

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы және технологиясы кафедрасы

Полимерлі композициялық материалдарды
алудың теориялық негіздері.

Композитті наноматериалдардың механикалық
қасиеттеріне толтырғыштардың әсері.
Механикалық беріктілік және мәңгілік.

6B07101 – Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар» білім беру бағдарламасы

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

- **Мақсаты:**

- Полимерлі композициялық материалдарды алудың теориялық негіздерін, матрица мен толтырғыш арасындағы өзара әрекеттесудің физика-химиялық механизмін түсіндіру. Композитті наноматериалдардағы наноөлшемді толтырғыштардың механикалық беріктілікке, модульге және мәңгілікке әсерін талдау. Нанотолтырғыштар арқылы материалдың құрылымын жетілдіру және оның ұзақмерзімді тұрақтылығын арттыру жолдарын көрсету.

- **Жоспары:**

- 1.Полимерлі композициялық материалдардың (ПКМ) теориялық негіздері
- 2.Полимер матрицасының рөлі және оның физика-химиялық қасиеттері
- 3.Толтырғыштардың табиғаты мен құрылымдық сипаттамалары
- 4.Композитті наноматериалдар және олардың ерекшеліктері
- 5.Наноөлшемді толтырғыштардың (графен, көміртек нанотүтікшелері, нанокремний, наноксидтер және т.б.) әсер ету механизмі
- 6.ПКМ механикалық қасиеттері: беріктік, қаттылық, серпімділік модулі
- 7.Материалдардың мәңгілігі (тозуға, қартаюға және шаршауға төзімділігі)
- 8.Толтырғыштардың композиттердің механикалық және эксплуатациялық қасиеттерін қалыптастырудағы рөлі

Полимерлі матрицаға толтырғыштың әсеріне байланысты:

АКТИВТІ

Физика-механикалық
қасиеттерін
күшейтеді

Лиофильді дисперсті
система түзеді

АКТИВТІ емес

Бағасын төмендету
мақсатында

Металл және шыны
қалдықтары

Толтырғыштарға қойылатын талаптар:

Біртекті масса қалыптастыру үшін полимермен біріктіру мүмкіндігі (дисперсті толтырғыштар үшін)

Сақтау және өңдеу кезінде қасиеттердің өзгермейтіндігі

Төмен құны

Толтырғыш бөлшектердің **беріктігі** ПКМ құру кезінде өте маңызды. Алайда, бұл қасиетті өте ұсақ бөлшектер үшін анықтау мүмкін емес. Сондықтан толтырғыштардың физика-механикалық қасиеттері **қаттылықпен** бағаланады.

	Мосс шкаласы бойынша	Материал
Жұмсақ	1	Тальк
	2	Каолин, кипс, олово, ноготь
	3	Медь, золото
	5 – 5,5	Сталь, оконное стекло
	6 – 6,5	Полевой шпат, диоксидин титана
	7	Диоксидин кремния, диоксидин циркония
	9	Корунд, оксид алюминия
Қатты	10	Алмаз

Полимерлі композициялық материалдарды алу

Араластыру үрдісі

Араластыру үрдісінің түрлері:

Балқымаға сұйық немесе қатты ұнтақ тәрізді қоспаларды енгізумен араластыру

Екі сұйық компоненттерді араластыру
(олигомерлер, полимерлер балқымасы)

Ұнтақтарды араластыру

- **Термопласттарды түйіршіктеу** оларды компаундирлеу – құрамдастарды енгізуде (тұрақтандырғыштар, бояғыштар және олардың концентраттары, толтырғыштар және т.б.) өндіріледі. Негізінен, түйіршіктеу зауыдтарда пластмассаларды синтездеу бойынша жүргізіледі. Түйіршіктелген полимерлер полимерлік шикізатты қайта өңдеу үшін келетін негізгі пішін болып саналады.
- Түйіршіктеу әдісіне қарай түйіршіктер әртүрлі пішінді болады: жасымық, цилиндр, куб, пластина.
- **Ұсақтау** полимерлі материалдарды, тек оларды қайта қолдану жағдайында немесе жұқа полимерлі ұнтақтарды алуда жүргізіледі. Соңғысы шаңдату арқылы полимерлік жабындылармен қаптау үшін қажет.
- Полимерлерді ұсақтау тиімділігі, олардың иілгіштілік және морттылық қатынасына тәуелді: иілгіштерді кесу арқылы, ал морттылықты соғу жолымен ұнтақтайды.
- **Араластыру** – бұл жүйенің композиттік біркелкілігін арттыратын үрдіс. Араласуға әр түрлі жүйелер қатысады, бірақ полимерлік композиттік материалдарды өңдеуде ұнтақ тәрізді затты тұтқыр сұйықтықпен (полимер балқымасы немесе пластификатор) және екі тұтқыр сұйықтықпен, яғни полимерлер қоспасын алу үлкен орын алады.

Ұнтақтарды және түйіршіктерді кептіру үшін периодтық және үздіксіз қозғалатын **кептіргіштер** қолданылады. Ол барабанды, шнекті, ленталы вакуум-кептіргіштер, сонымен қатар қайнаған қабатты кептіргіштер.

