томондан қараганда, фанерада шпон юзалари жуда жипс ёпишмаса ҳам уларнинг фақат юза қатламларидагина елим бўлиши талаб этилади. Елимлар шаффоф ёки оч рангли бўлиши мақсадга мувофиқ, бироқ кўплаб елимланган материалларнинг юзалари бошқа ҳимоя-декоратив материаллар билан қопланган бўлади. Кўпчилик елимлар таркибида сомономер сифатида формальдегид ишлатилади, унинг ташқарига чиқишининг олдини олиш ҳам муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Жадвал 2.2. Елимланган ёғочда инобатга олинадиган омиллар

Елим учун	Ёғоч учун	Жараён учун	Фойдаланишда
Елим тури	Ёғоч тури	Елим миқдори	Мустаҳкамлик
Қовушқоқлиги	Зичлиги	Елимнинг тақсимланиши	Силжиш модули
Молекуляр массанинг тақсимланиши	Намлик миқдори	Намлик миқдори	Намлик таъсирида шишиш, куриб кичрайишга чидамлилиги
Реагентлар нисбати	Юза тури: радиаль, тангенциаль, кўндаланг, аралаш	Температураси	Киришиш
Қотиш тезлиги	Ядроёки етилган ёғоч	Яшовчанлиги	Нави
Қуруқ қолдиғи	Ёш ёки кекса дарахт	Умумий ушлаш вақти	Нуксон тури
Катализатор	Эрта ёки кеч етилган ёғоч	Пресслаш	Қуруқ ёки нам эканлиги
Аралаштириш	Реактив ёғоч	Елим билан хўлланиши, елим шимиши	Эластиклик модули
Ёпишқоқлиги	Толалар қиялиги	Газ ўтказувчанлик	Температураси
Тўлдиргич	Ғоваклилик	Пресслаш вақти	Гидролизга чидамлилиги
Эритувчилар	Юза нотекислиги	Дастлабки ишлов бериш	Иссиқликка чидамлилиги
Ишлатилиш муддати	Қуришдан ёрилиш	Кейинги ишлов бериш	Биологик чидамлилиги:

			замбуруғларга, бактерияларга, хашаротларга, сув организмларига
Водород кўрсаткичи	Ишлов бериш нуқсонлари	Асоснинг температураси	Пардозлаш
Химояланганлиги	Ифлослан- ганлик, ташқи кўшимчалар		Нурланишларга чидамлилиги
	Экстрактив моддалар		
	Водород кўрсаткичи		
	Химояланиш хусусияти		

Ламинатлар ва брусоксимон материалларни елимлашда боғловчилар юқори температурада ёки хона температурасида қотирилиши мумкин. Бунда елим нархини аниқлаш жуда муҳим, чунки унинг қалинлиги кенг ораликда ўзгариши мумкин. Елим ранги одатда унчалик муҳим эмас, чунки эҳтиётлик билан ишланса зарари тегмайди. Ёғоч структураси анизотроп бўлгани учун елимнинг намлиги ва киришувчанлигига кўпроқ эътибор қаратиш керак.

Турли конструкцияларда ва мебелда ишлатиладиган елимлар одатда, яшовчанлиги **юқори бўлиши ва хона температурасида қотадиған бўлиши** талаб этилади. Мебелда оч рангдаги, қовушқоқлиги паст, намлик таъсирига етарли даражада чидамли елимлар қўлланилади. Конструкцияларда қўлланиладиган елимлар эса юқори қовушқоқликда бўлиши, эгилувчанликни таъминлаши ва тўқ рангли бўлиши мумкин.



2.3.2. Елимларнинг қўлланилиши

Ёғочни елимлаш.

Юқорида келтирилгандек, боғларнинг шаклланиши учун энг аввало елим ёғоч юзасига текис тақсимланиши зарур. Бунда елим ёғоч юзасига пуркаш, ролик билан суркаш, шпател билан суркаш, қуйиш каби турли усуллар билан берилиши мумкин. Елим суртилганидан кейин термокомпрессия усулига қараб у очик ёки ёпиқ ҳолатда қотиши мумкин. Иккала ҳолатда ҳам елим ёғочга сингиши ва боғлар ҳосил бўлиши учун муайян вақт талаб этилади. Очик ҳолатда қотиш учун эритувчининг ёки сувнинг чиқиб кетиши талаб этилади.

Очик ҳолатда қотиш елимнинг асос сиртида тўлиқ ёпишмасдан узок қолиб кетишига олиб келади. Ёпиқ ҳолатда термокомпрессия жараёнида ёғоч заррачалари юзалари жипслашиб кетади. Баъзи ҳолатларда иссиқ пресшлаш

жараёнида намлик кўп бўлади, температура ва намликнинг биргаликдаги таъсири елимланган ёғочнинг мустаҳкамлигини пасайтиради.

Ёғоч сирти мураккаб таркибга эга. У анизотроп тузилишга эга, хужайралари бўйламасига чўзилган, ёғоч марказдан ташқарига қараб ўсгани учун унинг радиал йўналишдаги хоссалари, тангенциаль йўналишдагидан фарқ қилади. Дарахтда ядро ёғочи ва етилган ёғочдан, эрта ва кеч етилган ёғочлар ўзаро бир-биридан фарқ қилади. Шунингдек, ёғочда ички зўриқишлар, реактивлик ва толалар қиялигининг мавжудлиги унинг тузилишини янада мураккаблаштиради. Ёғоч юзасини елимлашга тайёрлаш усули ҳам унинг ҳўлланиш хоссасига таъсир кўрсатади.

Адгезия назарияси

Ёпишқоқлик елим юзасининг асос юза билан таъсирлашиш хоссаси ҳисобланади, уни боғ мустаҳкамлиги билан адаштирмаслик керак. Албатта, елим асосга яхши ёпишмаса, салгина куч таъсирида юзалар ажралиб кетади. Бироқ, чокнинг мустаҳкамлиги анча мураккаб ҳолат ҳисобланади, чунки зўриқиш кучларининг концентрацияси, сирт кучларининг тарқоқлиги ва уларнинг сирт юзаларида сустиги каби ҳолатлар ёпишқоқликка нисбатан муҳимроқ ҳисобланади. Ёпишқоқлик эса боғларнинг шаклланиши учун зарур.

Баъзи ёпишқоқлик назарияларида механик жиҳатларга кўпроқ урғу берилади ва бошқаларида эса кимёвий жиҳатларга эътибор қаратилади. Кимёвий тузилиш ва кимёвий таъсир ўз навбатида механик хоссаларни белгилаб беради, шунингдек, механик мустаҳкамлик ҳам ўз навбатида елимланган материалдаги кимёвий боғларнинг мавжудлигини кўрсатади. Шу сабабли, кимёвий ва механик жиҳатларни бир-биридан алоҳида омиллар сифатида ажратиб қараб бўлмайди.

Механик боғланишда елим ва асоснинг ғоваклари ўртасидаги боғланишлар назарда тутилади. Механик боғланишга тиканак илмоқларининг мато ипларига илашишини мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Бундай чигал тишлашишда илмоқларнинг ўзаро силжишига йўл қўйилмайди. Аслини олганда механик тишлашишда кимёвий таъсирлар мавжуд эмас, деб ҳам бўлмайди. Бунда ажралишга юзалардаги ишқаланиш кучлари қаршилик кўрсатади. Елимлар қотиб шакллангандан сўнг уларнинг асос юза билан ажралишига ҳам кимёвий, ҳам механик кучлар қаршилик кўрсатади. Ғовакларга кириш орқали механик тишлашиш кучларини аниқ ўлчаб бўлмайди, ғоваклар кичик бўлса тишлашиш кучи ҳам кам бўлади. Шунини таъкидлаш керакки, механик боғлар нормал кучларга катта қаршилик кўрсатади. Бундан ташқари, кўпчилик юзалар механик боғланиш учун етарли даражадаги ғадир-будирликка эга бўлмаслиги мумкин. Бундай боғланишни таъминлаш учун юзани абразив материал билан ишқалаб текислаш зарур.

Бундай боғланиш ҳосил бўлиши учун елим ва асос ўртасида ўзаро мослашувчанлик ҳам бўлиши лозим. Бундай мослашувчанлик кўпчилик полимерларда кузатилмайди. Кучли тармоқли боғланиш фақат кимёвий ва

механик боғлар ҳисобига мавжуд бўлади.

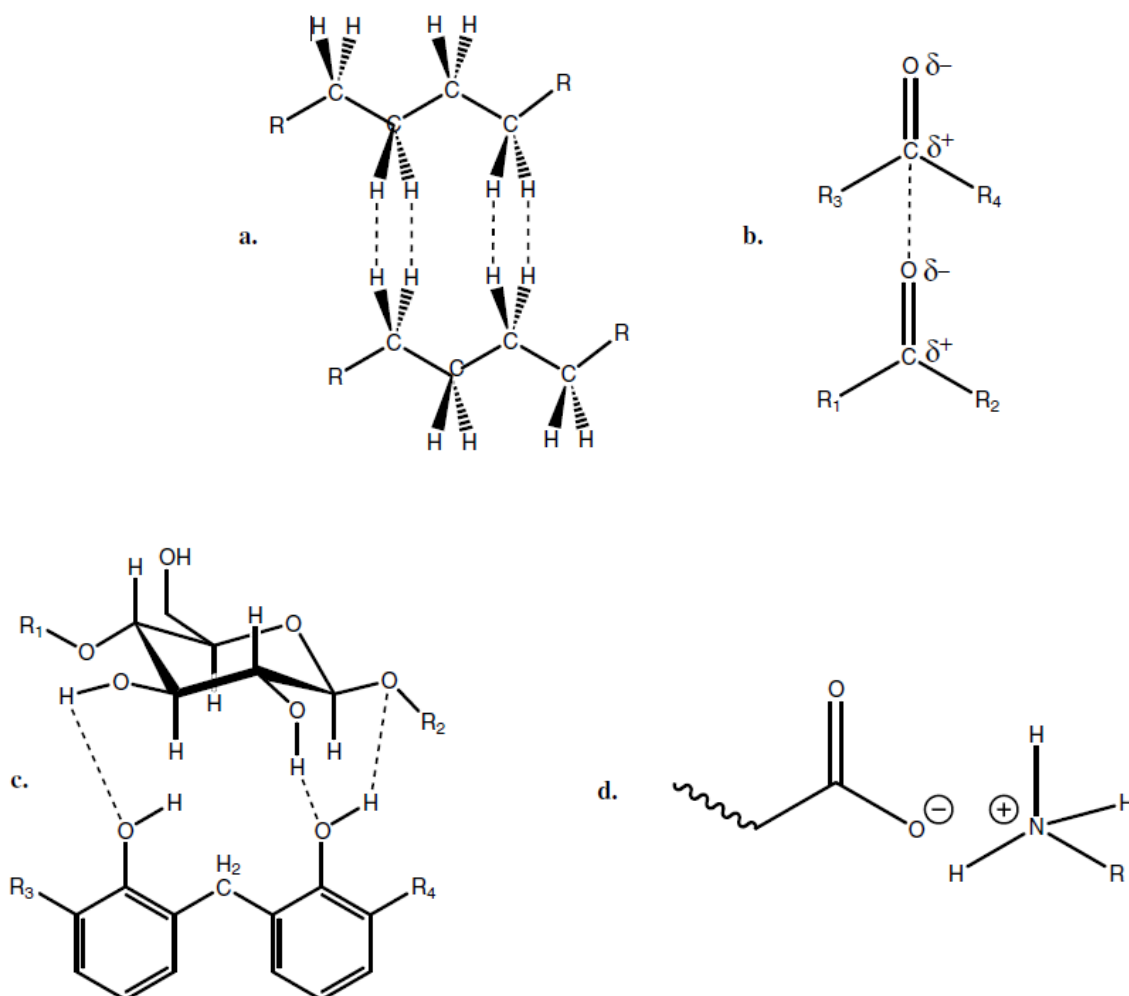
Бошқа назариялар, асосан механик нуқтаи назардан эмас, балки кимёвий боғлар орқали ифодаланади. Уларга кўра елим ва асос юза орасида молекуляр даражадаги контакт кучлари мавжуд бўлади. Бу кимёвий таъсирлашиш кучлари ортиб бориш тартибида кўриб чиқилади. Турли хил боғларнинг афзалликлари 2-жадвалда келтирилган, шу билан бирга 3-расмда баъзи боғланишлар ҳам кўрсатилган. Шунини таъкидлаш керакки, кучли боғ ҳосил бўлиши учун бундай боғлар жуда кўп бўлиши ва таъсирлашиш сирти бўйлаб текис тақсимланган бўлиши керак.

Жадвал 2.3. Кимёвий боғлар мустаҳкамлиги

Боғланиш тури	Bond Energy (kJ·mol⁻¹) Боғланиш энергияси
Primary bonds (асосий боғлар) Ionic (ионли боғланиш)	600–1100
Covalent (ковалент боғланиш)	60–700
Metallic, coordination (металл, координацион боғланиш)	110–350
Donor-acceptor bonds (донор-акцепторли боғланиш) Bronsted acid-base interactions (кислотали-асосли таъсирлашишдаги Брэнстед кучлари)	Up to 1000 1000 гача
Lewis acid-base interactions (кислотали-асосли таъсирлашишдаги Льюис кучлари)	Up to 80 80 гача
Secondary bonds (иккиламчи боғлар) Hydrogen bonds, excluding fluorines (водород боғлар, фторни истисно қилганда)	1-25
VanderWaals bonds (Ван-Дер Вальс кучлари) Permanent dipole-dipole interactions (доимий диполь-диполь таъсиридаги кутбли боғланиш)	4-20
Dipole-induced dipole interactions (диполлар таъсирида пайдо бўлган кутбли боғланиш)	Less than 2 2 гача
Dispersion (London) forces (Дисперс (Лондон) кучлари)	0.08–40

Бу кучларнинг энг кичиги дисперс боғланишга тўғри келади. Дисперсион кучлар бир-бирига жуда яқин жойлашган молекулалар ва уларнинг таркибий қисмлари ўртасида пайдо бўлади. Дисперсия кучи - кутбланмаган молекулаларни боғловчи асосий восита ҳисобланади (масалан, полиэтилендаги каби). Елим ва асос юза ўзаро молекуляр контактда бўлганда бу кучлар жуда суст бўлади, бу куч атомлар орасида бўлганда эса жуда катта

куч пайдо бўлади. Гекконнинг девор ва шипларда юриши ушбу кучга асосланган.



Расм 2.2. Боғланишкучлари: (a) иккита углеводород занжиридаги дисперсион боғланиш (полиэтилендаги каби); (b) иккита карбонил гуруҳидаги диполь боғлари (полиэстердаги каби); (c) целлюлоза сегменти ва фенол-формальдегид полимери орасидаги водород боғлари, (d) аммоний ва карбоксил гуруҳлари ўртасидаги ионли боғланиш.

Бошқа кучлар одатда кутбли тарзда содир бўлади. Уларнинг энг кучсизи дипол-дипол таъсирлашишида пайдо бўлади. Кутбли боғланишлар атомлар ўртасида содир бўлади, бунда доимий, табиий диполь пайдо бўлади. Агар диполларнинг мусбат ва манфий учлари бир-бирига мос келса улар ўзаро таъсирлашади.

Бундай таъсирлашиш кучлари диполларнинг муайян тартибда жойлашишига боғлиқ. Бундай жойлашиш кичик молекулалар учун осон кечади, бироқ иккита занжир орасида уларнинг ҳаракати чекланганлиги сабабли қийин кечади. Дипол-дипол таъсирлашиши натижасида пайдо бўлган кутбли боғланиш одатда доимий диполлар таъсирида пайдо бўлган кучларга нисбатан анча суст бўлади, полимер макромолекулаларининг текис

жойлашмаслигига сабаб бўлади.

Иккиламчи боғланишлар ичида энг кучлиси водород боғлари таъсирида пайдо бўлади. Бу турдаги боғланишлар кутбланган таркибларда (азот, кислород, олтингугурт ва водород, карбонил гуруҳларида) содир бўлади. Бундай боғланишда водород атоми иккита кутбланган гуруҳга тақсимланади, бундай боғлар асосан ёғоч ва елим молекулалари ўртасида пайдо бўлиш эҳтимоли юқори, чунки иккаласида ҳам кутбланган гуруҳлар кўп. Деярли барча ёғоч компонентлари гидроксил гуруҳларига бой ҳисобланади ва баъзи мураккаб эфирлар ва кислоталарда карбоксил гуруҳлари мавжуд бўлади. Бу гуруҳларнинг иккаласи ҳам кучли ички водород боғларини ҳосил қилиб ёғочнинг мустаҳкамлигини таъминлайди, шунингдек, бу боғлар ташқи водород боғланишларида ҳам иштирок этади.

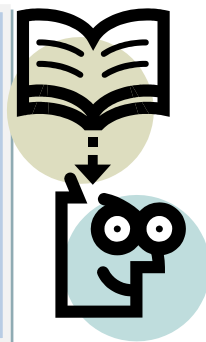
Барча ёғоч елимларида ички ва ташқи водород боғларини пайдо қиладиган кутбланган гуруҳлар мавжуддир.

Ҳайвонот ва ўсимлик елимларининг мустаҳкамлиги асосан улардаги мавжуд водород боғларига ва елимдаги когезион кучларга боғлиқ бўлади.

Кўпчилик синтетик елимларнинг когезион мустаҳкамлиги водород боғларига боғлиқ эмас, чунки уларда ички чокланиш кучлари мавжуд, бироқ улар ҳам шубҳасиз ёғоч билан водород боғларини ҳосил қилади. Водород боғларининг ўзига ҳослиги шундаки, улар намлик таъсирида парчаланadi. Сув ва водороднинг бошқа бирикмалари ўзларини водород боғларидаги мавжуд бўлган икки хил шаклда тутиши мумкин. Бу жараён ички боғларни кучсизлантиради ва улар ташқи кучларга суэт қаршилик кўрсатади. Ёғоч материали ҳам нам ҳолатда бундай боғланишларга эга бўлмайди. Ёғоч ва елим ўртасидаги боғланишлар ҳам шундай бўлади - водород боғлари анча кучсизланиб, нуқсонлар пайдо бўлишига сабаб бўлади.

Иккиламчи боғларнинг (дисперсион, икки кутбли ва водород боғлари) қизиқ жиҳати шундаки, улар ковалент боғлардан фарқли равишда қайта тикланиши мумкин. Водород боғларининг қайта тикланиши ёғоч кўпчилик боғлар сустлашганда ҳам ўзининг мустаҳкамлигини йўқотмасдан туришига сабаб бўлади. Елимлардан фойдаланганда бу жараён елимнинг ёғочга мослашишига ва ёғоч деформациясига қандай таъсир қилиши жуда аниқ эмас, бироқ улар катта аҳамиятга эга ҳисобланади.

Одатда, кўпчилик материалларда энг катта таъсир кучи елим ва асос ўртасидаги ковалент боғларидан ҳосил бўлади. Ёғочдаги учта асосий компонентда - целлюлоза, гемицеллюлоза ва лигнинда гидроксил гуруҳлари мавжуд бўлиб, кўпчилик елимлар гидроксил гуруҳлари билан таъсирлашади, ва шубҳасиз, чокланиш реакцияси содир бўлади. Бироқ, бошқа олимларнинг таъкидлашича, кўп миқдорда намликнинг бўлиши бу боғларни сусайтиради.



Донор-акцептор боғлари таъсирида кучли боғланишлар пайдо бўлиши мумкин. Буларнинг ичида ёғоч-елим тизимида энг кўп тарқалгани Брёнстед кислота-асос кучларидир. Баъзи катион ва анионлар ўртасидаги кислота-асос

таъсир кучлари асосга елимнинг ёпишишида кузатилади. Ёғочда баъзи бир карбоксилли кислоталар мавжуд бўлиб, улар елимлар билан туз ҳосил қилади, бу тузлар меламинаформальдегиддаги, оксил ва аминли эпоксид елимларидаги амин гуруҳлари каби асос гуруҳларни ўз ичига олади.

Одатда елимнинг ёғочга ёпишиши катта таъсир кучига эга.

Бу ёпишиш ҳодисаси – таъсирлашиш кучларининг вақт бўйича частотаси йиғиндисидан иборат деган далилни инкор этади. Шундай қилиб, ковалент боғлар, камроқ пайдо бўлади ва улар водород боғлари ёки дипол-дипол қутбли боғлари каби муҳим эмас. Водород боғлари сув таъсирида парчаланганлиги сабабли нам ҳолатдаги ёғочда сустроқ бўлади. Бу ерда ёғочда фақат битта кучли боғланишни ҳосил бўлиши ҳақида эмас, балки кўплаб миқдордаги боғланишларнинг ҳосил бўлиши ҳақидаги фикрлар муҳимроқ. Шунинг ҳам эътиборга олиш керакки, елимнинг ёғочга кучли боғланмаслигига елимнинг ўзида ёки асос юза билан орасидаги фазада боғланиш кучларининг етарли эмаслиги сабаб бўлади.

Адгезия назариясига кўра ёпишиш ҳодисаси боғ ҳосил бўлиш босқичларига боғлиқ эмас, боғлар узилганда унинг электростатик табиатга эга эканлигини кўриш мумкин. Бунда елим ва асос юза ўзаро бир-бирига мос бўлиши зарур.

Бошқа бир назарияга кўра ёпишқоқлик инкор қилиниб, полимер ва ёғоч аралашмаси монолит бирикма ҳосил қилиши зарурлигини таъкидланади.

Шунингдек, елим молекулалари ёғоч хужайралари деворларига шимилади ва бир неча хил ёғоч-елим структураларни ҳосил қилиши ҳақидаги назария ҳам мавжуд.

Бу назарияларнинг кўпчилиги боғлар ҳосил бўлишини тушуниш учун жуда муҳим бўлиб, елим чокларининг узилишига катта қаршилик кўрсатади. Муҳими шундаки, боғланишлар пайдо бўлаётганда, кучлар юза бўйлаб бир жойда тўпланиши ёки бир хилда тақсимланиши мумкин. Агар кучлар юза бўйлаб текис тақсимланган бўлса, у ҳолда боғланиш кучи камроқ бўлади.

Кўпинча, қайси адгезия назарияси тўғри, деган савол пайдо бўлади. Бу ерда бир нарсага - елим ва ёғочнинг ўзаро таъсирлашишига эътиборни қаратиш тўғри бўлади. Вариантлар жуда кўп, умумий жиҳатдан олиб қараганда, елим қанча ёпишқоқ бўлса, юзада шунча кучли боғ ҳосил қилади.

Ёғоч структурасининг адгезияга таъсири

Елим ва ёғоч ўртасидаги боғларни тушуниш учун ёғоч структурасининг ўзига хослигини, энергиянинг тақсимланишини ва атроф муҳит таъсирида ёғочнинг ўзгаришини эътиборга олиш керак. Ёғоч кўп жинсли материал саналади. Елим ёғоч юзасидаги кўплаб турдаги биркмалар билан боғланиши зарур бўлади.

Юмшоқ ёғочларда бўйлама трахеидлар кўпчиликни ташкил этганлиги сабабли ёғоч юзасида улар бўйламасига кесилган ҳолатда очик бўлади. Паренхим хужайралари (ўзак нурлари ва смола йўллари) ҳам елим билан боғланадиган кўшимча юзалар ҳисобланади. Қаттиқ ёғочларда либриформ

толалари ва йирик найчалар асосий таъсир юзасини ҳосил қилади, уларга ўзак нурлари ва бошқа ҳужайралар ҳам қўшилади. Ёғоч структурасида эрта етилган юпқа деворли ва кеч етилган қалин деворли ҳужайралар унинг юзасини жуда мураккаблаштириб юборади.

Елим ва ёғоч ўртасидаги боғланиш ўлчами одатда миллиметрларда ўлчанади. Бироқ, ёғоч-елим боғланишлари миллиметр, микрометр ва нанометрларда ҳам ўрганилиши зарур. Миллиметрлар билан оддий кўз билан чамалаганда ёки ёруғлик микроскопларида ўлчанади. Электрон микроскопияда эса ҳужайралар даражасида, микрометрларда ўлчанади. Целлюлоза толалари, гемицеллюлоза ва лигнинлар нанометрларда ўлчанади.

Нанометр даражасида елим молекулаларининг ёғоч молекулалари билан боғларининг шаклланиши ўрганилади. Атом микроскоплари нано ўлчамларни ўлчашга имкон беради, бироқ ёғочнинг сирти жуда ҳам дағал бўлиб уни микрометрларда ифодалаш қулай.

Назорат саволлари:

1. Фанерадаги адгезия кучларини изоҳлаб беринг.
2. МДФ плитасида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
3. ДСП пластигида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
4. ДСтП плитасида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
5. ОСП плитасида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
6. МДП да бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
7. Эгиб елимланган заготовкларда бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
8. ХДФ плитасида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.
9. ЛУДП плитасида бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғларни таърифлаб беринг.

Фойдаланилган адабиётлар :

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. - 137-194 p.
2. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. - 239-379 p.
3. William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010. - 647-652 p.
4. Roger M. Rowell. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. ISBN-13: 978-1439853801. CRC Press; 2 edition; 2012. - 215-273 p.

3-мавзу: Металл матрицали полимерлар турлари ва олиш жараёнлари. Композитлар микромеханикаси ва макромеханикаси.

Режа:

- 3.1. Металл матрицали композитлар.
- 3.2. Металл матрицали композитларни турлари ва олиш жараёнлари.
- 3.3. Композитлар микромеханикаси ва макромеханикаси.

Таянч иборалар: металл, матрица, пўлат, алюминий, никель, САП, гафний, торий, қотишмалар, кукун (порошок) металлургияси, эвтектик қотишма, кристаллизация катализатори, керметлар, дисперс–мустаҳкамлаштирилган, фуллерен, оловбардош, контрукцион, қатламли металл-композитлар, Duralcan.

3.1. Металл матрицали композитлар.

Металлар универсал конструкцион материаллардир. Металлар ўзининг мустаҳкамлиги ва қаттиқлиги билан ажралиб туради. Металлар пластик деформация қилиниши ва уларнинг хоссалари турли усуллар билан кучайтирилиши мумкин, бу асосан дислокациялар деб аталадиган чизикли дефектларнинг ҳаракати билан боғлиқ бўлади. Металл матрицали композитларнинг (ММК) 3 тури мавжуд:

- Дисперс-мустаҳкамлаштирилган ММК
- қисқа тола ва мўйловлар билан армировка қилинган ММК
- узлуксиз тола ва листлар илан армировка қилинган ММК.

3.1-жадвалда металл матрицали композитларда энг кенг қўлланиладиган армировка материалларининг ўлчамлари ва диаметр / узунлиги нисбатлари келтирилган¹⁵:

Type	Aspect ratio	Diameter (µm)	Examples
Particle	~1-4	1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , WC, TiC, BN, B ₄ C
Short fiber or whisker	~10-1,000	0.1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C
Continuous fiber	>1,000	3-150	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C, B, W, NbTi, Nb ₃ Sn

Дисперс–мустаҳкамлаштирилган ММК энг кенг тарқалган бўлиб, узлуксиз толалар билан мустаҳкамлаштирилган композитлардан кўра арзонроқлиги ва хоссалари изотроплиги билан фарқланадилар.

¹⁵ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 198 p.

Замонавий технологияларда нано ўлчамли фуллеренлар билан мустаҳкамлаштириш катта қизиқиш туғдирмоқда. Фуллеренлар (C₆₀-энг кенг тарқалганлиги)-енгил ва бўлиқга эга. Баррера ва б. (1994) ўз тадқиқотларида порошок металлургия усулари ёрдамида фуллерен /металл композицион материаллар таркибини яратган. Мис-фуллерен композитлар мисни фуллерен устига пуркаш (аргон атмосферасида) натижасида олинди.

Ноль-ўлчамли тўлдиргичлар билан композитлар ўзларининг изотроплиги билан ажралиб турадилар. Дисперс мустаҳкамлаштирилган композициялар кукун металлургия усуллари ёрдамида ишлаб чиқарилади. 1-мавзуда САП композитининг таркибини келтирган эди (жадвал 1.1.).

Никель матрицали композицион материаллар

Никель матрицали композицион материалларда мустаҳкамлаштириш компоненти сифатида токсик торий оксиди (ThO₂) ёки гафний диоксиди қўлланилади (HfO₂). Бу композицион материаллар ВДУ-1 ва ВДУ-2 деб аталади: улар пластик хоссаларга эга, турли усуллар ёрдамида ишлов берилиши мумкин (ковка, штамповка, осадка, чуқур тортиб олиш). ВДУ таркибли деталларни пайлашда юқори ҳароратли пайвандлаш ёки диффузион сварка қўлланилади. Авиация двигателларини тайёрлашда ВДУ-2 композит қотишмалари кенг қўлланилади.

Оловбардош никель қотишмаларини армировка қилишдан мақсад – уларнинг иш ҳароратини 1100–1200 Сгача кўтариш ва ишлаш вақтини узайтиришдир. Никель қотишмаларини мустаҳкамлаштириш учун ипсимон кристаллар, оловбардош ва қийин эрийдиган металллар ва қотишмалар, углерод ва кремний карбиди толаларидан фойдаланилади.

Эвтектик композицион материаллар –эвтектик таркибли композитлар. Бу композитларда мустаҳкамлаштирувчи фаза сифатида масса таркибида йўналтирилган кристаллизация жараёнлари натижасида ҳосил бўлган кристаллар хизмат қилади. Бундай композитлар Al, Mg, Cu, Co металлари асосида олинган. Алюминий композитлари енгиллиги, кичик зичлиги ва зўр мустаҳкамлиги муносабатини билан аэрокосмик соҳада кенг қўлланилади. Al-Cu-Mg ва Al-Zn-Mg-Cu таркибли қотишмалар ҳам катта эътиборга эга.

Алюминий-литий қотишмалари махсус дисперс-қотадиган алюминий қотишмалар турига мансуб. Алюминийга литий қўшилганда қотишманинг янада зичлиги пасаяди ва эластиклик модули ўсади. Бундай таркиблар асосан аэрокосмик йўналишларда фойдаланилади. Al-Li, Al-Cu-Mg ва Al-Zn-Mg-Cu қотишмалари – эвтектик композитларга киради (кристаллизация давомида қотади).

Никель асосидаги эвтектик композитлар – оловбардош материаллар сифатида ракета ва космик техникасида қўлланилади. Асосий металл ва қотишмаларнинг хоссалари 2.3. жадвалида келтирилган.

Қатламли металл композитлар – кенг спектрдаги хоссаларга эга бўлган муҳим материаллар синфидир. Асосий хоссалари: юқори мустаҳкамлиги, коррозияга бардошлиги, электр- ва иссиқлик ўтказувчанлиги, оловбардошлиги, ишқаланишга чидамлилиги.

Жадвал 3.2. Кенг тарқалган металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари¹⁶

Property	E (GPa)	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	K_{Ic} (MPa m ^{1/2})
Aluminum	70	40	200	100
Copper	120	60	400	65
Nickel	200	70	400	350
Ti-6Al-4V	110	900	1,000	120
Aluminum alloys (Low strength-high strength)	70	100-380	250-480	40-23
Plain carbon steel	210	250	420	140
Stainless steel (304)	195	240	365	200

Бугунги кунда бундай материаллар денгиз кемалари -, авто-, трактор созишда, турли ускуналар тайёрлашда, металлургияда, тоғ конлики, нефт, машинасозиш саноатида кенг қўлланилмоқда. Поли- ва биметалллардан листлар, ленталар, трубкалар, сим, труба, фасон профиллари, деталлар ва бошқа конструкциялар тайёрланмоқда. Бу эса юқори легирланган пўлатлар, дефицит ва қимматбаҳо рангли металлларни (Ni, Cu, Cr, Mo) тежашга имконият беради.

Қатламли металл-композитлар функционал хоссаларига асосан бир нечта турларга бўлинади: коррозия бардош, антифрикцион, электротехник, инструментал ва б.

Қатламли металл-композитлар асосида буюмлар турли усуллар ёрдамида ишлаб чиқарилади: қуйиш, қуйиш плакирлаш, прокат, пайвандлш ва наплавка.

