

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Химия және химиялық технология факультеті
Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы
және технологиясы кафедрасы

8-дәріс

ПКМ құрылымы мен қасиеттерінің ерекшеліктері. ПКМ
толтырылуы. ПКМ арналған толтырғыштардың түрлері.

6B07101 – Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар» білім беру бағдарламасы

К.х.н., доцент: Тоқтабаева Асель Қырғызбаевна

Мақсаты:

Полимерлі композиттік материалдардың құрылымдық принциптерін, компоненттік құрамын және қасиеттерін түсіндіру. Толтырғыштардың табиғаты мен морфологиясының ПКМ қасиеттерін қалыптастырудағы рөлін ашып көрсету, сонымен қатар әртүрлі типті толтырғыштардың (дисперсті, талшықты, қатпарлы және т.б.) ерекшеліктерін және олардың әсер ету механизмдерін түсіндіру.

Жоспары:

- Полимерлі композиттік материалдар туралы жалпы түсінік
- ПКМ құрылымының ерекшеліктері және компоненттерінің өзара әрекеттесуі
- Полимерлі матрицаның (негіздің) рөлі және қасиеттері
- Толтырғыштар және олардың ПКМ құрылымындағы маңызы
- Толтырғыштардың түрлері
- Толтырғыштардың полимерлі композиттердің механикалық, жылулық және физика-химиялық қасиеттеріне әсері
- ПКМ алу әдістері және қолданылу салалары

Құрылымдардың минималды массасын, максималды беріктігін, қаттылығын, ауыр жүктеме жағдайында ұзақ мерзімділігін, жоғары температурада және коррозиялық ортада жұмыс істеу кезінде сенімділік, беріктік қамтамасыз ететін сияқты, жиі бір-бірінің талаптарына қарама-қарсы болатын, қатаң қанағаттандыратын материалдардың негізгі класы, **композициялық материалдар** болып табылады.

Қысқаша тезис: Бұл лекция полимерлі композиттік материалдардың (ПКМ) құрылымы, компоненттері мен қасиеттеріне арналған. ПКМ – бұл полимерлі матрицадан және оның қасиеттерін жақсартатын толтырғыштардан тұратын көп компонентті жүйе. Полимер матрицасы байланыстырушы негіз ретінде материалдың тұтастығын қамтамасыз етеді.

Толтырғыштар ПКМ-нің механикалық беріктігін, әртүрлі ортаға тұрақтылығын арттыру, құнын төмендету және полимердің отырмауын (shrinkage) азайту үшін енгізіледі. Олар сондай-ақ материалдың температураға тұрақтылығына, жылуөткізгіштігіне, тығыздығына және үйкеліс коэффициентіне тікелей әсер етеді.

Толтырғыштар әртүрлі белгілері бойынша жіктеледі. Негізгі түрлері:

1. Дисперсті толтырғыштар: Белсенді (қасиеттерге әсер ететін) және инертті (негізінен құнын төмендететін) болып бөлінеді. Толтырғыштың белсенділігі оның дисперсия дәрежесіне (жанасу бетінің ауданы), мөлшеріне және матрицамен адгезия энергиясына байланысты.

2. Талшықты толтырғыштар: Беріктілігі жоғары армиленген материалдар (мысалы, көміртекті, базальтты талшықтар) алу үшін қолданылады. Бұл ретте талшықтың "критикалық ұзындығы" ($l_{кр}$) маңызды рөл атқарады. Егер талшық ұзындығы критикалық ұзындықтан үлкен болса ($l > l_{кр}$), ол өз беріктілігін толық жүзеге асырады және бұзылғанда өзі сынады.

3. Жапырақша тәрізді толтырғыштар: Мата, қағаз, ағаш шпоны сияқты материалдар. Олар текстолит және гетинакс сияқты қатпарлы пластиктерді алу үшін пайдаланылады.

ПКМ қасиеттері үшін матрица мен толтырғыш арасындағы адгезиялық байланыстың сапасы негізгі факторлардың бірі болып табылады. Сондай-ақ, материалдардың қасиеттерін реттеу үшін пластификаторлар, тұрақтандырғыштар, қатайтқыштар және бояғыштар сияқты басқа да қоспалар қолданылады.

ПКМ-ге жатқызады:

- құрамында дисперсті минералды немесе органикалық толтырғыштар бар толтырылған полимерлер (бор, тальк, көміртекті қара, каолин, металл ұнтақтары, ағаш ұны, монокристалды «мұртшалар» және басқалары), сондай-ақ дискретті талшықтар;

- матрицада анизотропты немесе кездейсоқ орналасқан үздіксіз бейорганикалық немесе органикалық талшықтар (шыны, бор, базальт, металл, көміртекті, органикалық, полимер) бар полимерлер;

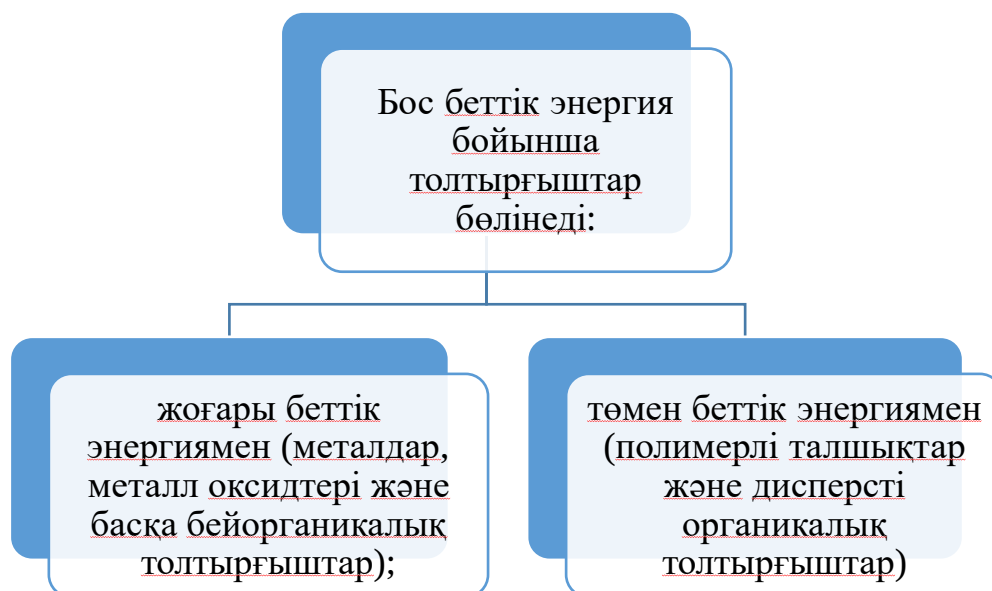
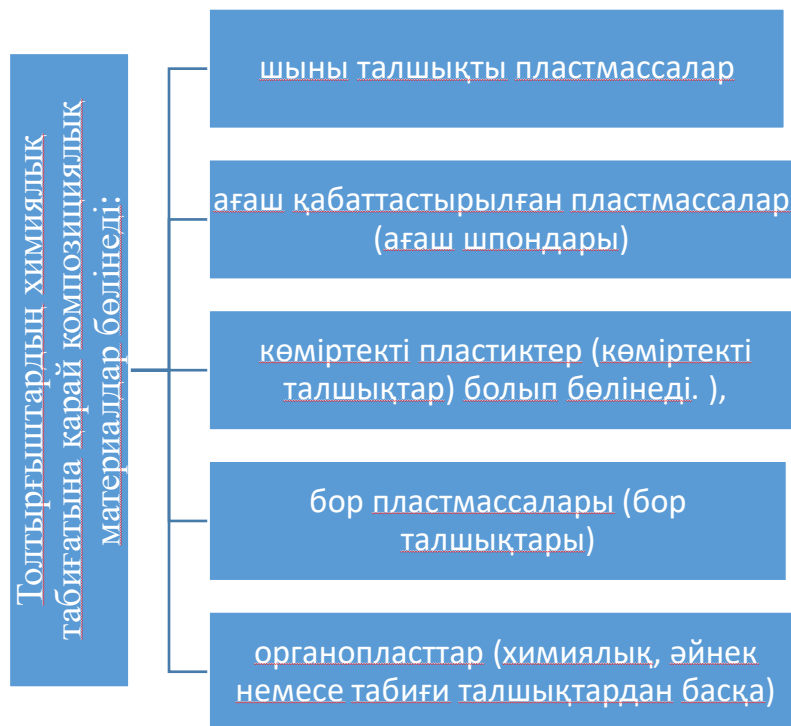
- бір табиғаттағы полимер бөлшектерінің басқа полимердің матрицасында белгілі бір таралуымен сипатталатын, өзара еру қабілеті жоқ полимерлердің қоспалары.