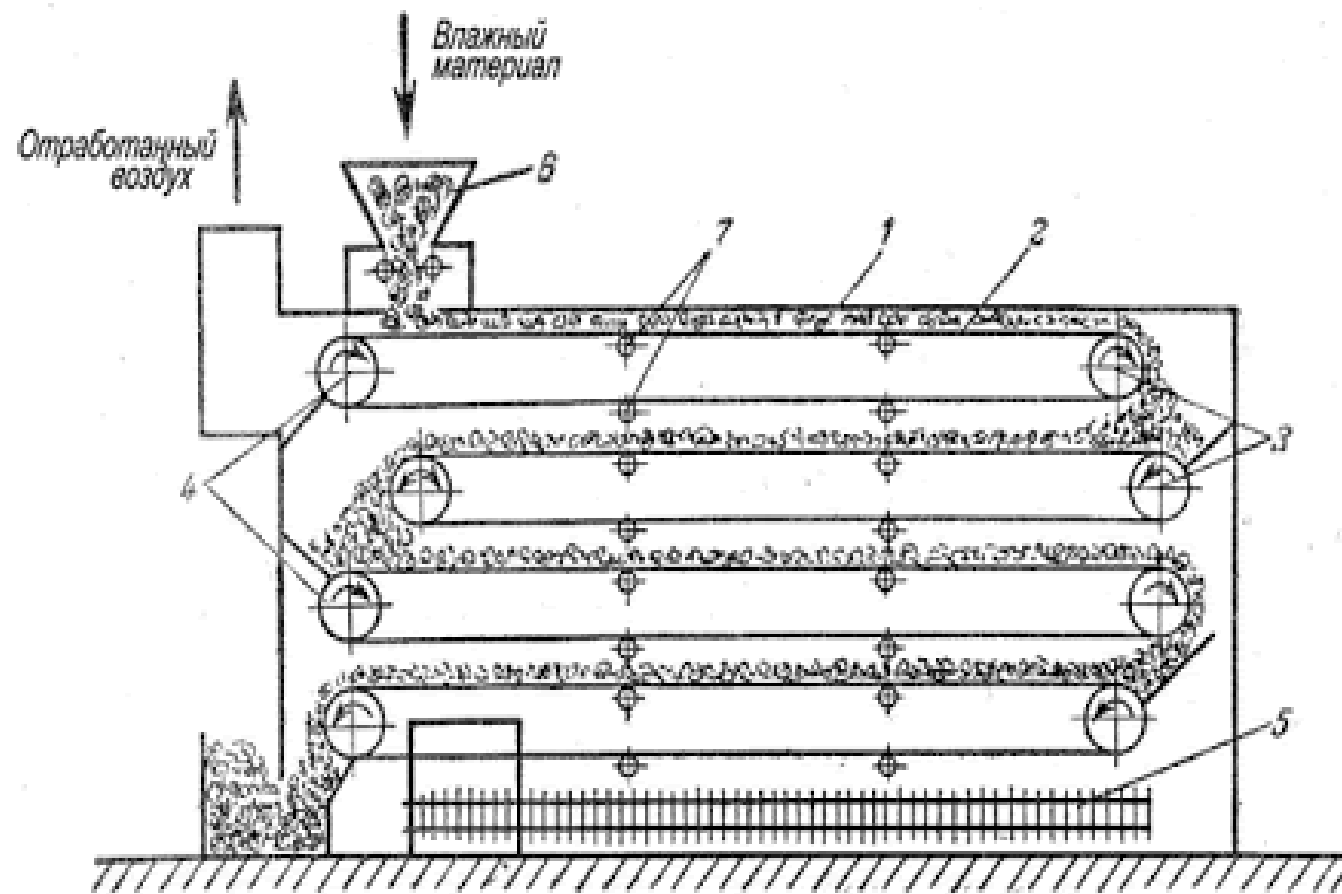
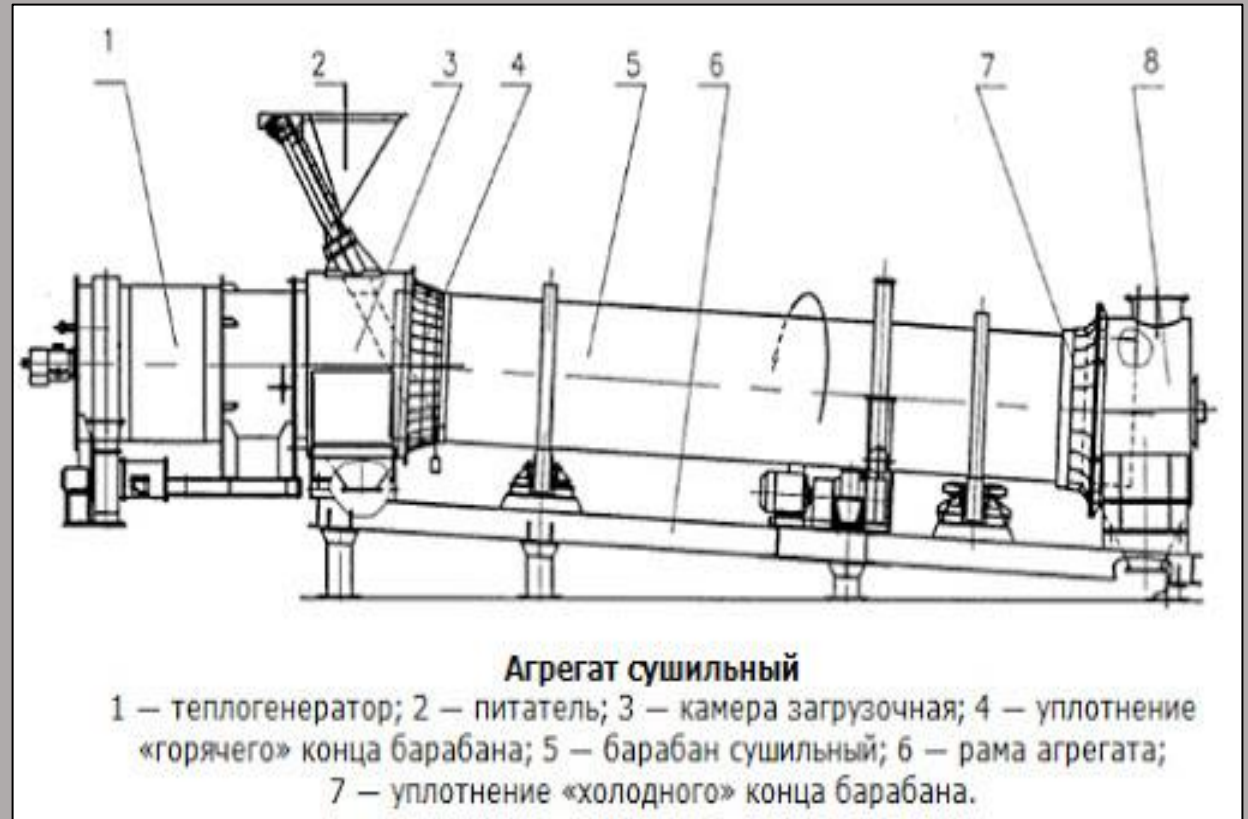
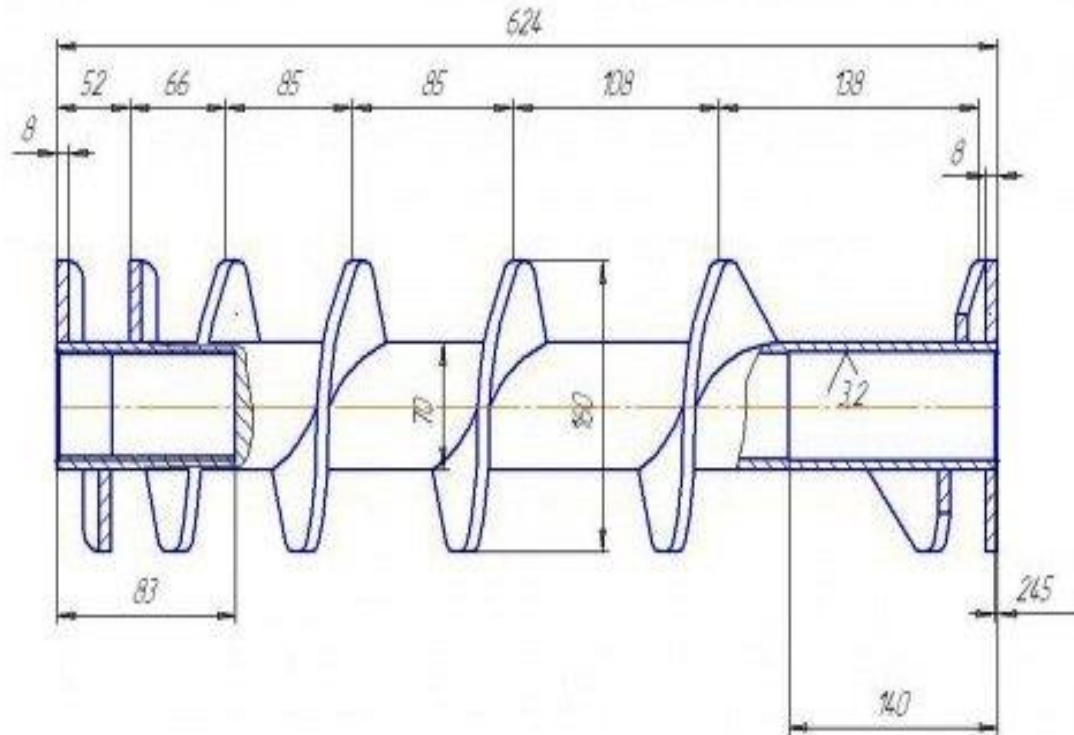


Рис. 3. Ленточная сушилка: 1 - сушильная камера, 2 - бесконечная лента, 3 - ведущие барабаны, 4 - ведомые барабаны, 5 - калорифер, 6 - питатель, 7 - опорные ролики

- Шнекті және барабанды кептіргіштер



Термопласттарды түйіршіктеу

- Түйіршіктеу әдісіне қарай түйіршіктер әртүрлі пішінді болады: жасымық, цилиндр, куб, пластина.
- Түйіршіктердің қалыпты мөлшері 1,5-3 мм, ірі түйіршіктер 2-5 мм болады.

Ұсақтау

- Полимерлі материалдарды, тек оларды қайта қолдану жағдайында немесе жұқа полимерлі ұнтақтарды алуда жүргізіледі.

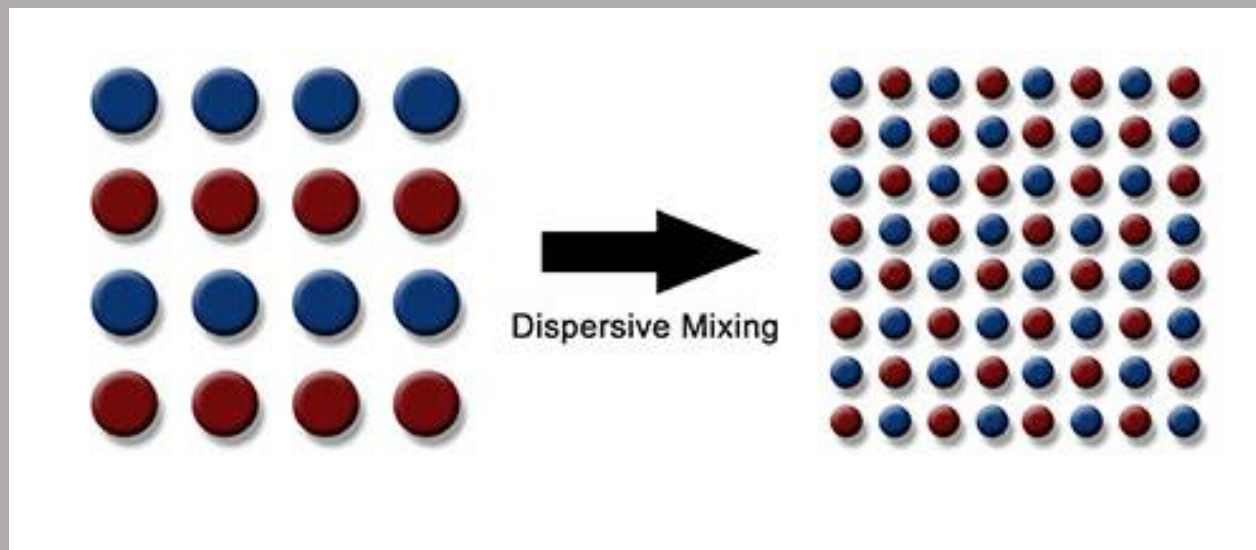
Араластыру

- Ұнтақ тәрізді затты тұтқыр сұйықтықпен (полимер балқымасы немесе пластификатор) және екі тұтқыр сұйықтықпен