Масалан, юқори ҳароратларда эксплуатация қилинадиган реактив двигателлар ёниш камерасини ичида молибден ва вольфрам симлари титан матрица асосидаги композитлар қўлланилади. 1093°C ҳароратда энг юқори мустаҳкамликка ($\sigma_b = 2.2$ ГПа) эга W—Re—Hf—C таркибли сим никель ва кобальт суперқотишмаларининг ушбу температурадаги мустаҳкамлигидан 6 баробар каттадир.

3.2. Металл матрицали композитларни турлари ва олиш жараёнлари.

Янги металл матрицали композитларни турлари: боралюминий (бор толаси — алюминий қотишмаси матрицаси), углерод-алюминий (углерод толали композитлар), титан ёки титан-алюминид матрицасида кремний карбиди толалари билан композитлардир.

¹⁶ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 210-214 p.

Куқун металлургияси (Порошок металлургияси) усулида металл композитларни олиш.

Куқун металлургия усули – куқун материалларни ёки металлсимон бирикмаларни уларни эритмасдан олиш усуллариدير.

Куқун металлургия усули қўйидаги технологик босқичлардан иборат:

1) металл ва бошқа материалларнинг куқунини ишлаб чиқариш;

2) кимёвий биржинсли кўпкомпонентли шихта тайёрлаш учун куқунларни аралаштириш ва қаттиқ боғловчи (смазка) ёки пластификатор қўшиш;

3) куқундан преслаш ёки прокатки қилиш усули ёрдамида заготовка (форма) тайёрлаш: боғловчи (связка) қўшиш ёки қўшмасдан бажариш мумкин.

4) заготовкани пишириш (асосий компонентни эриш ҳароратидан пастроқ ҳароратларда бажарилади);

5) пишган буюмга қўшимча ишлов бериш – механик ишлов, махсус қопламалар суриш ва б.

Куқунли металлургия усули иқтисодий жихатдан самарадорлигини кўрсатди:

1) механик ишловда материал йўқотишлар кескин камаяди (куқунли усули учун йўқотишлар 5...7%, қуйиш ва прокатка қилиш усулларида - 70%ни ташкил қилади);

2) ишлаб чиқаришда меҳнат сарфини камайтириш (технологик операциялар 30-40 дан 4 – бгача камаяди);

3) турли усқуналарнинг ишдан озод қилинади;

4) ишлаб чиқариш учундорлиги 2 – 2,5 мартаба ошади.



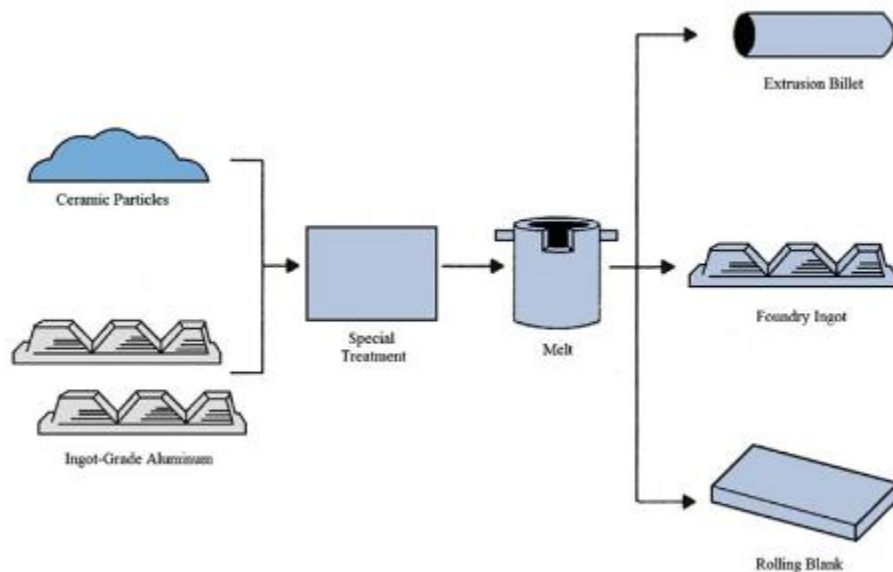
Суюқ фаза иштирокида композитлар ишлаб чиқариш жараёнлари.

Юқори эриш ҳароратига эга бўлмаган металллар, масалан алюминий, суюқ фаза иштирокида ишлаб чиқарилиши мумкин.

Замонавий суюқ фазали жараёнлар асосида композитларни ишлаб чиқариш – бу Duralcan жараёни.

3.1-расмда Duralcan жараёнинг технологик схемаси келтирилган. Бу жараёнда керамик заррачалар ва алюминий брусоти аралаштирилади ва эритилади. Жараёнда қўлланиладиган заррачалар ўлчами - 8-12 мм. Суюлтма ликвидус температурасидан юқорироқ ҳароратда- 600- 700 °Сда аралаштириб турилади. Тайёрланган суюлтма экструзия, брусот ҳолида қуйиш, прокатка

қилиш орқали формовка қилинади¹⁷



Расм 3.1. Duralcan жараёнининг технологик схемаси.

Узлуксиз толалар билан армировка қилинган металл матрицали композитлар ишалб чиқаришда тола жгутлари металл суюқликли ваннадан тортилади. Ваннада алоҳида толалар суюқ металл билан қопланади, суюқлик ортиқчаси тозаланиб, композит сим тайёрланади. 3.2.-расмда шундай усулда тайёрланган симни микротасвири келтирилган. Композитнинг таркиби: кремний карбиди толаси алюминий матрицаси.

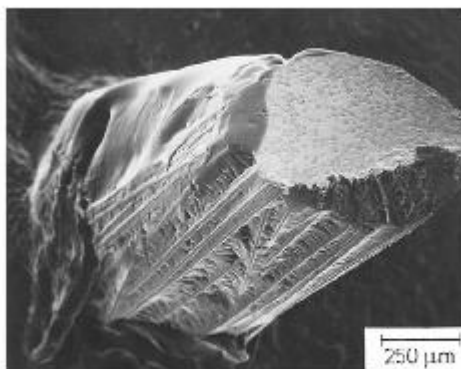


Fig. 6.3 A silicon carbide fiber/aluminum wire preform. SiC fibers can be seen in the transverse section as well as along the length the wire preform

Расм 3.2 . Кремний карбиди толаси алюминий матрицаси композит симини микротасвири.

Пресслаш усули.

Пресслаш усули суюқ металлни толали заготовка таркибига киритиш учун қўлланилади. 3.3.-расмда пресслаш усулининг 2 тури кўрсатилган.

¹⁷ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 202-203 p.

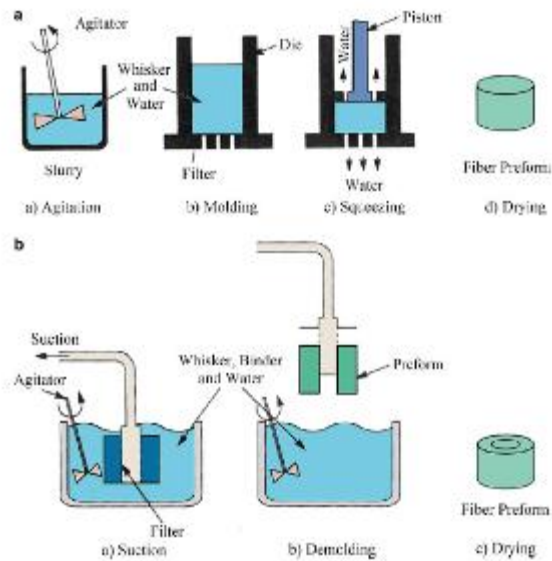


Fig. 6.4 (a) Press forming of a preform. (b) Suction forming of a preform

Расм 3.3. Пресслаш усулида композитлар ишалб чиқариш схемаси.

Қуйиш ва пресслаш технологияси.

Керакли йўналишда мустаҳкамлаштириш учун қуйиш ва пресслаш технологияси кенг қўлланилади (3.4.-расм). Толали ғовакли заготовка (одатда, қисқа Al_2O_3 толалари, Saffil компанияси) пресс формага жойлаштирилади. Суюлтирилган алюминий олдиндан қиздирилган пресс формага қуйилади (пресс форма гидравлик прессни ичида жойлаштирилган). 70-100 МПа босими таъсирида алюминий суюлтмаси толани ичига кириб, уларни бир бири билан боғлайди.

6.3 Processing

205

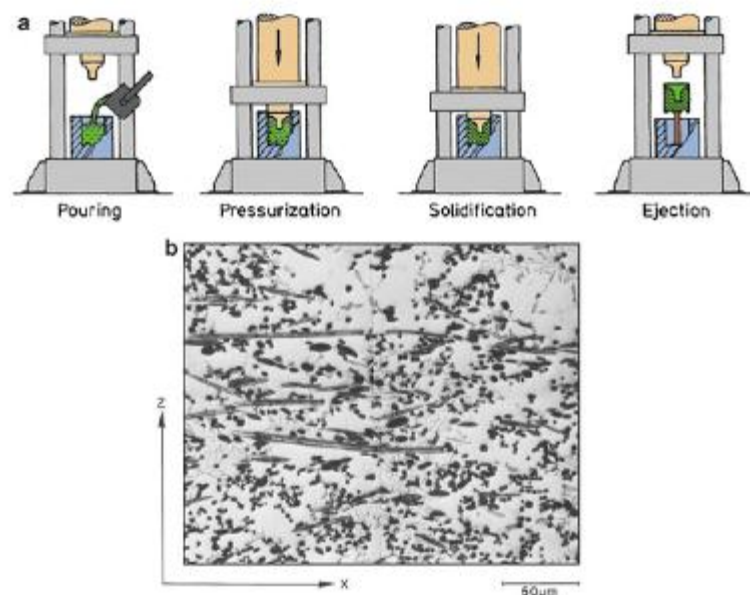


Fig. 6.5 (a) Squeeze casting technique of making a metal matrix composite. (b) The microstructure of Saffil alumina fiber/aluminum matrix composite made by squeeze casting. [Courtesy of G. Eggeler]

Расм 3.4. Қуйиш ва пресслаш усулининг технологик схемаси.

3.3. Композитлар микромеханикаси ва макромеханикаси.

Композитлар микромеханикасига унинг таркиби ва структураси катта таъсир кўрсатади.

Зичлик

Композитларнинг зичлиги унинг массаси ва ҳажмига боғлиқдир. Композитнинг массаси унинг таркибий компонентлари (масалан, тола ва матрица) массасининг суммасига тенг (3.1.-формула).

$$m_c = m_f + m_m \quad (3.1.)$$

Бу ерда c , f , и m - композит, тола ва матрица символлари. Композитларда ғоваклар бўлган ҳолда ҳам 3.1. формула тўғри келади. Аммо композитнинг ҳажмини ҳисоблаганда ундаги ғовакликларни эътирга олиш керак бўлади (3.2.-формула).

$$V_c = V_f + V_m - V_v \quad (3.2.)$$

Шунда композитнинг зичлиги (3.4.)-формуласи орқали ҳисобланади:

$$\begin{aligned} \rho_c &= \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_c}{V_f + V_m + V_v} = \frac{m_c}{M_f/\rho_f + M_m/\rho_m + V_v} \\ &= \frac{1}{M_f/\rho_f + M_m/\rho_m + V_v/m_c} \\ &= \frac{1}{M_f/\rho_f + M_m/\rho_m + V_v/\rho_c V_c} \\ &= \frac{1}{M_f/\rho_f + M_m/\rho_m + V_v/\rho_c} \\ \rho_c &= \frac{\rho_c}{\rho_c \left[M_f/\rho_f + M_m/\rho_m \right] + V_v} \end{aligned} \quad (3.3.)$$

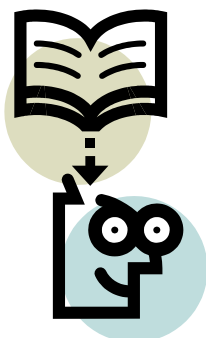
$$V_v = 1 - \rho_c \left(\frac{M_f}{\rho_f} + \frac{M_m}{\rho_m} \right). \quad (3.4.)$$

(3.3.)-формуласи ёрдамида композитлардаги бўшлиқларнинг ҳажм умулишини тўғридан-тўғри аниқлашимиз мумкин.

Композитларнинг асосий хусусиятлари:

Анизотропияси.

Қўлланилган йўналишга қараб композитларнинг хосса хусусиятлари



фарқланиши мумкин. Баъзи вақтларда анизотропия керак бўлади, баъзида эса композитларнинг камчилиги деб тан олинади (қўллаш соҳасига кўра).

Юқори солиштирма ҳажми.

Одатда композитлар юқори солиштирма ҳажмга эга. Бу камчилик композитларни баъзи соҳаларда қўлланилишига тўсиқлар туғдиради.

Гигроскопиклиги.

Композицион материаллар гигроскоп хусусиятга эга. Композитларнинг ички структураси бир текисликда бўлмаганлиги сабабли, улар намликга сезгир бўлади. Узоқ эксплуатация вақтида ва кўп маротаба музлаш-эриш ҳароратларида ишлайдиган композитларда сув материал структурасига кириб. Уни бузилишига олиб келиши мумкин.

Токсиклиги.

Эксплуатация вақтида композитлар токсик газ ва буғлар ҳосил қилиши мумкин.

Композитлар макромеханикаси қўйидаги схемада келтирилган:

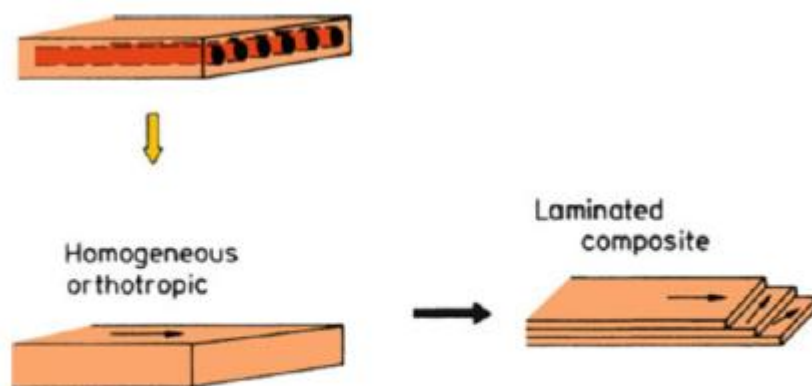


Fig. 11.1 Macromechanical analysis of laminate composites. A unidirectional ply is treated as a homogeneous, orthotropic material. Many such plies are stacked in an appropriate order (following laminated plate or shell theory) to make the composite [reprinted from McCullough (1971), courtesy of Marcel Dekker, Inc.]

Расм 3.5. Қатламли композитларнинг макромеханикаси. Бир текисликда йўналтирилган қатламлар гомоген ортотропик материал ҳисобланади. Ушбу қатламлар тартибли жойлаштириш натижасида йўналтирилган структурали ламинат ҳосил бўлади.

Назорат саволлари:

3.1. Металл матрицали композитлани ишлаб чиқаришда босим остида куйиш усули кенг қўлланилади. Сабабини тушунтириб беринг.

3.2. Металл композитлар хоссаларини монолит металллар билан солиштиринг. Уларнинг афзалликларини келтиринг.

3.3. Металл матрица композитларни полимер матрицали композитлар билан солиштиринг. Уларнинг афзалликларини келтиринг.

3.4. Суюқ фаза ёрдамида металл композитларни ишлаб чиқариш усулини бошқа усуллар билан солиштиринг. Камчиликлари ва афзалликларини келтиринг.

3.6. Алюминий ва магний – асосий матрица материаллари. Суюқ ҳолда уларнинг қовушқоқлиги қандай?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. -197-243 p.
2. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. -3-24, 108-134 p.
3. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010. -343-436 p.
4. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы. Учебное пособие. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011.-55-70 с.
5. [L.Fiocco](#), [Z.Babakhanova](#), [E.Bernardo](#). Facile obtainment of luminescent glass-ceramics by direct firing of a preceramic polymer and oxide fillers. *Ceramics International Journal*. Available online 10 February 2016. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884216000833>
6. З.А.Бабаханова, М.Х.Арипова. Кремний-органик бирикмалар асосида техник керамика материаллар синтези. *Узбек кимё журнали*. 2015, №3, 16-21 б.
7. Enrico Bernardo, Laura Fiocco, Giulio Parcianello, Enrico Storti, Paolo Colombo. Advanced Ceramics from Preceramic Polymers Modified at the Nano-Scale: A Review. *Materials* 2014, 7, 1927-1956 p.; doi:10.3390/ma7031927.
8. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов. – М. : Профессия, 2010. – 120-130 с.

4-мавзу: Керамик матрицали композитларни олиш усуллари. Углерод-углеродли композитлар. Композитлар билан дизайн. Ноанъанавий композитлар. Наноккомпозитлар. Биоккомпозитлар.

Режа:

- 4.1. Керамик матрицали композитларни олиш усуллари.
- 4.2. Углерод-углеродли композитлар.
- 4.3. Композитлар билан дизайн.
- 4.5. Ноанъанавий композитлар.
- 4.6. Наноккомпозитлар. Биоккомпозитлар, биоккерамика.
- 4.7. Гибрид композитлар.

Таянч иборалар: керамика, композит, совуқ пресслаш, иссиқ пресслаш, кремний органик бирикма, керамик тола, прекурсор, керамизация, графитизация, техник керамика, нано-тупроқ, наноккомпозит, биоккомпозит, гибрид системалар, дизайн, углерод, графит.

4.1. Керамик матрицали композитларни олиш усуллари.

Керамик матрицали композитларни олиш усуллари керамик кукунлар асосида материаллар ишлаб чиқариш технологиясига асосланиб (совуқ ва иссиқ пресслаш, изостатик пресслаш) тайёрланиши, ёки замонавий наъанавий усуллар ёрдамида ҳам олиниши мумкин.

Совуқ пресслаш ва куйдириш.

Матрица ва толаларнинг совуқ пресслаш ва уни куйдириш – керамик материаллар ишлаб чиқаришда кенг қўлланиладиган усулдир. Аммо бундай усулда пишириш давомида **матрица қисқаради** (усадка) ва материал **ичида ёриқлар пайдо бўлади**. Композитларда яна бир муаммо - узун толалар матрица материалида тўрлар ҳосил қилиб, матрицада текис тақсимланмаслиги мумкин. **Бундан ташқари керамик матрица ва армировка компонентининг термик кенгайиш коэффиценти ҳам катта эътиборга эга**. Уларнинг орасидаги фарқ жуда катта бўлган ҳолларда композит материал совутилиши/қиздирилиши вақтида компонентлар ҳар хил тезликда кенгайди ва материал бузилиши намоён бўлади (Bordia ва Raj 1988; De Йонге ва б. 1986; Сакс ва б., 1987; Rahaman ва Де Йонге 1987; Prewo 1986).



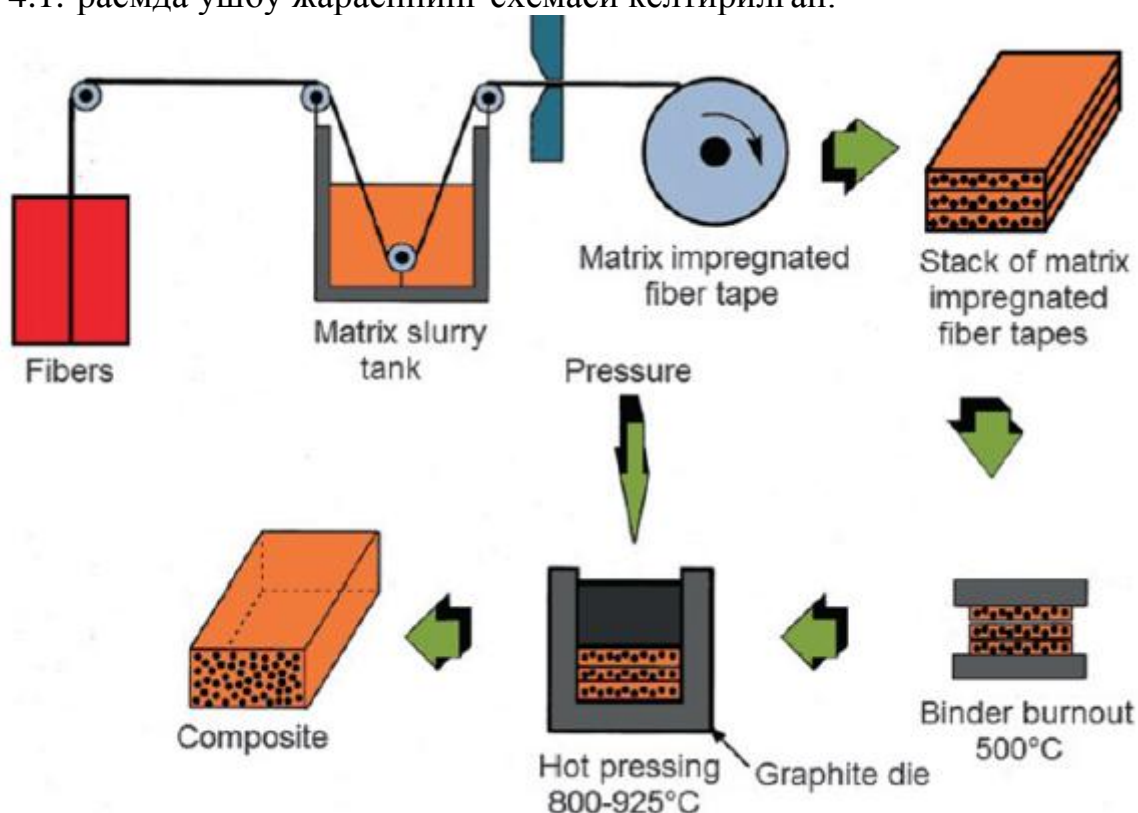
Иссиқ преслаш

Керамик матрицали композитлар ишлаб чиқаришда иссиқ преслаш кенг қўлланиди. Бунда бир вақтда юқори ҳарорат ва босимни таъсир этиш зич структурали, ғоваксиз ва майда заррачали материал олишга имконият беради.

Масалан, суспензия усулида узлуксиз шиша тола билан армировка қилинган шиша композитлар (Sambell ва б. 1974; Филлипс 1983; Cornie 1986 и др.; Prewo ва Бреннан 1980; Бреннан ва Prewo 1982; Чавла ва б. 1993а, б) олиш мумкин.

Суспензия жараёнида керамик матрицали композит олиш усули қўйидаги тартибда бажарилади:

1. Матрицага армировка фазасини жойлаштириш.
 2. Иссиқ преслаш натижасида матрицани қотириш.
- 4.1.-расмда ушбу жараённинг схемаси келтирилган.



Расм 4.1. Керамик матрицали композитни суспензия билан ҳўллаш ва иссиқ преслаш усулининг технологик схемаси¹⁸.

Биринчи босқичда толани текислаштириш жараёни ҳам намоён бўлади. Суспензия таркибида матрица кукуни, эритгич (сув ёки спирт) ва органик боғловчи бўлади. Органик боғловчи қотишдан аввал куйиб кетади. Баъзи вақтларда толани яхши ҳўлланишини таъминлаш мақсадида махсус агентлар ҳам қўшилади. Ҳўлланган толалар ва жгутлар барабанга тортилади ва қуритилади. Ундан кейин ярим маҳсулот (препреглар) қирқилади ва графит

¹⁸ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 251p.

формасида жойлаштирилади. Унга юқори босим ва ҳарорат таъсир эттирилади. Натижада йўналтирилган структурага эга бўлган композит ҳосил бўлади.

Керамик материалларнинг толалар билан мустаҳкамлаштириш юқори мустаҳкамликга эга бўлган композитларни олишга имконият беради, аммо қўлланиладиган мустаҳкамлаштирувчи толалар кўп эмас. Кўпинча металл толалари қўлланилади. Бунда матрицани ва мустаҳкамлаштирувчи компонентни термик кенгайиш коэффициентини эътиборга олиш зарур бўлади.

Металл заррачалар билан мустаҳкамлаштирилган керамика – **керметлар** деб аталади. **Керметлар – юқори механик мустаҳкамлик, иссиқлик зарбга бардошлиги, юқори иссиқлик ўтказувчанликга эга.** Юқори ҳароратли керметлар асосида газ турбиналар деталлари, электр печлар арматураси, ракета ва реактив техника деталлари тайёрланади. Қаттиқ ишқаланишга чидамли керметлар эса қирқиш инструментлари ва деталлари тайёрлашда кенг қўлланилади. Бундан ташқари керметлар махсус соҳаларда ҳам ўз жойини топган – уран оксиди асосидаги атом реакторларининг иссиқлик чиқариш элементларни тайёрлашда ва хоказо.



Керамик композицион материаллар иссиқ пресслаш усули (шакллаш ва босим остида пишириш жараёнлари), шликер куйиш усули (толалар матрица материали суспензияси билан ҳўлланилади, қуритилгандан сўнг, термик ишлов берилади).

Реакцион куйдириш жараёнлари.

Монолит керамик материаллар ишлаб чиқаришда қўлланиладиган реакцион куйдириш жараёнлари композицион материаллар ишлаб чиқаришда ҳам фойдаланилади. Бу жараён қўйидаги афзалликларга эга:

- матрица қисқаришини (усадка) олдини олиш;
- армировка толаларни катта ҳажмда қўллаш мумкин;
- тартибсиз йўналтирилган, узлуксиз толаларни қўллаш мумкин;
- системаларни бир бирига бирикиш реакция ҳарорати куйдириш ҳароратида пастроқ бўлади, бу толаларни деградациядан сақлайди.

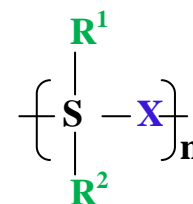
Материалнинг ғоваклиги юқори кўрсаткичларга эгаллиги **реакцион куйдириш жараёнларини энг катта камчилигидир.**

Иссиқ пресслаш ва реакцион куйдириш жараёнлари биргаликда ҳам қўлланилиши мумкин – гибрид жараён (Бхатт, Бхатт, 1986, 1990). Кремний матоси кремний кукуни, полимер боғловчи ва органик эритгич асосида тайёрланади. Тайёрланган масса керакли қалинликда мато олиш қилиш учун прессланади. Матлар керакли тартибда жойлаштирилади ва боғловчини олиб ташлаш учун термик ишлов берилади (debinderized-боғловчини олиб ташлаш жараёни) ва азот атмосферасида (ёки вакуумда) прессланади. Температура ва босим заготовкага кейинги ишлов бериш учун тақсимланади. Бу боскида кремний матрицаси кремний нитридига айланади (1100-1400 ° Сда азотли

печда олиб борилади). Кремний нитриди асосидаги матрица 30% гача фовакликга эга бўлади.

Кремний-органик бирикмалар асосида замонавий техника керамикаси ишлаб чиқариш усуллари.

Кремний органик бирикмалар (силиконлар) ушбу кимёвий формулага эга: $[R_nSiX_{(2-0.5n)}]_m$, бу ерда $R=H, CH_3$, винил, фенил ва б. группалар; $X=O, N, C, Si$ ва/ёки B :



Кремний органик бирикмалар асосида наноструктурали керамик матрицали композитларни олиш қўйидаги босқичлардан иборат (Расм 4.2.):

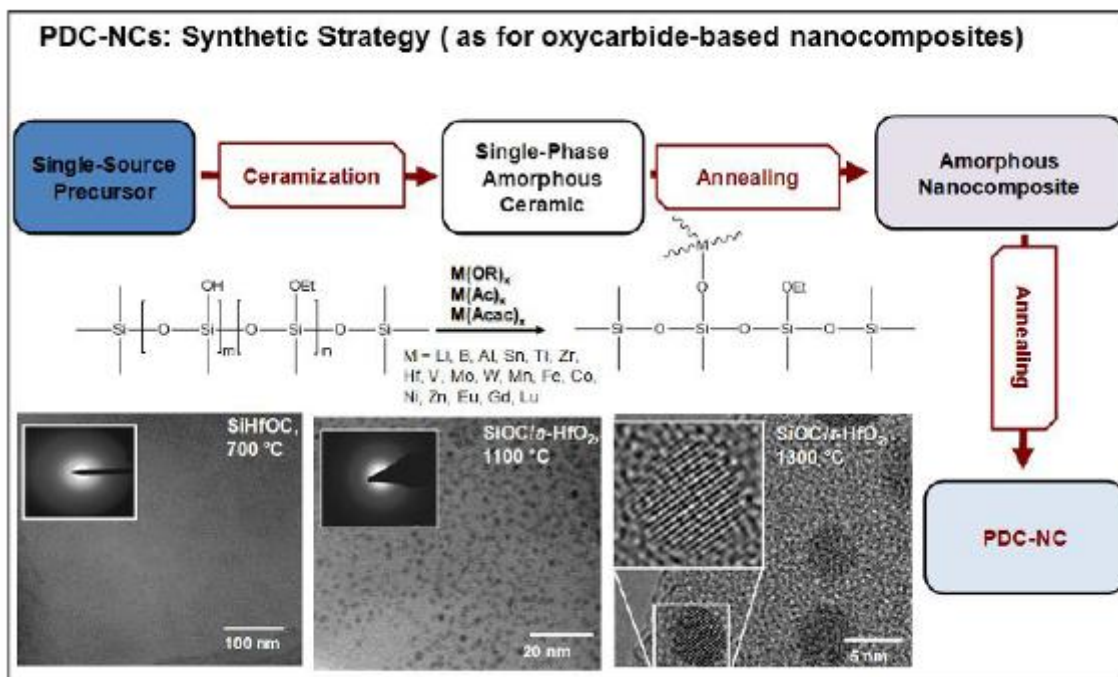
1) **Прекурсор тайёрлаш.** Силикон танлаш ва уни эритгичда эритиш, наноструктурали қўшимчалар қўшиш: металл оксидлари ва б. Эритгич сифатида этиленгликоль, ацетон ва б. қўлланилади. Аралаштириш: механик аралаштиргич, ультратовуш ваннаси.



2) **Керамизация.** 300-450 °C да 6-12 соат давомида ишлов бериш. Натижада аморф структурага эга керамик композиция ҳосил бўлади.

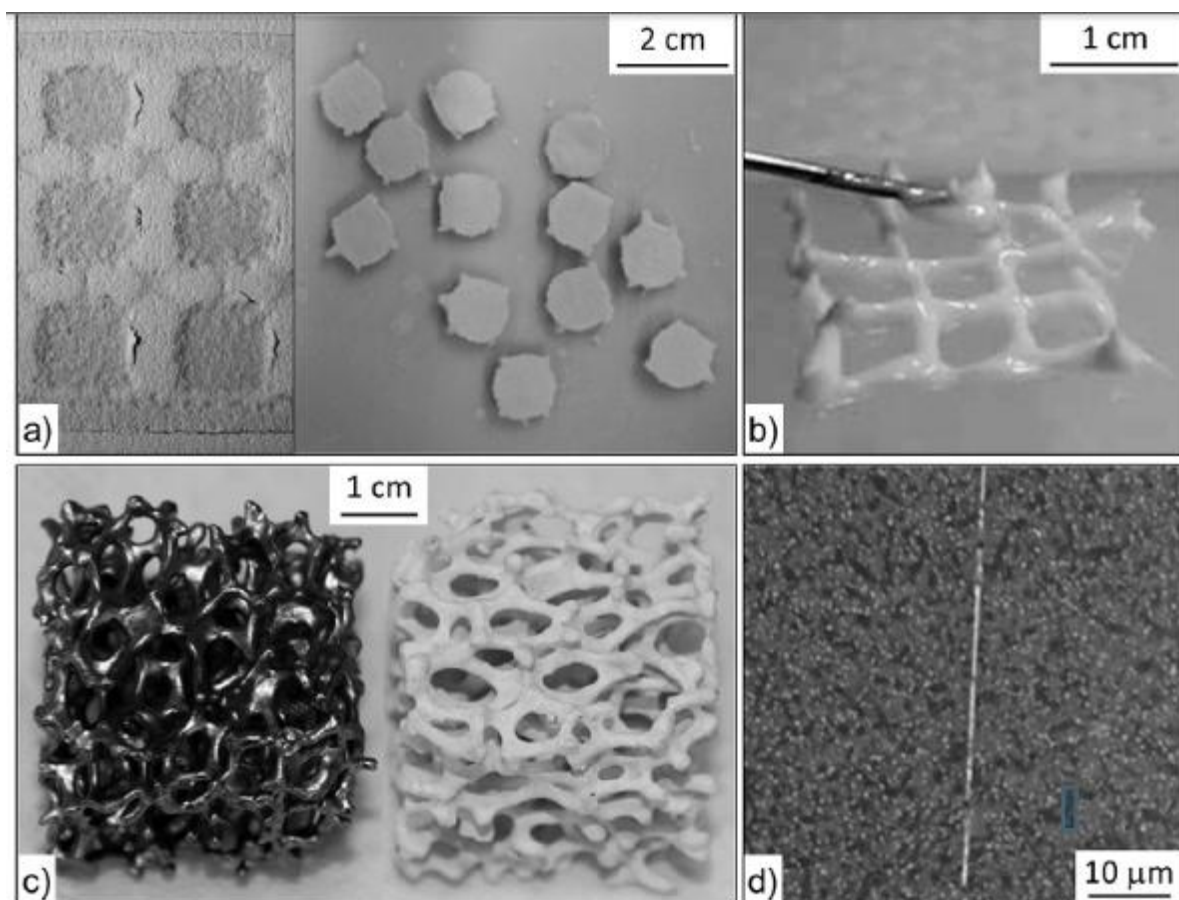
3. Керамик композицияни куйдириш.