Талшықты армиrlenген жүйелердің тоқыма құрылымына байланысты олардың негізіндегі композициялық материалдар бөлінеді:

талшықтар (кептер, кілемшелер)

текстолиттер (маталар)

гетинактар (қағаз)





► **Полимерлік композиттік материалдардың негізгі құрам бөлігі**

► **Толтырғыштар** – қатайтқан кезде полимердің көп отырмауына себепші болып, әртүрлі ортаның әсеріне тұрақтылығын арттырып, полимерлік композиттік материалдардың механикалық қасиеттерін жақсартатын жәнеде полимерлік материалдардың құнын төмендететін заттар.

Толтырғыштарды полимерлерге мынадай
мақсаттармен енгізеді:

бағалы тасымалдаушының қасиеттер
комплексімен жаңа полимерлі материалдар құру;

толтырылған полимерлердің қайта өңделуін және
технологиялық қасиеттерін жақсарту;
материалдың арзандауы;

қалдықтарды жою және экологиялық мәселелерді
шешу;

толтырғыштардың түрлерін және шикізат
базасын арттыру.

Толтырғыштар өзінің
табиғатына қарай бөлінеді:

органикалық
дисперсті

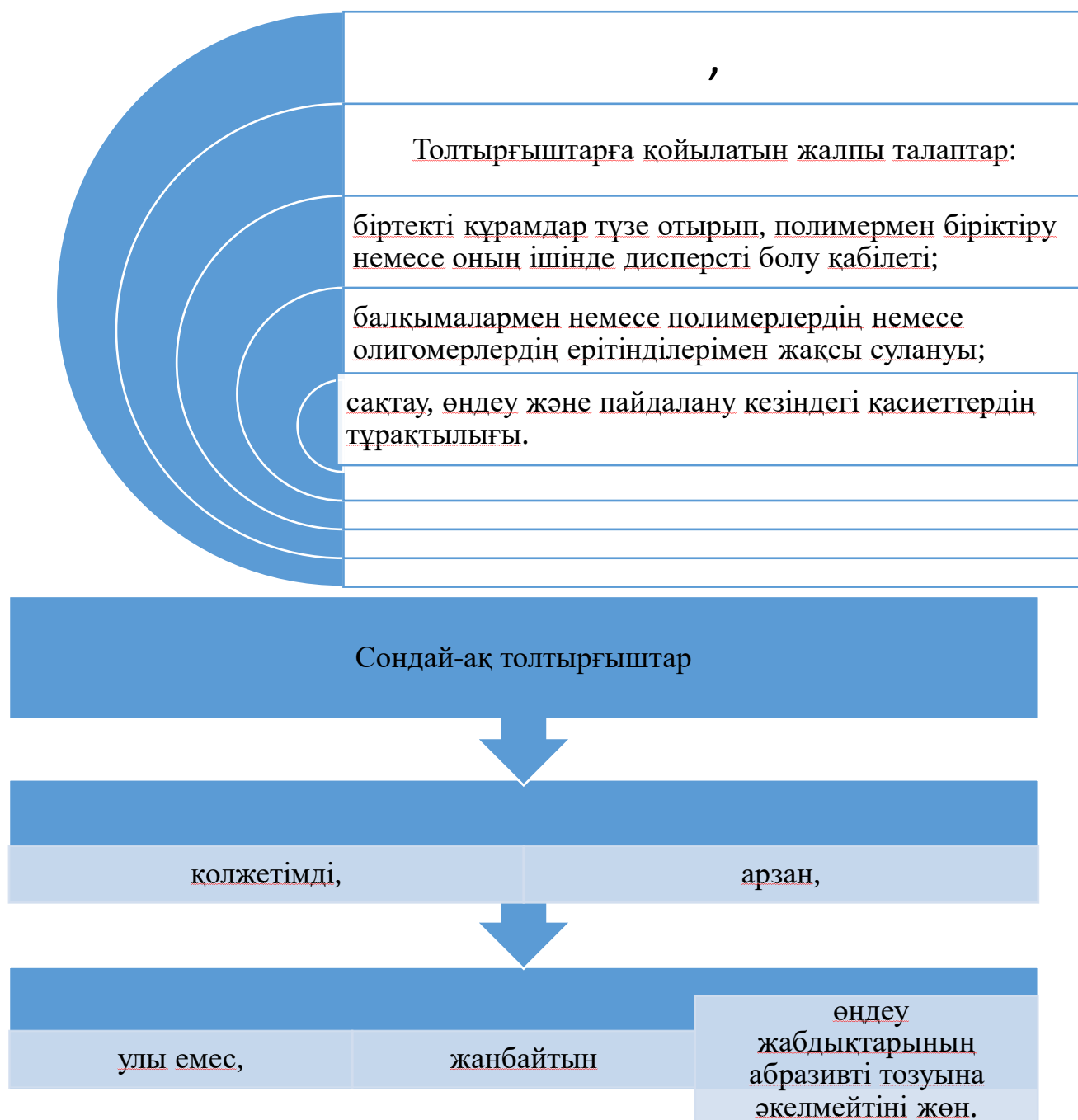
техникалық
көміртек, ағаш
ұнтағы;

органикалық
талшықты

мақта линті, целлюлоза,
гипон, тоқыма
қиындылары, қағаз, мақта
маталары, көміртек
маталары;

бейорганикалық
талшықты

асбест, шыны
талшықтар
және т.б.



- Реактопласттарға арналған толтырғыштар термопласттарға арналған толтырғыштарға қарағанда, бөлшектердің өлшемі бойынша дөрекі және біркелкі болуы мүмкін; катаю процестерін тездетпеуі немесе баяулатпауы керек. Толтырғыштардың құрамында байланыстырғышпен химиялық байланыстардың түзілуіне қатыса алатын функционалдық топтар болғаны жөн.

- Термопласттарға арналған толтырғыштардың бөлшектері полимер бетіне адгезияны қамтамасыз ету үшін кедір-бұдыр бетке ие болуы керек, көп дисперсті және аз полидисперсті болуы керек.

- Пластификацияланған матрицалар үшін пластификаторды толтырғышпен жұтып алмау үшін кеуектілігі төмен толтырғыштар таңдалады.