Араластырудың екі түрі қолданылады:

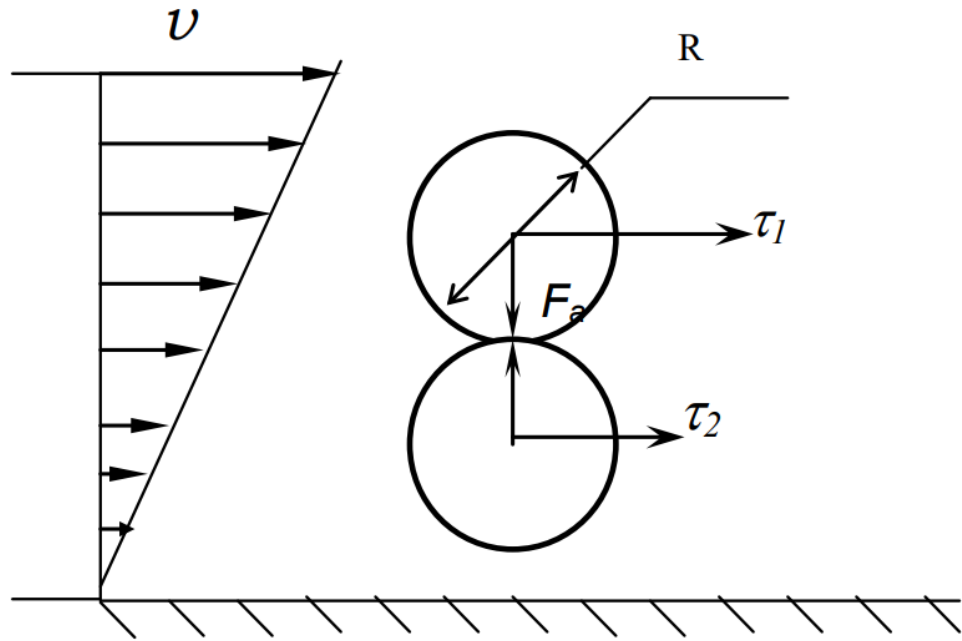
- Қарапайым араластыру
- Дисперсті араластыру

Дисперсті араластыру



- Араластыру әдістемесі және араластырғыштардың құрастырылуы араласу үрдісі периодты немесе үздіксіз екеніне тәуелді.
- Периодты үрдісте барлық компоненттер бірден немесе кезектесіп берілген полимер көлеміне араластырудың қажетті сапасына жетпейінше, масса бірнеше рет араластырғыштың жұмыс мүшесінен өтіп, енгізіледі. Осы принциппен айналмалы корпусымен ұнтақтарға арналған бұлғауыштар, желім және бояу бұлғауыштары, құйын тәрізді бұлғауыштар, қайнаған қабатты бұлғауыштар, вальцты бұлғауыштар, Бенбери бұлғауыштары және т.б. жұмыс істейді.
- Периодты типті бұлғауыштардың ыңғайлылығы оларда қоспаларды енгізу кезектестігін оңай өзгертуге, температураны бақылауға болады.

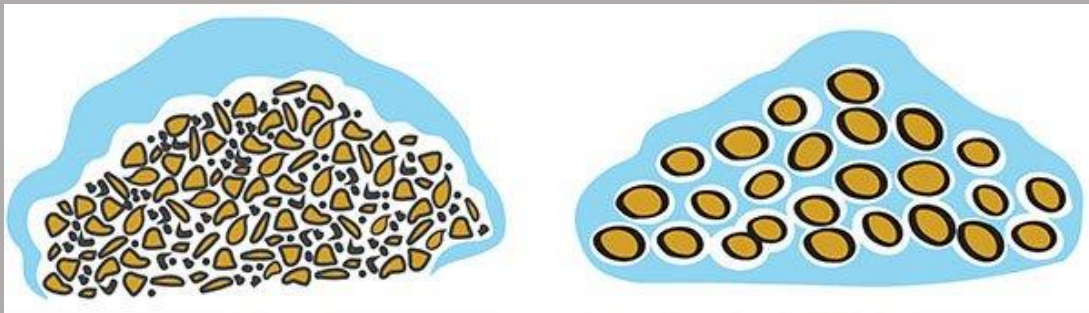
- Үздіксіз типті бұлғауышта араласудың қажетті сапасы материалдың жұмыс мүшесінен бір рет өткеннен жетуі тиіс.
- Полимерді және құрамдастарды енгізу үздіксіз жүреді. Бұл принциппен шнекті бұлғауыштар (бір- және екі шнекті, осциллирлейтін) және статикалық бұлғауыштар (бұлғауыш саптамасы) жұмыс істейді. Үздіксіз араластыру жоғарғы өндірісті, жақсы араласу сапасын, сапаны бақылаудың қарапайымдылығын қамтамасыз етеді және ол үшін қызмет етушілер аз қажет.



- Дисперсті араластыру кезінде агломерат деген ұғым бар. **Агломерат**- бұл физикалық байланыстармен байланысқан бірнеше бастапқы толтырғыш бөлшектерден тұратын форма.
- Агломераттарды тұтқыр полимермен араластырған кезде оларды бұзу механизмі
- Стокс Заңына сәйкес, ағымдағы сұйықтық(полимер) тұтқыр үйкеліс күші толтырғыш бөлшегіне әсер етеді, сонда τ тең:

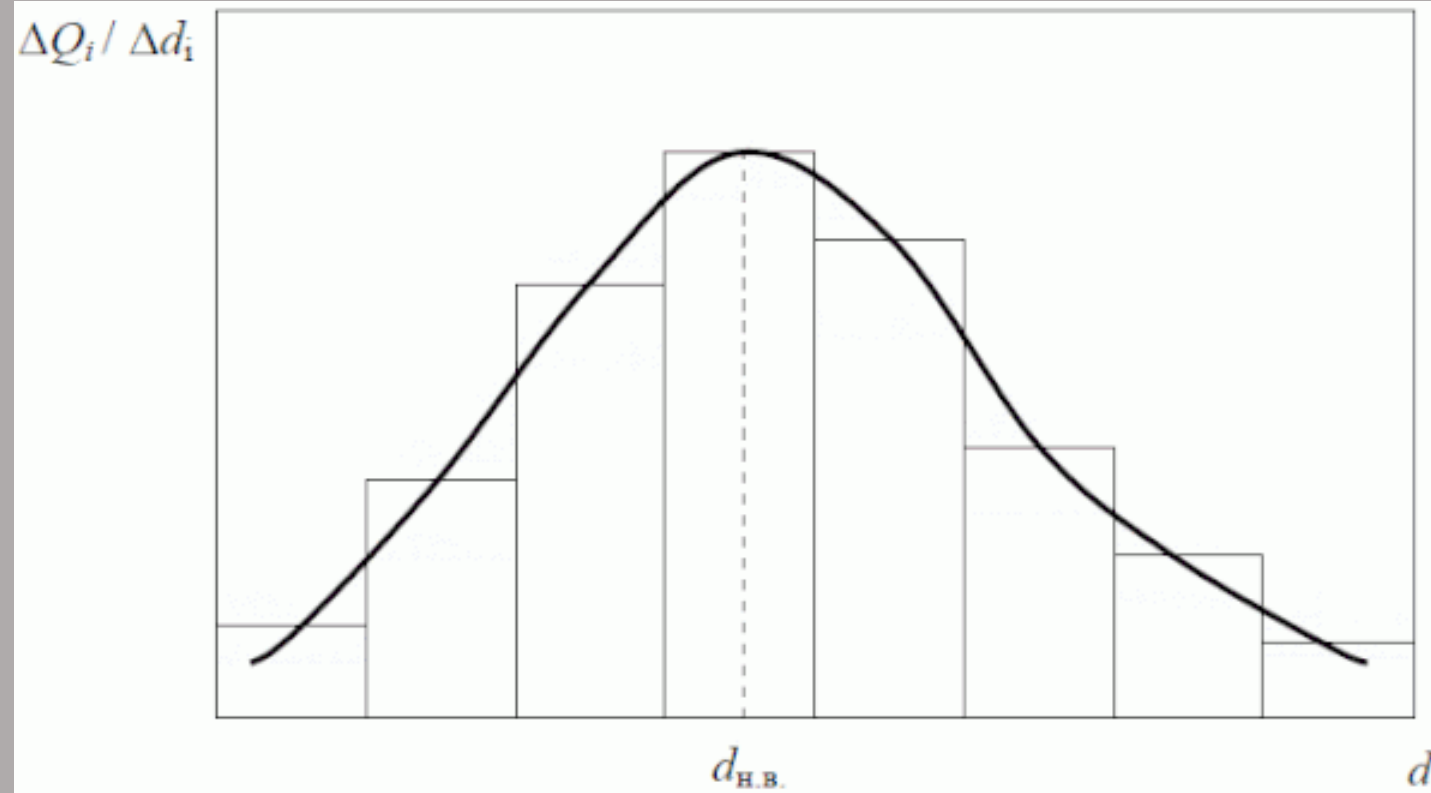
$$\tau = 6\pi R \eta v$$

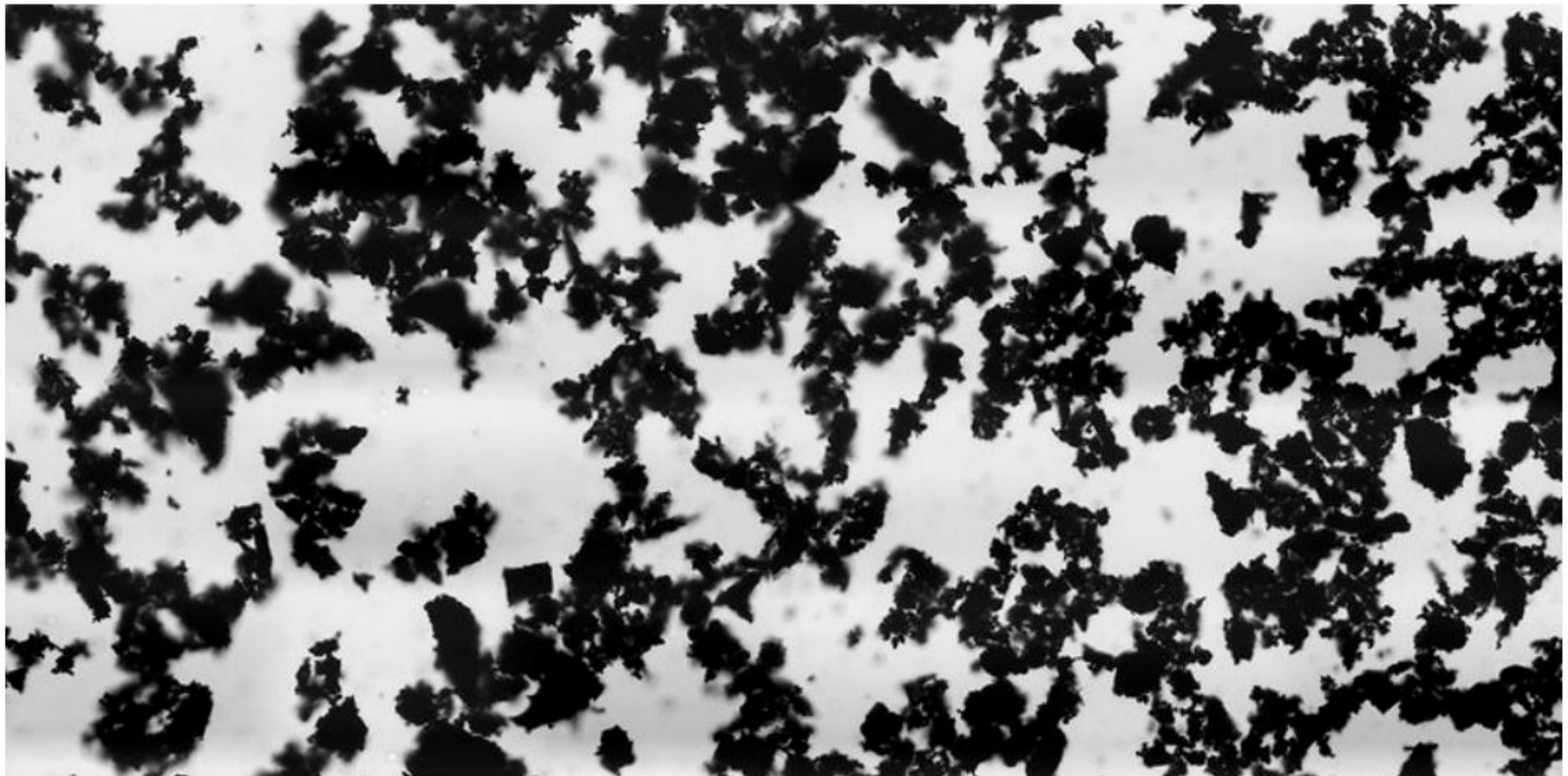
$$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2 = 6\pi R \eta (v_1 - v_2)$$



Толтырғыштың диспергирлеу сапасын бағалау

- Дисперсті араластыру арқылы алынған материалдың маңызды сипаттамасы дисперсті фазалық **бөлшектердің размері** болып табылады.
- Композициялық материалдың біркелкілігі мен қасиеттерінің жаңғыртылуын сүйене отырып, дисперсті фазаның барлық бөлшектері **бірдей мөлшерде болғаны жөн.**





электронды микроскоптың көмегімен байқалатын толтырғыш бөлшектердің таралуы.

- Бөлшектердің таралуын зерттейтін экспресс әдістер бар, оған сәйкес композициядағы үлкен бөлшектердің болуы мен саны **балқыманы сүзу** арқылы анықталады. Ол EN13900-5: 2005 еуропалық нормаларымен қарастырылған. Бұл әдіс **"сүзгі тест"** деп аталды"

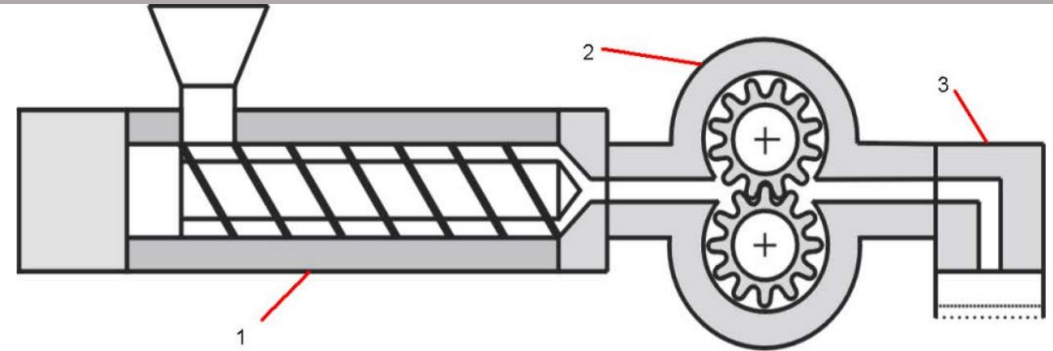


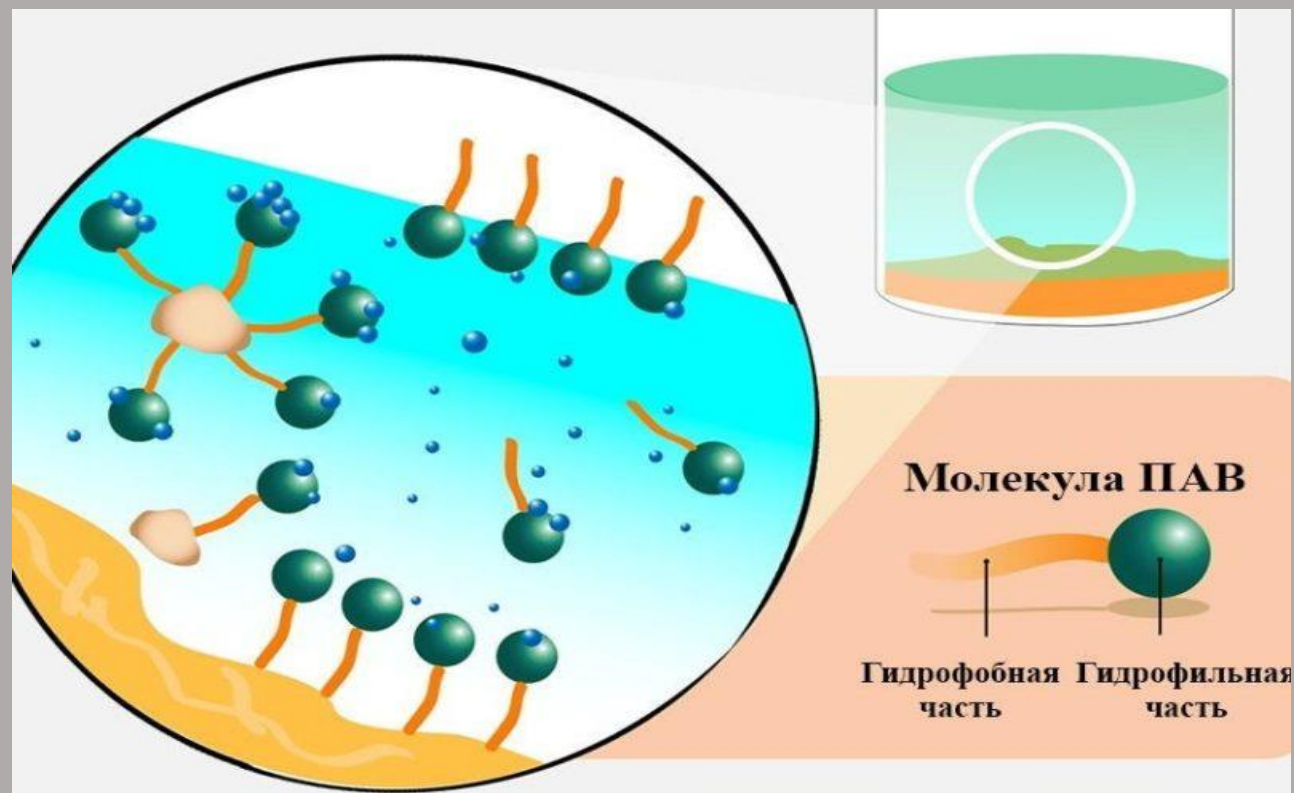
Рис. 4.4. Схема прибора для определения качества диспергирования наполнителя в полимере методом фильтрации расплава: 1 - экструдер, 2 – шестеренчатый насос, 3 – блок фильтр.