Турли шакллаш усуллари ёрдамида олинган керамик композитларнинг тасвири 4.3.-расмида келтирилган.



Расм 4.2. SiHfOC таркибли керамик нанокомпозитнинг кремний-органик бирикмалар (оксикарбид қўлланилган) асосида синтез қилиш (PDC-NCs

усули): ТЭМ микросуратлар материалдаги фазалар таркибни ўзгаришини кўрсатади¹⁹.



Расм 4.3. Прекерамик полимер/нано ўлчамли тўлдиригич таркибли композицияларни турли усуллар шакллаш ва тайёрланган материалнинг микроструктураси:

а) 3D-принтерда тайёрланган шакллар (органик боғловчи томчилари кальций карбонат ва силикон кукуни устига тушуриш), ўнгда - кукунли подложкадан ажратиб олинган шакллар (куйдиришдан аввал);

б) суюқ силикон ва кальций карбонатининг шприц орқали экструзияси натижасида олинган шакллар (куйдиришдан аввал);;

с) 2 см×2 см×2 см ўлчамли SiC кремний карбидли пеноблокни чап томонда силикон қўшилмаган ҳолдагиси, ўнг томонда – суюқ силикон ва цирконий суспензиясига солинган шакллар (хавода, 1250 °Cда куйдирилган намуналар);

д) силикон боғловчиси ёрдамида ёпиштирилган сиалон ва глинозем (узун оқ чизик) тақрибли блоклар (1550 ° C да куйдирилган намуна)²⁰.

¹⁹ Enrico Bernardo, Laura Fiocco, Giulio Parcianello, Enrico Storti, Paolo Colombo. Advanced Ceramics from Preceramic Polymers Modified at the Nano-Scale: A Review. Materials 2014, 7, 1927-1956 p; doi:10.3390/ma7031927.

4.2. Углерод-углеродли композитлар.

Углерод-углерод толалари углероднинг гомоген ва графитланмайдиган турларидан тайёрланади. Шунинг учун бундай толалар кўмир-графит материалларнинг камчиликларидан холи бўлади: мўртлик, паст механик мустаҳкамлик, механик ва термик зарбларга бардошлиги.

Углерод-углеродли композитларлар матрицаси— композицион материалнинг таркибий қисми, унинг бирламчи хоссаларини узоқ вақт давомида сақланишини таъминлайди. Ушбу композитларнинг агрессив муҳитларга ва юқори ҳароратларга бардошлиги, электрик хоссалари, эрозияга ва радиацияга бардошлиги матрицага боғлиқдир.

Углерод-углеродли композитларнинг хоссалари қўлланилган хом ашё тури ва сифати, тола ва матрицаларнинг ишлаб чиқариш жараёнлари ва шароитлари, ишлов бериш ҳарорати, пропитканинг миқдор, армировканинг структураси ва бошқа шарт-шароитларга боғлиқ бўлади. Бу кенг спектрдаги хоссаларга эга бўлган материалларни олишга имконият беради.

Масалан, армировка йўналишлари бўйича мустаҳкамлаштириш даражасини ошириш, толали каркасни матрица билан тўлдириш даражасини ўзгартириш натижасида турли хил иссиқлик-техник ва мустаҳкамликга эга бўлган, ҳар хил анизотропияга эга бўлган, турли зичликга ва ғоваклига эга бўлган материаллар олиш мумкин.

Углерод-углеродли композитларларни пўлатлар ўрнига қўлланилимоқда. Металлургия ва термик жараёнлар билан боғлиқ барча соҳаларда углерод-углеродли композитларларни қўллашни чексиз имкониятлари мавжуд. Бу ерда қўйидаги хоссалар муҳим ҳисобланади:

- **Иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сиғими, зичликни паст кўрсаткичлари;**
- **2800-3000 °С ҳароратларгача юқори мустаҳкамлик хоссаларга эга бўлиши;**
- **Барча температура интервалларида силжишга мойиллиги йўқлиги;**
- **Кислоталар таъсирига бардошлиги.**



²⁰ P. Colombo, E. Bernardo, G. Parciannelo. Multifunctional advanced ceramics from preceramic polymers and nano-sized active fillers. Journal of the European Ceramic Society. 33 (2013). -453–469 p.

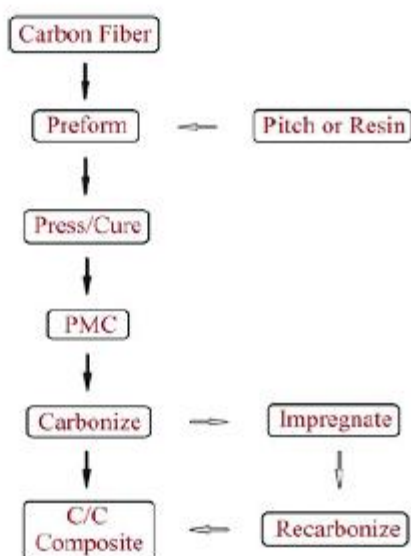
Углерод-углеродли композитларларни ишлаб чиқариш усуллари.

Углерод-углеродли композитларларни ишлаб чиқаришнинг асосий усуллари – кўмир пластикларга юқори ҳароратли ишлов бериш ва углерод толали тўлдиргичга углеводородлар куйдиришдан ҳосил бўлган пироуглеродни солиш усуллари. Углерод-углеродли композитларларни суюқ фазали, буғ фазали ва комбинировка усулида олиш мумкин.

Углерод-углеродли композитларларни 3 асосий ишлаб чиқариш усуллари қўйидагича:

1 -«НПРС» усули. Углерод толадан тўқилган мато-заготовкани иссиқлик ва босим остида термопластик полимерга (смола) шимдириш (пропитка тканых заготовок). Кейинги босқичда смола пиролизга учрайди ва натижада углеродга айланади. Бу босқичлар бир неча мартаб қайтарилиб, керакли зичликга эга бўлган материал олинади. Смола –турли молекула оғирликдаги углеводородлардир. Ўрта молекуляр масса ортиши билан углероднинг чиқиши ортади. Лекин юқори молекуляр оғирликдаги смолалар жуда қовушқоқ бўлади, бу эса толани хўллашда қийинчиликлар туғдиради.

2- Реакцион куйдириш жараёнлари усули. Углерод тола фенолформальдегид смоласида (терморреактив полимер) яхшилаб хўлланиб, инерт атмосферада куйдирилади.



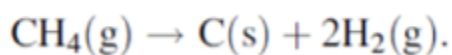
Расм 4.4. Углерод-углеродли композитларларни реакцион куйдириш жараёнлари усулида ишлаб чиқариш тизими.

Натижада смола пиролизга учрайди ва углерод ҳосил бўлади. Олинган композит яна бир бор босим остида смоллага шимдирилади ва яна куйдирилади. Бу жараёнлар кўп мартаба қайтарилгач, зич ва мустаҳкам композит ҳосил бўлади.

Реакцион куйдириш жараёнлари усулида углерод углеродли композит ишлаб чиқариш тизими 4.4-расмда келтирилган.

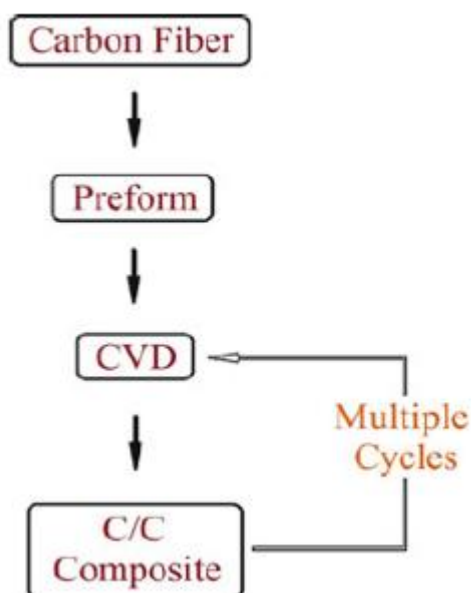
3 – Бўғ фазасидан чўктириш усули. Бу усул “Chemical vapor

deposition - CVD” деб номланади ва юқори сифатли, қаттиқ ва мустаҳкам материал олиш учун ишлатилади. Тола ва преформадаги углерод толасини қушимча газли углеводородлар иштирокида қуйдирилади. Углеводородлар $>550\text{ }^\circ\text{C}$ ҳароратларда парчаланди ва углеродга айланади. Асосан бу жараёнда метан қўлланилади. У қуйидаги реакция натижасида парчланади:



Газларнинг диффузиясини яхшилаш мақсадида паст босим ёки H_2 , N_2 ёки Ar инерт газларини қўшиш мумкин.

Бўғ фазасидан чўктириш усулининг технологик тизими 4.5.-расмда келтирилган:



Расм 4.5. Бўғ фазасидан чўктириш усули ёрдамида углерод-углеродли композитларнинг ишлаб чиқариш тизими²¹.

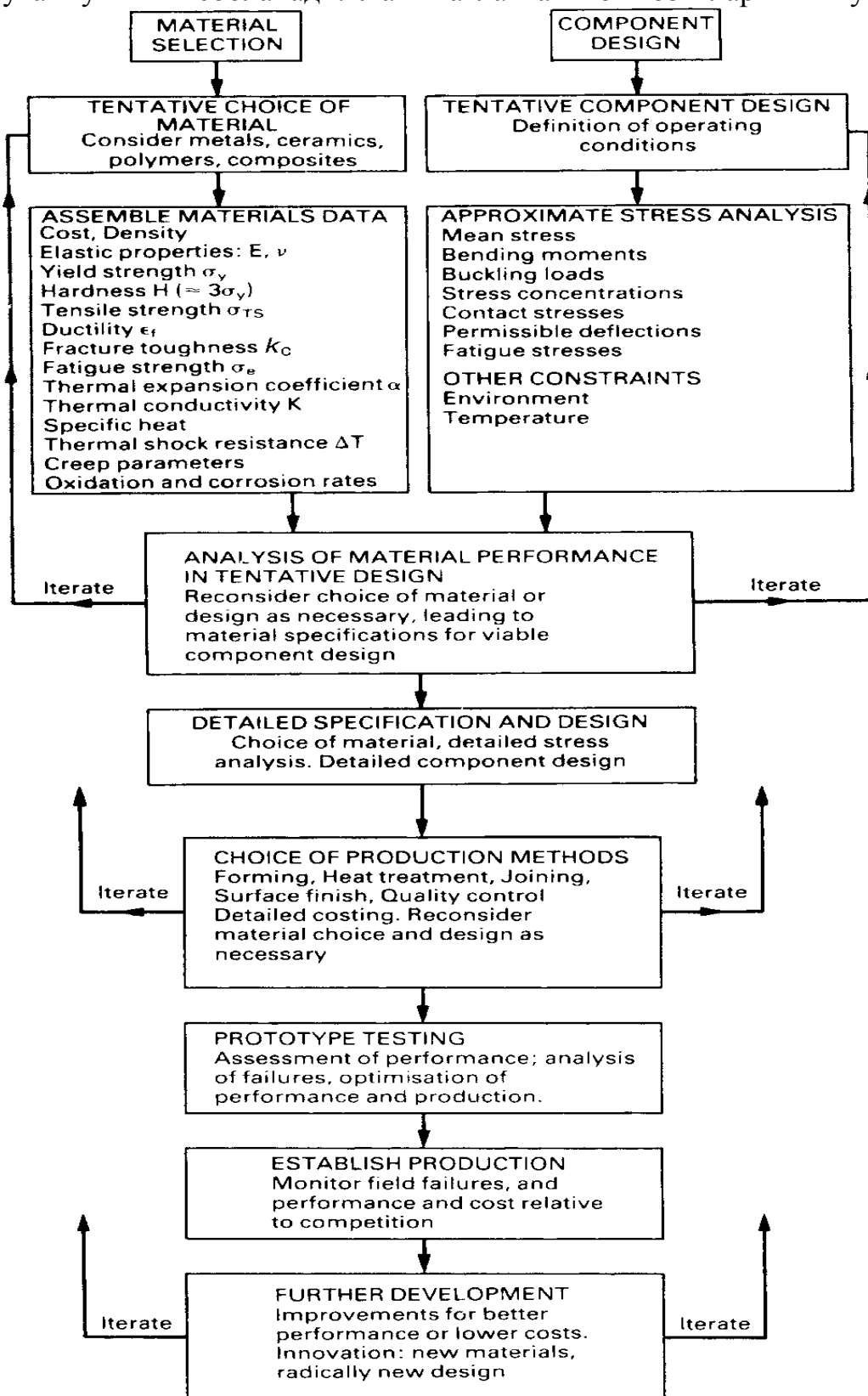
4.3. Композитлар билан дизайн.

Композитларни дизайн қилинганда уларнинг махсус хосса-хусусиятларини эътиборга олиш керак. Биринчидан, композитлар ўз табиати бўйича микроструктура нотекислиги билан ҳарактерланади. Композитлар турли эластик хоссалари, термик кенгайиш коэффиценти ва бошқа хоссаларга эга бўлган материалларда ташкил топган бўлади. Иккинчидан, оддий монолит материаллар хусусиятлари изотроплиги билан ажралиб туради. Композитлар эса кучли анизотропияга эга.

Композитлар дизайнида ушбу хоссаларни бир йўналишда кучли бўлганлигига алоҳида эътибор бериш керак бўлади.

²¹ Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 295 p.

Хозирги замонда композитларни таркибини ва тузилиши ўрганишда, уларнинг янги турларини дизайн қилишда компьютер тизимларининг ўрни ўта муҳим ҳисобланади. Ламинатланган композитларнинг хусусиятлари ва



Расм 4.6. Композитлар дизайннинг методологияси.

таркибини хисоблашда матрица хисоблари кўлай келади, шунинг учун махсус компьютер тизимлари ушбу хисобларни тез бажаришга имконият беради (4.6.-расмда композитлар дизайнининг методологияси келтирилган²²).

Композитларни дизайнида FiberSIM компьютер дастуридан фойдаланилади. Бу дастур CAD (система автоматизированного проектирования) дастури асосида тузилган ва конструкцияларни тузишда ёрдам беради. Унинг афзалликлари:

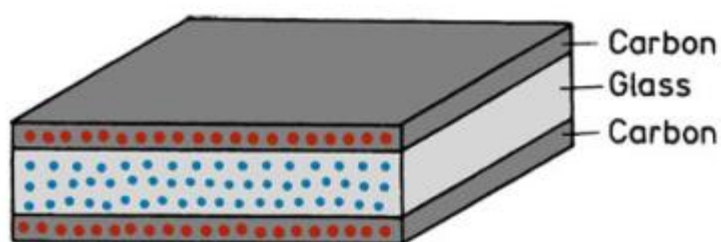
- Композит муҳитини лойиҳалаш.
- Шаблон/унинг хоссалари. Материалнинг қалинлигини эътиборга олган ҳолда хисоблаш имконияти.
- Ламинат хоссалари – толанинг йўналишлари берилган ҳолда композитнинг керакли хоссалари таъминланади.

4.4. Ноанъанавий композитлар. Нанокompозитлар. Биокompозитлар.

Ноанъанавий композитларга (полимер, металл, керамик матрицали), ўз ўзидан тикланадиган композитлар, ўз ўзидан мустаҳкамланадиган композитлар, биокompозитлар киради. Бу композитлар ҳозирги вақтда олимлар томонидан ўрганилмоқда.

Гибрид композит системалар

Композит таркибида бир турдан кўп толалар қўлланилган ҳолда материал гибрид композит деб аталади. Материалнинг энг муҳим жойларида унинг максимал мустаҳкамликга эга бўлишини таъминлаш мақсадида турли хил мустаҳкамлаштириш компонентлари ва уларни жойлаштириш йўналишлари қўлланилиши мумкин. Масалан, 4.7.-расмда келтирилган гибрид композитнинг тан нархини анча камайтириш мумкин: қимматбаҳо углерод толасини миқдорини камайтириш йўли билан. Аммо бу толани оптимал ҳолда жойлаштириш натижасида материал сифатига салбий таъсир кўрсатилмайди.



Расм 4.7. Углерод ва шиша толаси билан мустаҳкамлаштирилган гибрид композит.

Яна бир мисол - роман композит материал, ёки толали-металл ламинат (расм 4.8.).

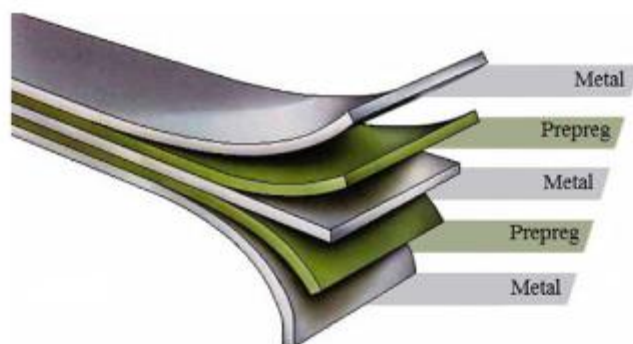
Бу гибрид ~ 0,3 мм қалинликдаги алюминий, пўлат, титан, магний металл листи ва полимер- матрицали композит (РМС) препреги (толали мустаҳкамлаштирилган полимер) дан иборат. Полимер- матрицали

²² D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. - 323 p.

композитдаги тола-шиша, арамид ёки углерод толасси бўлиши мумкин, матрица сифатида эса одатда эпоксид смоласи ишлатилади.

Бу материалнинг қўйидаги турлари мавжуд:

- **Glare:** шиша толаси билан мустаҳкамлаштирилган ламинат
- **ARALL:** алюминий ламинатлар, арамид толаси билан мустаҳкамлаштирилган.
- **УХОД:** углерод пластик ламинатлар.
- **ТИГР:** Титан / Графит-эпоксид ламинатлар.



Расм 4.8. Толали-металл ламинат таркиби.

Наноккомпозитлар

Наноккомпозитлар : бу турдаги композицион материаллар таркибида ўлчамлари нанометр (нм) диапазонида бўлган битта ёки кўпроқ компонентлар мавжуд бўлади.

Одатда бундай нано ўлчамли материал мустаҳкамлаштирувчи компонентдир: бу нанотрубкалар, нанотолалар ва нанозаррачалар.



Матрицалар 3 турда бўлиши мумкин, аммо асосий қисми –полимер матрицали наноккомпозитлардир (Баррера 2000; Баррера и другие, 2005; Shofner и др., 2003, 2006).

Бундай материалларни кукун металлургия ёки суюқ усулда металл матрицаларни тайёрлаш усули ёрдамида олиш – юқори мустаҳкамликга ва ишқаланишга чидамли наноккомпозитлар яратишнинг истиқболли йўналишларидир.

Полимер тупроқ-наноккомпозитлар

Наноккомпозитнинг яна бир тури: полимер тупроқ-наноккомпозитлар - ишлаб чиқаришда ўзини иқтисодий жihatдан самарадорлигини кўрсатди. Нанотупроқлар билан мустаҳкамлаштирилган полимер матрицалар кўп миқдорда ишлаб чиқарилмоқда (Ажаян 2003;. Коо 2006; Lee 2005; Окада ва Usuki 2006; Пол ва Робсон 2008).

Нанотупроқлар кимевий таркиби бўйича магний алюмосиликатларидир. Ўлчамлари - нанометр диапазонида. Қалинлиги - 1 нм, узунлиги 70-150 нм. Хозирги вақтда энг кўп монтмориллонит тупроғи қўлланилмоқда.



Тальк ва слюдадан фарқлироқ, монтмориллонит алохида қатламларга бўлиниши онсон – натижада керакли ўлчамларга эга бўлган нано қатламлар ҳосил бўлади. Полимер матрица билан яхши аралашини ва майдаланишни таъминлаш мақсадида тупроқга дастлаб ишлов берилади.

Бу йўналишдаги ишлар илк бор Toyota компанияси томонидан 1990 й. бажарилган. General Motors корпорацияси 2001 йилда GMC Astro / Safari фургонида нано-тупроқ билан мустаҳкамлаштирилган термопластик олефинни қўллаган. Ҳосил бўлган нанокомпозит анъанавий полимер материалларидан енгилроқ, қаттиқроқ ва иқтисодий самаралиги билан ажралиб туради: бу автомобил камроқ ёқилги ишлатади. Автомобилшуносликда иқтисодий самарадорлик жуда муҳим ҳисобланади, фақат спорт автомобилларини ишлаб чиқаришда иқтисодий самарадорликга эътибор берилмайди.

Нанотупроқлар смоланинг мустаҳкамлигини ва стабиллигини оширади, ва умуман олганда оддий тўлдиргичларга қараганда функционал ҳисобланади. Нанозаррачалар жуда оз миқдорда қўшилади – оғирлиги бўйича 2-3%ни ташкил қилади. Бундан ташқари нано тупроқларнинг қўлланилиши материалнинг эстетик хоссаларини яхшилайти: ташқи кўриниши, ранги ва юза сифати ошади.

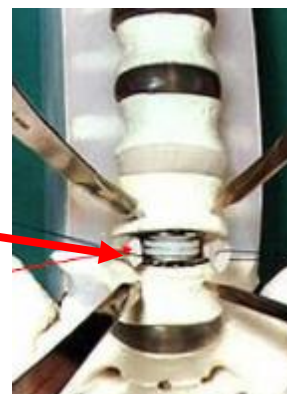
Биокомпозитлар.

Биокомпозитлар - биоактив қопламали имплантатлар. Биокомпозитлар ики ёки кўпроқ фазадан ташкил топган бўлади. Бу фазалар шундай танланадики, кучланишлар фазалар чегараси бўйича тарқалиши зарур бўлади. Биокомпозитлар қўлланилиши – траматология, ортопедия, стоматология.

Биокомпозитлар турлари:

1. Полимер-керамик биокомпозитлар.

Бу композитларда ноорганик фаза (шиша ёки кальций фосфатлари) органик бирикма таркибида текис тақсимланади. Органик бирикма – юқори босимли полиэтилен ёки эпоксид смола. Бундай композитлар юқори мустаҳкамликга, эластикликга эга, енгил,



биомослашувчан ва анизотропдир (суяк хоссаларига яқин).

2. Металл-керамик биокомпозитлар.

Бу композитлар асосан юқори мустаҳкамликни таъминловчи металлдан иборат бўлади. Металл юзасига керамик қоплама (кальций фосфати ёки биоактив смола) қoplanadi. Бунда керамика металл юзасига яхши ёпишишни таъминлаш зарур бўлади.



Ҳеч қандай биокомпозит одам тўқималарининг ва организмнинг ҳамма анатомик-физиологик ва биомеханик хусусиятларга тўлиқ жавоб бера олмайди. Шунинг учун турли қўлланилиш соҳаларида турли биокомпозитлар яратилиши зарур бўлади.

Биокомпозитларнинг истиқбол йўналишлари: 1) композит имплантатлар яратиш; 2) гибрид имплантатлар яратиш; 3) индивидуал био-тиббий параметрларга эга бўлган имплантатлар тўпламини яратиш (“квазиинтеллектуал” имплантатлар).



Расм 4.9. Композицион материаллар қўлланилиши.

Хулоса қилиб, композитларнинг асосий қўлланилиш соҳаларини келтираемиз:

- Аэрокосмик соҳа.
- Автомобилшунослик.
- Электр ва алоқа тармоқлари.
- Курилиш соҳаси.
- Спорт буюмлари ишлаб чиқариш.
- Медицина.
- Машинасозлик.
- Электротехника.
- Нанотехнология.
- Metallургия ва бошқа соҳалар (расм 4.9.).

Назорат саволлари:

- 4.1. Микро ёриқлар толали композитларда нима сабаблардан пайдо бўлиши мумкин?
- 4.2. Нано-тупрокни композитлар таркибида қўлланилишига мисоллар келтиринг.
- 4.3. Тоғ велосипедини конструкцияси ўрганинг: қандай конструкцион материаллар қўлланилганлигини аниқланг.
- 4.4. “Нексия” ва “Матиз” автомобилларида қўлланилган композитлар турларини аниқланг.
- 4.5. Курилишда қандай композицион материаллар қўлланилади? Мисоллар келтиринг.
- 4.6. Ўз ўзидан тикланадиган композитларга мисоллар келтиринг.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. -98-101, 249-306 p.
2. Morgan P. Carbon fibers and their composites / Morgan P. - Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. Materials engineering; vol.27. - ISBN 0-8247-0983-7. 1153 p.
3. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. - 319-350 p.
4. William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 655-660 p.

5. L.Fiocco, Z.Babakhanova, E.Bernardo. Facile obtainment of luminescent glass-ceramics by direct firing of a preceramic polymer and oxide fillers. *Ceramics International Journal*. Available online 10 February 2016. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884216000833>
6. З.А.Бабаханова, М.Х.Арипова. Кремний-органик бирикмалар асосида техник керамика материаллар синтези. *Узбек кимё журнали*. 2015, №3, 16-21 б.
7. Enrico Bernardo, Laura Fiocco, Giulio Parcianello, Enrico Storti, Paolo Colombo. Advanced Ceramics from Preceramic Polymers Modified at the Nano-Scale: A Review. *Materials* 2014, 7, 1927-1956 p.; doi:10.3390/ma7031927.
8. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы. Учебное пособие. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011.-5-25 с.
9. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов. – М. : Профессия, 2010. – 140-170 с.

IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ

1- амалий машғулот:

Композицион материаллар ишлаб чиқаришда мустаҳкамлаштирувчи компонентларни хоссаларини ўрганиш

Ишнинг мақсади:

Композицион материаллар ишлаб чиқаришда қўлланадиган толасимон ва заррасимон мустаҳкамловчи компонентларни хоссаларини ўрганиш.

Элементар толаларнинг асосий механик хоссалари.

Ишнинг мақсади: Элементар толаларнинг механик хоссаларини ўрганиш.

Тола – бу кўндаланг кесим юзанинг кичик кесимида бўйлама ўлчамларининг кўндаланг ўлчамларига нисбатан катта қийматга (10-100 дан кам эмас) эга бўлган материалдир.

Кўпгина толалар чўзилишда юқори механик хоссалар ва юқори эластиклик модулига эгадирлар. Бундай кўрсаткичлар юқори механик хоссаларга эга композицион материаллар (КМ) олишда асосий кўрсаткичлар ҳисобланади.



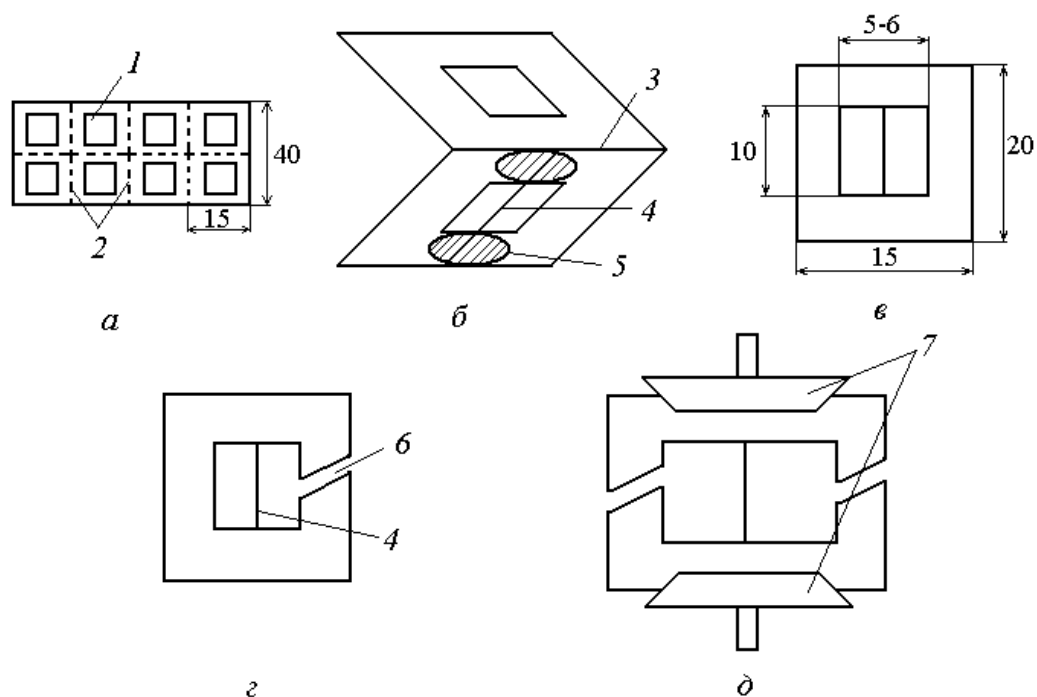
Элементар толаларни механик хоссаларини аниқлаш ГОСТ 6943.5–79 га асосан олиб борилади. Синов учун элементар толадан кесиб олинган ва рамкага қотирилган намуналар қўлланилади. Рамкалар 10 мм узунликда ва 5–6 мм кенгликда тешик кўринишида зич қоғоздан қирқиб олинади (расм 1, а, б).

Намунани бузилишигача юкланиш бериш махсус асбобда амалга оширилади (расм 2). Максимал юкланиш F динамометр шкаласи бўйича аниқланади, толанинг узунлиги бўйича ўзгариши Δl – деформация шкаласи ёки горизонтал микроскоп (катетометр) орқали аниқланади. Талаб этилганда деформация диаграммаси тузилади ($F-\Delta l$ боғлиқлик).

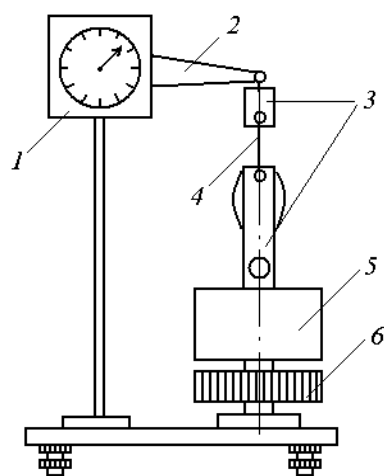
Қуйида баъзи элементар толаларнинг чўзилишидаги диаметр d нинг, бузувчи кучланиш σ_p ва эластиклик модули E_p нинг қийматлари келтирилган (жадвал 1).

Жадвал 1. Элементар толаларнинг кўрсаткичлари.

Тола тури	d , мкм	σ_p , МПа	E_p , ГПа
Шиша толаси	6–20	3450	70–73
Юқори мустаҳкам углеродли тола	7,5–8	2500–3500	200–250
Юқори модулли углеродли тола	7,5–8	2000–2500	300–700



Расм 1. Элементар толалардан механик синов учун намуна олиш. (а–д – тайёрлаш босқичлари): 1 – тешиқлар; 2 – кесиш чизиқлари; 3 – буқиш чизиқлари; 4 – элементар тола; 5 – клей; 6 – кесик; 7 – қисқичлар.



Расм 2. Элементар толаларни бузувчи кучланиш ва эластиклик модулини аниқлаш учун асбоб. 1 – динамометр; 2 – ричаг; 3 – қисқичлар; 4 – тола; 5 – стойка; 6 – деформация шкалали маховик.

Бир томонга йўналтирилган толали тўлдирувчиларнинг мустаҳкамлигини аниқлаш

Ишининг мақсади: Элементар толалар мустаҳкамлигини ип ва боғичлар мустаҳкамлигидан фарқини кўрсатиш.