1. Толтырғыштар ПКМ-нің беріктілігін қамтамасыз етеді. ОЛ толтырғыштың өз қасиеттеріне және байланыстырғышпен байланысуына тәуелді

2. Үйкеліс коэффициентіне тікелей әсер етеді. Антифрикциялық материалдар- дисульфид, молибден, фторпласт; фрикциялық материалдар, сцепления дискілері- асбестті талшық, металл ұнтағы, кварцит.

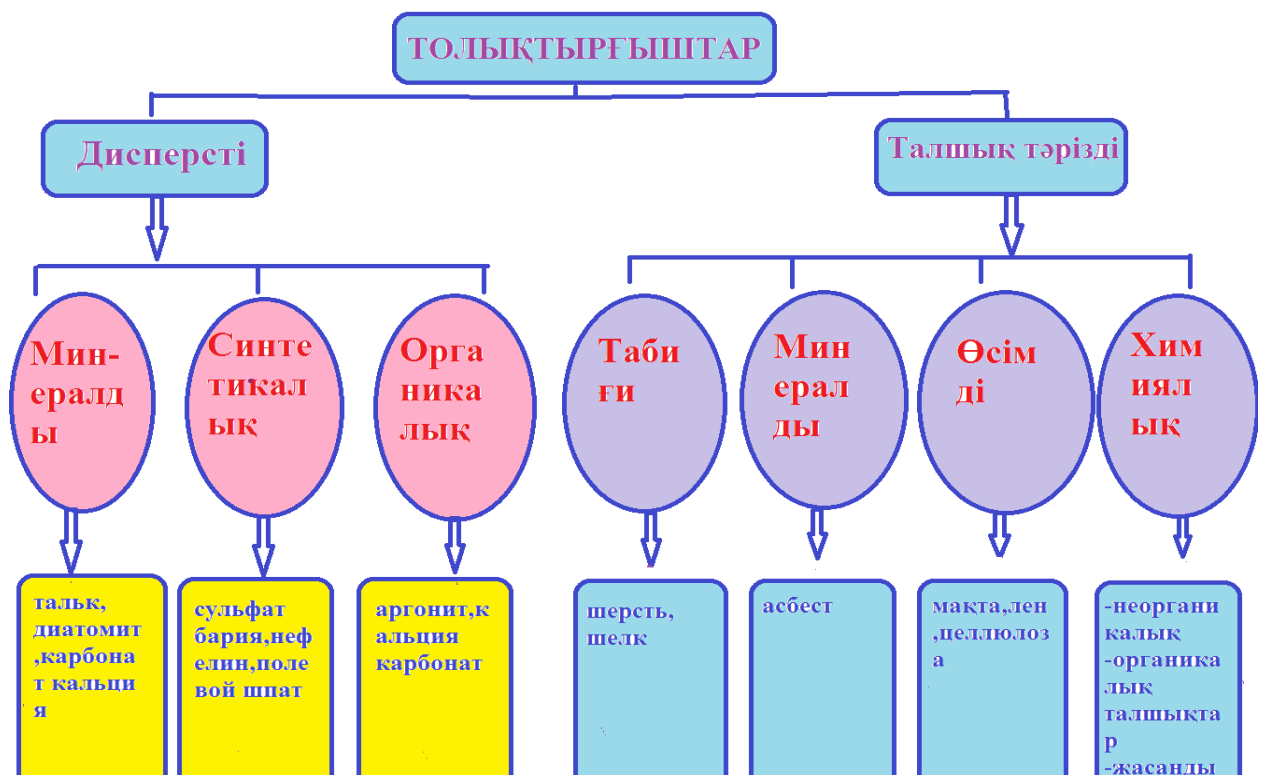
Химиялық тұрақтылығына;

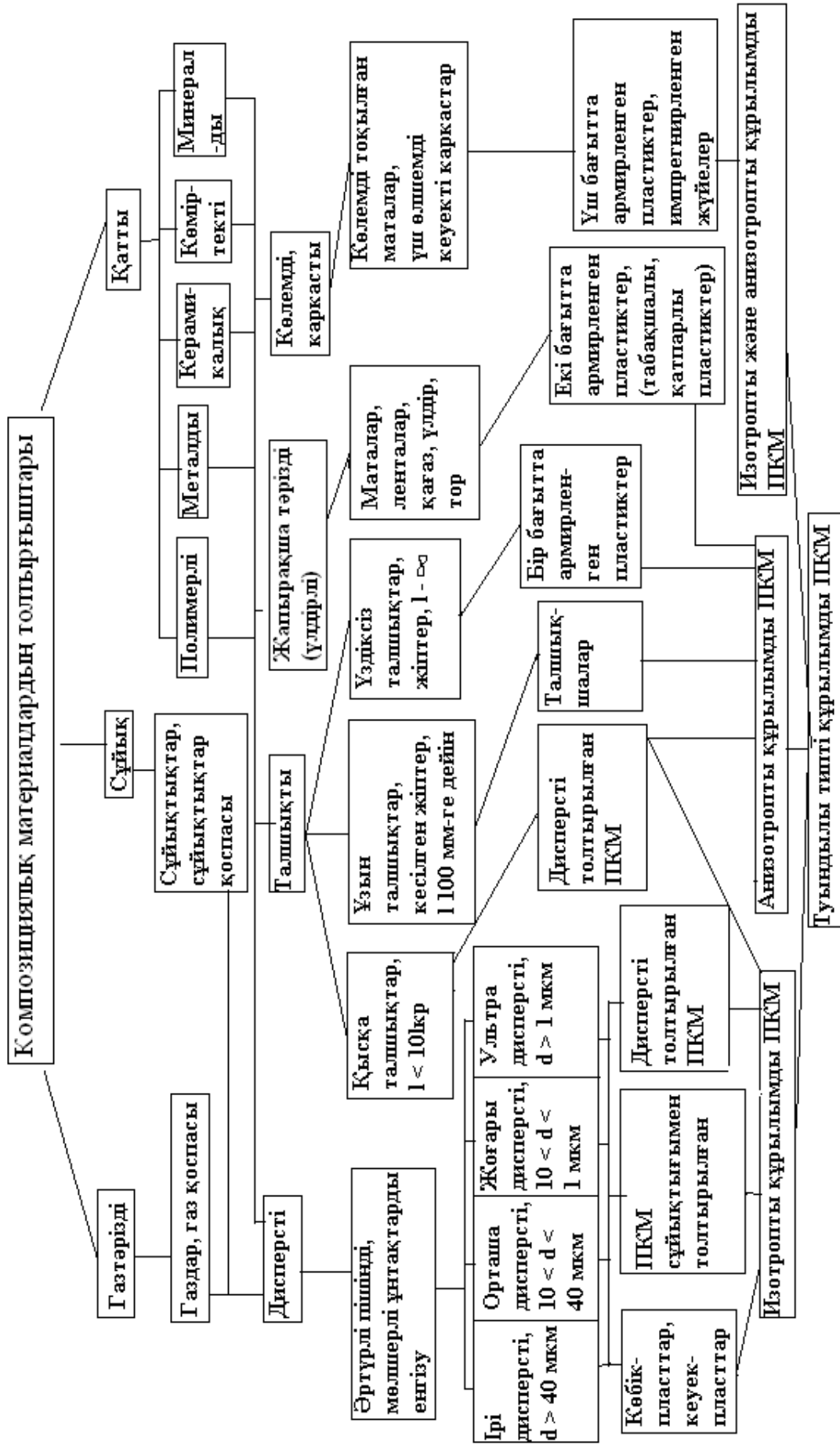
4. Температураға тұрақтылығына;

5. Жылуөткізгіштігіне:

6. Тығыздығына;

7. Өртке тұрақтылығына әсер етеді.