$$FPV = \frac{P_{max} - P_0}{t \cdot C \cdot G}$$

Ылғалдандыру процесі

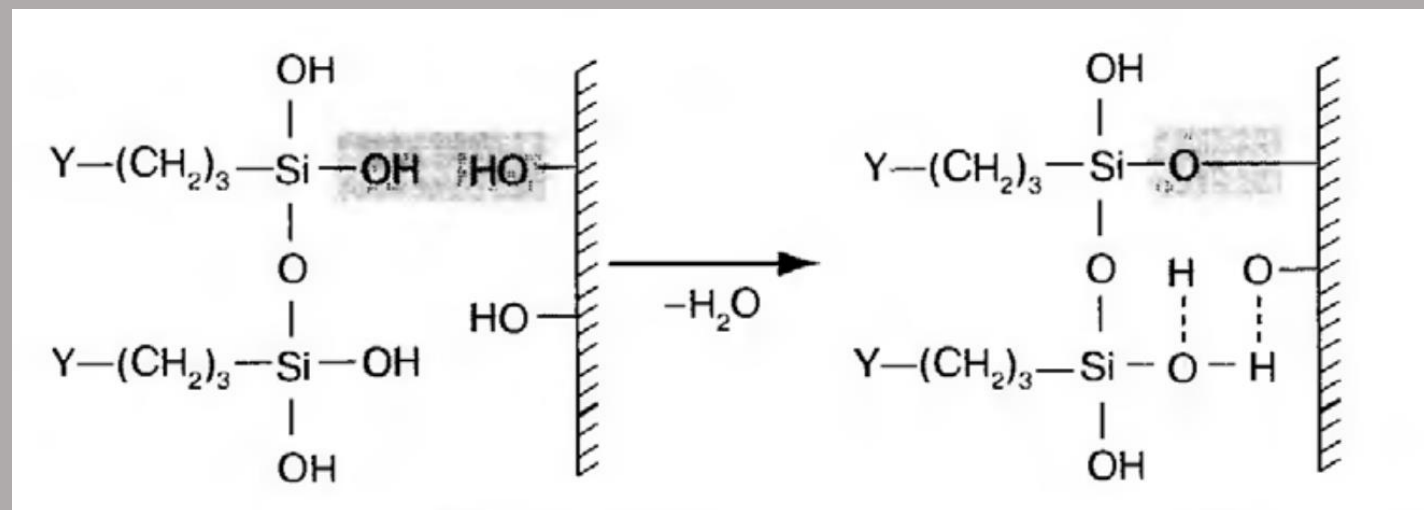
Толтырғышты полимермен ылғалдандыру процесін күшейту арқылы диспергирлеу сапасын арттыру

- Полимердің тұтқырлығын азайтады
- Полимер мен тортырғыш арасындағы байланысты арттырады

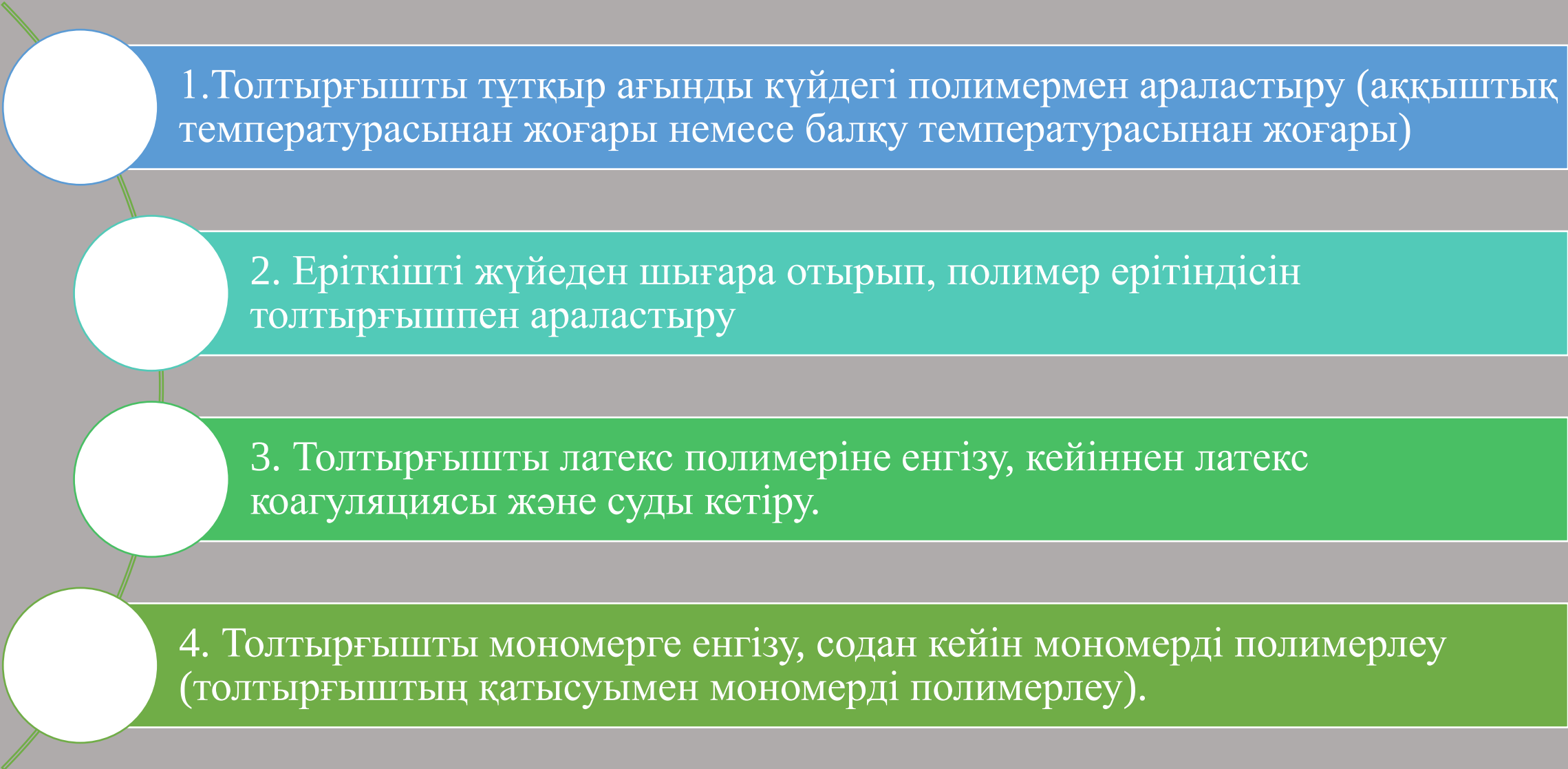


Толтырғыш бетін модификациялау

• Өзара әрекеттесуді жақсарту арқылы диспергирлеуді жақсартудың тағы бір тәсілі полимер толтырғыш бетінің модификациясымен байланысты. **Модификацияның негізгі міндеті** - толтырғыш бетінің табиғатын полимер табиғатына жақындату және осыған байланысты полимер макромолекулаларының толтырғыш бетімен әрекеттесу энергиясын арттыру. Модификация химиялық егу арқылы да, әртүрлі қосылыстардың физикалық адсорбциясы арқылы да жүзеге асырылады.