Элементар толаларнинг хоссалари маълум даражада бошқа турдаги толаларнинг хоссаларини аниқлайди. Бунда бу хоссаларни амалга ошириш қайта ишлаш усули ва ҳарактерига боғлиқ бўлади. Шунинг учун бир

томонлама йўналтирилган тўлдирувчиларнинг механик хоссалари элементар толаларнинг механик хоссаларидан паст бўлади.

Мустаҳкамловчи тўлдирувчиларни асосий механик хоссалари эластиклик модули ва чўзилишдаги бузилиш кучланиши ҳисобланади.



Бу синовларда рамкаларга қотирилган кесма намуналар қўлланилади. Намунага Р-05 типдаги универсал машинада бузулгунча 60-100мм/мин ўзгарувчан тезликда юкланиш берилади. Берилган кучланишларни куч ўлчаш шкаласи бўйича ўлчанади.

Керак бўладиган асбоблар ва материаллар: шиша ип ва шиша боғлардан кесмалар, намуналарни маҳкамлаш учун рамкалар, қайчилар, клей, синовчи машина.

Ишнинг бориш тартиби. Синов олиб бориш ва намуналарни тайёрлаш ГОСТ 6943.10–79 га мувофиқ олиб борилади.

220 мм узунликдаги ип кесмалари рамкаларга қотирилади. Елимланган иплар намуналарга ажратилади ва синов машинаси қисқичларига қотирилади. Бунда елимланган қисм 8-10 мм ташқарига чиқиб туриши, қисқичлар орасидаги масофа 100 ± 1 мм ни ташкил этиши керак.

Намуналарга 60-100 мм/мин тезликда синов машинасида кучланиш берилади ва бузилиш вақтидаги юкланиш қайд қилинади. Олинган қийматлар бўйича чўзилишдаги мустаҳкамлик σ_p (МПа) қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A},$$

Бу ерда F_p – бузувчи юкланиш, Н; $A = \frac{T}{\rho} \cdot 10^{-3}$ – толанинг умумий юзаси, мм²;

T – тўлдирувчининг чизиқли зичлиги (маълумотномадан олинади); ρ – тўлдирувчи материали зичлиги, г/см³.

Эксперимент камида ўн марта қайтарилади ва ўртача қиймати олинади. Олинган натижалар худди шу турдаги элементар тола натижалари билан солиштирилади ва хулосалар чиқарилади. Олинган натижалар қайд этилади.

Бир томонга йўналтирилган толали тўлдирувчиларни эластиклик модулини аниқлаш.

Керак бўладиган асбоблар ва материаллар: шиша ип ва шишабоғламлар кесмалари, рамкалар, клей, синов машинаси, катетометр, штангенциркуль.

Иш тартиби. Рамкаларга қотирилган намуналарга намунанинг марказидан юқори ва паст томонга 25 мм масофада бўёқ билан белги қўйилади.

Белгилар орасидаги масофа l_0 (катетометр, штангенциркул ёрдамида) бошланғич юкланиш F_0 да ўлчанади. Намунага секин аста юкланиш ΔF F_1 кучгача берилади ва намунанинг узунлиги Δl ўлчанади. Синов 2-3 марта

такрорланади ва намунанинг ўртача чўзилганлиги аниқланади.

Тўлдирувчининг элатиклик модули E_p (МПа) қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$E_p = \frac{\Delta F \cdot l_0}{\Delta l \cdot A},$$

Бу ерда ΔF – ўсиб боровчи юкланиш, Н; l_0 – белгилар орасидаги масофа, мм; Δl – чўзилган намуна узунлиги, мм; A – толанинг умумий юзаси, мм².

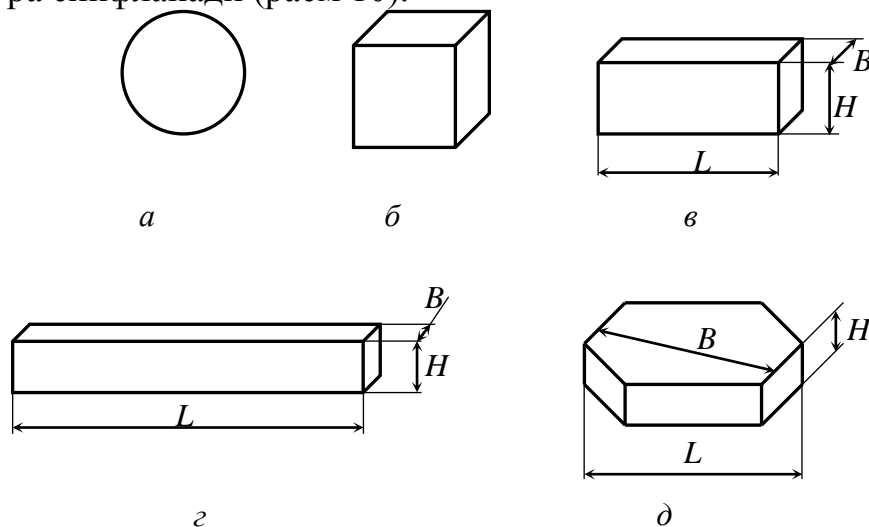
Эксперимент камида ўн марта қайтарилади ва ўртача қиймати олинади. Олинган натижалар худди шу турдаги элементар тола натижалари билан солиштирилади ва хулосалар чиқарилади. Олинган натижалар қайд этилади.

Композицион материаллар ишлаб чиқаришда заррасимон тўлдирувчиларни грануламетриқ таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

Ишнинг мақсади: тўлдирувчиларнинг асосий геометрик тавсифини аниқлаш.

Тўлдирувчиларни танлаш аввало, унинг зарраларининг ўлчамлари ва зарраларнинг шакли ва тавсифига боғлиқ.

Заррали материаллар тавсифий ўлчамлари нисбатига боғлиқ ҳолда шаклига кўра синфланади (расм 10).



Расм 3. Тўлдирувчи зарраларни ўлчами ва турлари:

a – сфера; *б* – куб; *в* – параллелепипед; *г* - толасимон; *д* - тангасимон.

L - узунлик; *H* – баландлик; *B* – кенглик.

Кўпгина тўлдирувчиларнинг зарраларининг шакли бир – биридан кескин фарқ қилади. Шунинг учун уларнинг юзасининг зарраси синфланиш учун хизмат қилади. Бу мақсадда зарраларни ўлчамини тавсифлайдиган тушунча-эквивалент сфера диаметри (ЭСД) киритилган.

Калта толали тўлдирувчиларнинг геометрик ўлчам ва заррасининг шаклини аниқлаш

Керак бўладиган асбоблар ва материаллар: ёғоч қириндиси, шоя толаси, льнокостра, микроскоп, штангенциркуль, микрометр.

Иш тартиби. Текис юзага маълум миқдордаги тўлдирувчи бир текис ёйилади. Ўлчаш учун штангенциркуль ёки микрометр, жуда майда зарралар учун эса ($<0,1$ мм) микроскоп ишлатилади.

Зарранинг тегишли ўлчамлари аниқланади (узунлиги, кенглиги, қалинлиги) ва максимал ва минимал ўлчамларнинг нисбати аниқланади.

Турли тўлдирувчилар зарраларининг шакли аниқланади ва чизилади. Олинган натижалар 5 жадвалга ёзиб борилади.

Кукунсимон тўлдирувчилар зарраларининг шакли ва ўлчамларини аниқлаш.

Керак бўладиган асбоблар ва материаллар: турли типдаги кукунсимон тўлдирувчилар, типова, микроскоп, шиша предметлар.

Ишнинг тартиби. Зарраларни шакли ва ўлчамларини аниқлаш учун маълум миқдордаги тўлдирувчи олдиндан намланган шиша предмет юзасига жойланади ва устидан иккинчи шиша билан ёпилади. Бунда тўлдирувчини текис тақсимланиши ва зарраларининг бир-биридан алоҳида – алоҳида бўлишига эътибор берилади.

Намуна микроскоп столчасига ўрнатилади. Керак бўлган катталаштириш ва кескинлик танланади. Зарраларнинг шакли аниқланиб чизиб борилади. Зарраларнинг асосий ўлчамлари ва ЭСД ҳисобланади.

Тўлдирувчиларнинг гранулометриқ таркибини ўрганиш.

Ишнинг мақсади: Таҳлилнинг элақлар усулини ўрганиш.

Тўлдирувчини танлашда аввало унинг зарраларининг ўлчамлари ва ўлчамлар бўйича тақсимланганлиги аниқланади.

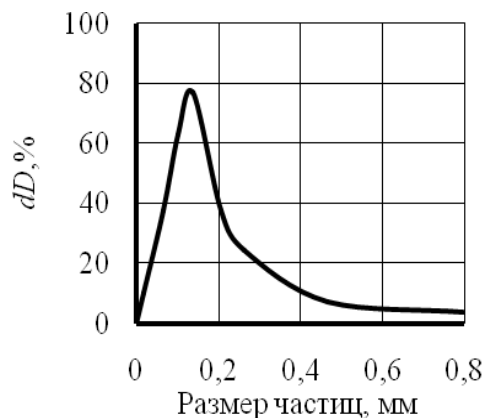
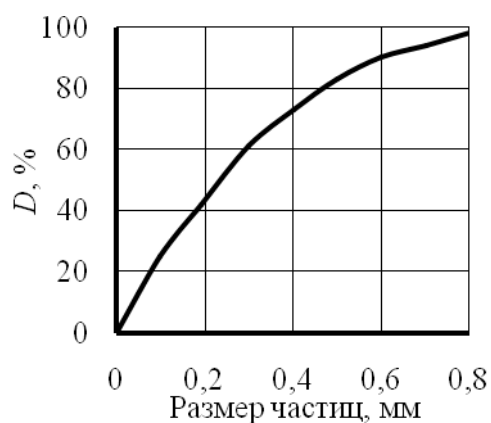
Кукунсимон материалларнинг гранулометриқ таркиби кукундаги турли ўлчамдаги зарраларнинг ўзаро нисбати ва қанча миқдордан мавжудлиги тўғрисида маълумот олишга ёрдам беради.

Зарраларнинг ўлчамини аниқлашнинг бир нечта усуллари мавжуд: элақлар ёрдамида (зарралар ўлчами 0,06 дан 19 мм гача), микрометриқ (0,001дан 0,06 ммгача), седиментацион (0,0001дан 0,06 ммгача).



Элақлар усули материал намунасининг стандарт элақлар тўпламидан ўтказиш орқали фракцияларга ажратишга асосланган. Бу усул дисперс анализнинг асосий усули ҳисобланади. Лекин бу усул зарраларнинг ҳақиқий ўлчамларини аниқлай олмайди.

Гранулометриқ таркибни аниқлашда ажралиш даражаси тақсимланиши D (расм 11, а) ва фракцияларнинг нисбий сақланиши dD (расм 11, б) зарра ўлчамлари δ га боғлиқликлари тузилади.



a

Б

Расм 4. Ажралиш даражаси тақсимланиш функция кўринишлари (а) ва фракцияларнинг зарра ўлчамига нисбийлиги (б).

Майда дисперс материаллар ўлчамини аниқлашда асосан седиментацион усул қўлланилади.

Микроскопик усул зарраларнинг чизикли ўлчамларини аниқлашдаги энг аниқ усул ҳисобланади, лекин анча меҳнат ва вақт талаб этади.

Амалий машғулот вазифалари:

1- вазифа.

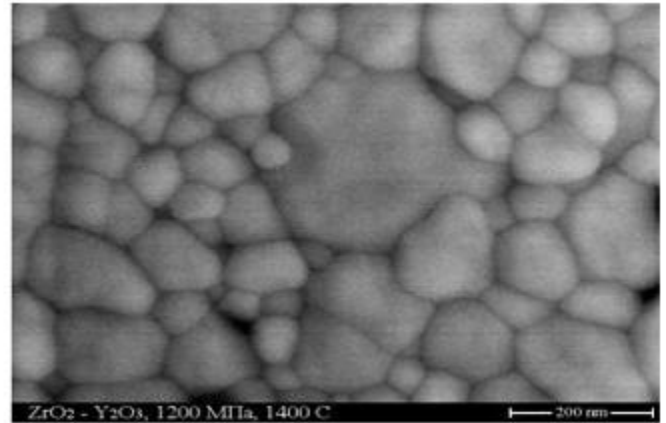
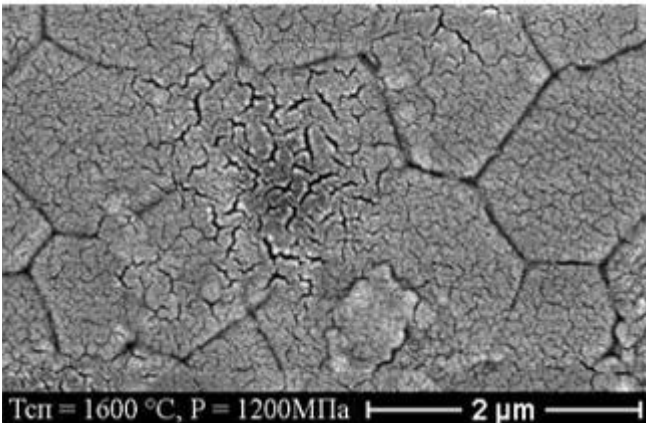
Жадвалда келтирилган қийматлар асосида материал ўлчамларига боғлиқ ҳолда фракцияларни мавжудлиги диаграммасини тасвирланг.

Сармат қумининг гранулометрик таркиби

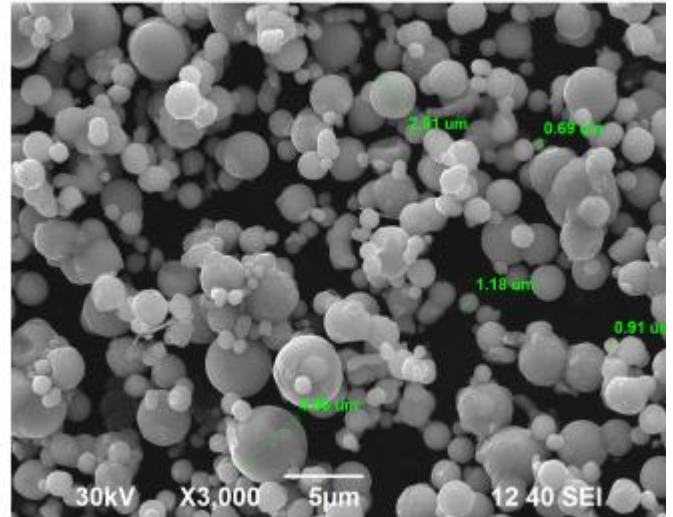
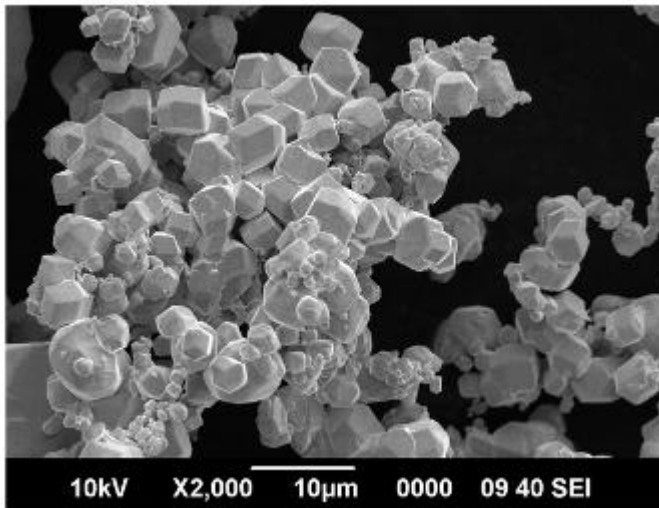
Проба №	Заррачалар миқдори, мас. %	Элакдаги тешиklar ўлчамлари , мм					0,14 элакдан ўтган
		2,5	1,25	0,63	0,3	0,14	
94	1,6	0,6	2,1	17,3	84,4	98	1,9
95	6,8	1,5	4,3	20,7	69,7	95,3	4,6
98	22,6	-	1,1	4,9	42,3	87,5	12,1
99	16,1	-	-	0,6	24,4	83,1	16,8
100	22,7	-	-	1	26,6	78,9	20,6
101	2,8	0,3	1,3	13,8	67,6	96,2	3,4
102	2,7	-	0,2	2,8	37,6	92,9	6,8

2- вазифа.

Келтирилган микроскопик 5,6-расмлардан фойдаланиб, асосий кристалл фазалар ўлчамларини аниқланг.



Расм 5. Керамик материалнинг электрон-микроскопик расми. (электронный микроскоп ЭВМ-100)



Расм 6 – Вольфрам карбиди ва темир кукунларининг электрон-микроскопик расмлари.

Назорат саволлари:

1. Бир томонлама йўналган толали тўлдирувчиларни келтиринг ва тушунтиринг.
2. Толасимон тўлдирувчиларни юкланишдаги ҳолати нима мақсадда ўрганилади?
3. Чизиқли зичлик нимани тавсифлайди, нималарга боғлиқ ва қандай аниқланади?
4. Элементар тола ва бир томонлама йўналган толасимон тўлдирувчиларнинг чўзилишга мустаҳкамлиги нимаси билан фарқ қилади?
5. Чўзилишга мустаҳкамликни аниқлашда намуналар қандай тайёрланади?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. -98-101, 249-306 p.
2. Morgan P. Carbon fibers and their composites / Morgan P. - Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. (Materials engineering; vol.27). - ISBN 0-8247-0983-7. 1153 p.
3. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. -319-350 p.
4. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010. -655-660 p.
5. Стекловолокно. Нити крученые комплексные. Технические условия: ГОСТ 8325–93 (ИСО 3598-86). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 12с.
6. Ю.Н. Сидоренко. Конструкционные и функциональные волокнистые композиционные материалы : учебное пособие. -Томск : Изд-во ТГУ, 2006. – 107 с.

2 –амалий машғулот:

Матрица материаллари таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

Ишнинг мақсади:

Термореактив ва термопластик полимер материалларнинг таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

Композит материаллар олишда термореактив полимерлардан боғловчи сифатида фойдаланилади.

Термореактив полимер боғловчилар синтетик смолалар ва қотирувчи, катализаторлардан ташкил топган икки ёки кўп компонентли система ҳисобланади.

Боғловчининг таркиби қотиш реакциясининг бориши ва маҳсулотнинг механик хоссаларига боғлиқ бўлади.

КМ тайёрлашда кўп ҳолларда полиэфир, эпоксидли ёки фенолформальдегидли боғловчилар қўлланилади.

Полиэфирмалеинатлар (полиэфир смоллар) таркиби, кимёвий тузилиши ва молекуляр массасидан келиб чиққан ҳолда қовушқоқ суюқлик ёки қаттиқ моддадан иборат. Температура ва қотиш тезлиги инициатор ва тезлаштирувчи турини танлаш орқали аниқланади.

Қотмайдиган эпоксид смолалар эрийдиган қовушқоқ суюқлик ёки мўрт қаттиқ моддалар ҳисобланади. Қуйида баъзи эпоксид смолаларни физик ҳолатлари келтирилган. (жадвал 2).

Эпоксид смолаларнинг қотирувчиси сифатида аминлар ишлатилади.

Қотирилмаган фенолоформальдегид смолалар қовушқоқ суюқлик ёки 60–120°Сда суюқ ҳолга ўтувчи қаттиқ мўрт шаффоф аморф масса ҳисобланади.

Жадвал 2. Баъзи эпоксид смолаларни физик ҳолатлари.

Смола тури	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	Физик ҳолат 20°C да
ЭД-22	-10	Суюқ
ЭД-20	0	Суюқ
ЭД-16	10	Қовушқоқ
ЭД-10	50	Қаттиқ
ЭД-8	70	Мўрт

Керакли асбоблар ва материаллар: смолалар – полиэфир, эпоксид, фенолоформальдегидли; қотирувчилар – полиэтиленполиамин (ПЭПА), триэтаноламинотитанат (ТЭАТ), малеин ангидрид (МА), гидропероксид изопропилбензол (гипериз); тезлатувчи: кобальт нафтенати (НК).

Иш тартиби. Полимер боғловчилар тайёрлаш учун турли типдаги смолалар ва компонентларни визуал ўрганиш.

Адабиётлар таҳлили ёрдамида ҳар бир компонентнинг алоҳида белгилари бўйича ёзилади, яъни хиди, ранги, агрегат ҳолати, зичлиги. Натижалар 3- жадвалга ёзиб борилади.

Жадвал 3

Компонентлар	Ранг	Хиди	Физик ҳолати	Бошқа хусусиятлар

Терморреактив олигомерлар асосида боғловчилар тайёрлаш

Ишнинг мақсади: турли боғловчиларни тайёрлаш учун керак бўладиган компонентларни ҳисоблашни ўрганиш.

Полимер боғловчилар бир нечта компонентлардан ташкил топади: смолалар, қотирувчилар, тезлаштирувчи, катализатор, пластификатор ва бошқалар.

Маълум миқдордаги боғловчини тайёрлашда керакли компонентлар массасини аниқлик билан танлаш лозим бўлади. Аниқ танланган таркиб ва қўшилмалар сифатли маҳсулот олиш учун замин бўлади. Компонентлар таркиби эмпирик ёки ҳисоб йўли билан аниқланади.

Керак бўладиган масса йўқотишни ҳисобга олган ҳолда (тахминан 10%) барча компонентлар масса улушини йиғиндисига тенг деб қабул қилинади.

Боғловчи компонентлари смолага босқичма босқич қўшиб борилади ва яхшилаб аралаштирилади. Қотирувчилар жараённинг охирида қўшилади.



Юқори қовушқоқ смолалар ишлатишдан олдин 80°C гача қиздирилади ва шу ҳолида пластификатор ёки аралаштирувчи қўшилади.

Керакли асбоблар ва материаллар: эпоксид ва полиэфир боғловчиларни

тайёрлашга керакли компонентлар, тарози, шиша таёқча, идиш, термошкаф.

Ишнинг тартиби. Эпоксид смола асосида 100 г боғловчи тайёрлашни ҳисоби. ЭД-20 – 100 мас. ч, ПН-1 – 20 мас. ч., ПЭПА – 10 мас. ч.

Компонентлар массасини йўқотишларни ҳисобга олган ҳолда аниқлаш. Боғловчилар массаси 110 г, 130 мас. қ. Боғловчига мос келади (100+20+10).

У ҳолда 110 г (боғловчи) – 130 мас. қ, X_1 (ЭД-20) – 100 мас. қ., X_2 (ПН-1) – 10 мас. қ., X_3 (ПЭПА) – 20 мас. қ. Бу пропорцияларни ечган ҳолда қуйидагиларга эга бўламиз: 84,6 г – ЭД-20; 8,4 г – ПН-1; 16,9 г – ПЭПА.

Олинган натижалар қуйидаги жадвалга ёзиб борилади.

Жадвал 4

№ рсц.	Смола		Пластификатор		Қотирувчи		Тезлаштирувчи	
	мас. қ.	г	мас. қ.	г	мас. қ.	г	мас. қ.	г
1								
...								

Боғловчининг зичлигини аниқлаш

Ишнинг мақсади: турли терморреактив полимерлар асосидаги боғловчиларнинг зичлигини назарий ва экспериментал аниқлашни ўрганиш.

Композицион материалларни таркибини ҳисоблашда бир неча компонентдан иборат бўлган боғловчининг зичлигини ўрганиш керак бўлади.

Бундай боғловчининг зичлигини дастлабки компонентлар зичлигини ва композитдаги масса улушини билган ҳолда, аралашма қоидасига асосан назарий жихатдан аниқлаш мумкин.

Олинган қийматни экспериментал текшириш учун масса ва ҳажм усулидан фойдаланиш мумкин. Бунда зичлик композит массасини унинг ҳажмига нисбати орқали ҳисобланади.

Керакли асбоблар ва материаллар: эпоксид ва полиэфир боғловчини тайёрлаш учун керак бўладиган компонентлар, 0,1 г гача аниқликдаги лаборатория тарозиси, шиша таёқча, идиш, термошкаф, ўлчов цилиндри.

Иш тартиби. 50 г дан турли таркибли боғловчилар тайёрланади. (2-илова).

Ҳар бир композитнинг назарий зичлиги қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\rho_{\text{св}} = \frac{\rho_1 \cdot C_1 + \rho_2 \cdot C_2 + \dots + \rho_n \cdot C_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n},$$

Бу ерда ρ_1, ρ_2, ρ_n – компонентлар зичлиги (3-илова); C_1, C_2, C_n – тегишли компонентларнинг масса улуши.

Зичликни экспериментал аниқлаш учун ўлчов цилиндри лаборатория тарозисида ўлчанади. Кейин ўлчов цилиндрига композит жойланади ва эгаллаган ҳажми аниқланади. Бунда композитни цилиндр деворларига тарқалиши ва пуфаклар пайдо бўлишига йўл қўймаслик керак. Шундан кейин композит жойланган цилиндр яна тарозида ўлчанади ва қуйидаги формула

орқали аниқланади:

$$\rho_3 = \frac{m - m_1}{V},$$

Бу ерда m , m_1 – ўлчов цилиндрини боғловчи билан ва бўш холидаги массаси, г; V – боғловчи эгаллаган ҳажм, см³.

Эксперимент камида уч марта такрорланади ва ўртача арифметик қиймат топилади.

Термопластик полимер материалларнинг таркиби ва хоссаларини ўрганиш.

Ишнинг мақсади: турли табиатга эга грануллашган полимер материалларнинг асосий тавсифий хусусиятларини ўрганиш.

Тайёр маҳсулотдаги полимер материалнинг табиатини аниқлаш учун тизимли тарзда сифат ва миқдор анализлар ўтказилади ва маълум полимерлар билан солиштирилади.

Полимер материал намунаси қуйидаги схема бўйича аниқланади:

- **намунани ташқи кузатиш;**
- **юмшаш температурасини аниқлаш;**
- **намунани алангада ўзини тутиши;**
- **намунанинг эришини аниқлаш;**
- **полимерда ранг реакцияларни олиб бориш.**



Аввало, намунанинг ташқи кўриниши, унинг физик ҳолати, ранги, хиди, шаффофлиги, қаттиқлиги, эластиклиги, зичлиги ва гранула ўлчамлари белгиланади.

Кейин унинг эрувчанлиги текширилади. Бунинг учун намуна иссиқ ҳавога ёки металл ёки асбест тагликда қиздирилади.

Ўзини қандай тутишига қараб пластмасса термо ёки реактопластга ажратилади. Агар полимер термопласт материалга таалуқли бўлса, унда полимернинг юмшаш температураси аниқланади.

Материални солиштириш мақсадида уни алангадаги ҳолати ўрганилади. Бунинг учун маълум миқдордаги материал эҳтиёткорлик билан алангага тутилади. Бунда ёнишнинг тавсифлари белгилаб борилади: ёнувчанлиги, эгилиши, эриши, хиди, аланга ранги, тутун пайдо бўлиши, ўз-ўзидан ўчиши, кул ҳосил бўлиши, ранги ва бошқалар (**4-илова**).

Материални эритмаларда эриши у ёки бу полимерлар синфига оидлиги билан амалга оширилади (**5-илова**).

Кўпчилик смолалар сирка ангидриди ва сульфат кислотаси кўшилганда турли рангли бирикмалар ҳосил қилади. Либерман– Шторх – Моравский реакцияси шунга асосланган (**6-илова**).

Полимер материалларнинг эрувчанлигини аниқлаш

Керакли асбоблар ва материаллар: турли табиатли полимер материаллар; эритувчи – бензин, ацетон, сув, этил спирти, уксус кислота, хлорид кислота.

Иш тартиби. Эрувчанликни аниқлаш учун 0,5 г майдаланган намунани пробиркага солинади. 5-10 мл эритувчи кўшилади ва чайқатилиб, бир неча соатга тик ҳолатда қолдирилади. Кейин эриш даражасини аниқланади-тўлиқ, қисман, бўккан, эрмаган.

Агар намуна қисман эриган бўлса, эрувчанлик қиздириш орқали аниқланади.

Материалнинг алангадаги ҳолатини аниқлаш

Керакли асбоблар ва материаллар: турли табиатли полимер материаллар; ёндиргич, шпатель, пинцет.

Иш тартиби. Маълум миқдордаги материал шпател ёрдамида эҳтиёткорлик билан аланганинг юқори температурали зонасида тутиб турилади.

Алангадан олингандан сўнг унинг ёниши кузатилади. Бунда ёнишнинг тавсифлари белгилаб борилади. Бунда ёнишнинг тавсифлари белгилаб борилади: ёнувчанлиги, эгилиши, эриши, хиди, аланга ранги, тутун пайдо бўлиши, ўз-ўзидан ўчиши, кул ҳосил бўлиши, ранги ва бошқалар.

Полимерда рангли реакция

Керакли асбоблар ва материаллар: турли табиатли полимер материаллар; чинни пластина, сирка ангидриди, концентранган сулфат кислота, пипетка.

Иш тартиби. Чинни пластинкага полимер бўлакчаси жойлаштирилади ва унга бир неча томчи сирка ангидриди томизилади, кейин сулфат кислота томизилади. 30 минут давомида суюқлик ва смола юзаси ранги ўзгариши кузатилади. Натижалар 6-иловага солиштирилиб полимер тури аниқланади.

Юмшаш температурасини аниқлаш

Керакли асбоблар ва материаллар: турли табиатли полимер материаллар; металл ёки чинни тигел, термометр, кварц куми, металл ёки асбест таглик.

Иш тартиби. Эриш учун намуна. Олинган намуна иссиқ ҳаво оқимида тутилади. Натижага қараб уни термо ёки реактоплас эканлиги аниқланади.

Юмшаш температураси. 5-10 см узунликдаги ва 1 м кенгликдаги намуна куруқ кум билан тўлдирилган темир тигелга ўрнатилади. Тигел аста секин қиздирилади ва намуна эгилиши вақтидаги температура белгиланади. Бу юмшаш температураси ҳисобланади.

Оқувчанлик температураси. Худди юқоридаги усул билан намунанинг оқувчанлигини ҳам аниқлаш мумкин, яъни намунанинг маълум температурадаги оқувчанлиги унинг оқувчанлик қиймати ҳисобланади.

Амалий машғулот вазифалари:

1-вазифа.

Адабиётлар рўйхатида ва иловалар бўлимида келтирилган E. Bernardo, J-F. Carlotti и др. “Novel akermanite-based bioceramics from preceramic polymers and oxide fillers” илмий мақоласидан фойдаланиб (**7-Илова**) биокомпозитлар синтезида қандай полимер ва тўлдиргичлар қўлланилганини аниқланг. Қўшимча маълумотлар **1-6- Иловалар**да келтирилган.

2-вазифа.

Интернет-маълумотларидан фойдаланилган ҳолда композицион материалнинг асосий хоссалари ва уларни ўлчаш усуллари аниқланг. Тадқиқот натижалари жадвал шаклида келтирилиши керак.

Назорат саволлари:

1. Полимер боғловчи таркибига қандай компонентлар киради?
2. Эпоксид боғловчилар учун қотирувчиларни аниқланг.
3. Полиэфир смолалар учун инициатор ва қотишни тезлатувчиларни келтиринг.
4. Термореактив полимерлар асосида боғловчилар тайёрлаш учун масса компонентлари ҳисоби қандай амалга оширилади?
5. Боғловчиларнинг зичлиги қандай аниқланади?
6. Боғловчиларнинг сирт таранглигига қандай параметрлар таъсир кўрсатади?
7. Термореактив полимерларни сирт таранглигини аниқловчи асосий усулларни келтиринг.
8. Боғловчиларнинг асосий технологик тавсифларини келтиринг.
9. Полимер материалларнинг қовушқоқлигини аниқлашнинг асосий усуллари келтиринг.
10. Полимерларнинг қовушқоқлик кўрсаткичига температура қандай таъсир кўрсатади?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. - 98-101, 249-306 p.
2. E. Bernardo, J-F. Carlotti and oth. "Novel akermanite-based bioceramics from preceramic polymers and oxide fillers"// Ceramics International.- 40 (2014).- 1029-1035 p. Available at www.sciencedirect.com.
3. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. -319-350 p.
4. William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 655-660 p.
5. Носов В.В. Механика композиционных материалов.- М.: Лань, 2013.-240 с.

3-амалий машғулот: Композицион материал таркибини тузиш ва хоссаларини лойиҳалаш.