Дисперстік толтырғыштарды матрицаның қасиеттеріне әсер етпейтін және композицияның құнын төмендету үшін оның құрамына енгізілетін инертті және белсенді деп бөлуге болады. Толтырғыштың белсенділігі негізінен үш фактормен анықталады:

- байланыстырғышқа белсенді қосылыстарды енгізу арқылы арттыруға болатын полимердің толтырғышқа адгезия энергиясы мен полимердің когезия энергиясы арасындағы қатынас;

- толтырғыш бөлшектерінің дисперсия дәрежесі, ол матрицаның толтырғышпен жанасу бетінің ауданын анықтайды және оны ұнтақтау арқылы ұлғайтылуы мүмкін;

- енгізілген толтырғыштың мөлшері, өйткені көптеген инертті болып саналатын толтырғыштар (доломит, мәрмәр, бор, барит және т.б.) критикалық құрамдас бөлігі механикалық қасиеттеріне әсер ете бастайды, мысалы, соққы беріктігін айтарлықтай төмендетеді.

► **Пластификаторлар** – полимерлерге эластикалық, аязға төзімділік, отқа төзімділік, ультракүлгін сәулелердің әсеріне тұрақтылық беретін заттар.

► Оларға әртүрлі қышқылдардың күрделі эфирлері дибутилфталат, трикрезолфосфат, төмен молекулалық полиэфирлер және басқалар жатады.

► **Тұрақтандырғыштар** (стабилизаторлар) – пластмассаларды қайтадан өңдеу және пайдалану кезінде қасиеттерінің ұзақ сақталуына себепші болатын заттар, яғни олар полимерлердің жылудың, жарықтың, ауадағы оттектің әсеріне тұрақтылығын арттырады. Оларға термототығып, деструкциялану үрдісін болдырмайын антиоксиданттар, фотолиз бен фотототығуға қарсы қолданылатын тұрақтандырғыштар жатады.

► **Қатайтқыштар** – полимерге үш өлшемді құрылым беріп, термотұрақтылығын арттыратын заттар.

► **Майлаушы заттар** – материалдарды дайындағанда және бұйымдар жасау үшін, қайта өңдегенде олардың жабдықтарға жабыспауын қамтамасыз етеді, оған стеарин, олеин қышқылдары жатады.

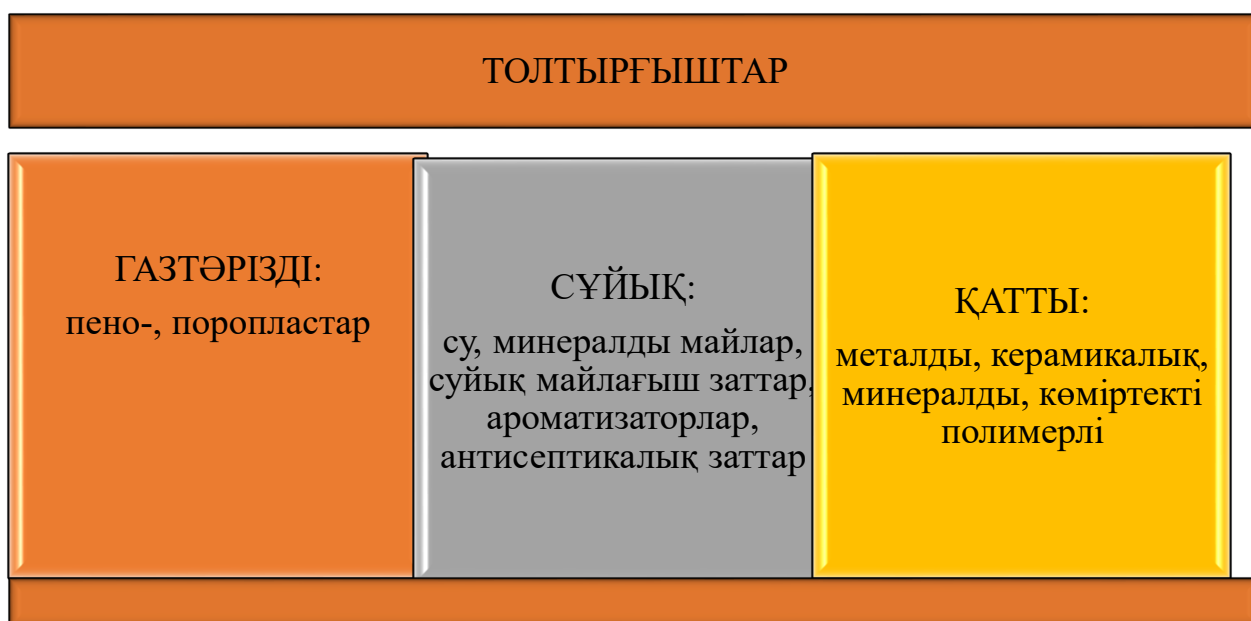
► **Бояғыштар мен пигменттер** – түсті пластмассалар алу үшін полимерге қосылатын заттар. Кеуек түзушілер мен көбіктендіретін агенттер қыздырғанда газ тәріздес заттар бөлу арқылы ыдырайтын қосылыстар. Оларды газбен толтырылған пластмассалар (кеуекті пластар мен көбікті пластар) өндірісінде пайдаланды.

► Екі немесе одан да көп компоненттерден алынған, оның бір компоненті матрица болатын және онда матрицадан бөлу шекарасымен бөлінген басқа

компонент таралған (диспергирленген) гетерофазалық жүйені **полимерлік композиттік материалдар** деп атайды.



ПКМ арналған толтырғыштардың түрлері және олардың рөлі



► Полимерді газбен толтыру нәтижесінде техникада және өмірде кең қолданылатын жеңіл, жылу-, дыбысизоляциялық, эластикалық және қатты көбік- және кеуекпласттар алуға болады.

► Дисперсті фазасы сұйықтық, ал матрицасы - полимер болатын сұйықтықпен толтырылған полимерлік материалдарды эмульсияларды салқындатумен алады. Сұйық толтырғыш ретінде су, минералды майлар, сұйық ароматтайтын, антисептикалық және басқа заттар қолданылады. Сұйықтықпен толтырылған полимерлерден отқа төзімді экрандар, өздігінен жағылатын подшипниктер, ароматтайтын және басқа материалдар алады.