Полимерлерді дисперсті толтырғыштармен араластыру әдістері



1. Толтырғышты тұтқыр ағынды күйдегі полимермен араластыру (аққыштық температурасынан жоғары немесе балқу температурасынан жоғары)

2. Еріткішті жүйеден шығара отырып, полимер ерітіндісін толтырғышпен араластыру

3. Толтырғышты латекс полимеріне енгізу, кейіннен латекс коагуляциясы және суды кетіру.

4. Толтырғышты мономерге енгізу, содан кейін мономерді полимерлеу (толтырғыштың қатысуымен мономерді полимерлеу).

1-әдіс

1.Толтырғышты тұтқыр ағынды күйдегі полимермен араластыру (аққыштық температурасынан жоғары немесе балқу температурасынан жоғары)

Әдістің артықшылықтары:

- жоғары сапалы дисперсті толтырғыш;
- универсалды;
- қосымша заттардың көп мөлшерінің болмауы (еріткіштер, коагулянттар және т.б.).

Әдістің кемшіліктері:

- күрделі және қымбат аппаратуралық құрастыру;
- жоғары энергия шығындары;
- толтырғыштың қатты шаңдануы;
- жылу шығарудың күрделілігі.

2-әдіс

2. Еріткішті жүйеден шығара отырып, полимер ерітіндісін толтырғышпен араластыру

- Процесс арнайы диспергаторларда жүзеге асырылады, оған шар және бисер диірмендері, диск және роликті және т. б. кіреді.

Әдістің артықшылықтары:

- төмен шаңдылық;
- энергия шығыны аз;
- жылуды кетірудің қарапайымдылығы.

Әдістің кемшіліктері:

- күрделі аппаратуралық құрастыру;
- қолдану саласы шектеулі (тек лак-бояу материалдары үшін);
- қымбат экологиялық қауіпті еріткіштерді пайдалану қажеттілігі.

3-әдіс

3. Толтырғышты латекс полимеріне енгізу, кейіннен латекс коагуляциясы және суды кетіру.

- Үшінші әдіс бойынша ұнтақты толтырғыш қарапайым машинада араластырғышпен полимер латексімен араласады. Содан кейін латекс коагуляциясы, коагуляцияны жуу, сүзу арқылы судан бөлу, кептіру жүргізіледі

Әдістің артықшылықтары:

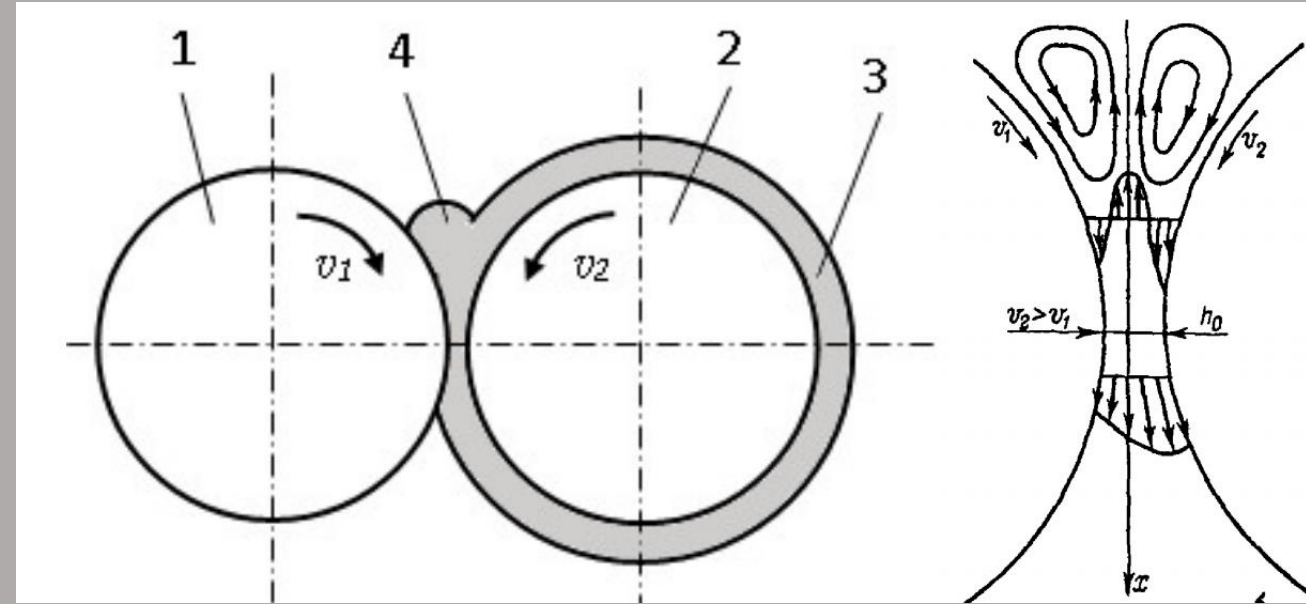
- төмен шаңдылық;
- қарапайым аппаратуралық құрастыру;
- төмен энергия.

Әдістің кемшіліктері:

- диспергирлеу сапасы өте төмен;
- қолдану саласы шектеулі
- Тұтқыраққыш күйінде қосымша араластыруды талап етеді.

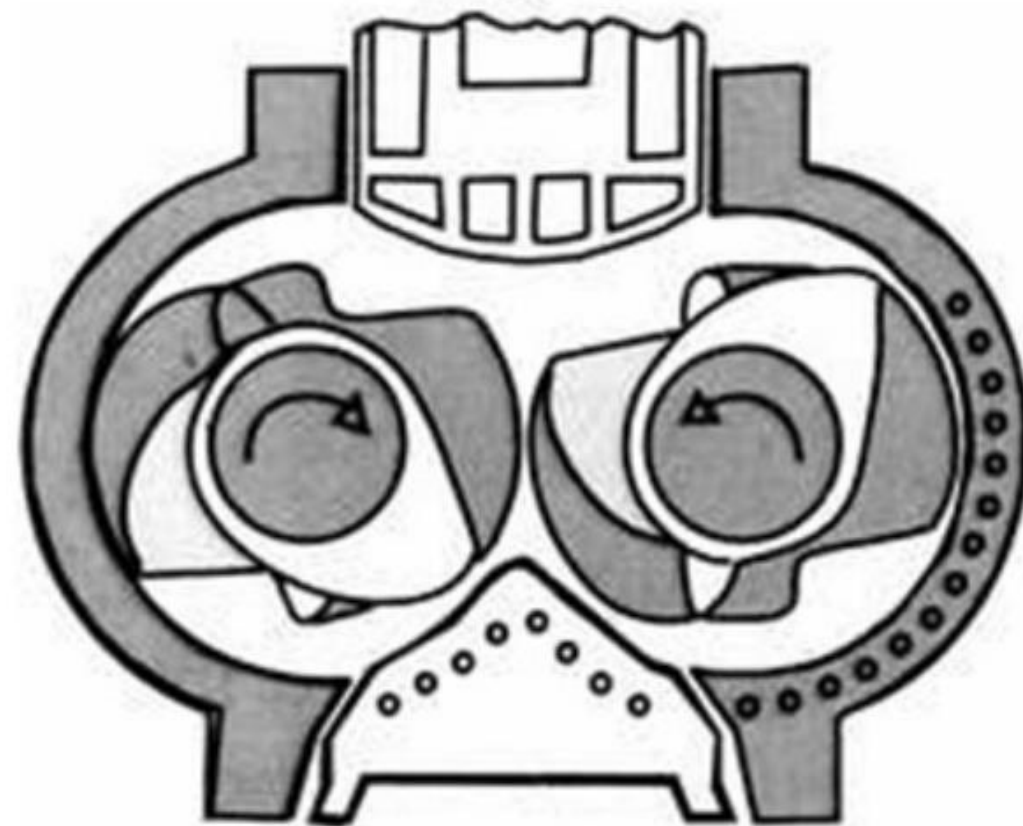
Араластыру үшін қолданылатын құрал-жабдықтар

- Вальцтер (Вальцы)
- Араластыру тиімділігі қоспаның әртүрлі жылдамдықпен бір-біріне бағыттталып айналған екі валктің арасынан жіңішке қуыс арқылы өткеннен жетеді. Бір рет тиеудің көлемі мынадай, валктер арасындағы қуыста материалдың артық мөлшері жиналады. Сондықтан, барлық қоспа қуысқа кіре алмайды және оның бөлігі кері бағытта сығылады. Бұл қуысқа ену кезінде токқа қарсылыққа және циркуляцияның пайда болуына әкеледі. Валктердің айналу жылдамдығының айырмашылығы фрикциямен өлшенеді, мұндағы V_1 және V_2 – валктердің беткі қабатының қозғалысының сызықты жылдамдығы. Фрикция жоғары болған сайын және валктердің арақашықтығы кішірейген сайын қозғалыс жылдамдығы және араласу қарқындылығы артады.