Ишнинг мақсади: полимер матрица асосида композицион материал тайёрлаш, композит тайёрлаш усулини аниқлаш ва қотиш жараёнини ўрганиш. Термореактив боғловчилар ва мустаҳкамловчи тўлдирувчилар асосида композицион материал тайёрлаш.

Полимерларни тўлдириш амалий жиҳатдан материални технологик ва эксплуатацион хоссаларини бошқаришга имкон беради. Конструкция тўйинган полимер материалларнинг хоссалари, олиш усуллари полимер матрица ва тўлдирувчи, уларнинг ҳажмий нисбатларига боғлиқ.

КМ дан буюмлар тайёрлашда полимер боғловчиларнинг қовушқоқлик. Гел ҳосил бўлиш вақти каби технологик хоссаларини аниқлаш лозим.

Гел ҳосил бўлиш вақтини аниқлаш асосий параметрлардан бири ҳисобланади. У тўйинган материалнинг сақланиши давомийлигини ва материалдан буюм тайёрлаш температурасини тавсифлайди. КМ олиш вақтининг давомийлиги боғловчи аралашмасини хона ҳароратида тайёрлаш вақтидан ошиб кетмаслиги керак.

Берилган компонентлар асосида белгиланган структура ва компонентлар нисбатига эга КМ тайёрлаш.

Мустаҳкам пластикларнинг асосий компонентларидан бири бу боғловчи ҳисобланади. Боғловчи мустаҳкамловчи толали тўлдирувчи билан тўйинтирилади. Боғловчи қотгандан кейин тола ёки тўлдирувчилар қатламини ўзаро бирлаштиради..

Мустаҳкам пластиклар олишда полиэфир, эпоксид ва модифициланган фенолоформалдегид смолалар асосидаги боғловчилар кенг қўлланилади. Тўлдирувчилар сифатида турли материаллар: ленталар, матолар, иплар ишлатилади.

Композитларни тайёрлаш жараёни қуйидаги босқичлардан иборат:

- боғловчи ва тўлдирувчи турини аниқлаш;
- композит компонентларини нисбатини ҳисоблаш;
- боғловчини тайёрлаш, берилган пропорцияларда компонентларни аралаштириш;
- тўлдирувчиларни тайёрлаш;
- боғловчини тўлдирувчи қаватларига суркаш, ва тўйинган қаватларни бирлаштириш;
- белгиланган режимда материални қотишини амалга ошириш.

Композицион материалдаги компонентлар массасини ҳисоблаш

Аввало КМдан тайёрланган пластинанинг керакли ҳажмини $V_{\text{КМ}}$ (м^3) аниқланади.

$$V_{\text{КМ}} = l \cdot b \cdot h,$$

Бу ерда l , b , h – КМ пластинанинг узунлиги, кенглиги, қалинлиги. КМ қалинлиги синов стандартидан келиб чиқиб танланади ($h = 2-8$ мм).

Материал ҳажмини билган ҳолда унинг массасини аниқланади: $m_{\text{КМ}}$, кг

$$m_{\text{КМ}} = \rho_{\text{КМ}} \cdot V_{\text{КМ}},$$

Бу ерда $\rho_{\text{КМ}}$ – зичлик КМ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Материал зичлиги $\rho_{\text{КМ}}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) компонентлар нисбатини билган ҳолда ўртачаси олинади .

$$\rho_{\text{КМ}} = \rho_a \cdot P_a + \rho_c \cdot P_c,$$

Бу ерда ρ_a – арматура зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_c – боғловчи зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_a , P_c – арматура ва боғловчининг ҳажмий миқдори.

Тўлдириш даражаси технологик жараёнлар учун масса улушларда, ҳисоблаш учун ҳажмий улушларда олинади. Компонентларнинг массавий C ва ҳажмий P миқдорлари ўртасидаги боғлиқлик қуйидаги тенгликлар орқали ифодаланади::

$$C_a = \frac{P_a \cdot \rho_a}{P_a \cdot \rho_a + P_c \cdot \rho_c}, \quad C_c = 1 - C_a;$$

$$P_a = \frac{C_a \cdot \rho_c}{C_a \cdot \rho_c + C_c \cdot \rho_a}.$$

Бунда материал таркибида ғоваклар йўқ деб ҳисобланади, яъни нолга тенг.

Компонентларни массаси (г) уларнинг масса нисбатларидан топилади:

$$m_a = m_{\text{КМ}} \cdot C_a, \quad m_c = m_{\text{КМ}} \cdot C_c.$$

Бу ерда m_a , m_c – тўлдирувчи ва боғловчи массаси, кг;

C_a , C_c – тўлдирувчи ва боғловчининг массавий миқдори.

КМ тайёрлаш учун керак бўладиган тўлдирувчи каватлари сони N_a аниқланади :

$$N_a = \frac{m_a}{m_{1c}},$$

Бу ерда m_a – арматура массаси, г; $m_{1c} = \gamma_a \cdot l \cdot b$ – бир қават арматура массаси, г, ҳисоб йўли ёки ўлчаб олиш орқали аниқланади; γ_a – арматура материаллини юза зичлиги, г/м².

Ҳисоблашдан кейин технологик чиқиндилар ҳисобга олинади, яъни 20% боғловчи қўшилади.

Бошқа турдаги КМ учун ҳам худди шундай ҳисоб ишлари олиб борилади. Олинган натижалар КМ олишнинг технологик картасига ёзиб борилади (жадвал 5).

Композицион материал пластиналарини тайёрлаш

Керакли асбоблар ва материаллар: боғловчи тайёрлаш учун компонентлар, матоли тўлдирувчи, қайчи, тарози, қаттиқ пластинкалар, муфел печи.

Иш тартиби. Компонентлардан 250×250 мм ўлчамда қават-қават усулида плита тайёрланади.

Кесилган тўлдирувчи боғловчи билан тўйинтириб, пластина устига қават-қават қилиб, ҳавосизлантириб тахланади.

Маълум миқдорга эришилгандан кейин қаттиқ пластина қўйилади ва қотиш режимига мувофиқ қотирилади. **(2-илова).**

Жадвал 5. КМ тайёрлашнинг технологик картаси

Намуна					
Материал	Ўлчамлар, мм			Ҳажм,	Миқдори
	Узунлиги	Кенглиги	Қалинлиги	см ³	

Компонентлар	Норматив	Ҳолати, ўлчамлар	Миқдори, масс. %	Миқдори , г
Тўлдирувчи				
Боғловчи				

Амалий машғулот вазифалари:

Адабиётлар рўйхатида ва иловалар бўлимида 7-иловада келтирилган E. Bernardo, J-F. Carlotti и др. “Novel akermanite-based bioceramics from preceramic polymers and oxide fillers” илмий мақоласидан фойдаланиб, композицион материалнинг ишлаб чиқариш технологиясини ўрганинг. Керамик матрицали композитларнинг қандай синтез усули қўлланилган? Унинг технологик параметрларини аниқланг.

Назорат саволлари:

1. Шиша тола билан мустаҳкамланган композицион материалнинг таркиби ва хоссаларини аниқланг.
2. Бир томонлама йўналтирилган КМ микроструктура таҳлили қандай олиб борилади?
3. Бир томонлама йўналтирилган КМ микроструктурасини аниқлашда қандай асосий параметрлар аниқланади?
4. Тўйиниш даражаси нима ва у қандай аниқланади?
5. Бир томонлама йўналтирилган КМ ларнинг структурасининг бир жинсли эмаслигини қандай параметрлар аниқлайди?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. E.Bernardo, J-F. Carlotti and oth. “Novel akermanite-based bioceramics from preceramic polymers and oxide fillers”// Ceramics International.- 40 (2014).-1029-1035 p. Available at www.sciencedirect.com.
2. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. - 98-101, 249-306 p.
3. Morgan P. Carbon fibers and their composites.- Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. Materials engineering; vol.27. - ISBN 0-8247-0983-7. 1153 p.
4. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. - 319-350 p.
5. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010. - 655-660 p.
6. Б.В. Гусев, В.И. Кондращенко, Б.П. Маслов, А.С. Файвусович. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства.– М. : Научный мир, 2006. – 560 с.
7. А.А. Батаев, В.А. Батаев. Композиционные материалы. Сер. Новая университетская библиотека.– М. : Логос, 2006. –400 с.

4- амалий машғулот:

Шишакомполитлар ишлаб чиқариш технологиясини ўрганиш.

Ишнинг мақсади:

Шишакомполит материал – “Триплекс”нинг таркиби, хоссалари, тайёрлаш технологияси ва қўлланишини ўрганиш.

Кўп қаватли шиша буюмлар бир ёки бир нечта неорганик шиша листи ва уларни елимлайдиган полимер пленка ёки суюқликдан иборат материалдир.

“Триплекс” термини (лотинча triplex - учқават) иккита шиша

пластинасини полимер материал билан елимланган кўп қаватли шиша материалга қўлланилади.

ГОСТ 30826-2001га мувофиқ, кўпқаватли шиша қуйидагиларга бўлинади;

- оловдан ҳимояловчи;
- шовқиндан ҳимояловчи;
- совуқбардош;
- махсус хоссаларга эга.

Кўпқаватли шишалар механик хоссалари бўйича бир неча турларга бўлинади (жадвал 6).

Жадвал 6. Кўпқаватли шишалар механик хоссалари

Шиша тури	Норматив ҳужжат	Маркаси
Листли шиша	ГОСТ 111	М0, М1, М2
Узорли	ГОСТ 5533	У
Арматурали	ГОСТ 7481	А
Арматурали ва сайқалланган	НД	А _п
Бўялган	НД	Т
Мустаҳкамланган		
Кимёвий мустаҳкам	НД	К
Тобланган	ГОСТ 30698	Т
Ҳимояловчи	НД	Х
Энергиясақловчи	ГОСТ 30733	Э

Кўп қаватли шишалар юмшоқ предметлар зарбасига бардошлилиги бўйича қуйидаги СМ1 - СМ4 ҳимоя синфларига киради, қаттиқ предметлар зарбасига бардошлилиги бўйича Р1А - Р5А, тешиб ўтиши бўйича Р6В - Р8В ҳимоя синфларига киритилади.

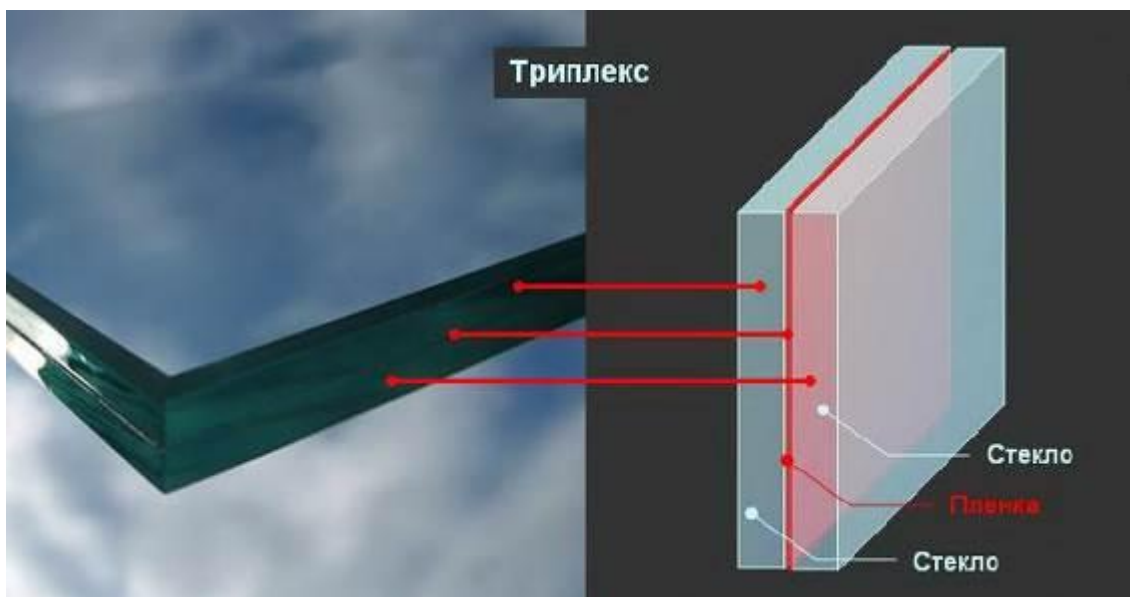
Зарба тўлқинига бардошлилиги бўйича К1 - К14, ўқдан ҳимоялаш бўйича П1 - П6а ҳимоя синфларига киритилади.

Шовқиндан ҳимоялаш бўйича ГОСТ 23166га мувофиқ А-Д синфларга киритилади.

Триплекс таркиби.

Қуйма триплекс шиша пластиналарни бири-бири билан бутун юзаси бўйича махсус елимловчи суюқлик билан қопланади ва УФ нурлар ёрдамида полимерланади.

Пленкали триплекс шишаларни полимер пленкани юқори температура ва босим таъсирида елимлашга асосланган. Бунда пленка сифатида полимер пленка, масалан, поливинилбутирал пленкадан фойдаланилади.



Шиша пластинкалар сифатида M0, M1, M2 маркали листли узорли, армирланган, бўялган, тобланган, куёшдан ҳимояловчи, энергиясақловчи шишалардан фойдаланиш мумкин.

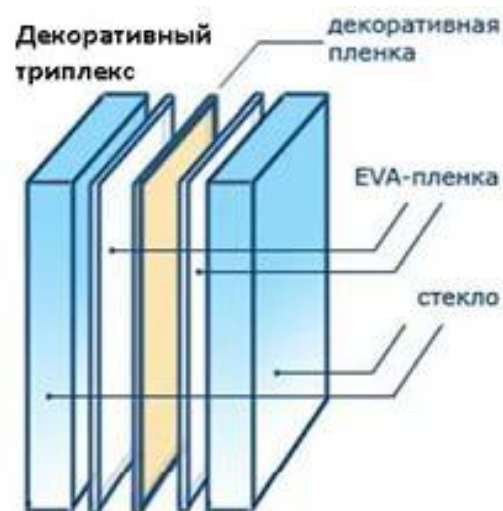
Қурилиш триплексини тайёрлашда органик шишадан ҳам фойдаланиш мумкин.

Шиша пластиналар шакли турлича бўлиши мумкин. Пластиналар шакли елимлашдан олдин тайёрланади.

Шиша листларни елимлаш триплексни ташкил этувчиларнинг мустаҳкамлигини оширмайди, балки қаватли структурани шаклланиши тайёр буюмнинг бузилишга бардошлилигини оширади. (60-89%га ошади). Бундан ташқари триплекс хавфсиз ва ҳимояловчи шиша туркумига киради, чунки у синдирилганда парчалари учиб кетмайди, аксинча полимер қаватга ёпишган ҳолда қолади.

Триплекс рангсиз ва қорайтирилган бўлиши мумкин. Бунинг учун ҳажмий қорайтирилган, қорайтирилган пленка ва полимерлардан фойдаланиш мумкин. Бундан ташқари триплекс ултрабинафша нурларига чидамли бўлиши керак. Шу билан бирга ёпиштирувчи пленка 2 соат қайнатилганда ажралиб кетмаслиги керак.

Триплекс хира ва рангли тайёрланиши ҳам мумкин. Буюмга иккита турли усулда ранг бериш мумкин. Биринчи усулда триплекс тайёр бўялган шиша пластиналардан тайёрланади. Иккинчи усулда тайёр триплекс юзасига керакли рангдаги пленка ёпиштирилади.



Қурилиш триплекси – кенг имкониятларга эга бўлган ажойиб конструкцион материалдир. Бу материални ишлатилиши кундан кунга ошиб бормоқда.

Биноларни горизантал қисмларини, томларни, зиналарни полларни тайёрлашда триплекс кенг қўлланилмоқда.

Триплекс тайёрлаш технологияси.

Триплекс тайёрлашнинг бир неча усули мавжуд: қуйма технология, пленкали технология ва автоклавсиз плёнкали технология.

Триплексни қуйма усулда тайёрлаш технологияси босқичлари:

- шишаларни тайёрлаш ва ювиш;
- икки томонлама тасмаларни қоплаш;
- иккинчи шишани бириктириш;
- тайёрланган конструкцияни пресслаш;
- шишалар оралиғини тўлдириш;
- смолани қотириш.



Триплексни қуйма усулда тайёрлаш технологияси - бу усулнинг афзаллиги турли қалинликдаги ва рангдаги шишаларни бирлаштириш мумкин.

Шишаларни ювиш. Шишалар ювилгандан кейин уларни қурук, ёғлардан холи бўлишига эътибор бериш керак. Шишалар орасида маълум бўшлиқни ҳосил қилиш мақсадида четларига икки томонлама ёпишадиган шаффоф тасмалар ёпиштирилади ва смола қуйиш учун тешикча қолдирилади ва конструкция прессланади. Сўнгра тайёрланган смола билан оралик тўлдирилади. Тўлдириш вақтида смолада пуфакларни пайдо бўлишига имкон қадар йўл қўйилмайди. Смолани қотиш жараёнида уни юза бўйлаб бир хил тақсимланишига эътибор берилади.

Триплекс тайёрлашни пленкали технологияси.

Бу технологиянинг афзаллиги, бу усулда тайёрланган кўп қаватли шишалар юқори оптик хусусиятга эга бўлади. Бу усулда шиша листлар орасига поливинилбутирал пленка (ПВБ) қўйилиб, кейин колландерда дастлабки прессланади, сўнгра автоклавда якуний ёпиштириш амалга оширилади.

Колландер йиғилган триплекс пакетни дастлабки вакуумлаш учун ишлатилади. Бу ускуна махсус камерадан иборат бўлиб, унда йиғилган триплекс 110 – 115 Сгача қиздирилади, шиша ва пленка орасидаги ҳаво резина валиклар ёрдамида чиқарилади. Колландердан пакет шаффоф ҳолатда чиқади ва якуний пресслаш учун автоклавга жойлаштирилади. Автоклавда пресслаш +150 С ва 12,5 Бар босим остида олиб борилади.

Автоклавсиз пленка технологияси

Автоклавсиз пленка технологияси босқичлари:

- шишаларни тайёрлаш ва ювиш;
- шиша ва пленкадан комбинирланган пакет тайёрлаш;
- вакуум хосил қилиш;
- вакуумда конвекцион камерада қиздириш;
- 20-40 дақиқа давомида 130-140 °С да ушлаб туриш;
- вакуумда совутиш.



Бу технологиянинг афзаллиги махсус пленкаларни қўллаш орқали бошқа классик триплекслардан техник параметрларига кўра юқори хоссаларга эга бўлади. Камчилиги эса юқори таннархга эга бўлади.

Амалий машғулот вазифалари:

1-вазифа.

Адабиетлар ва Интернет-маълумотлардан фойдаланилган ҳолда тобланган листли шиша асосида триплекс ишлаб чиқаришнинг технологик тизимини тузинг.

2-вазифа.

Адабиетлар ва Интернет-маълумотлардан фойдаланилган ҳолда тобланган листли шиша асосида автомобил учун иситиладиган триплекс ойнаси ишлаб чиқаришнинг технологик тизимини тузинг.

Назорат саволлари:

1. Триплекс тайёрлаш учун ишлатиладиган шиша маркаларини келтиринг.
2. Триплекс тайёрлашда қандай боғловчилар ишлатилади?
3. Пленкали технология автоклавсиз технологиядан нимаси билан фарқ қилади?
4. Тўрт ва беш қаватли шишакомпозит тайёрлаш мумкинми?

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012. -98-101, 249-306 p.
2. Morgan P. Carbon fibers and their composites. - Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. Materials engineering; vol.27. - ISBN 0-8247-0983-7. 1153 p.
3. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. -319-350 p.

4. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering.An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 655-660 p.
5. ГОСТ 30826-2001. Межгосударственный стандарт. Стекло многослойное строительного назначения. Дата введения 2003-01-01.
6. [ГОСТ 111-2001](#) Стекло листовое. Технические условия
7. [ГОСТ 30698-2000](#) Стекло закаленное строительное. Технические условия.
8. [ГОСТ 30733-2000](#) Стекло с низкоэмиссионным твердым покрытием. Технические условия.
9. [ГОСТ 30779-2001](#) Стеклопакеты строительного назначения. Метод определения сопротивления атмосферным воздействиям и оценки долговечности.
10. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы. Учебное пособие. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, , 2011.- 82 с.

V. КЕЙСЛАР БАНКИ

1-КЕЙС

Тошкент шаҳрида жойлашган “Композит” қўшма корхонасида шиша толалар турига мансуб бўлган базальт толаси ишлаб чиқарилмоқда. Ишлаб чиқарилаётган базальт толаси анча арзон ва турли кўринишда ишлаб чиқарилади: узлуксиз иплар - алоҳида толалардан иборат; ровинг - параллел иплардан ташкил топган; қисқа толалар – ипдан ёки 5-50 ммли қисқа ровничадан иборат, бундан ташқари шишатола тўқима мато ёки тўқилмаган матлар кўринишида ҳам ишлаб чиқарилади.

Шиша тола ёки базальт толаси билан армировка қилинган смолалар курилишда ва саноатда кенг қўлланилади. Улар **шишапластик ёки GRP** деб номланади: бошқа конструкцион материаллар қопламалари сифатида, ёки юк ташимайдиган девор панеллари, структураларнинг таркибий қисмлари, дераза рамалари, цистерналар, труба ва трубопроводлар сифатида кенг қўлланилади. 1960-чи йиллардан бошлаб лодкалар корпуслари шишапластикдан ишлаб чиқарилмоқда.

Кимё саноатида ҳам шишапластиклар кенг қўлланилади – резервуарлар, трубопровод ёки технологик танклар сифатида. Бундан ташқари **шишапластиклар (GRP)** темир йўллари, автомобил транспорти, аэрокосмик саноатида ҳам ўз ўрнини топган.

Аммо намлик шиша толасининг мустаҳкамлигини кескин пасайтиради. Бундан ташқари шиша тола вақт давомида чарчашга учрайди: узоқ вақт давомида доимий кучланиш таъсир этган ҳолатда шиша тола таркибида ёриқлар тез ўсиши намоён этиши мумкин. Шунинг учун вақт ўтиш билан шиша толанинг механик хоссалари кескин пасайиб боради, аммо қисқа вақт давомида мустаҳкамлиги яхши ҳисобланади.

Кейси бажариш босқичлари ва топшириқлари:

“Композит” қўшма корхонасида ишлаб чиқариш маҳсулотлари турларини кенгайтириш мақсадида базальт (шиша) толаси асосида янги маҳсулот турларини таклиф этинг. Базальт (шиша)композитларнинг қўлланилиш имкониятларини чеклантирувчи муаммоларни аниқланг ва уларни ечиш йўллари белгиланг. Базальт (шиша) толали композитларнинг қўлланилиш соҳаларини таклиф этинг. Кейс ечимини жадвал шаклида келтиринг:

Муаммо тури	Келиб чиқиш сабаблари	Ҳал этиш йўллари	Қўлланилиш имкониятлари

2-КЕЙС

SHUTTLE (AQSH) ракета-ташувчининг эшиги ва корпуси углерод толали/эпоксид смола композитидан тайёрланган. Замонавий самолетлар, жумладан Boeing 787 (Dreamliner) фюзеляжи ва қанотлари углерод толаси / эпоксид композитлардан тайёрланиб келмоқда.

Бундай углерод толали/органик матрицали композитлар тан нархи қимматлиги билан ажралиб туради (углерод толасини синтез қилиш юқори ҳарорат ва босимларни талаб этади).

Углерод толалари – юқори мустаҳкамлик ва механик хоссаларни термик стабиллиги билан ҳарактерланади; улар инерт шароитда синтетик органик толаларни юқори ҳароратда ишлов бериш усули ёрдамида олинади (вискоза, полиакрилнитрил); дастлабки хом ашё турига қараб турли углерод толалар олиш мумкин: иплар, сим, мато, лента, войлок.

Ҳозирги вақтда углерод толаларнинг нархи доимий равишда пасайиб бормоқда, шунинг учун қўлланилиш соҳалари ҳам кенгайиб бормоқда. Углерод толали композитлар технологик жиҳозлар - турбина, компрессор, шамол тегирмонлари қанотлари, маховиклар тайёрлашда; медицинада эса – жиҳозлар ва имплантатлар (тизза суставлари) тайёрлашда қўлланилмоқда.

Демак, углерод толалари билан мустаҳкамлаштирилган углерод тола/органик матрицали композит материал юқори физик-кимёвий хусусиятларга эга.

Аммо углерод толалари билан мустаҳкамлаштирилган композит кучли анизотропияга эгаллиги муносабати билан унинг хоссалари турли йўналишларда бир хил эмаслиги келиб чиқмоқда. Бу эса композитнинг медицина ва техникада қўлланилиш имкониятларини қисқартирмоқда. Истеъмолчи томонидан композитнинг анизотропиясини камайтириш кераклиги талаб этилди.

Кейси бажариш босқичлари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгиланг (индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Композитнинг анизотропиясини камайтириш учун бажариладиган ишлар кетма-кетлигини белгиланг (жуфтликлардаги иш). 8-9– иловалардаги маълумотлардан фойдаланишингиз мумкин.

3-КЕЙС

Шиша тараққиёти жамият тараққиёти билан узвий боғлиқ. Унинг кўп хусусиятлари бор. Айниқса – шаффофлиги ҳамда пишиқлигидир. Шишадан турли хил уй рўзгор, безак буюмлари, техника асбоблари, иссиқлик ва товуш изоляцион материаллар ясалади. Шिशанинг кашф этилиши турли-туман шакллардаги бутилкалар, ҳар хил идишлар, вазалар, стакан, қадаҳлар қисқаси, турмуш учун зарур буюмларни кўплаб ишлаб чиқарилишига олиб келди.

Табиий шиша тарихи одамзод тарихидан катта. Вулқон отилиши, зилзила рўй бериши, момақалдиروق гумбирлаши каби табиат ҳодисалари табиий шишалар-обсидиан ва яшин шишаларининг ҳосил бўлишига сабабчи бўлган.

Марказий Осиё мамлакатларида ҳам шишасозлик қадимдан бошланган. Унинг тараққий етган даври ўрта асрларга тўғри келади. Машхур энстиклопедист олимлар Абу Райҳон Беруний, Абу Али ибн Сино, Абу Бакр Муҳаммад ибн Закриё ар-Розий асарларида келтирилган маълумотлар шишасозлик техникаси бу ерда қадимги Мисрдагига нисбатан юқорироқ савияда олиб борилганлигидан далолат беради.

Йигирманчи аср давомида Ўзбекистонда қатор шиша корхоналари қурилиб, ишга туширилди. Шулар жумласига Тошкент «Оникс» ва «АСЛ ОЙНА» ишлаб чиқариш бирлашмаси каби корхоналар киради. Бу корхоналарни ишга тушириш республика эҳтиёжлари учун керакли бўлган шиша маҳсулотларини (Расм) арзон ва кенг тарқалган маҳаллий хом ашёлар асосида ишлаб чиқариш имкониятини берди.





Шиша ишлаб чиқаришда материаллар иккита катта гуруҳга бўлинади: шиша ҳосил қилувчилар - улар қаторига олтингугурт, селен, маргимуш, фосфор, углерод каби элементлар; SiO_2 , FeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , As_2O_3 , BeF_2 каби оксид ва бирикмалар.

Якка ҳолда шишасимон ҳолатни ҳосил қилаолмайдиган элемент, оксид ва бошқа бирикмалар модификаторлар деб аталади. Уларга TiO_2 , TeO_2 , CeO_2 , MoO_3 , CoO_3 , Bi_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O кабилар киради. Бундай оксид ва бирикмалар шиша ҳосил қилувчилар иштирокида осонгина шишасимон ҳолатни вужудга келтиради. Улар иштирокида шихтанинг эриш температураси пасаяди. Лекин ҳосил бўлган аморф модданинг механикавий ва кимёвий хусусиятлари ҳам бироз камаяди.

Шихта таркибига кирувчи компонентлар сонининг ошиши шишасозликда ижобий рол ўйнайди. Масалан, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$, $\text{Me}_m\text{O}_n-\text{P}_2\text{O}_5-\text{B}_2\text{O}_5$ каби системалар асосида шиша осон ҳосил бўлади.

Силикат таркибли саноат шишаларида SiO_2 , CaO ва Na_2O билан бир қаторда MgO ва Al_2O_3 ҳам қатнашади. Магний оксиди шишаларининг кристалланишига бўлган лаёқатини бироз сусайтиради, алюминий оксиди эса уларнинг кимёвий турғунлигини таминлашга хизмат қилади. Шиша ҳосил қилувчи ва модификаторлар устида А.А. Аппен кўп тадқиқотлар олиб борган.

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:

Бу кейс стади усулида кўзланган мақсад – турли оксидларнинг композицион шиша материаллар яратишдаги ролини ўрганиш.

SiO_2 оксиди минерал сифатида қандай номланади ва фақат у асосида якка таркибли шиша материал олиш мумкин-ми?

SiO_2 оксиди асосида якка таркибли шиша материал ишлаб чиқаришдаги муаммоларни аниқланг ва ечимини таклиф этинг. Кейс ечимини жадвал шаклида келтиринг:

Муаммо тури	Келиб чиқиш сабаблари	Ҳал этиш йўллари

4-КЕЙС

Техника шишасининг тури жуда кўп. Унинг асосий маҳсулотлари қаторига қуйидагиларни кўрсатиш мумкин:

1. Кварц шишаси - шаффоф ва бўғиқ бўлади. Кварц шишасини ишлаб чиқаришда формуласи SiO_2 тўғри келадиган юқори даражадаги тоза тоғ биллури ёки Кварц кумларидан фойдаланади. Албатта, улар оғир темирли минераллар, дала шпати, слюда ва тупрокдан тозаланиши зарур. Натижада бойиган тоғ жинсининг кимёвий таркиби SiO_2 фойдасига ўзгаради ва майдаланган заррачаларнинг гранулометрик таркиби тузатилади. Ишлаб чиқаришда қўлланилаётган хом-ашё таркиби қуйидагича бўлади: SiO_2 99.6-99.7; P_2O_3 - 0.15-0.30, шу жумладан Fe_2O_3 0.002-0.003; CaO 0.05-0.08; MgO 0.03-0.05; P_2O 0.01-0.02 ва қиздирилгандаги йўқотиш 0.05-0.08%. Кварц шишаси ўта юқори термик ва электр бардошлиги билан ажралиб туради.

2. Оптика шишаси – оптика асбобларида қўлланиладиган крон, флинт ва бошқалар. Енгил кронлар - SiO_2 – 50-80 %, B_2O_3 – 10%, K_2O – 20% (базалари 12 % Ф). Кронлар – бор-силикатли шишалар, оғир кронлар эса бор-кремний ва барий оксидлари асосида синтез қилинади.

3. Электр вакуум ва электроника шишаси –радиоэлектроника соҳасида замонавий асбоб-ускунакарда кенг қўлланилади. Асосан алюминий-бор-силикат системалар асосида ишлаб чиқарилади. Юқори технологик ва эксплуатацион хоссаларига эга – кимёвий бардошлиги, механик мустаҳкамлиги, термик бардошлиги, юқори диэлектрик хоссалари ва вакуумга чидамлиги. Электрон техникасида B_2O_3 - PbO - ZnO , B_2O_3 - Al_2O_3 - ZnO , As-Fe-Se системасидаги шишалар (ситаллоцементлар) ҳам кенг қўлланилади.

4. Кимёвий - лаборатория шишаси - юпқа ва ёғон шишалар, лаборатория ва ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади: кимё, озик-овқат, медисина, фармасевтикада, лаборатория ва саноат асбобларида ва ҳ. Бу турдаги шишалар турли реагентлар таъсирига кимёвий бардошлиги, юқори термик бардошлиги билан ажралиб туради.

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:

- Кварц шишасини тара маҳсулотлар (бутилка ва шиша банкалар) ишлаб чиқаришда қўлланилиши мумкин-ми? Сабабларини келтиринг.
- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабаблар ва ҳал этиш йўллари жадвал асосида изоҳланг (индивидуал ва кичик гуруҳда).

Муаммо тури	Келиб чиқиш сабаблари	Ҳал этиш йўллари

5-КЕЙС

Кейс 5

Турли ёғочлардан олинган елимланган материаллар турлича физик-механик хоссаларни намоён қилади. Ўзбекистон шароитида қайси елимланган ёғоч материални ишлаб чиқариш ҳар тарафлама фойдали?

Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар:



VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ

Мустақил таълимни ташкил этишининг шакли ва мазмуни

Тингловчининг мустақил таълим иши муайян модулни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- меъёрий ҳужжатлардан, ўқув ва илмий адабиётлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- махсус адабиётлар ва интернет маълумотлар ёрдамида модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш;
- танланган мустақил таълим мавзуси бўйича материал тўплаш ва тақдимот тайёрлаш (рус, ўзбек ёки инглиз тилида);
- махсус автоматлаштирилган дастурлар (EXCEL, AUTOCAD) ёрдамида материал таркибини тузиш (8-иловада мисол келтирилган), унинг хоссаларини автоматик тарзда ҳисоблаш ва режалаштириш, ишлаб чиқаришдаги ускуналарни тузилишини ўрганиш.

Мустақил таълим мавзулари

1. Сунъий ва табиий композицион материаллар.
2. Композицион материаллар структура тузилиши, структура ўрганишда замонавий физик кимёвий таҳлил усуллари.
3. Нометаллар асосида композицион материаллар.
4. Кукун металлургия усули ёрдамида композицион материаллар ишлаб чиқариш.
5. Пўлатлар ишлаб чиқаришда феррит-цемент композициялар.
6. Металл кукунлар, уларнинг хоссалари ва қўлланилиш имкониятлари.
7. Толали композицион материаллар.
8. Шишапластиклар ишлаб чиқариш жараёни.
9. Шиша арматураси ишлаб чиқариш жараёни.
10. Триплекс тузилиши, хоссалари ва ишлаб чиқариш технологик жараёни.
11. Мустаҳкамлаштириш компонентлар: толалар турлари ва хоссалари.

12. Углерод толалари асосида замонавий композицион материаллар.
13. Биоккомпозитлар, уларнинг қўлланиш имкониятлари.
14. Композицион материаллар ишлаб чиқаришда матрица материаллари.
15. Композицион материаллар ишлаб чиқаришда полимерларнинг ўрни.
16. Полимер матрицали композицион материаллар ишлаб чиқариш технологик жараёни.
17. Керамик матрицали композицион материаллар ишлаб чиқариш технологик жараёни.
18. Металл матрицали композицион материаллар ишлаб чиқариш технологик жараёни.
19. Ёғоч-елим композицияларининг турлари
20. Елимланган ёғочда ёғочга қўйиладиган талаблар
21. Елимланган ёғочда елимга қўйиладиган талаблар
22. Елимланган ёғочни тайёрлаш жараёнига қўйиладиган талаблар
23. Елимланган ёғочдан фойдаланишда қўйиладиган талаблар
24. Елимланган ёғочдаги механик кучлар
25. Елимланган ёғочдаги кимёвий боғлар
26. Елимланган ёғочдаги адгезия кучлари
27. Елимланган ёғочдаги когезия кучлари
28. Ёғочнинг анизотропияси ва унинг елимланган материаллар олишда инобатга олиниши

VII. ГЛОССАРИЙ

Термин	Ўзбек тилидаги шарҳи	Инглиз тилидаги шарҳи
<i>Композицион материал</i>	Ишлаб чиқарилган, икки ёки кўпроқ физикавий ва/ёки кимёвий ҳар хил бўлган, матрица (интерфейс) ичида тартибли жойлашган фазалардан ташкил топган материал.	It is manufactured, it consists of two or more physically and/or chemically distinct, suitably arranged or distributed phases with an interface separating them.
<i>Матрица, интерфейс</i>	Композицион материалнинг бир бутунлигини таъминловчи боғловчи компонент	The binding material ensuring the integrity of the structure
<i>Матрица материаллари</i>	Металл, керамика, полимер	Metal, ceramics, polymer
<i>Боғловчи материалнинг вазифаси</i>	Маҳсулотга маълум геометрик шакл бериб, кучланишларни ҳажм бўйича бир хил тақсимланишини таъминлайди ва маълум механик хоссани шакллантиради, ҳамда арматура ёки қўшимчаларни ташқи муҳитдан сақлайди.	Gives the material the necessary geometric shape, distributes the load evenly throughout the volume, keeps the armature or fillers from the effects of the environment
<i>Композитнинг мустақамлигини оширадиган компонент</i>	Мустақамлаштирувчи компонент, армировка материали, арматура	reinforcement material, reinforcement
<i>Нол-ўлчамли қўшимчалар</i>	Улчами уч йўналишда кичик бўлган қўшимчалар - қум, майда (кукун) доначаларга эга бўлган металллар, фосфатлар, шиша ва лойсимон микросфера шаклдаги материаллар.	The dimensions of the reinforcing additive is very small in all 3 directions – the particles of sand, metal powders, phosphates, glasses, materials with forms of clay microspheres
<i>Бир ўлчамли қўшимчалар</i>	Толасимон тўлдирувчилар, арматура элементлари, калта толали табиий материаллар - асбест, ўсимлик материаллари, толасимон кристаллар (алюминий нитрид, бериллий оксиди, бор карбиди, кремний нитриди), узун толали ҳар хил органик бирикмалар.	Fiber shaped elements, fittings, short natural fiber materials- asbestos, plant materials, fiber-shaped crystals (aluminum nitride, berilliy oxide, boron carbide, and silicon nitride), different length fiber of organic compounds.
<i>Икки ўлчамли тўлдирувчилар</i>	Ленталар, матолар, матлар, тўрсимон элементлар.	Tapes, mats, fabrics, nets

		elements.
Изотроп композицион материал	Материалларнинг хоссалари ҳамма йўналишда бир хил булиши керак.	Material properties in all directions are the same.
Изотроп композитлардаги мустақлаштирувчи и компонент	Дисперс ҳолдаги мустақлаштирувчи компонентлар: микро- ва нанозаррачалар.	Dispersed reinforcing components: micro-and nanopowders.
Анизотроп композицион материал	Материалларнинг турли йўналишлардаги хоссалари фарқ қилади.	Material properties in all directions different
Анизотроп композитлардаги мустақлаштирувчи и компонент	Арматура сифатида толалар, пластинкалар, матолар, тўрлар маълум йўналишда жойлаштирилган бўлади.	As reinforcement in a particular order fibers, plates, fabrics, nets are arranged
Полиармировка қилинган композитлар.	Икки ва ундан кўп турдаги мустақлаштириш тўлдиргичлари қўлланилган композицион материаллар.	Composite materials, reinforced by two or more types of reinforcers
Дисперс-мустақлаштирилган композицион материаллар	Матрица оғирлик ва мустақламликни таъминловчи асосий элемент, дисперс заррачаларнинг улчамлари 0,01...0,1 мкм	The matrix provides strength and weight, the particle size of 0,01... 0,1 μm
Дисперс-мустақлаштирилган композицион материаллар	Изотроп хусусиятларга эга материал	Isotropic material
Дисперс-мустақлаштирилган композицион материалларни ишлаб чиқариш усуллари	Кукун металлургия усуллари ёки суюқ металл таркибига қуйиш олдида тўлдиргичлар қўшиш усуллари ёрдамида ишлаб чиқарилади.	Powder metallurgical methods, the method of adding additives to liquid metal before casting
Куйдирилган алюминий кукун (САП)	Алюминий матрицаси ва 18%гача алюминий оксиди заррачаларидан иборат бўлади	Consists of a matrix of aluminum with additions of up to 18% of particles of aluminum oxide

<i>Никель асосида тайёрланган композитлар</i>	Матрица сифатида никель ва унинг хром билан қотишмалари қўлланилади (хромнинг миқдори - 20%гача), мустаҳкамлаштириш компонентлари - торий ва гафний оксидлари.	As the matrix involved Nickel and its chromium alloy (chromium content up to 20%), reinforcing components – thorium and hafnium oxides
<i>Бор толлари</i>	Юқори мустаҳкамлик, қаттиқлик, юқори ҳароратда бузилишга чидамли; 70...200 мкм диаметрига эга; улар металллик ва полимер матрицалани армировка қилиш учун қўлланилади	Have high strength, hardness, are not destroyed at high temperature, diameter 70...2000 μm, are used for reinforcement of metal and polymer matrix
<i>Углерод толлари</i>	Юқори мустаҳкамликга эга, механик хоссалари термик барқарор; алюминий ва магнийни армировка қилиш учун қўлланилади;	Have high strength, mechanical properties resistant to the temperatures; used for the reinforcement of aluminum and magnesium
<i>Керамик толлалар</i>	Оксид, нитрид, карбидлар асосида тайёрланади, юқори қаттиқлик, мустаҳкамлик ва термик барқарорликга эга; алюминий ва магнийни армировка қилиш учун қўлланилади	Are made of oxides, nitrides, carbides; have high hardness, strength and heat resistance; used for the reinforcement of aluminum and magnesium
<i>Шишатола</i>	Мустаҳкамлик, термик бардошлик, диэлектрик хоссаларга ва паст иссиқлик ўтказувчанликга эга; иссиқлик изоляция материаллар, конструкцион материаллар ишлаб чиқаришда қўлланилади.	Have strength, heat resistance, dielectric properties and low thermal conductivity, used in the manufacture of insulating and structural materials
<i>“E –glass” (E-шиша)</i>	Электрик толлалар белгиланади, Е-шиша яхши электр изолятор, яхши механик ва эластиклик модулига эга	Electric fiber, E-glass is a good insulator, has good mechanical elastic properties
<i>“C –glass” (C-шиша)</i>	Коррозия турдаги толлалар белгиланади, C-шиша юқори кимёвий коррозияга бардошлиги билан тавсифланади;	Corrosion fiber, C-glass has high chemical resistance
<i>“S –glass” (S-шиша)</i>	Энг юқори термик ва оловбардошликга эга шишалар	Have the highest temperature resistance and refractoriness
<i>Кевлар-29 арамид толаси</i>	Канатлар, кабеллар, қопламали матолар, архитектура матолари ва баллистик ҳимоя матолари - бронезилетлар ишлаб чиқаришда қўлланилади	Used in the manufacture of ropes, cables, protection fabrics, architectural fabrics and fabrics for ballistic protection of body - armor

Гетинакс	Қатламли композит, таркибида қоғоз ва смола мавжуд (фенолоформальдегид ёки б.).	Layered composite, composed of paper and resin (phenol formaldehyde, etc.)
Ёғоч-қатламли пластиклар (ДСП)	Фенолоформальдегид ва крезолоформальдегид смола матрицаси/ёғоч шпонидан иборатдир.	Consists of phenolformaldehyde and cresol formaldehyde resin/veneer
Матрица	Материалнинг бутун жажми бўйича узлуксиз жойлашган компонент аталади.	Component located continuously throughout the volume of the material
Армировка компонентлари	Конструкция композитларда асосан керакли механик хусусиятларни (мустаҳкамлик, қаттиқлик ва б.) таъминлайди	Provide in composite materials the necessary mechanical properties (strength, hardness, etc.)
Терморреактив полимерлар	Полимер занжири ҳосил бўлаётганда қотиш реакцияси ҳам содир бўлади. Бу реакциялар махсус кимёвий моддалар таъсирида, ёки иссиқлик ва босим таъсирида, ёки мономерларга электронлар оқимини таъсир этиш натижасида содир бўлади.	During the formation of the polymer chain occurs in the hardening reaction. The hardening reaction can be initiated using the appropriate chemicals or by applying heat and pressure, or by exposure to a monomer to an electron beam.
Термопластлар	Полимерлар температура ва босим таъсирида оқувчанлик эга бўладилар ва иссиқлик таъсирида юмшоқ ёки пластик ҳолатга ўтадилар. Хона ҳароратигача совутилганда бундай полимерлар ҳам қотади.	Polymers that flow when exposed to temperature and pressure, i.e., they soften or become plastic when heated. After cooling to room temperature, the thermoplastic solidifies.
Полимер матрицали композитлар	Тайерлашда асосан полиэфир, эпоксид ёки фенолоформальдегид боғловчилар қўлланилади, булар қотган ҳолатда етарли мустаҳкамликга эга.	For the manufacture of polymer - matrix composites most commonly used polyester, epoxy or phenol-formaldehyde binder, as the most efficient, with reasonably high strength properties in the cured state
Термопластик полимерлар	Ҳарорат таъсирида юмшайдиган ёки эрийдиган полимерлар, бу турга паст ва юқори зичликдаги полиэтилен, полистирол ва полиметилметакрилатлар киради.	Polymers that soften or melt when heated; examples include polyethylene low and high density, polystyrene and polymethylmethacrylate.
Полимерларнинг оловбардошлиги	Қўйидагиларга боғлиқ бўлади:	Depends on the surface flame spread and penetration of fuel

	олов тарқалиш майдони, ёқилғини таъсири ва кислород индекси.	and oxygen index.
Кислород индекси (LOI)	Ёниш давом этиш учун зарур бўлган кислороднинг минимал қийматини белгилайди.	The minimum amount of oxygen that will support combustion.
Полимер матрицали композитларда термопластик матрицалар	Полипропилен, нейлон, термопластик полиэфирлар (ПЭТ, ПБТ) ва поликарбонатлар, полиамид имид, полифениленсульфид (ПФС), полиарилсульфон (polyarylsulfone) ва полиэфир-эфиркетон кетонлардир (PEEK).	Polypropylene, nylon, thermoplastic polyesters (PET, PBT), and polycarbonates, polyamide imide, Polyphenylene sulfide (PPS), polyarylsulfone (polyarylsulfone) and polyester-etherketone ketone (PEEK).
Металлар кристалл сингониялари	Асосан 3 та кристалл сингонияларда кристалланади: <ul style="list-style-type: none"> • ёнлари марказлашган кубик (ГЦК) • ҳажми –марказлашган кубик (ОЦК) • олтибурчакли зич упаковка қилинган (НСР) 	Most often, one of the following three crystalline forms: <ul style="list-style-type: none"> • face-centered cubic (FCC) • body-centered cubic (BCC) • Hexagonal close-Packed (HCP)
Металл матрицали композитларнинг турлари	3 тури мавжуд: <ul style="list-style-type: none"> • Дисперс-мустаҳкамлаштирилган ММК • қисқа тола ва мўйловлар билан армировка қилинган ММК • узлуксиз тола ва листлар илан армировка қилинган ММК. 	<ul style="list-style-type: none"> • particle-reinforced MMCs • MMCs reinforced with short fibers or whiskers • MMCs reinforced with continuous fibre or sheet reinforced MMCs
Эвтектик композицион материаллар	Эвтектик таркибли композитлар, мустаҳкамлаштирувчи фаза сифатида масса таркибида йўналтирилган кристаллизация жараёнлари натижасида ҳосил бўлган кристаллар хизмат қилади.	Alloys of eutectic composition, in which the reinforcing phase are oriented crystals, which are formed by directional solidification.
Шиша керамик материаллар	Ҳажм бўйича 95-98 фоизи кристалл фазадан, қолган қисми эса шиша фазадан иборат бўлади.	They form a sort of composite material, as they consist by volume of 95-98% crystalline phase, and the rest submitted to the glassy phase. Crystalline

	Кристалл фаза ўта нозик (заррачалар диаметри 100 нмдан кичик) структурага эга.	phase is very fine (grain size less than 100 nm in diameter).
Керамика	Грекча <i>keramike</i> (юнонча <i>keramos</i>) – тупроқ	From ancient Greek (<i>keramos</i>) - clay
Керамика материали	Табиий тупроқ ёки тупроқ билан турли минераллар аралашмасидан ҳосил қилинган лойни пишитиб, куйиб, қуритиб ва кейин қаттиқ қиздириб ҳосил қилинган маҳсулот	The product of high temperature calcination of a mixture of natural clay and other minerals
Шиша	Кимёвий таркиб ва қотиш температурасига боғлиқсиз равишда юқори ҳарорат таъсирида ҳосил қилинган эритмани ўта совитиш орқали олинадиган қаттиқ жисмларнинг ҳоссаларини қабул қилинадиган барча аморф жисмлар.	Amorphous solids obtained by quenching the melt irrespective of the chemical composition and the solidification temperature.
Оловбардош буюм	Керамика технологияси бўйича ишлаб чиқарилган, ўтхона ва печлар қуришда ишлатиладиган, оловбардошлиги 1580°C дан кам бўлмаган керамика буюми.	The product obtained by ceramic technology and used in the furnaces and high temperature furnaces construction, it's fire resistance not less than 1580°C
Техника керамикаси буюми	Керамика технологияси асосида ясалган ўтказгич, ярим ўтказгич, изолятор, махсус хоссали (магнит, оптик, электрик) буюм ва бошқалар	A conductor, semiconductor, insulator or a product with special properties (magnetic, optical, electrical) obtained by ceramic technology.
Керамик матрицали композитлар ишлаб чиқаришда иссиқ прессилаш жараёни	Бир вақтнинг ўзида матеиалга юқори ҳарорат ва босимни таъсир этиш натижасида зич структурали, ғоваксиз ва майда заррачали композиция ҳосил бўлади.	The simultaneous application of pressure and high temperature can accelerate the rate of densification and allows to obtain non-porous and fine-grained structure.
Керметлар	Металл заррачалар билан мустаҳкамлаштирилган керамика юқори механик мустаҳкамлик, иссиқлик зарбга бардошлиги, юқори иссиқлик ўтказувчанликга эга.	Reinforcement of ceramic dispersed metal particles leads to new materials (cermet) with increased resistance, resistance relative to thermal shock, high thermal conductivity.

<i>Керметлар қўлланилиш соҳалари</i>	Юқори ҳароратли керметлар асосида газ турбиналар деталлари, электр печлар арматураси, ракета ва реактив техника деталлари тайёрланади. Қаттиқ ишқаланишга чидамли керметлар қирқиш инструмент-лари ва деталлари тайёрлашда кенг қўлланилади.	High temperature cermets used to make parts for gas turbines, valves furnaces, parts for rocket and jet technology. Hard ware resistant cermets are used to manufacture the cutting tools and parts.
<i>OSB</i>	Ориентирланган қириндили плиталар	Oriented strand board
<i>MDF</i>	Ўртача зичликдаги ёғоч толали плиталар	Medium Density Fibreboard
<i>Фанера</i>	шпон қатламларидан пресслаб олинadиган плита материали	the tiled material received by pressing of layers of an interline interval
<i>Ёпишқоқлик</i>	елим юзасининг асос юза билан таъсирлашиши	interaction of a surface of glue with a basis surface
<i>Дисперс боғланиш</i>	Бир-бирига жуда яқин жойлашган молекулалар ўртасидаги боғланиш	Communications between very closely located molecules
<i>Водород боғланиш</i>	Водород атомининг иккита кутбланган гуруҳга тақсимланиши натижасида ҳосил бўладиган боғланиш	Communication, formed in a consequence of division of atom of hydrogen into two polar groups
<i>Паренхим хужайралари</i>	Ёғочдаги чўзинчоқ бўлмаган хужайралар (ўзак нурлари, смола йўллари ва ҳ.к.)	the wood cages (beams, the pitch courses, etc.) which aren't extended on length

VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

Махсус адабиётлар

1. Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Third Edition. Springer Science, New York-London, 2012.- 542 p.
2. D.R. H. Jones, Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing. Fourth Edition. Elsevier, UK, 2012. -576 p.
3. William D.Callister, Jr., David G.Rethwisch. Materials Science And Engineering. An Introduction. Eight Edition. USA, Wiley, 2010.- 1000 p.
4. Roger M. Rowell. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press; 2 edition; 2012, 703 p. ISBN-13: 978-1439853801.
5. Harold A. Wittcoff, Bryan G. Reuben, Jeffery S. Plotkin. Industrial Organic Chemicals. UK, 2008. 848 p.ISBN-10: 0470537434.
6. Donald G. Baird, Dimitris I. Collias. Polymer Processing: Principles and Design, 2nd Edition, USA, 2014. ASIN: B010WF8PF4
7. Lang R.W. Woodworker's Guide to SketchUp (DWD-ROM). USA, 2015.
8. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы. Учебное пособие. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011.-82 с.
9. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов. – М. : Профессия, 2010. – 224 с.
10. Нано и биоккомпозиты/под ред. А. К.-Т. Лау, Ф. Хуссейн, Х. Лафди ; пер. с англ. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 390 с.

Интернет ресурслар

1. www.sciencedirect.com
2. doi:10.3390/ma7031927
3. www.elsevier.com
4. <http://wiley.com>
5. [www. Ziyonet. uz](http://www.Ziyonet.uz)
6. Infocom.uz электрон журнали: www.infocom.uz
7. <http://link.springer.com/article>

IX. ИЛЖОБАЛАР

ИЛЖОБА 1

Trade Names, Characteristics, and Typical Applications for a Number of Plastic Materials

<i>Material Type</i>	<i>Trade Names</i>	<i>Major Application Characteristics</i>	<i>Typical Applications</i>
		<i>Thermoplastics</i>	
Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)	Abson Cycolac Kralastic Lustran Novodur Tybrene	Outstanding strength and toughness, resistant to heat distortion; good electrical properties; flammable and soluble in some organic solvents	Refrigerator linings, lawn and garden equipment, toys, highway safety devices
Acrylics [poly(methyl methacrylate)]	Acrylite Diakon Lucite Plexiglas	Outstanding light transmission and resistance to weathering; only fair mechanical properties	Lenses, transparent aircraft enclosures, drafting equipment, outdoor signs
Fluorocarbons (PTFE or	Teflon TFE) Fluon Halar	Chemically inert in almost all environments, excellent electrical properties; low coefficient of friction; may be used to 260°C (500°F); relatively weak and poor cold-flow properties	Anticorrosive seals, chemical pipes and valves, bearings, antiadhesive coatings, high-temperature electronic parts
Polyamides (nylons)	Nylon Baylon Durethan Heriox Nomex Ultramid Zytel	Good mechanical strength, abrasion resistance, and toughness; low coefficient of friction; absorbs water and some other liquids	Bearings, gears, cams, bushings, handles, and jacketing for wires and cables
Polycarbonates	Calibre Iupilon Lexan Makrolon Merlon	Dimensionally stable; low water absorption; transparent; very good impact resistance and ductility; chemical resistance not outstanding	Safety helmets, lenses, light globes, base for photographic film
Polyethylenes	Alathon Alkathene Fortiflex Hi-fax Petrothene Rigidex Rotothene Zendel	Chemically resistant and electrically insulating; tough and relatively low coefficient of friction; low strength and poor resistance to weathering	Flexible bottles, toys, tumblers, battery parts, ice trays, film wrapping materials
Polypropylenes	Herculon Meraklon Moplen Poly-pro Pro-fax Propak Propathene	Resistant to heat distortion; excellent electrical properties and fatigue strength; chemically inert; relatively inexpensive; poor resistance to UV light	Sterilizable bottles, packaging film, TV cabinets, luggage
Polystyrenes	Carinex Dylene Hostyren Lustrex Styron Vestyron	Excellent electrical properties and optical clarity; good thermal and dimensional stability; relatively inexpensive	Wall tile, battery cases, toys, indoor lighting panels, appliance housings

Vinyls	Darvic Exon Geon Pliovic Saran Tygon Vista	Good low-cost, general-purpose materials; ordinarily rigid, but may be made flexible with plasticizers; often copolymerized; susceptible to heat distortion	Floor coverings, pipe, electrical wire insulation, garden hose, phonograph records
--------	--	---	--

(Continued)

<i>Material Type</i>	<i>Trade Names</i>	<i>Major Application Characteristics</i>	<i>Typical Applications</i>
Polyesters (PET or PETE)	Celnar Dacron Eastapak Hylar Melinex Mylar Petra	One of the toughest of plastic films; excellent fatigue and tear strength, and resistance to humidity, acids, greases, oils, and solvents	Magnetic recording tapes, clothing, automotive tire cords, beverage containers
<i>Thermosetting Polymers</i>			
Epoxies	Araldite Epikote Epon Epi-rez Lekutherm Lytex	Excellent combination of mechanical properties and corrosion resistance; dimensionally stable; good adhesion; relatively inexpensive; good electrical properties	Electrical moldings, sinks, adhesives, protective coatings, used with fiberglass laminates
Phenolics	Bakelite Amberol I Aroclene Durite	Excellent thermal stability to over 150°C (300°F); may be compounded with a large number of resins, fillers, etc.; inexpensive	Motor housings, telephones, auto distributors, electrical fixtures
Polyesters	Aropol Baygal Derakane Laminac Selectron	Excellent electrical properties and low cost; can be formulated for room- or high-temperature use; often fiber reinforced	Helmets, fiberglass boats, auto body components, chairs, fans

Source: Adapted from C. A. Harper (Editor), *Handbook of Plastics and Elastomers*. Copyright © 1975 by McGraw-Hill Book Company. Reproduced with permission.

Полимер боғловчиларнинг таркиби ва қотириш режимлари

№ п/г	Смола (мас. ч.)	Ускоритель (мас. ч.)	Пластификатор (мас. ч.)	Отвердитель (мас. ч.)	Отверждение
1	ЭД-20 100		ПН-1 20	ПЭПА 10-20	24 часа
2	КЕ 100	ДБФ 20	–	ПЭПА 10	1 час
3	ЭД-20 (КЕ) 100	–	ПН-1 20	ТЭАТ 10	1,5–2 часа при 100°С
4	КЕ 100	–	ПН-1 20	МА 20	5 часов
5	ПН-1 100	НК 8–10	Гипериз 3–5	–	1 час при 60°С
6	ПН-1 100	НК 0,4–0,5	ПМЭК 1	–	2–2,5 часа при 20°С
7	ПН-1 100	НК-1 1–8	ПМЭК 3	–	2–2,5 часа при 20°С
8	ФФС 100	–	–	МА 3	Ступенчатое: 1 ча при 50–95°С; 90–110°С; 105–98°С

Полимер материалларнинг зичлиги

Модда	Плотность, г/см ³
Полиэфирная смола (ПН-1)	1,148
Эпоксидная смола (ЭД)	1,166
Компаунд эпоксидный (КЕ)	1,314
Триэтоламинотитанат (ТЭАТ)	1,370
Полиэтиленполиамин (ПЭПА)	1,076
Гидроперекись изопропилбензола (гирпериз)	1,060
Дибутилфталат (ДБФ)	1,042–1,049
Полиметилэтилкетон (ПМЭК)	1,060
Нафтенат кобальта (НК)	0,920

Баъзи полимерларнинг ёниш характеристикаси

Полимеры	Поведение материала при внесении в пламя и горючесть	Характер пламени	Запах
Полиэтилен (ПЭ)	Плавится течет по каплям, горит хорошо, продолжает гореть при удалении из пламени.	Светящееся, вначале голубоватое, потом желтое	Горящего парафина
Полипропилен (ПП)	То же	То же	То же
Поликарбонат (ПК)	То же	Коптящее	
Полиамид (ПА)	Горит, течет нитью	Синеватое снизу, с желтыми краями	Паленых волос или горелых растений
Полиуретан (ПУ)	Горит, течет по каплям	Желтое, синеватое снизу, светящееся, серый дым	Резкий, неприятный
Полистирол (ПС)	Самовоспламеняется, плавится	Ярко-желтое, светящееся, копящее	Сладковатый цветочный, с оттенком запаха стирола
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	Горит, капает	Желто-оранжевое, копящее	Сладкий, ароматный
Эпоксидная смола (ЭД)	Горит хорошо, продолжает гореть при удалении из пламени	Желтое копящее	Специфический свежий (в самом начале нагревания)
Полиэфирная смола (ПН)	Горит, обугливается	Светящееся, копящее, желтое	Сладковатый
Поливинилхлорид жесткий (ПВХ)	Горит с трудом и разбрасыванием, при удалении из пламени гаснет, размягчается	Ярко-зеленое	Резкий, хлористого водорода
ПВХ пластифицированный	Горит с трудом и при удалении из пламени, с разбрасыванием	Ярко-зеленое	Резкий, хлористого водорода
Фенолоформальдегидная смола (ФФС)	Загорается с трудом, горит плохо, сохраняет форму	Желтое	Фенола, формальдегида

Полимер материалларнинг эриш хусусиятлари

Полимеры	Растворители					
	бензин	ацетон	этиловый спирт	вода	уксусная кислота	соляная кислота (конц.)
Фенолоформальдегидная смола (ФФС)	НР	Р	Р	НР	НР	–
Эпоксидная смола (ЭД)	НР	Р	Р	НР	–	–
Полиэфирная смола (ПН)	НР	Р	Р	НР	НР	НР
Полиамид (ПА)	НР	НР	НР	НР	Р	НР
Поливинилхлорид (ПВХ)	НР	НР	НР	НР	НР	НР
Полистирол (ПС)	НР	НБ	НР	НР	НР	НР
Полиэтилен (ПЭ)	НР	НР	НР	НР	НР	–

Примечание. Р – растворим, НР – нерастворим, НБ – набухает, – – нет сведений.

Либерман – Шторх – Моравский реакцияси бўйича полимерлар ёниш реакцияси

Окраска	Полимеры
Слабо-розовая	Феноло-формальдегидные, феноло-фурфурольные
Розовая, переходящая в красную	Эпоксидные смолы
Медленно синеет, затем зеленеет	Поливинилхлорид
Отсутствует, иногда коричневая	Полиэфирные смолы
Отсутствует	Полиэтилен, полипропилен, поликарбонат, полиамид, полистирол, полиметилметакрилат, мочевино- и меламино-формальдегидные смолы, акрило-бутадиен-стирольные пластики

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Ceramics International 40 (2014) 1029–1035

CERAMICS
INTERNATIONALwww.elsevier.com/locate/ceramint

Novel akermanite-based bioceramics from preceramic polymers and oxide fillers

Enrico Bernardo^{a,*}, Jean-François Carlotti^a, Pedro Mendanha Dias^a, Laura Fiocco^a,
Paolo Colombo^{a,b},
Laura Treccani^c, Ulrike Hess^c, Kurosch Rezwan^c

^aDipartimento di Ingegneria Industriale, University of Padova, Italy^bDepartment of Materials Science and Engineering, The Pennsylvania State University, USA^cAdvanced Ceramics Group, Faculty of Production Engineering, University of Bremen, Germany

Received 19 April 2013; received in revised form 6 June 2013; accepted 26 June 2013

Available online 2 July 2013

Abstract

Akermanite ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) ceramics have been successfully prepared by a novel approach, consisting of the heat treatment of silicone resins embedding MgO and CaO precursors, in the form of micro- and nano-sized particles, that act as reactive fillers. Phase purity was promoted by the use of nano-sized particles or by secondary additives, such as sodium borate. The use of hydroxyapatite as additional filler allowed the fabrication of monoliths with good specific mechanical properties, although with a complex phase assemblage. Sodium borate, besides favoring the crystallization of the desired silicate, promoted a substantial and homogeneous foaming of polymer/filler mixtures, leading to akermanite foams possessing good compressive strength.

© 2013 Elsevier Ltd and Techna Group S.r.l. All rights reserved.

Keywords: B. Porosity; D. Silicate; E. Biomedical applications; Polymer-derived ceramics

1. Introduction

The CaO–SiO₂ system has been widely demonstrated to provide excellent biomaterials, in the form of glasses (bioglasses [1]), glass-ceramics (e.g. wollastonite–apatite glass-ceramics [2]) and polycrystalline ceramics (e.g. wollastonite polymorphs, di-calcium silicate etc. [3–5]). The investigations concerning the most recent bioceramics, however, have underlined the possible improvements in bone-like apatite-formation ability and bioactivity associated with the presence of additional oxides [6].

MgO has been always recognized as a key secondary oxide in bioceramics, being already present in the formulation for wollastonite-based glass-ceramics [2] and some bioglasses [1]. Another interesting contribution of this oxide concerns the formation of new phases, i.e. Ca–Mg silicates, in polycrystalline ceramics, which are the object of a growing interest by researchers [7–12].

Akermanite, $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ (or $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$), is the most reported bioactive Ca–Mg silicate, together with diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, or $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$). Compared to those based on wollastonite, ceramics based on Ca–Mg silicates are generally stronger and are subjected to a slower degradation in body fluids; in addition, the ionic products may stimulate cell proliferation [9].

In the present work, akermanite ceramics are fabricated following a novel approach, based on silicone resins, filled with micro- or nano-sized oxide particles [13]. According to this method, the fillers directly react with the product of oxidative decomposition of the resins, consisting of amorphous silica, possessing a particularly defective network and consequently prone to very favorable reaction kinetics. A distinctive feature of preceramic polymers, including silicones, is that a component may be shaped in the polymeric form using plastic forming technologies and later converted into a ceramic; applied to silicones embedding CaO precursors (mainly CaCO_3) this concept has already led to several examples of wollastonite cellular ceramics, including 3D scaffolds [14]. In the case of akermanite, we will show firstly the conditions

*Corresponding author.