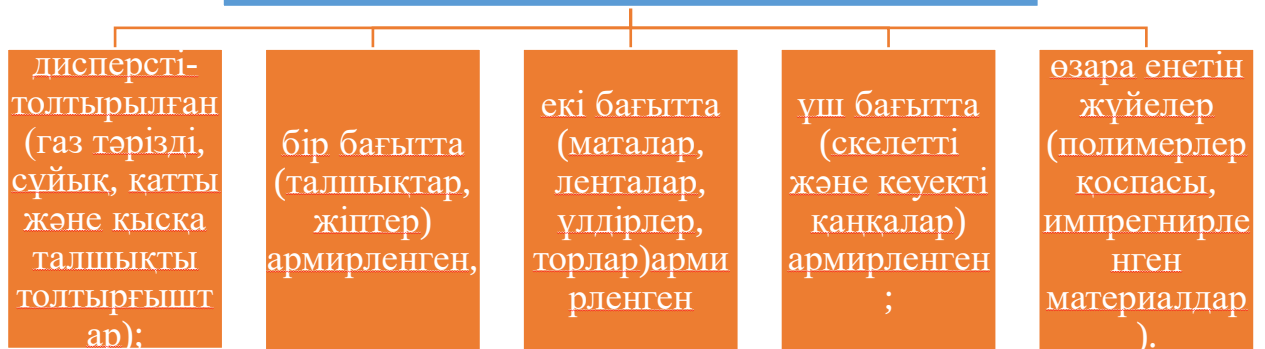
► Сан алуан қасиеттерді, табиғаты (металдар, керамика, полимерлер) және құрылымы әр түрлі қатты толтырғыштарды қолдана отырып алуға болады. Бір материалдан (мысалы, шыны) пішіні, мөлшері, құрылымы әртүрлі толтырғыштар алуға болады: шартәрізді, қабыршақты, инетәрізді, эллипсоидты пішінді; түрлі диаметрлі және ұзындықты жіп, талшық; мата, лента, кенеп және т.б.

Класс частиц	Идеализированная форма частиц	Пример наполнителя
Сфера или близкая к сферической		искусственные стеклянные шарики
Кубическая, призматическая		кальцит, полевой шпат
Нерегулярная		оксид кремния, оксид бария, технический углерод
Чешуйка, пластинчатая		слюда, тальк, каолин, графит
Игольчатая, волокнистая		воластонит, древесная мука

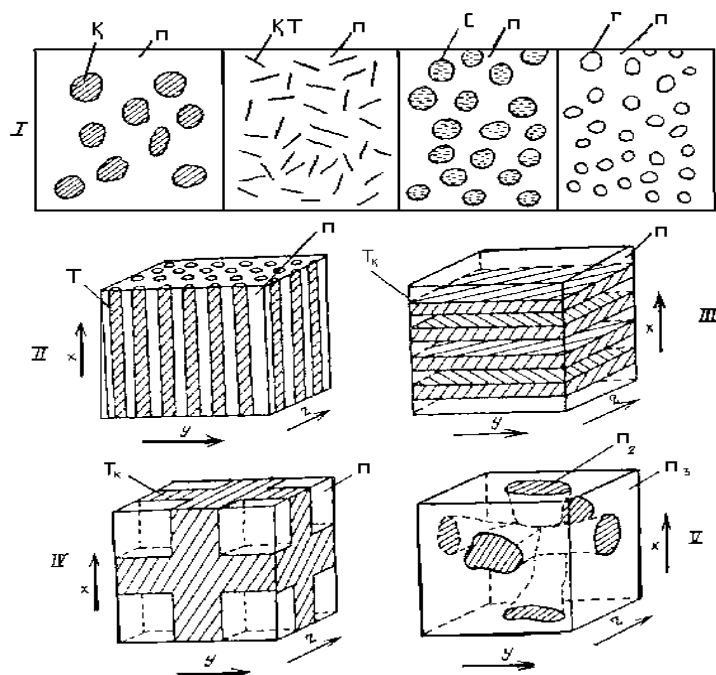
Қатты толтырғыштар

ДИСПЕРСТІ: СаСО ₃ , каолин, талық, SiO ₂ , кварц түрлері және т.б.	ТАЛШЫҚТЫ: Шыны, базальт, көміртекті, бор, металл, полимерлер талшықтары	ҚАТПАРЛЫ: маталар, қағаздар, шыныматтар, кенеп және бұлғауыштар	ДЭНТӘРІЗДІ: шыны, көміртек және кейбір полимерлерден жасалған микросфералар, қабыршықтар
---	---	--	---

Толтырылған полимерлер құрылымдық принциптері бойынша жіктеледі:



Толтырылған полимерлер құрылысының негізгі типі:



1 – дисперсті құрылыс; II-IV-армирленген құрылым (сәйкес II, III және IV – бір, екі және үш бағытта армирленген); V – өзара енетін торлар (полимерлер қоспасы). Толтырғыштар: қ – қатты, с – сұйық, г – газтәрізді, в – талшық, қт – қысқа талшық, Тк – қабатты және Тк – көлемді толтырғыштар, П – полимер

Өндірісте шығарылатын толтырғыштарды мөлшері және құрылымы бойынша негізгі төрт түрге бөлуге болады:

дисперсті (ұнтақ тәрізді);

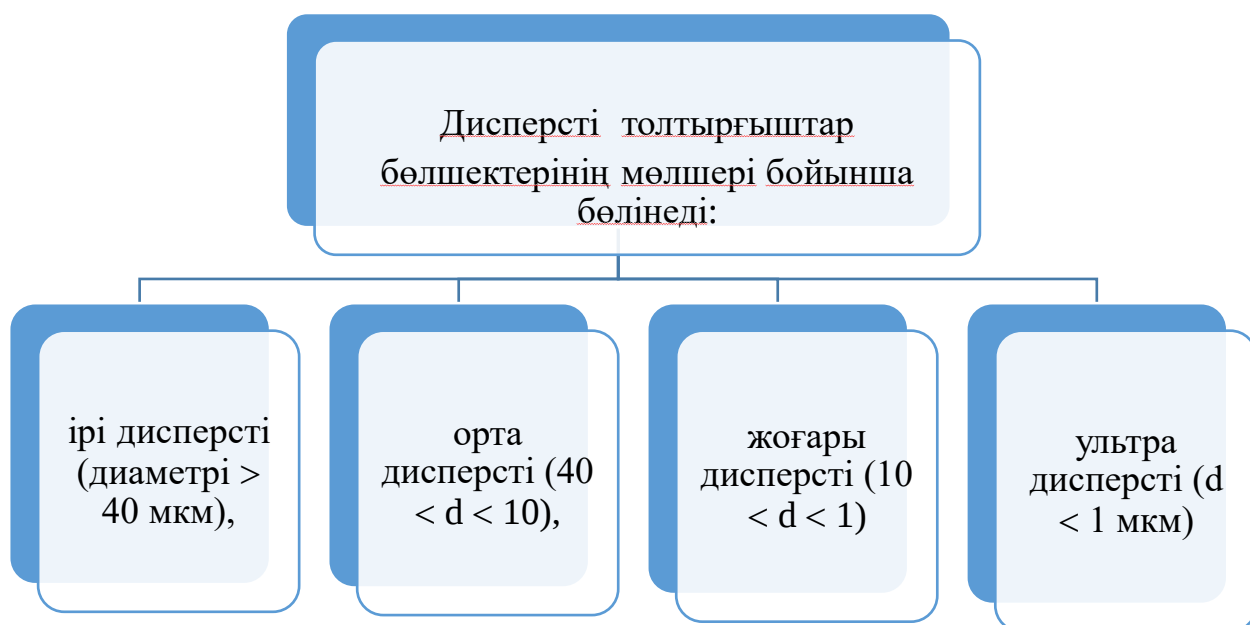
талшықты (талшық, жіп және т.б.);

жапырақ тәрізді берілген құрылыммен (мата, қағаз, ленталар, үлдірлер, торлар);