Жабық түрдегі екі роторлы араластырғыштар

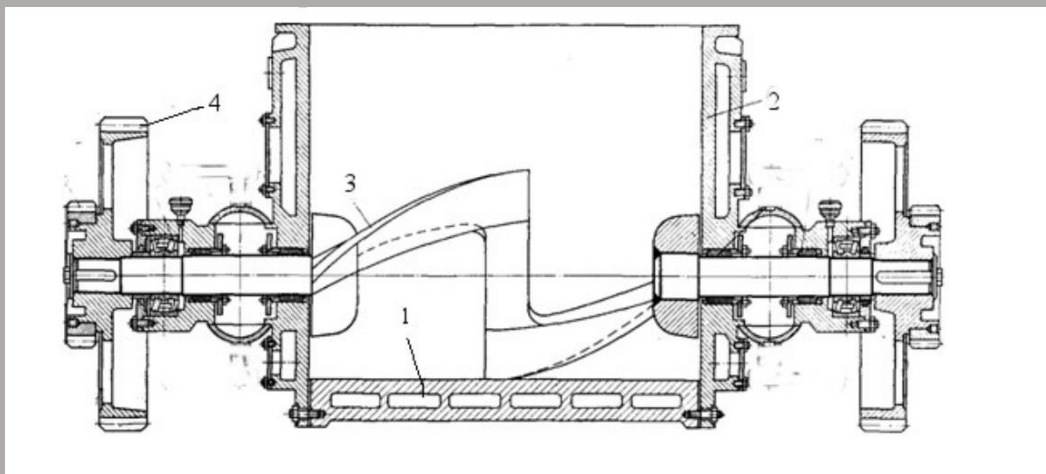
Оның жұмыс камерасы, бір-бірімен түйіскенде көлденең қимасы сегізге ұқсас, екі бос цилиндрлерден тұрады. Әр жарты камерада бұрандалы қалақшаларымен сопақша қималы ротор айналып тұр. Роторлар бір-біріне қарама қарсы әртүрлі жылдамдықпен айналады және әрқайсысы қоспаны камераның орталығына бағыттайды.



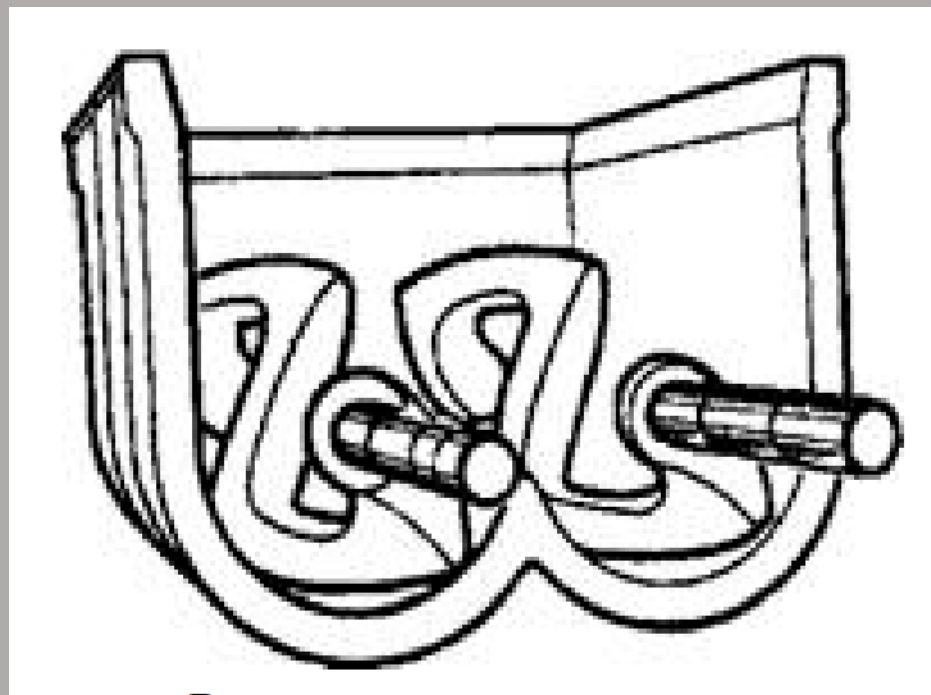
- Қоспаның артық бөлігі орталықтан кері бағытта итеріледі де, араластыратын тиімділікті қамтамасыз ететін қарқынды токқа қарсылылықты тудырады. Соңғысы қоспаның валкалар өзінің арасындағы қуыста, сонымен қатар валктер және камера қабырғасының арасында үйкелуімен де қамтамасыз етіледі. Камерада материалдың тығыздалуы, жұмыс камерасында қоспаға үнемі қысым тудыратын, жоғарғы тетік – поршеньмен жетеді. Төменгі тетік араластыру уақытында қозғалыссыз және дайын қоспаны шығару үшін ығыстырылады.
- Араластырғыштан қоспаның ірі кесектері шығарылады. Олар бұлғауыштардың шығарғыш қуысында орналасқан, табақшалы вальцтерге түседі. Қоспа вальцтерде табақша пішінін алады. Қоспаның жіңішке лентасы вальцтерден үздіксіз кесіледі және үлдірді өндіруде каландрды сіңіру үшін келіп түседі. Түйіршіктерді алу үшін вальцтердің орнына экструдер – түйіршіктендіргішті орналастырады.

Ашық типті екі роторлы қалақты араластырғыштар

Z-тәрізді пышақтары бар екі роторлы араластырғыш: 1-шұңқырдың түбі, шұңқырдың 2 - бүйір қабырғасы, 3-z - ротор, 4-редуктор.



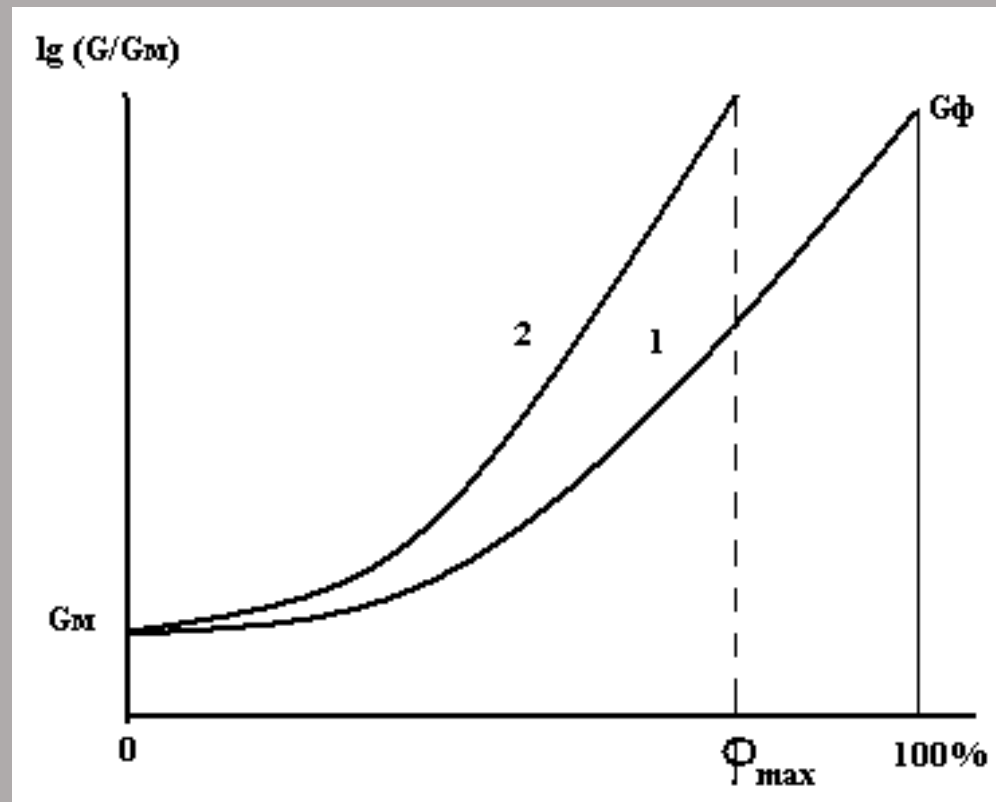
Бүйір қабырғасы жоқ z тәрізді пышақтары бар екі роторлы араластырғыштың түрі



ПКМ фазалық құрылысының оның қасиеттеріне әсері

- ПКМ серпімділік модулі. Деформацияланатын толтырғышты деформациялайтын матрицаға енгізгенде әр полимер байқалатын деформацияға қабілетті полимерлер қоспасы типті ПКМ алынады. Суреттегі 1 қисық толтырғыштың құрамы φ нөльден 100 %-ға дейінгі интервалда ПКМ-ның салыстырмалы модулінің өзгерісін көрсетеді. $\varphi = 100\%$ болғанда ПКМ модулі екінші полимердің (дисперсті толтырғыш) модуліне тең: $G = G_{\text{ф}}$.
- ПКМ модулі $\varphi_{\text{ф}}$ аз мөлшерінде матрицаның қасиеттерімен анықталады және $\varphi_{\text{ф}}$ өсуімен біркелкі артады. Модуль $\varphi_{\text{ф}} = 20 \div 30 \%$ мәнінде тез өсе бастайды, бөлшектердің қашықтығы диаметрінен кіші және олардың әсерлесуінің ықтималдығы артады.