E-mail address: enrico.bernardo@unipd.it (E. Bernardo).

for the synthesis of the desired phase in condition of high purity and relatively low processing temperature and secondly the fabrication of highly porous components through the use of fillers able to perform a double role, i.e. they both react with the silicone residue to give the desired crystalline phases and act as foaming agents.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Two commercially available silicones, MK and H62C (Wacker-Chemie GmbH, Munich, Germany) were used as silica sources. MK is a powder, while H62C is a highly viscous liquid. The polymers were first dissolved in isopropanol and then mixed with micro- and nano-sized fillers, consisting of CaO and MgO precursors (primary fillers). CaO was provided by CaCO_3 , in form of microparticles ($< 10 \mu\text{m}$, Sigma Aldrich, Gillingham, UK) or nanoparticles (PlasmaChem, Berlin, Germany, 90 nm), whereas MgO came from $\text{Mg}(\text{OH})_2$ microparticles ($< 10 \mu\text{m}$, Industrie Bitossi, Vinci, Italy) or MgO nanoparticles (Inframat Advanced Materials, Manchester, CT, USA, 30 nm). Selected formulations comprised also hydroxyapatite (later referred to as HAp; P260 S, Plasma Biotel Ltd, Tideswell, UK, $d_{50} = 3 \mu\text{m}$) and borax (sodium borate decahydrate, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Normapur Prolabo, France) microparticles. The balance among the most important constituents (silicones/CaO precursor/MgO precursor) followed the stoichiometric $\text{SiO}_2/\text{CaO}/\text{MgO}$ molar proportions of akermanite (i.e. $\text{SiO}_2/\text{CaO}/\text{MgO} = 2/2/1$). Isopropanol was used in an amount of 20 ml for every 10 g of starting materials.

The mixing was performed under magnetic stirring, followed by ultrasonication for 10 min, which allowed to obtain stable and homogeneous dispersions, later cast in large glass containers and left to dry overnight at 80 °C.

2.2. Preparation of monoliths and foams

Monoliths were prepared using both polymers as silica source. More precisely, 50 wt% of SiO_2 was due to MK, 50 wt% to H62C; given the relative silica yield (0.84 for MK,

0.58 for H62C), the polymers were used in the weight proportion $\text{MK}/\text{H62C} = 2/3$. This solution for silica precursors was chosen after preliminary experiments concerning other silicates and alumino-silicates, such as wollastonite and cordierite [14,15]. Besides CaO and MgO precursors, some samples featured HAp as additional filler, in an amount ranging from 25 to 75 wt%. After drying at 80 °C in a glass container, the silicone/filler mixtures were heated at 200 °C (in order to favor the cross-linking of H62C, in analogy with previous experiences [15]), for 1 h, and then manually ground into fine powders by pestle and mortar. The powders were cold-pressed in a cylindrical steel die applying a pressure of 40 MPa for 2 min, without using any binder. Disc specimens with a diameter of 20 mm and thickness of approximately 1 mm were obtained and heat treated at 900–1100 °C for 1 h; the heating rate was 2 °C/min. For a selected formulation, the powders were pressed into a tile with dimensions of approximately 50 mm \times 35 mm \times 4 mm, by using a bigger die. After ceramization, the tile was cut into small beams of approximately 43 mm \times 3 mm \times 4 mm, later polished and chamfered, up to a 5 μm finish, by using diamond tools.

Foams were prepared by using only the H62C polymer, to which $\text{Mg}(\text{OH})_2$ micro-particles, CaCO_3 micro- or nano-sized particles, and borax (5 and 15 wt% of the theoretical ceramic yield of the other components) were added. The use of H62C as the only silica source was aimed at maximizing the rheological behavior of the mixtures (in turn due to the fact that H62C is liquid at room temperature) [15]. After first drying at 80 °C, the H62C-based mixtures were in the form of thick pastes, later manually transferred into Al molds, where they were subjected to a treatment at 350 °C in air (direct insertion of samples in oven), for 30 min, which enabled to stabilize the bubbles caused by water release (from Mg hydroxide and borax). During the treatment, complete crosslinking of the preceramic precursors was also achieved. This treatment replaced the cross-linking cycle at 200 °C, previously applied to mixtures based on both MK and H62C. After removal from the Al molds, samples were fired at 1100 °C for 1 h in air (2 °C/min heating rate). Cylindrical samples, with diameter of 10 mm and height of 7–8 mm, were obtained from the fired foams, by manual polishing (with diamond tools).

Table 1
Summary of conditions for sample preparation.

Type	Silica precursor	Primary fillers (CaO and MgO precursors)	Secondary filler	Firing temperature (°C)	Expected crystal phases
Akermanite monoliths	MK/H62C	Micro- CaCO_3 , Micro- $\text{Mg}(\text{OH})_2$	None	900	Akermanite
		Nano- CaCO_3 , Nano-MgO		1000 1100	
Akermanite/HAp composite monoliths	MK/H62C	Nano- CaCO_3 , Nano-MgO	HAp (25–75 wt%)*	900 1100	Akermanite+HAp
Akermanite foams	H62C	Nano- CaCO_3 , Micro- $\text{Mg}(\text{OH})_2$	None	1100	Akermanite
				Borax (5–15 wt%)*	
		Micro- CaCO_3 , Micro- $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Borax (5 wt%)*		

*Amounts referred to the theoretical ceramic yield of the silicone/primary fillers mixtures.

Table 1 summarizes the conditions for the preparation of samples, in both monolithic and cellular form.

2.3. Characterization

The density of discs and foams was determined geometrically and by weighing using a digital balance. The true density of the various samples was measured by means of a gas pycnometer (Micromeritics AccuPyc 1330, Norcross, GA), operating with He gas on samples in powdered form. Microstructural characterizations were performed by optical stereomicroscopy and scanning electron microscopy (FEI Quanta 200 ESEM, Eindhoven, The Netherlands) equipped with EDS.

The crystalline phase identification was performed by means of X-ray diffraction (XRD; Bruker AXS D8 Advance, Bruker, Germany), supported by data from PDF-2 database (ICDD-International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, PA) and Match! program package (Crystal Impact GbR, Bonn, Germany).

The elastic modulus of akermanite/HAp composites was determined by subjecting the previously mentioned small beams to non-destructive dynamic resonance testing (Grindsonic, Leuven, Belgium). The bending strength of monolithic samples and the crushing strength of foams were measured at room temperature, by means of an Instron 1121 UTM (Instron Danvers, MA) operating with a cross-head speed of 1 mm/min. Bending tests were conducted in the 4-point configuration (40 mm outer span, 20 mm inner span). Each data point represents the average value of 5–10 individual tests.

3. Results and discussion

3.1. Synthesis of akermanite ceramics

Fig. 1 confirms the possibility to obtain akermanite ceramics exploiting the reactions between the ceramic residue from silicones and fillers. Considering the absence of an evident amorphous halo in all patterns, the total degree of crystallization was reputed to be remarkable already after the heat treatment at 900 °C. However, the yield of the desired silicate was strongly affected by the processing temperature and the size of the fillers. More precisely, as already found in previous investigations on wollastonite [13], the use of nano-sized particle fillers led to the formation of akermanite (PDF#87-0047) already at 900 °C, while a higher processing temperature was required when using micro-sized fillers of the same composition. Samples fired at 1000 °C did not show any significant difference with respect to the ones fired at 900 °C in terms of crystalline phase assemblage and overall peak intensity. At 1100 °C, akermanite was the main crystal phase in all samples, but the sample from micro-sized fillers contained more impurities (see the relative height of characteristic peaks), in the form of secondary silicates, such as wollastonite (β - CaSiO_3 , PDF#84-0655) and merwinite ($\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ i.e. $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$, PDF#35-0591). The sample from micro-sized fillers also contained traces of unreacted MgO (periclase, PDF#87-0653). From the semiquantitative X-ray diffraction analysis provided by the Match! program package, we can say that the final phase assemblage at 1100 °C for

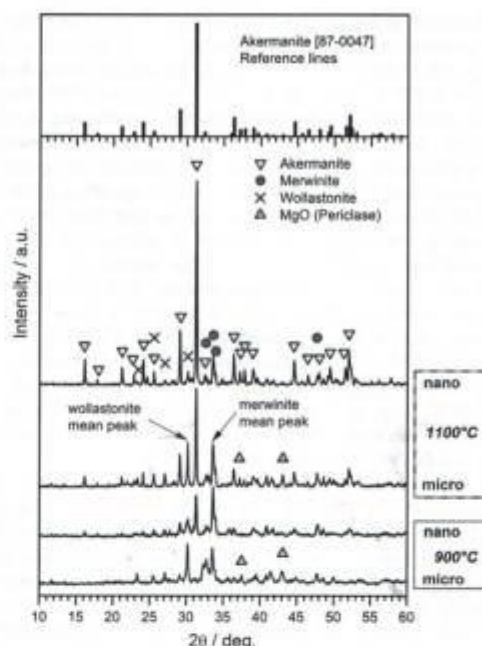


Fig. 1. Phase evolution of ceramics from silicone/fillers mixtures aimed at the synthesis of akermanite (micro = micro-sized fillers; nano = nano-sized fillers).

the best sample, obtained using nano-sized particles, was 85 wt% akermanite, 9% merwinite and 6% wollastonite. Since both wollastonite and merwinite are both bioactive [16], the presence of such impurities was not reputed to be an issue for the forecasted biological application of the material.

3.2. Development and characterization of akermanite-based ceramic composites

Hydroxyapatite (HAp) was introduced as additional filler in the best formulation for akermanite synthesis (the one comprising nano-sized fillers), in order to modify the biological response of the material and produce components possessing also a faster dissolution rate in biological fluids. Moreover, the addition of a further filler would potentially reduce the presence of cracks that were observed when processing the mixtures producing pure akermanite, despite the choice of a silicone mixture (MK+ H62C) as silica source, instead of only one silicone polymer. In fact, the use of a mixture of silicones has been proved to favor the integrity of polymer-derived silicates (a discussion of this effect has been recently provided by Parcianello et al. [15]), because the different chemical and structural characteristics of the polymeric precursors generate a silica matrix with different features (e.g. network connectivity and number of defects) which determine a different ability to relax structural rearrangements by viscous flow or diffusion processes.

HAp was added in several proportions (75 wt% CaO/MgO/SiO₂ ceramic residue from silicones and active fillers, 25 wt% HAp; 50–50 wt%, 25–75 wt%) and the samples were heat treated at 900 °C and 1100 °C. Only samples with 75% HAp were crack-free: the reduction of the transforming mass (silicone and active fillers) evidently reduced the stresses associated to the volumetric changes, in turn due to ceramic conversion and reactions giving the desired crystalline phases.

HAp, however, did not act simply as an inert filler: besides promoting the integrity of samples, it affected the phase development, as shown in Fig. 2, for samples containing 25% and 75% HAp. HAp peaks remained well recognizable for treatments at 900 °C, while at 1100 °C a novel phase formed, that is calcium phosphate silicate Ca₅(PO₄)₂SiO₂ (CPS, PDF#40-0393), whose bioactivity was demonstrated only very recently [17]. Akermanite is clearly visible only for 25% HAp, at 1100 °C, whereas almost all samples contained merwinite. Some traces of unreacted MgO were detected for 25% HAp, at 900 °C.

Table 2 reports the results from mechanical testing of composites with 75% HAp fired at 1100 °C. The ceramic composites exhibited a sensible linear shrinkage (~15%) and were quite porous (~30 vol%), because of the production of decomposition gases during processing and limited solid state sintering at the processing temperature, with consequent limits on elastic modulus and strength. If we consider, however, that

the composites could be applied in the form of scaffolds where all the constitutive elements are loaded as bars in bending configuration, we can note that the specific bending strength index is not far from that of important natural materials, such as cartilage (according to Ashby [18], $\sigma^{2/3}/\rho=1.9$, where σ is the strength and ρ is the density). The specific bending stiffness index ($E^{1/2}/\rho$) was also close to that of natural materials. Improvements in strength could be obtained by coating the ceramic components with biopolymers [19], that could take advantage of the residual microporosity, clearly visible in Fig. 3a, for infiltration.

3.3. Development and characterization of akermanite ceramic foams

As previously reported, operating with H62C as the only silica source, the first drying step at 80 °C yields a thick paste. This condition has a great potential for further processing, since the high viscosity could promote the entrapment of gases. More precisely, Mg(OH)₂ and borax were considered for their ability to decompose at relatively low temperature, with a significant release of water vapor below 350 °C [20,21]. In other words, these fillers can be used for the double purpose of affecting the phase development and foaming.

The heating of the pastes at 350 °C was intended to: (i) provide the evolution of water vapor; (ii) stabilize the

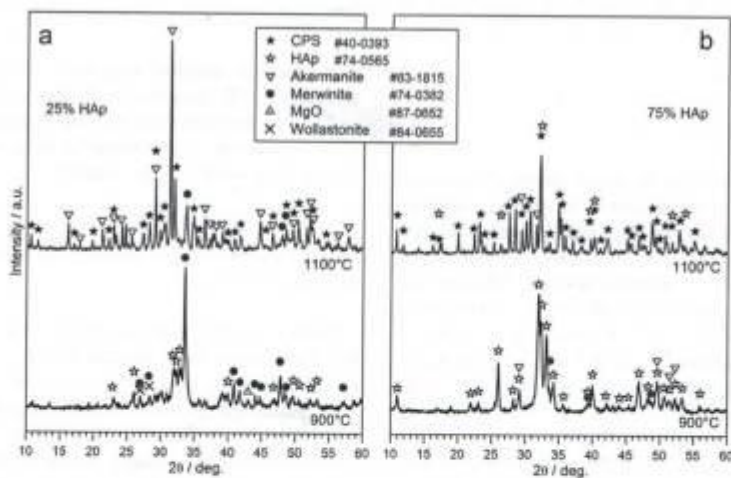


Fig. 2. Qualitative X-ray diffraction patterns of akermanite-based ceramic composites, prepared with (a) 25% HAp; and (b) 75% HAp.

Table 2
Summary of physical and mechanical properties of selected akermanite-based bioceramics.

Type	Density, ρ (g/cm ³)	Total porosity (%)	Strength, σ (MPa)	Notes
25 Akermanite 75 HAp monolith (1100 °C)	2.53 ± 0.01	27	10.6 ± 1.5 (bending)	$E=24.0 \pm 4.0$ GPa
Akermanite foams (CaCO ₃ nano-particles)	0.86 ± 0.03	71	3.4 ± 0.2 (crushing)	No borax
	0.90 ± 0.02	69	5.1 ± 0.4 (crushing)	5% Borax
	0.85 ± 0.01	72	3.4 ± 0.4 (crushing)	15% Borax

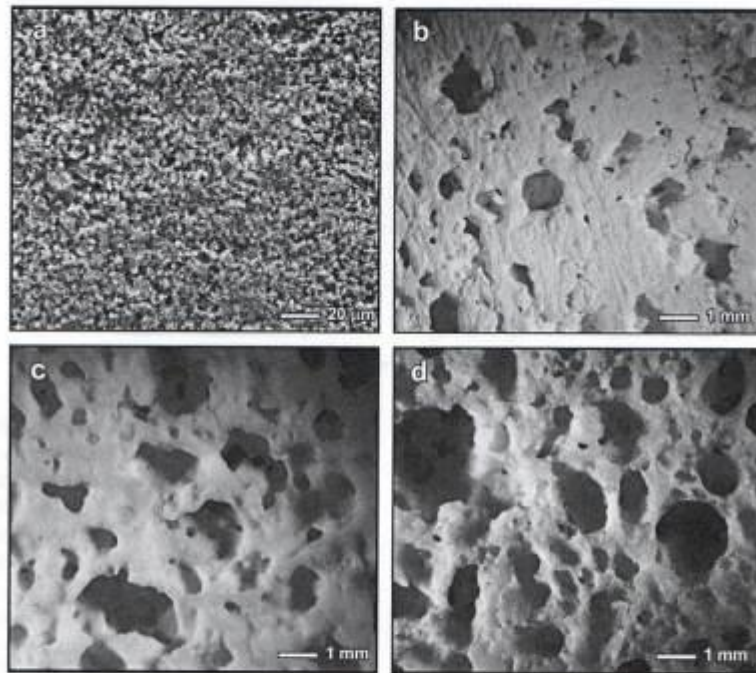


Fig. 3. Microstructural details of (a) akermanite/HAp ceramic composite (76% HAp); (b,c,d) akermanite based cellular materials (b) only $Mg(OH)_2$ as foaming agent; and (c) 5% borax; and d: 15% borax).

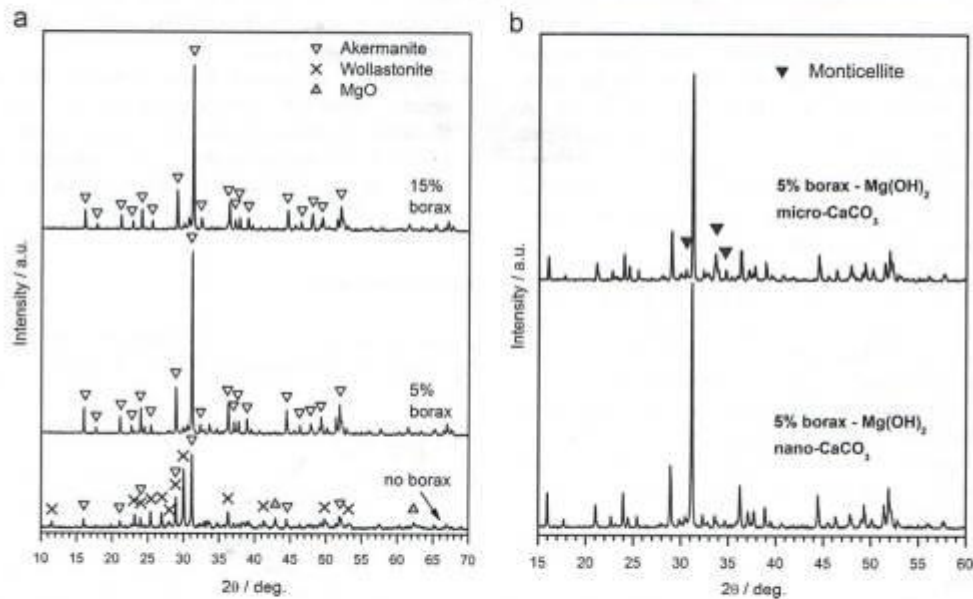


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of akermanite foams (a) effect of borax and (b) effect of $CaCO_3$ powder size (not indexed peaks all corresponding to akermanite).

cellular structure by thermal cross-linking of the H62C polymer. As reported in Table 1, the sample resulting from the use of $Mg(OH)_2$ as the only water source was very porous (density well below 1 g/cm^3), but the pore distribution was not particularly homogeneous (see Fig. 3b). On the contrary, the

addition of borax caused the formation of a well-developed cellular structure, with many clearly interconnected macro-pores (see Fig. 3c and d)

Borax had also a quite unexpected effect on the development of crystal phases. As shown by Fig. 4a, akermanite is not the only

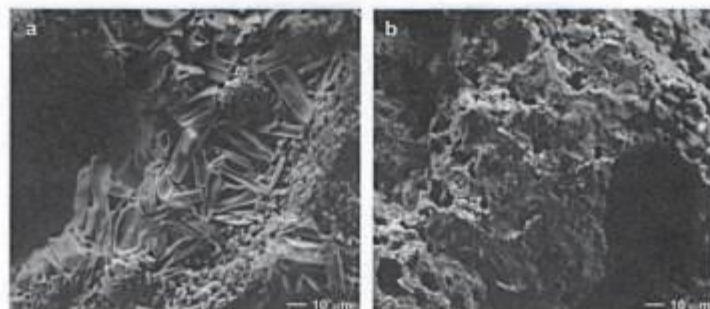


Fig. 5. High magnification details of akermanite foams (a) 15% borax and (b) 5% borax.

crystal phase that developed from mixtures comprising nano-sized CaCO_3 and micro-sized $\text{Mg}(\text{OH})_2$: wollastonite and MgO (weak peaks) are also clearly visible. Mixtures comprising borax, on the contrary, featured only the presence of akermanite. We can posit that this additive led to the formation of a liquid phase upon ceramization (transformed into a borate glass phase upon cooling), thus favoring ionic interdiffusion. This is confirmed by Fig. 4b, showing that even operating only with micro-particles (micro-sized CaCO_3 replaced nano-sized CaCO_3) akermanite was the dominant phase (there are in fact only weak traces of another Ca–Mg silicate, monticellite, CaMgSiO_4 i.e. $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, PDF#35-0590).

Despite having a very similar bulk density, the crushing strength of the cellular ceramics (see Table 2) increased with the addition of a limited amount borax while, quite surprisingly, that was not observed for the sample with the most homogeneous porous structure (15% borax addition). A possible cause is the abnormal crystal growth of the silicate phase (embedded in a low viscosity borate phase), visible in Fig. 5a, leading to a number of microvoids. The abnormal crystal growth was not detected in the sample with a lower content of borax (5%), as shown in Fig. 5b.

The strength of the obtained foams, in all cases, compares favorably with the data reported in the literature for cellular akermanite (e.g. foams from conventional replication of PU templates possess a crushing strength well below 2 MPa [22]). The presence of B_2O_3 and Na_2O in the amorphous phase is not expected to compromise the bioactivity, since these oxides are present in bioglasses in much higher amounts [1]. The validation of the bioactivity and biocompatibility of the foams as well as the ceramic composites, will constitute the focus of future investigations.

4. Conclusions

The main findings of this study may be summarized as follows:

- Akermanite ceramics can be easily obtained by the thermal treatment of silicone resins embedding CaO and MgO precursors; the crystalline phase purity is optimized when adding nano-sized fillers.
- Hydroxyapatite powders, introduced as secondary fillers, interacted with the other components, leading to monolithic ceramic composites with complex phase assemblages and featuring a good specific strength; all the developed crystal phases are known to be biocompatible.
- A particular combination of starting materials, such as H62C polymer, nano-sized CaCO_3 and micro-sized $\text{Mg}(\text{OH})_2$, was found to yield highly porous ceramic components, by a very simple process (low temperature foaming, followed by ceramization at 1100 °C).
- The addition of borax had a double effect, i.e. it contributed both to the development of an homogeneous cellular morphology and to the phase evolution; for borax-containing mixtures the resulting ceramics feature akermanite as the main phase.
- The newly developed foams compare favorably with cellular akermanite bioceramics previously reported in the literature; the oxides associated to borax addition (B_2O_3 and Na_2O) are not reputed to degrade the biocompatibility, being present in well-established biomaterials, such as bioglasses.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support of the Italy–Germany bilateral research program “Vigoni”.

References

- [1] M.N. Rahaman, D.E. Day, B.S. Bal, Q. Fu, S.B. Jung, L.F. Bonewald, A. P. Tomsia, Bioactive glass in tissue engineering, *Acta Biomaterialia* 7 (2011) 2355–2373.
- [2] T. Kokubo, S. Ito, Z. Huang, T. Hayashi, S. Sakka, T. Kitsugi, T. Yamamuro, Ca–P-rich layer formed on high-strength bioactive glass-ceramic A-W, *Journal of Biomedical Materials Research* 24 (1990) 331–343.
- [3] P.N. De Aza, F. Guitian, S. De Aza, Bioactivity of wollastonite ceramics: in vitro evaluation, *Scripta Metallurgica et Materialia* 31 (1994) 1001–1005.
- [4] P.N. De Aza, Z. Luklinska, M.R. Anseau, F. Guitian, S. De Aza, Morphological studies of pseudowollastonite for biomedical application, *Journal of Microscopy* 182 (1996) 24–31.
- [5] Z. Gou, J. Chang, Synthesis and in vitro bioactivity of dicalcium silicate powders, *Journal of the European Ceramic Society* 24 (2004) 93–99.

Gennadiy Kosnikov¹, Oleg Figovsky² and Adnan Eldarkhanov³

METAL MATRIX MICRO- AND NANOSTRUCTURAL COMPOSITES (REVIEW)

¹St. Petersburg State Polytechnic University, St.Petersburg, Russian Federation,

²Polymate Ltd. International Nanotechnology Research Center, Migdal HaEmek, Israel,

³Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russian Federation

Received: December 30, 2013 / Revised: February 20, 2014 / Accepted: November 23, 2014

© Kosnikov G., Figovsky O., Eldarkhanov A., 2015

Abstract. Liquid phase production technologies of metal matrix micro- and nanostructural composites are considered. A complex using magnetohydrodynamic stirring, ultrasonic treatment of melt during liquid and liquid-solid states and thixocasting advantages are proposed.

Keywords: metal matrix composites, liquid phase technology, magnetohydrodynamic stirring, ultrasonic treatment, thixocasting.

1. Introduction

Research and development of metal matrix composites (MMCs) are given a significant consideration practically in all economically developed countries due to the complex of mechanical and service properties that could be obtained in this class of structural materials, and which are unattainable in the traditional materials produced using the traditional technologies. Metal matrix provides a number of advantages if compared to other (polymer, carbon, ceramic) matrices, in particular higher hardness, strength, electric and heat conductivity, crack resistance, and melting temperature. The use of the liquid phase technologies means that in the process of MMCs production at least one of the components is in the liquid phase (casting technologies, liquid forging, laser and plasma spraying, sintering with liquid phase, *etc.*)

Two types of composites are distinguished: artificial and natural. In artificial composites the strengthening disperse phase is either introduced artificially from the outside or is formed when matrix melt interacts with artificially introduced agents. Natural composites include the alloys, in which the disperse phases are formed under the natural processes of primary, in particular, oriented crystallization. Typical natural composites are graphitized cast irons. The properties of

natural composites can also be improved using the technologies typical to artificial composites. However, artificial composites are regarded as the promising materials with unique properties [1].

Composites, reinforced with fibers or whisker crystals, and layered composites are widely used in industry. The technologies of their production are relatively simple and the scientific bases of their development, analysis and prognostication of their behavior while using the articles are thoroughly studied. With the exception of the production of prepregs, that serve as semi-finished articles for the production of the constructions, the composites of this type and the constructions are produced simultaneously, allowing the consideration of the specifics of the use of these constructions and conditions of the exploitation. These composites have a number of positive properties (high specific strength, hardness, wear resistance, fatigue resistance, *etc.*). At the same time these materials possess substantial defects (anisotropy of properties, high cost, low maintenance workability, *etc.*), that given specific technology and engineering properties narrow the range of their application.

Dispersion-reinforced composites include casting and wrought alloys as a basis and disperse particles as reinforcers, artificially incorporated (*ex-situ* processes) or initiated as a result of the occurring (*in-situ*) processes. Generally, refractory high-strength, high-modulus particles of oxides, carbides, borides, nitrides (more frequently SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC) are used as micrometric size reinforcers. Chemical reactions *in-situ*, occurring in the melt in the process of incorporation of the reactive metals, gases or chemical compounds, form thermodynamically stable, wetted by the melt due to the coherent boundary formation, and thermostable at high temperature of maintenance reinforcing phases [2].

The processes of spontaneous high-temperature synthesis that are used to produce reinforcing particles in the metal melts, pertain, in fact, to *in-situ* processes [3].

The main criteria for choosing the matrix melt composition, size, quantity, nature of the reinforcing phase and method of its implantation into the melt, method of shaping and conditions of obtaining properties of the blanks are the requirements to the finished article properties, stability of the structure and the properties of these articles in the process of their use. This requires diversity and complexity of the technological solutions for the MMCs article production.

Three principal processes of MMCs production are used:

- incorporation of particles into the melt with intensive impeller [4] or magnetohydrodynamic (MHD) [5] mixing;
- impregnation of disperse particles or preforms with matrix melt;
- powder technology.

With the exception of the cases when powder technology is implemented by the compaction of the original matrix alloy powders and reinforcing components in the solid state, all three technological schemes involve the use of liquid-phase techniques for producing MMCs.

The problem of the development of the composites with the given level of properties is only a part of the objective concerning the finished article production out of these composites. As a rule, it is necessary to be guided by the optimum value of the property or a group of interconnected properties that determine the operating capacity of the finished product. New engineering solutions may be possibly used for the articles, in which composites substitute the traditional materials.

Despite the abundance of works dedicated to the research and production of MMCs, their implementation is still in the semi-industrial production stage. One of the reasons of such situation is limited possibilities of the MMCs use for the production of the cast shapes of varied weight and dimensions with complex internal cavities. Due to their general-purpose properties, the traditional foundry technologies, implying the filling of the molds with the liquid-state alloys, as well as thixotechnologies, implying the filling of the molds with the two-phase-state alloys, are the most appropriate.

Specific feature of the cast MMCs is the need to provide equal distribution of the disperse particles in the melt volume for all stages of cast ingot produced by the traditional casting methods: from the process of particle incorporation into the melt to the process of ingot formation in the mold. Therefore, the problem of sedimentation stability of the cast composites is closely

connected not only with MMCs property and structure formation but with the implementation of the casting production methods.

The structure and properties of the composites are determined by the matrix melt properties, by the chemical composition, form, dimensions, quantity of incorporated or formed in the melt disperse particles, and also by the interaction activity and processes on the “disperse particle-melt” boundary. These factors determine the possibility of producing of the metallic suspension, the pouring of the latter into the molding cavity (casting mold, molding tool), provides the production of the articles with the given properties.

2. MMCs Production Technologies

MMCs based on the aluminium and magnesium alloys are the promising materials for the various branches of industry due to low unit weight and higher, in comparison with the matrix alloy, level of the properties (wear resistance, hardness, local strength, bearing capacity, heat resistance, damping, antifriction, transport and other properties).

Magnesium matrix composites have unique specific characteristics [6]. Magnesium alloys with high tendency to vitrification and thermostability are of particular interest as matrices for the MMCs. As the reinforcing the following compounds are used: SiC – due to the satisfactory wetting and chemical stability in the magnesium melt [7], oxides – due to low oxygen solubility in magnesium, refractory metal powders (Cu, Ni, Ti) – due to fine wetting of the metals by magnesium [8]. When using transition metals in *in-situ* processes, the produced intermetallics provide high wear resistance and tribological properties of magnesium MMCs.

Nowadays, aluminum alloys are of the high demand and wide-spread among the non-ferrous metals materials, possessing high specific strength and a general-purpose complex of mechanical, service and special properties, creating preconditions for the use of aluminum-based materials to develop engine-building, aeronautical and space engineering.

The possibilities to enhance the service properties of aluminum alloys, produced by the traditional technology of component alloying, their treatment in the liquid state and shaping are exhausted to a large degree. Due to this fact all technically developed countries started the research and development in the field of the alumomatrix composites (AMCs) synthesis.

Microsize particles in the composites, in particular, alumomatrix composites, serve as reinforcing, and the character of interactions on the “particle-melt” boundary is mainly determined by their wettability by the melt. The

research [9,10] in the field of alumomatrix composites, reinforced with widely used microsize SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC and the experience of use of the articles proved that these alloys provide high level of mechanical and service properties and may be used to produce shaped articles with casting methods.

Liquid phase technologies of AMC's production by incorporating a sufficient amount (up to 20 vol %) of micrometric refractory particles into the melt have been brought to the industrial application.

For example, Talbor company [11] specializes on producing alumomatrix composites, reinforced by SiC, B₄C, and Al₂O₃ microparticles in the process of mechanical mixing. In comparison with B₄C, silicon carbide is better wetted by the melt, provides high level of the composite hardness, and is more commercially appropriate. However, Al₄C₃ creates danger of brittle failure of the articles. The presence of adsorbed gases does not allow to weld and thermally treat the composite. Even if the matrix alloy can be welded, high SiC density with the same incorporated quantity leads to weighting of the articles and tends to the sedimentation. Al₂O₃ is the densest of the three reinforcers, minimally active towards aluminium, provides higher strength of the composites, but its segregation ability in the casting process is high. For the cast composites (sand mold casting and metal mold casting, high-pressure casting, liquid forging) the company uses B₄C as reinforcing and providing the composite with the ability to withhold hard radiation particles. With the density similar to the density of aluminium, B₄C provides higher sedimentation stability of the slurry, allowing of producing thick-section castings by the methods of gravitation casting, using ceramic filters, melt outgassing with argon or nitrogen, B₄C particle passivation, and special construction of the gating system.