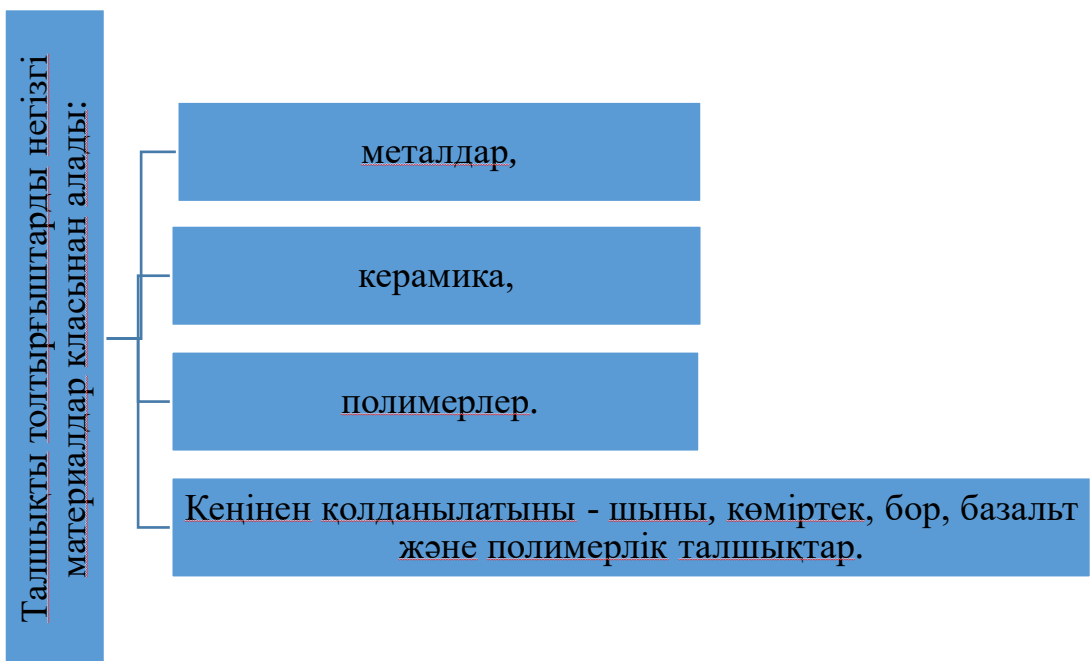
көлемді үздіксіз үшөлшемді құрылыммен (көлемді маталар, тоқылмаған маталар, киіз, скелетті және кеуекті қаңқа).

Дисперсті-толтырылған құрылымды материалдың берілген құрылымын жетілдіруде толтырғыштың негізгі сипаттамалары туралы білу қажет:

- бөлшектің пішіні (k_e – пішін коэффициенті);
- мөлшер және мөлшері бойынша бөлшектердің таралуы (диаметр, бөлшектердің таралу қисығы);
- меншікті бет (жалпы, геометриялық, ішкі);
- бөлшектердің кеуектілігі (көлем, кеуектердің мөлшері);
- үйілген және шын тығыздық (ρ_{γ} , $\rho_{ш}$);
- бума тығыздығының көрсеткіші (φ_{max});
- беттің рН-ы.



► **Талшықты толтырғыштар.** Талшық, жіп, ширатпа, бүтін және кесілген ширатпалардың беріктілігі жоғары, жоғары модульді армирленген полимерлік материалдарды құру үшін қолданады.



► Базальт талшықтары

► Көміртекті талшықтар

► Асбест талшықтары

► Бор талшықтары

► Метал талшықтары

► Синтетикалық талшықтардан жасалынған талшықтар

Дәнтәрізді толтырғыштар:

- монолитті және қуысты шыныдан, полимерден жасалынған сферолиттер
- Шыны сферолиттердің мөлшерлері: 30-750 мкм
- Диаметр 6 мм
- Тығыздығы 2500-2700 кг/куб. метр

Қуысты сферолиттер:

Шыны, көміртек, полимерлерден (фенол, карбамидформальдегид, эпоксидті), винилиден-хлорид-АН сополимері

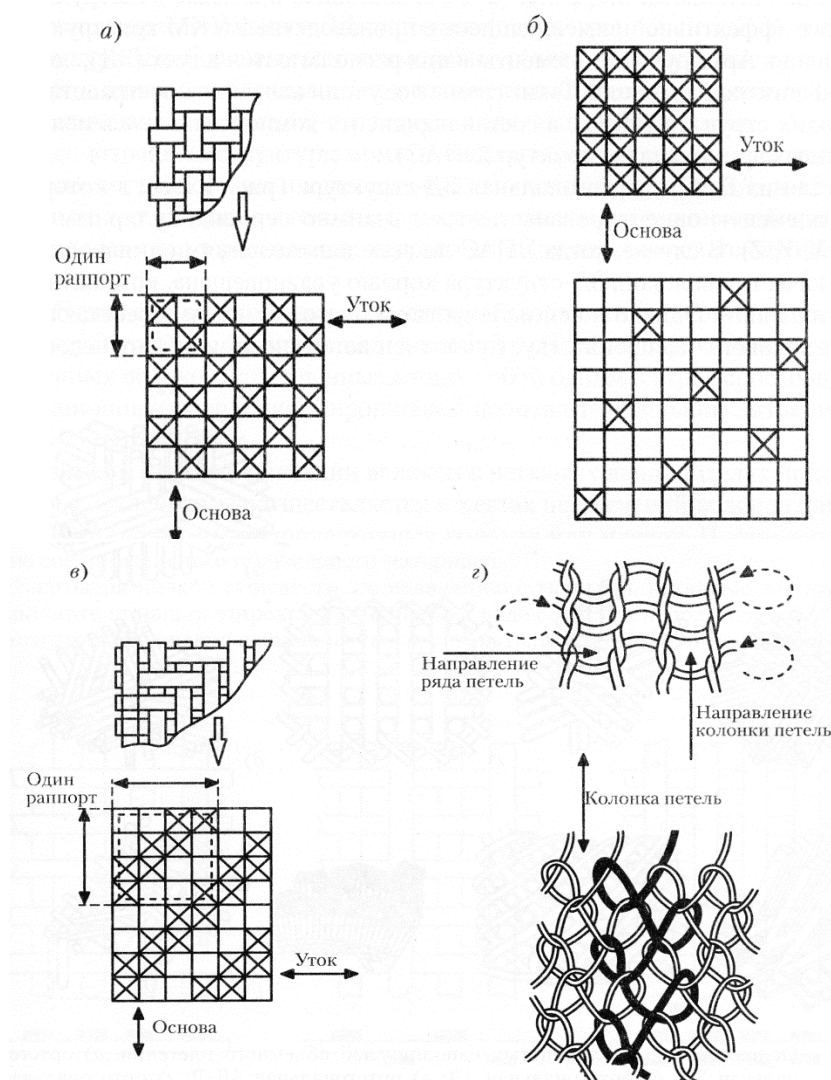
$D(\text{шыны}) = 20-130 \text{ мкм}$,

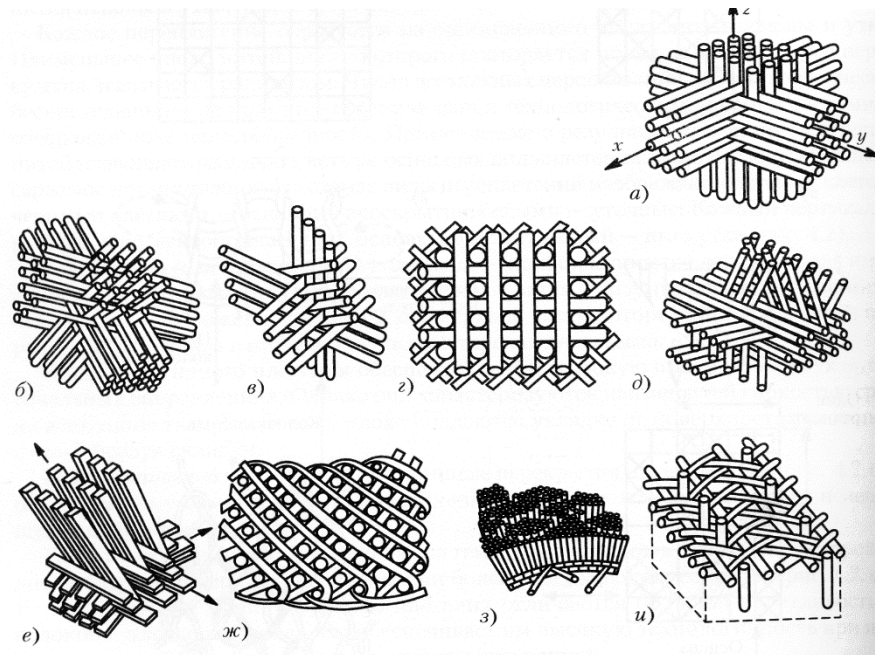
$L = 0.5-10 \text{ мкм}$

$D(C) = 5-300 \text{ мкм}$, $l = 2-10 \text{ мкм}$

Синтактикалық пенопластарды алуда қолданады

- Маталы (гарнитурлі) тоқу (а) - ең қарапайым. Маталы тоқымадағы маталар -екі бағытта өте берік. Басқа маталарға қарағанда иілімі ең төмен. Өндеуілі нашар.
- Сатинді тоқудағы маталар (б)-беріктігі мен қаттылығы негіздеменің бойында жоғары және утоктың бағытында төмен
- Саржды (астарлық маталы) тоқылу (в). Технологиялылығы жоғары.
- Трикотажды тоқылу маталары (г, жоғарғы-уткалы, төменде-негізгі тоқылу). Трикотажды АП –беріктігі және қаттылығы төмен. Иілімділігі жақсы





- Пластикте талшықтардың тиімділігі, олардың ұзындығының өсуімен артады. Талшықтардың критикалық ұзындығы $l_{кр}$ деген ұғым бар. Талшықтың пластикте күштенуі сол мәнге дейін өседі және $l = l_{кр}$ болғанда, талшықтың беріктілігіне теңеледі.

- $l < l_{кр}$ болатын талшықтармен толтырылған пластиктер бұлінгенде, полимерлік матрицадан қысқа талшықтардың жұлынуы байқалады, яғни пластик талшық - полимер шекарасында бұлінеді.

- $l > l_{кр}$ болатын талшықтар өздері бұлінеді және полимерлік матрицада өздерінің беріктілігін толық жұмсайды.

- $l > l_{кр}$ талшықтармен толтырылған полимерлердің беріктілігі $l < l_{кр}$ талшықтың қарағанда жоғары.

Талшықтардың критикалық ұзындығы $l_{кр}$

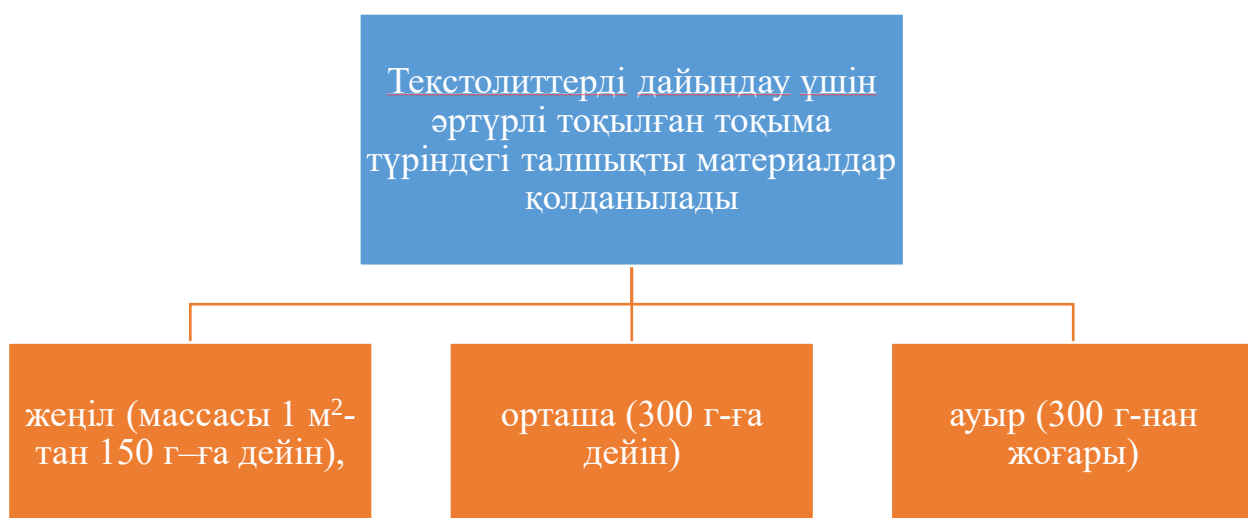
$$l_{кр} = \frac{(\sigma_p)_B d}{2\tau} \approx \frac{(\sigma_p)_B d \cdot \sqrt{3}}{2\sigma_T} \quad \text{немесе} \quad \frac{l_{кр}}{d} \approx 1.15 \frac{1 - \varphi_n^{0.5}}{\varphi_n^{0.5}} \left(\frac{E_B}{G_M} \right)^{0.5}$$

мұндағы d – талшықтың диаметрі; τ - талшық - полимер шекарасындағы ығысу күші; φ_n – полимердегі талшықтың мөлшері; E_B – талшықтың серпімділік модулі; σ_T ; G_M – сәйкес аққыштық шегі және матрицаның қозғалу модулі

- Талшықтың $l_{кр}$ көрсеткіші төмен болған сайын, талшық $l > l_{кр}$ –мен полимерлі матрицаны тиімді реттейді. Талшық $l \geq 10l_{кр}$ болғанда полимерде сыртқы күштің 90 % көтеретіні теориялық көрсетілген, практикада бұл көрсеткіш шамамен $100l_{кр}$ –ге дейін артады.

Талшықтардың ұзындығының артуы полимерлердің реттелуіне әкеледі, толтырылған композициялардың тұтқырлығы артады, аққыштығы төмендейді, олардың қайта өңделуі төмендейді және бұйымды пішіндеу әдісі өзгереді.

- **Жапырақша тәрізді толтырғыштар.** Алдын-ала берілген құрылымды жапырақша тәрізді (үлдірлі) толтырғыштарды әртүрлі тоқылған тоқыма түріндегі (сатин, саржа, мата), қағаз, ағаш шпоны, лента, кенеп, торларды қабатты пластиктер алуға қолданады. Қабатты пластиктерден кеңінен тарағаны текстолиттер.



ҚАҒАЗ НЕГІЗІНДЕГІ ТОЛТЫРҒЫШТАР – ГЕНИТАКС
Қағаздардың шикізат көзі: Сульфитті және Сульфатты целлюлоза сульфитті целлюлоза, мақта целлюлозасы, ағаш массасы.