In a number of cases, in order to improve the wettability, the disperse particles are plated by the elements enhancing their wettability by the melt (for example, technological coatings of Fe and Cr are used for SiC). For aluminium alloys Mg, Sn, Sb, and Bi serve as interphase-active elements, improving the wettability of the incorporated refractory particles [9].

New generations of military, aerospace and civil equipment require the development of the new structure and functional materials, obtaining properties, unattainable in the traditional structure materials and composites, reinforced with ultradisperse micrometric particles.

At present, special attention is drawn to the works dedicated to the production of the metal matrix nanocomposites (MMNCs) by means of the multipurpose use of *ex-situ* and *in-situ* processes (polyreinforcement), implying nanosize structural constituents in the form of

the nanosize thermostable particles introduced from the outside and intermetallics produced as a result of the occurring processes. It was theoretically proven and experimentally approved that the properties of the composites improve if the particle dispersion is reduced to nanosize level [12-14].

The investigation [15] studies the prospects of using nanoparticles as reinforcement agents to gain improved performance of A356 Al cast alloy by adding up to 5 % Al₂O₃ and TiO₂ particles. The particles size was intentionally reduced from 10 nm to 500 nm and to 40 nm. The results showed that introducing nanoparticles into semisolid slurries has a beneficial effect on optimizing strength–ductility relationship in Al–Si cast alloys. The new material showed higher strength values with improved ductility compared to the monolithic alloy under the same casting conditions. Those particles were incorporated and entrapped within the interdendritic and/or grain boundary interface, as well as within the grains, developed during solidification.

It is noted [16] that SiC microparticles are mainly located at the boundaries of the eutectic grains, and SiC nanoparticles – in the dendrites of the primary solid solution. The tendency of the microparticles to locate at the boundaries of the grains leads to the lower fracture toughness, strength and hardness at high temperatures, and also to the machining deterioration. Nanosize SiC and Al₂O₃ particles affect the size and morphology of the intermetallic compounds formed in the melt; as a result of the interaction of the nanosize SiC and Ti particles, the reinforcing phase TiC is formed.

However, high energy potential, high specific surface and interphase particle energy, and high surface tension of the melt impede the incorporation of the nanoparticles into the melt, and the tendency of the nanoparticles to develop aggregates. The possibility of their fusion in the melt requires special technology solutions different from the technologies of the microsize compound production. Thermal activation of the incorporated particles in the process of their preparing to the incorporation into the melt and the processes occurring in the liquid composite during the dwell time, pouring into the mold and finished article solidification, contribute to the intensification of the diffusion and recrystallization processes, to the disappearance of the non-equilibrium phases, residual stress relief and, correspondingly, to the modification of their unique properties. The higher the technological temperature is, the more intensively those processes occur and the lower the viscosity of the melt is.

Concerning the specific processes of interaction between the nanoparticles and the melt, it is evident that the decrease of temperature of the inoculation of the particles into the melt to the two-phase state and

successive heating of the blanks during the shaping process to the temperature of the two-phase state (not to total dissolution) create preconditions for the effective problem solving in the field of cast MMNCs production (in particular, sedimentation and aggregative stability, gas porosity). Therefore, the processes of solid-liquid shaping (thixoforming) are most promising for MMNCs and MMCs products [17-20].

It is evident that irrespective of the influence of the nanoparticles on the crystallizing alloy, they remain as isolated inclusions in the solid composite and affect the processes of composite destruction, depending on the place of their location regarding the boundaries of the structure elements [21].

In the process of cast nanocomposite production it is necessary to provide the inoculation of the nanoparticles into the melt and their equal distribution in the volume of the slurry and sedimentation stability of the melt, prevent nanoparticles from aggregation in the process of feeding the composition into the molding cavity and in the recycling process of the composites and reheating before the shaping of the previously produced nanocomposite charges. Concurrently, the problem of providing the peak level of the necessary complex of composite properties by affecting the processes of crystallization and structure formation of the matrix melt is of great value.

The inoculation of the nanoparticles into the melt and their uniform distribution in the slurry is mainly implemented by means of the mechanical [4] and MHD [5, 22] stirring of the particles. The reinforcing particle powders may be introduced not only in the initial state using plasma torch, injection in the gas current, but also in the form of the pellets, briquettes, flux cored wire, and extended pressed compositions. In the process of the mechanical mixing the optimum performance of the mixer provides the onset of the shear deformation in the melt, especially when mixing the melt in the liquid-solid state. It prevents the agglomeration of the particles and provides better wetting and uniform distribution of the particles in the melt volume. The ensuing dwell time of the melt in the mixer with low mixing speed enables its transporting to the casting molds using various casting methods.

Plasma synthesis method along with the biplanar MHD-mixing and incorporation of the nanoparticles into the melt in the form of nanosize powder composites, produced by mechanical alloying in high-energy mills, possesses a number of advantages [23]. Biplanar MHD mixing of the hypoeutectic silumins in the liquid and two-phase states allows solving the problem of equal distribution of the particles in the melt volume, ensuring the degeneration of the dendrite structure and the possibility to use all the advantages of thixocasting for producing nanocomposites.

High-power ultrasound treatment (UST) of the alloys in the liquid and two-phase state is one of the most efficient methods of affecting the processes of alloy structure formation [24-28]. Structural changes in the ultrasound-treated metal are determined by the processes occurring in the melt in two-phase zone – nucleation of crystals, their growth and dispersion, by mixing processes, which, in turn, are connected with cavitation and acoustic streaming development in the melt, and by the parameters of supersonic field in the melt, its properties, volume, impurities, and dissolved gases [29].

The impact of ultrasound diminishes with increasing the distance between the alloy and the ultrasonic horn; therefore it is advisable to use ultrasound treatment along with the MHD-mixing. This allows solving the problem of non-dendrite structure formation in the process of composite thixocasting at the stage of the primary treatment of the melt, considerably decreasing the duration or excluding the reheating of the blank aimed at final “degeneration” of dendrites.

The development in the field of production of MMNCs using nanocarbon materials as reinforcing complexes, in particular, fullerenes C_{60} , nanotubes, nanodiamonds, nanosize products of the modification of the natural carbonaceous rock (shungites), is highly promising [30].

The problem of the nanoparticles inoculation into the melt may be simplified due to the preliminary production of rich nanocomposite alloys in the liquid-solid state with their further incorporation into the melts.

Special attention is given to the innovative development of cast and wrought MMNCs industry – the superdeep penetration (SDP) phenomenon. It may be regarded as the new physical instrument to affect the existing materials. The new concept of the physical phenomenon of the SDP is based on the consequent implementation of the complex of the physical effects, such as higher energy density (accumulation) in the local zones of the barrier material due to shutdown of the system, creation of dynamically stable local zones of high pressure, and the level of the latter sufficient to implement the dynamic phase transition. The use of SDP allows to incorporate into the volume of the solid body the alloying elements tens millimeters deep at an interval of 10^{-3} – 10^{-7} s. In the volume of the solid body the fibrous elements, obtaining specific nano- and microstructures, allowing producing the materials with unique properties, are created [31-33]. Nowadays SDP is used for the solid-state processes; however, there is a reason to believe that complex technologies would make it possible to use SDP for the liquid phase methods of metallomatrix nanocomposite production.

As a rule, the foundry specialists are concerned with the production of the shaped castings out of the casting alloys by various casting methods. However, the development of the thixoforming (thixocasting, thixoforging) processes proves the effectiveness of the cooperation of the foundry specialists and the specialists in the field of the forging processes. The field of mutual cooperation may include the production of sheets and shapes out of nanocomposites using the methods of the ingotless rolling.

At present the granular technologies develop rapidly, especially the new material science branch of nanostructure granular composites, combining the advantages of the metallurgy of granules and the principles of producing the volumetric composite out of granules [34]. As a rule, uniform (isostatic), hydrostatic or gas-static pressing is used for the compaction. Considering the experience of the foundry specialists in the field of suspension casting, the possibility of the use of the nanostructure granules for the inoculation of the nanoparticles into the melt, the cooperation of the foundry specialists with the specialists of the metallurgy of granules in the field of the development of the hybrid processes, capable of providing the production of the shapes out the new class of nanocomposites, is highly promising.

3. Conclusions

1. Metal matrix micro- and, especially, nanostructural composites provide a number of advantages as compared to traditional matrix alloys. MMCs and MMNCs based on the aluminium and magnesium alloys are the promising materials for the various branches of industry due to low unit weight and higher, in comparison with the matrix alloy, level of the properties (wear resistance, hardness, local strength, bearing capacity, heat resistance, damping, antifriction, transport, and other properties).

2. The problems of nanocomposite article production using liquid phase technologies require the system approach to the solving of the whole complex of the occurring problems, involving specialists in various fields (thermodynamics, physics and chemistry of the melt and solid state, fracture mechanics, technologies of the production and treatment of the alloys in the liquid and two-phase state, *etc.*)

3. The promising technologies are the complex technologies of MMNCs production, implementing the

external influence (UST, MHD) on the liquid and crystallizing matrix alloy with incorporation of the reinforcing particles along with the thixoforming of the finished article production.

References

- [1] Prusov E., Panfilov A. and Kechin V.: Russ. Foundryman, 2011, **12**, 35.
- [2] Zheng Q., Wu B., Reddy R.: Adv. Eng. Mat., 2003, **5**, 167.
- [3] Amosov A., Borovinskaya I. and Merzhanov A.: Poroshkovaya Technologia Samorasprostraniashegosia Vysokotemperaturnogo Sinteza Materialov. Mashinostroenie-1, Moskva 2007.
- [4] Herling D., Grant G. and Hunt W., Jr.: Adv. Mat. & Proc., 2001, July, 37.
- [5] Szajnar J., Stawarz M., Wróbel T. and Sebzda W.: J. Achievem. in Materials and Manufacturing Eng., 2009, **34**, 95.
- [6] Sazonov M., Chemishova T. and Rohlin L.: Constr. i Funct. Mat., 2010, **2**, 3.
- [7] Cai Y., Tana M., Shen G. and Su H.: J. Mater. Sci. Eng. A, 2000, **282**, 232.
- [8] Hassan S. and Gupta M.: J. Mater. Sci., 2002, **37**, 2467.
- [9] Kalashnikov I., Bolotova L. and Chernyshova T.: Tsvetnye Metally, 2010, **9**, 67.
- [10] Zhon W. and Xu Z.: J. Mater. Proc. Techn., 1997, **63**, 368.
- [11] www.taloncomposites.com
- [12] Elagin V.: Tsvetnye Metally, 2009, **6**, 103.
- [13] Kondratenko A. and Golubkova T.: Konstr. Composit. Mat., 2009, **1**, 24.
- [14] Koch C.: Nanostructured Materials: Processing, Properties and Potential Applications. Noyes Publications, New York 2002.
- [15] El-Mahallawi I., Shash Y., Eigenfeld K. *et al.*: Mat. Sci. & Techn., 2009, **26**, 10.
- [16] Petrunin A., Panfilov A.V. and Panfilov A.A.: Liteinoye Proizvodstvo, 2009, **10**, 17.
- [17] Kosnikov G. and Kolesov S.: Russ. Foundryman, 2007, **4**, 28.
- [18] de Cicco M., Tung L.-S., Li X.-C. and Perepezko J.: [in:] Hirt G., Rassili A. and Buhrig-Polaczek A. (Eds.), Proc. 10th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of the Alloys and Composites S2P 2008. Aachen, Germany and Liege, Belgium. September 16-18, 2008, 814.
- [19] Ji S., Qian M. and Fan Z.: Metallurg. & Mat. Transact. A., 2006, **37A**, 779.
- [20] Ivanchev L., Camagu S. and Govender G.: J. Solid State Phenomena, 2013, **192-193**, 61.
- [21] Jones R., Pitt S., Hui D. and Brunner A.: Composite Structures, 2013, **99**, 375.
- [22] Kosnikov G. and Kolesov S.: Works of VII Congress of Russian Foundrymen. Novosibirsk 2005, **1**, 298.
- [23] Kosnikov G., Baranov V., Petrovich S. and Kalmykov A.: Liteinoye Proizvodstvo, 2012, **2**, 4.
- [24] Abramov O.V. and Prikhod'ko V. (Eds.): Moschniy Ultrazvuk v Metallurgii i Mashinostroenii. Yanus-K, Moskva 2006.
- [25] Zhang L., Eskin D., Miroux A. and Katgerman L.: Light Metals, 2012, 999.

- [26] Chen Y.-J., Hsuand W.-N. and Shih J.-R.: Mat. Transact., 2009, **50**, 401.
- [27] Kosnikov G., Figovsky O., Eldarkhanov A. et al.: Sci. Israel-Techn. Adv., 2013, **15**, 93.
- [28] Yao L., Hao H., Shouhua L. et al.: Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2011, **21**, 1241.
- [29] Alba-Baena N., Pabel T., Villa-Sierra N. and Eskin D.: Mat. Sci. Forum, 2013, **765**, 271.
- [30] Prokhorov V., Blank V., Pivovarov G. and Solovyeva L.: Mezhdunar. Conf. "Novye Perspektivnye Materialy i ih Izgotovlenie (NPM-2004). Russia, Volgograd 2004, 124.
- [31] Figovsky O. et al.: J. Techn. Physics, 2008, **49**, 3.
- [32] Figovsky O., Usherenko S. and Usherenko Yu.: Sozdanie Metallicheskih Compozicionnykh Materialov. Phizika i Technika Vysokoenergeticheskoy Obrobotki Materialov. Art-Press Dnepropetrovsk 2007.
- [33] Usherenko S., Figovsky O. and Usherenko Y.: Sci. Israel-Techn. Adv., 2007, **9**, 28.
- [34] Moskvichev U., Panin V., Ageev S. et al.: Actual Conf., 2011, **70**, 44.

МЕТАЛО-МАТРИЧНІ МІКРО- ТА НАНОСТРУКТУРНІ КОМПОЗИТИ (ОГЛЯД)

Анотація. Розглянуто рідкофазні технології виробництва метало-матричних мікро- і наноструктурних композитів. Запропоновано комплексне використання магнітогідродинамічного переміщення, ультразвукового оброблення розплаву в рідкому та рідинно-твердому стані та тисколіття.

Ключові слова: метало-матричні композити, рідкофазна технологія, магнітогідродинамічне переміщення, ультразвукове оброблення, тисколіття.

EXAMPLE PROBLEM 16.1**Property Determinations for a Glass Fiber–Reinforced Composite—Longitudinal Direction**

A continuous and aligned glass fiber–reinforced composite consists of 40 vol% of glass fibers having a modulus of elasticity of 69 GPa (10×10^6 psi) and 60 vol% of a polyester resin that, when hardened, displays a modulus of 3.4 GPa (0.5×10^6 psi).

- (a) Compute the modulus of elasticity of this composite in the longitudinal direction.
- (b) If the cross-sectional area is 250 mm^2 (0.4 in.^2) and a stress of 50 MPa (7250 psi) is applied in this longitudinal direction, compute the magnitude of the load carried by each of the fiber and matrix phases.
- (c) Determine the strain that is sustained by each phase when the stress in part (b) is applied.

Solution

(a) The modulus of elasticity of the composite is calculated using Equation 16.10a:

$$\begin{aligned} E_c &= (3.4 \text{ GPa})(0.6) + (69 \text{ GPa})(0.4) \\ &= 30 \text{ GPa} \quad (4.3 \times 10^6 \text{ psi}) \end{aligned}$$

(b) To solve this portion of the problem, first find the ratio of fiber load to matrix load, using Equation 16.11; thus,

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{(69 \text{ GPa})(0.4)}{(3.4 \text{ GPa})(0.6)} = 13.5$$

or $F_f = 13.5 F_m$.

In addition, the total force sustained by the composite F_c may be computed from the applied stress σ and total composite cross-sectional area A_c according to

$$F_c = A_c \sigma = (250 \text{ mm}^2)(50 \text{ MPa}) = 12,500 \text{ N} \quad (2900 \text{ lb}_f)$$

However, this total load is just the sum of the loads carried by fiber and matrix phases; that is,

$$F_c = F_f + F_m = 12,500 \text{ N} \quad (2900 \text{ lb}_f)$$

Substitution for F_f from the preceding equation yields

$$13.5 F_m + F_m = 12,500 \text{ N}$$

or

$$F_m = 860 \text{ N (200 lb}_f\text{)}$$

whereas

$$F_f = F_c - F_m = 12,500 \text{ N} - 860 \text{ N} = 11,640 \text{ N (2700 lb}_f\text{)}$$

Thus, the fiber phase supports the vast majority of the applied load.

(c) The stress for both fiber and matrix phases must first be calculated. Then, by using the elastic modulus for each [from part (a)], the strain values may be determined.

For stress calculations, phase cross-sectional areas are necessary:

$$A_m = V_m A_c = (0.6)(250 \text{ mm}^2) = 150 \text{ mm}^2 (0.24 \text{ in.}^2)$$

and

$$A_f = V_f A_c = (0.4)(250 \text{ mm}^2) = 100 \text{ mm}^2 (0.16 \text{ in.}^2)$$

Thus,

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_m} = \frac{860 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 5.73 \text{ MPa (833 psi)}$$

$$\sigma_f = \frac{F_f}{A_f} = \frac{11,640 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 116.4 \text{ MPa (16,875 psi)}$$

Finally, strains are computed as

$$\epsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_m} = \frac{5.73 \text{ MPa}}{3.4 \times 10^3 \text{ MPa}} = 1.69 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f} = \frac{116.4 \text{ MPa}}{69 \times 10^3 \text{ MPa}} = 1.69 \times 10^{-3}$$

Therefore, strains for both matrix and fiber phases are identical, which they should be, according to Equation 16.8 in the previous development.

Керамик, шиша ва боғловчи материаллар таркиби ва хоссалари.

TABLE 16.2 Elastic Constants of Selected Polycrystalline Ceramics (20°C)					
Material	Crystal type	μ (GPa)	B (GPa)	ν	E (GPa)
Carbides					
C	Cubic	468	416	0.092	1022
SiC	Cubic	170	210	0.181	402
TaC	Cubic	118	217	0.270	300
TiC	Cubic	182	242	0.199	437
ZrC	Cubic	170	223	0.196	407
Oxides					
Al ₂ O ₃	Trigonal	163	251	0.233	402
Al ₂ O ₃ -MgO	Cubic	107	195	0.268	271
BaO-TiO ₂	Tetragonal	67	177	0.332	178
BeO	Tetragonal	165	224	0.204	397
CoO	Cubic	70	185	0.332	196
FeO-Fe ₂ O ₃	Cubic	91	162	0.263	230
Fe ₂ O ₃	Trigonal	93	98	0.140	212
MgO	Cubic	128	154	0.175	300
2MgO-SiO ₂	Orthorhombic	81	128	0.239	201
MnO	Cubic	66	154	0.313	173
SrO	Cubic	59	82	0.210	143
SrO-TiO ₂	Cubic	266	183	0.010	538
TiO ₂	Tetragonal	113	206	0.268	287
UO ₂	Cubic	87	212	0.319	230
ZnO	Hexagonal	45	143	0.358	122
ZrO ₂ -12Y ₂ O ₃	Cubic	89	204	0.310	233
SiO ₂	Trigonal	44	38	0.082	95
Chalcogenides					
CdS	Hexagonal	15	59	0.38	42
PbS	Cubic	33	62	0.27	84
ZnS	Cubic	33	78	0.31	87
PbTe	Cubic	22	41	0.27	56
Fluorides					
BaF ₂	Cubic	25	57	0.31	65
CaF ₂	Cubic	42	88	0.29	108
SrF ₂	Cubic	35	70	0.29	90
LiF	Cubic	48	67	0.21	116
NaF	Cubic	31	49	0.24	77
Other halides					
CsBr	Cubic	8.8	16	0.26	23
CsCl	Cubic	10	18	0.27	25
CsI	Cubic	7.1	13	0.27	18
KCl	Cubic	10	18	0.27	25
NaBr	Cubic	11	19	0.26	28
NaCl	Cubic	15	25	0.25	38
NaI	Cubic	8.5	15	0.27	20
RbCl	Cubic	7.5	16	0.29	21

Note: All values were calculated from single-crystal data.

TABLE 21.6 Approximate Composition (wt%) of Some Commercial Glasses

Glass	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	F ₂	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	Se	CdO	CuO
Container flint	72.7	2.0	0.06	10.4		0.5	13.6	0.4	0.3	0.2						
Container amber	72.5	2.0	0.1	10.2		0.6	14.4	0.2	S-0.02	0.2						
Container flint	71.2	2.1	0.05	6.3	3.9	0.5	15.1	0.4	0.3	0.1						
Container flint	70.4	1.4	0.06	10.8	2.7	0.7	13.1	0.6	0.2	0.1						
Window green	71.7	0.2	0.1	9.6	4.4		13.1		0.4							
Window	72.0	1.3		8.2	3.5		14.3	0.3	0.3							
Plate	71.6	1.0		9.8	4.3		13.3		0.2							
Opal jar	71.2	7.3		4.8			12.2	2.0		4.2						
Opal illumination	59.0	8.9		4.6	2.0		7.5			5.0	12.0	3.0				
Ruby selenium	67.2	1.8	0.03	1.9	0.4		14.6	1.2	S-0.1	0.4	11.2		0.7	0.3	0.4	
Ruby	72.0	2.0	0.04	9.0			16.6	0.2		Trace						0.05
Borosilicate	76.2	3.7		0.8			5.4	0.4					13.5			
Borosilicate	74.3	5.6		0.9		2.2	6.6	0.4					10.0			
Borosilicate	81.0	2.5					4.5						12.0			
Fiber glass	54.5	14.5	0.4	15.9	4.4		0.5			0.3			10.0			
Lead tableware	66.0	0.9		0.7		0.5	6.0	9.5				15.5	0.6			
Lead technical	56.3	1.3					4.7	7.2				29.5	0.6			
Lamp bulb	72.9	2.2		4.7	3.6		16.3	0.2	0.2				0.2			
Heat absorbing	70.7	4.3	0.8	9.4	3.7	0.9	9.8	0.7		Trace			0.5			

TABLE 26.4 Base Compositions and Applications of Transparent Glass-Ceramics Based on Quartz Solid Solutions

Material	Composition, wt%														Commercial application
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	Fe ₂ O ₃	Li ₂ O	BaO	P ₂ O ₅	F	TiO ₂	ZrO ₂	As ₂ O ₃	
Vision	68.8	19.2	1.8	0.2	0.1	1.0	0.1	2.7	0.8	—	—	2.7	1.8	0.8	Transparent cookware
Zerodur	55.5	25.3	1.0	0.5	—	1.4	0.03	3.7	—	7.9	—	2.3	1.9	0.5	Telescope mirrors
Ceran	63.4	22.7	u	0.7	u	1.3	u	3.3	2.2	u	u	2.7	1.5	u	Black infrared transmission cooktop
Narumi	65.1	22.6	0.5	0.6	0.3	—	0.03	4.2	—	1.2	0.1	2.0	2.3	1.1	Rangetops; stove windows

u – unknown

Table 15.7 Properties of ceramics

Ceramic	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of rupture (MPa)	Weibull exponent m	Time exponent n	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting (softening) temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)	Thermal shock resistance (K)
Glasses													
Soda glass	700 (1000)	2.48	74	1000	50	Assume 10 in design	10	0.7	(1000)	990	1	8.5	84
Borosilicate glass	1000 (1400)	2.23	65	1200	55		10	0.8	(1100)	800	1	4.0	280
Pottery, etc.													
Porcelain	260–1000 (360–1400)	2.3–2.5	70	350	45		—	1.0	(1400)	800	1	3	220
High-performance engineering ceramics													
Diamond	4 × 10 ⁸ (6 × 10 ⁸)	3.52	1050	5000	—		—	—	—	510	70	1.2	1000
Dense alumina	Expensive at present	3.9	380	3000	300–400	10	10	3–5	2323 (1470)	795	25.6	8.5	150
Silicon carbide		3.2	410	2000	200–500	10	40	—	3110	—	1422	84	300
Silicon nitride	Potentially	3.2	310	1200	300–850	—	40	4	2173	—	627	17	3.2
Zirconia	350–1000	5.6	200	2000	200–500	10–21	10	4–12	2843	—	670	1.5	500
Sialons	(490–1400)	3.2	300	2000	500–830	15	10	5	—	—	710	20–25	3.2
Cement, etc.													
Cement	52 (73)	2.4–2.5	20–30	50	7	12	40	0.2	—	—	1.8	10–14	<50
Concrete	26 (36)	2.4	30–50	50	7	12	40	0.2	—	—	2	10–14	
Rocks and ice													
Limestone	Cost of mining and transport	2.7	63	30–80	20	—	—	0.9	—	—	—	8	≈ 100
Granite		2.6	60–80	65–150	23	—	—	—	—	—	—	8	
Ice		0.92	9.1	6	1.7	—	—	0.12	273 (250)	—	—	—	

Темир, алюминий, никель металлар ва қотишмалар таркиби ва хоссалари.

Table 1.1 Generic iron-based metals

<i>Metal</i>	<i>Typical composition (wt%)</i>	<i>Typical uses</i>
Low-carbon ("mild") steel	Fe + 0.04 to 0.3 C (+ \approx 0.8 Mn)	Low-stress uses. General constructional steel, suitable for welding.
Medium-carbon steel	Fe + 0.3 to 0.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	Medium-stress uses: machinery parts – nuts and bolts, shafts, gears.
High-carbon steel	Fe + 0.7 to 1.7 C (+ \approx 0.8 Mn)	High-stress uses: springs, cutting tools, dies.
Low-alloy steel	Fe + 0.2 C 0.8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-stress uses: pressure vessels, aircraft parts.
High-alloy ("stainless") steel	Fe + 0.1 C 0.5 Mn 18 Cr 8 Ni	High-temperature or anti-corrosion uses: chemical or steam plants.
Cast iron	Fe + 1.8 to 4 C (+ \approx 0.8 Mn 2 Si)	Low-stress uses: cylinder blocks, drain pipes.

Table 1.4 Generic aluminium-based metals

<i>Metal</i>	<i>Typical composition (wt%)</i>	<i>Typical uses</i>
1000 Series unalloyed Al	>99 Al	Weak but ductile and a good electrical conductor: power transmission lines, cooking foil.
2000 Series major additive Cu	Al + 4 Cu + Mg, Si, Mn	Strong age-hardening alloy: aircraft skins, spars, forgings, rivets.
3000 Series major additive Mn	Al + 1 Mn	Moderate strength, ductile, excellent corrosion resistance: roofing sheet, cooking pans, drinks can bodies.
5000 Series major additive Mg	Al + 3 Mg 0.5 Mn	Strong work-hardening weldable plate: pressure vessels, ship superstructures.
6000 Series major additives Mg + Si	Al + 0.5 Mg 0.5 Si	Moderate-strength age-hardening alloy: anodised extruded sections, e.g. window frames.
7000 Series major additives Zn + Mg	Al + 6 Zn + Mg, Cu, Mn	Strong age-hardening alloy: aircraft forgings, spars, lightweight railway carriage shells.
Casting alloys	Al + 11 Si	Sand and die castings.
Aluminium–lithium alloys	Al + 3 Li	Low density and good strength: aircraft skins and spars.

Table 1.3 Generic nickel-based metals

Metals	Typical composition (wt%)	Typical uses
Monels	Ni + 30 Cu 1Fe 1Mn	Strong, corrosion resistant: heat-exchanger tubes.
Superalloys	Ni + 30 Cr 30 Fe 0.5 Ti 0.5 Al	Creep and oxidation resistant: furnace parts.
	Ni + 10 Co 10 W 9 Cr 5 Al 2 Ti	Highly creep resistant: turbine blades and discs.

Table 1.5 Generic titanium-based metals

Metal	Typical composition (wt%)	Typical uses
α - β titanium alloy	Ti-6 Al 4 V	Light, very strong, excellent corrosion resistance, high melting point, good creep resistance. The alloy workhorse: turbfans, airframes, chemical plant, surgical implants.

Table 1.6 Properties of the generic metals

Metal	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Ductility	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting Temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)
Iron	100 (140)	7.9	211	50	200	0.3	80	1809	456	78	12
Mild steel	200-230 (260-300)	7.9	210	220	430	0.21	140	1765	482	60	12
High-carbon steel	150 (200)	7.8	210	350-1600	650-2000	0.1-0.2	20-50	1570	460	40	12
Low-alloy steels	180-250 (230-330)	7.8	203	290-1600	420-2000	0.1-0.2	50-170	1750	460	40	12
High-alloy steels	1100-1400 (1400-1800)	7.8	215	170-1600	460-1700	0.1-0.5	50-170	1680	500	12-30	10-18
Cast irons	120 (160)	7.4	152	50-400	10-800	0-0.18	6-20	1403			
Copper	1020 (1330)	8.9	130	75	220	0.5-0.9	>100	1356	385	397	17
Brasses	750-1060 (980-1380)	8.4	105	200	350	0.5	30-100	1190		121	20
Bronzes	1500 (2000)	8.4	120	200	350	0.5	30-100	1120		85	19
Nickel	3200 (4200)	8.9	214	60	300	0.4	>100	1728	450	89	13
Monels	3000 (3900)	8.9	185	340	680	0.5	>100	1600	420	22	14
Superalloys	5000 (6500)	7.9	214	800	1300	0.2	>100	1550	450	11	12
Aluminium	910 (1180)	2.7	71	25-125	75-135	0.1-0.5	45	933	917	240	24
1000 Series	910 (1180)	2.7	71	28-165	75-180	0.1-0.45	45	915			24
2000 Series	1100 (1430)	2.8	71	200-500	300-600	0.1-0.25	10-50	860		180	24
5000 Series	1000 (1300)	2.7	71	40-300	120-430	0.1-0.35	30-40	890		130	22
7000 Series	1100 (1430)	2.8	71	350-600	500-670	0.1-0.17	20-70	890		150	24
Casting alloys	1100 (1430)	2.7	71	65-350	130-400	0.01-0.15	5-30	860		140	20
Titanium	4630 (6020)	4.5	120	170	240	0.25		1940	530	22	9
Ti-6 Al 4 V	5780 (7510)	4.4	115	800-900	900-1000	0.1-0.2	50-80	1920	610	6	8
Zinc	330 (430)	7.1	105		120	0.4		693	390	120	31
Lead-tin solder	2000 (2600)	9.4	40					456			
Diecasting alloy	800 (1040)	6.7	105		280-330	0.07-0.15		650	420	110	27



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Prof Enrico Bernardo
Advanced Ceramics and
Glasses group
Via Marzolo, 9
35131 Padova

tel. +39 049 8275510
fax +39 049 8275505
enrico.bernardo@unipd.it

CF 60006480261
P.IVA 00742430263

Administrative Office
via Gradenigo 6/a
35131 Padova
www.dii.unipd.it

tel. +39 049 8277500
fax +39 049 8277599
segreteria@dii.unipd.it

Padova, May 4th, 2016

To whom it may concern

*Expert Review on the Education Module “Innovative Technology of Composite Materials”,
prepared for the “Chemical technology” specialization on teachers retraining and educational courses*

Based on the proposed program, the Module “Innovative Technology of Composite Materials” is effectively devoted to the study of modern technologies in the production of composites. The module studies materials for matrices and fillers, with their properties and applications. Also the production technologies for polymer-matrix, ceramic-matrix and metal-matrix composites are included. Interestingly, I note that a special attention is paid to carbon-carbon composites and non-traditional composite materials such as Self-Reinforced composites, Biocomposites and Composites for Structural Design.

Based on the information from colleagues, the Module consists of a theoretical part and practical tasks, includes the case studies for self-study programs, the glossary and the list of references. I agree on the fact that the preparation of a glossary, containing reviews in both Uzbek and English languages, will enhance the assimilation of the program.

I think that the module “Innovative Technology of Composite Materials” can be used for educational purposes on teachers retraining and educational courses.

Yours sincerely,

Enrico Bernardo, PhD
Associate Professor
Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Edificio Ex Fisica Tecnica
Via Marzolo, 9
35131 Padova, Italy
phone +39 049 8275510
fax +39 049 8275505
e-mail enrico.bernardo@unipd.it
web <http://www.dii.unipd.it/bernardo>