Қолдануы: толтырғыштар ретінде қағаз-қатпарлы декоративті пластиктер, электротехникалық гетинакстер, сэндвич – панельдерде ұялы толтырғыштар (ұшақ және кеме құрылысында)

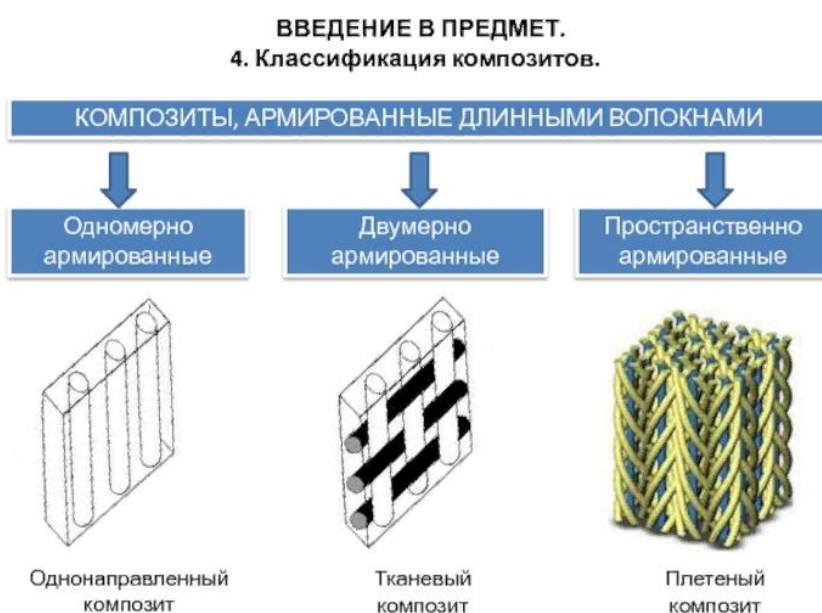
ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ.
4. Классификация композитов.



13

Генитакс және текстолиттерді алу үшін байланыстырушы ретінде, негізінен терморективті полимерлер – фенолформальдегидті, эпоксидті, полиэфирлі, полиимидті және кремнийорганикалық шайырлар, сирек – термопласты полимерлер: ПЭ, ПП, ПВХ, полиэфирсульфон, полиэфиркетон қолданылады.

ҰЗЫН ТАЛШЫҚТАРМЕН АРМИРЛЕНГЕН КОМПОЗИТТЕРІ



1. Бір өлшемді армиленген
2. Екі өлшемді армиленген
3. Кеңістікте армиленген
4. Бір бағытты композит
5. Маталық композит
6. Өрілген композит

Полимерлердің талшықты және қатпарлы толтырғыштары, ПКМ алу әдістері және бұйымдарды пішіндеу

Толтырғыштың типі	Толтырғыштарды алу және анықтау жолдары	Байланыстырушының толтырғышпен үйлесу жолдары	Бұйымдарды пішіндеу әдістері	Бұйымдардың типтік түрлері
Ширатылған жіптер	Ширауға ұшыраған жекеленген жіптер	Сіңіру	Орау, пултрузия	Құбырлар, көлемдер, профиль
Жгуттер	Бір-біріне параллель оралатын, ширатыл-маған жекеленген жіптер	Сіңіру	Орау, пултрузия	Құбырлар, көлемдер, профиль
Маттар	Хаосты орналасқан талшықтар	Сіңіру, шаңдату	Қолмен есептеу, престеу, штамптеу, пневмо-пішіндеу	Қайықтардың корпусы, қаптама, табақшалар
Ұсақталған талшықтар	Талшықтан ұнтақ	Араластыру	Қысымсыз құю, экструзия, престеу, қысыммен құю	Суармалы компаундтар, құрамалы бұйымдар
Маталар	Жіптерді тоқу	Сіңіру, сылау, шаңдату	Қолмен есептеу, орау, престеу,	Табақшалар, құбырлар, қатпарлы пластиктер
Үлдірлер	Үздіксіз ұзындықты тегіс материал	Сылау	Перстеу, орау	Табақшалар, құбырлар, қатпарлы пластиктер
Қағаз	Байланыстырушы-мен байланысқан хаосты орналасқан талшықтар	Сіңіру, сылау, шаңдату	Перстеу, орау	Табақшалар, қатпарлы пластиктер

Қорытынды:

- Полимерлі композиттік материалдар (ПКМ) — полимер матрицасы мен әртүрлі толтырғыштардан тұратын көпкомпонентті жүйелер. Полимер матрицасы байланыстырушы негіз қызметін атқарып, материалдың тұтастығын қамтамасыз етеді, ал толтырғыштар оның механикалық, термиялық және физика-химиялық қасиеттерін айтарлықтай жақсартады.

- Толтырғыш пен матрица арасындағы адгезиялық өзара байланыс ПКМ қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жақсы таралған және беті модификацияланған толтырғыштар материалдың беріктігін, термиялық тұрақтылығын, электрөткізгіштігін және химиялық төзімділігін арттырады.

- Қорытындылай келе, толтырғыштардың табиғаты мен құрылымы полимерлі композиттік материалдардың соңғы қасиеттерін айқындайды. ПКМ заманауи техникада — авиацияда, автомобиль жасауда, құрылыс индустриясында, медицинада және электроникада — жоғары беріктігі мен жеңілдігі арқасында кеңінен қолданылады.

Өзін-өзі тексеру сұрақтары

1. Полимерлі композиттік материал (ПКМ) дегеніміз не және оның негізгі құрамдас бөліктері қандай?
2. Толтырғыштар ПКМ қасиеттеріне қалай әсер етеді? (Кем дегенде 4 қасиетті атаңыз)
3. "Белсенді" және "инертті" дисперсті толтырғыштардың айырмашылығы неде және толтырғыштың белсенділігі қандай факторларға тәуелді?
4. Талшықты толтырғыштардың "критикалық ұзындығы" ($l_{кр}$) деген не және ол композиттің бұзылу механизміне қалай әсер етеді?
5. Термопласттарға және реактопласттарға арналған толтырғыштарға қойылатын талаптардың айырмашылықтары қандай?
6. Жапырақша тәрізді толтырғыштарға мысал келтіріңіз және олардың негізінде қандай материалдар алынады?
7. Толтырғыштардан басқа ПКМ құрамына кіретін қоспаларды (пластификаторлар, тұрақтандырғыштар, қатайтқыштар) атаңыз және олардың негізгі қызметтерін түсіндіріңіз.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Тоқтабаева А.Қ. Полимерлік композиттік материалдарды алу және зерттеу әдістері. Алматы, 2009. -153б.
2. Ирмухаметова Г.С. Основы технологии полимерных композиционных материалов: учеб. пособие для вузов; КазНУ им. аль-Фараби. - Алматы: Қазақ ун-ті, 2016. - 175 с.

3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Под редакцией Берлина А.А. – СПб., Изд-во «Профессия», 2008. – 560с.

4. Принципы создания композиционных полимерных материалов А.А. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян, Н. С. Ениколопов. — М.: Химия, 1990. — 240 с.

5. Сайфуллин, Р.С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов / Ренат Саляхович Сайфуллин- М.: Химия, 1990.- 239 с.

6. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер и др.; под общ. ред. А. А. Берлина- СПб.: Профессия, 2009.- 556, [4] с.

7. Батаев, А. А. Композиционные материалы. Строение, получение, применение: учеб. пособие / А. А. Батаев, В. А. Батаев- М.: Логос, 2006.- 397, [3] с.- (Новая унив. б-ка).