Салыстырмалы модульдің G/G_M толтырғыш құрамының ϕ -ге тәуелділігі



1 – бөлшектердің шекті реттелуін елемейтін есептелген қисық;

2 – бөлшектердің шекті реттелуін $\phi_{\max}$ елейтін қисық

- ПКМ тұтқырлығы модульмен бірдей толтырғыштардың құрамына тәуелді. Егер ПКМ-ның деформацияланатын матрицасы қатты бөлшектермен толықтырылса, онда аздаған деформацияда ПКМ көлемі өзгермейді және $V_M = 0,5$. Онда

$$\frac{G}{G_M} = \frac{\eta}{\eta_M}$$

- яғни тұтқырлықтың өзгеруін модульді есептейтін формулалармен есептеуге болады.
- Практикада тұтқырлықты есептеуге Муни формуласы кеңінен қолданылады:

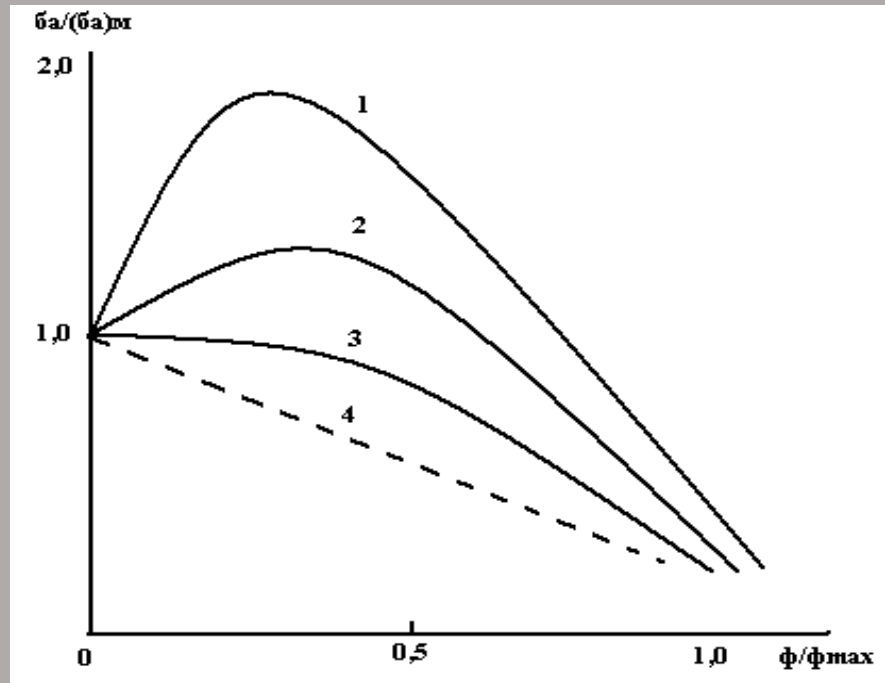
$$\ln \left(\frac{\eta}{\eta_M} \right) = \frac{k_E \phi}{1 - \phi / \phi_{\max}}$$

- мұндағы k_E – сферикалық бөлшектер үшін 2,5-ке тең және анизометриялық бөлшектерге өткен сайын өсетін Эйнштейн коэффициенті.

- Егер матрица морт болмаса және матрица – толықтырғыш бөлу бет аралығында берік байланыстары болса, онда ПКМ аққыштық шегі φ артуымен өседі (сурет, 1 қисық). Толтырғыштың салыстырмалы дәрежесін 0,2-0,3 дейін арттырғанда, жарықшақтардың артуы жеңілдеп, беріктілік бірден төмендейді. Қатты, толтырылмаған полимерлер үшін сыққандағы беріктілік созғандағы беріктілікке қарағанда 2 есе көп және микродефектілердің болуына сезімталдығы төмен.
- Жоғары толтырылған термореактивті шайырларды сыққанда беріктілік тек $\varphi \rightarrow \varphi_{\max}$ болғанда ғана азаяды. Егер байланыстырушының мөлшері бөлшектердің арасындағы кеңістікті толтыру үшін жетіспесе, онда ПКМ-да кеуектілік артады.

- Созғанда және сыққанда беріктілік полимер-толтырғыш арасындағы байланыс беріктілігі төмендеуімен және тұрақты ϕ -да бөлшек мөлшері артқан сайын азаяды.
- Суреттен көрініп тұрғандай, қатты толтырғыш шыны тәрізді полимерлердің беріктілігін төмендетеді. Полимерлердің кеңею термиялық коэффициенті минералды толтырғыштарға қарағанда жоғары, сондықтан ауданында шыныланған матрицаның салқындауы толтырғыш бөлшектері маңында оның шытынауына әкеледі.

ПКМ (σ_a) және матрицалық полимер (σ_a)_м аққыштық шектері қатынастарының $\phi/\phi_{\max}$ -ға тәуелділігі



- 1 - $T > T_{\text{ш}}$ болғандағы жартылай кристалданған полимер;
2 – $T > T_{\text{ш}}$ болғандағы жартылай кристалданған полимер, бірақ толтырғыштың үлкен мөлшерлі бөлшектерімен;
3 - шынытәрізді полимер ($T < T_{\text{ш}}$); 4 - шынытәрізді полимер ($T < T_{\text{ш}}$), бірақ үлкен мөлшерлі бөлшектерімен

ПКМ-дағы дисперсті бөлшектердің мөлшері мен пішіні

Әртүрлі ПКМ-дағы дисперсті фаза бөлшектерінің мөлшері бірнеше ондаған ретті шегінде жатады.

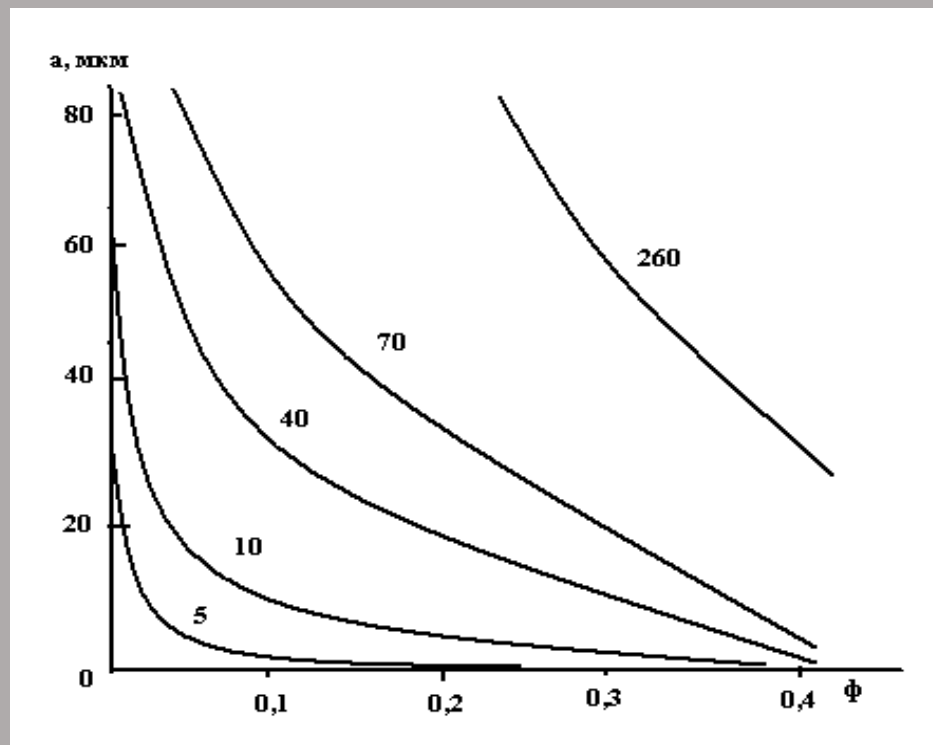
Мысалы, жоғары дисперсті толтырғыш – аэросил (коллоидті кремнезем SiO_2) бөлшектерінің мөлшері шамамен 0,01 мкм, ал осындай ірірек органикалық қуыс микросфералар мөлшері – 20-130 мкм тең.

Бөлшектер пішіні *идеалды сфералық жылтыр* (мысалы, қуыс микросфералар) немесе беті *кеуектен* (техникалық көмір) *анизометриялыққа* дейінгі (қабыршақ слюда, асбест талшығы)

немесе *шекті анизометриялық* (армирейтін үздіксіз талшық) болып өзгереді.

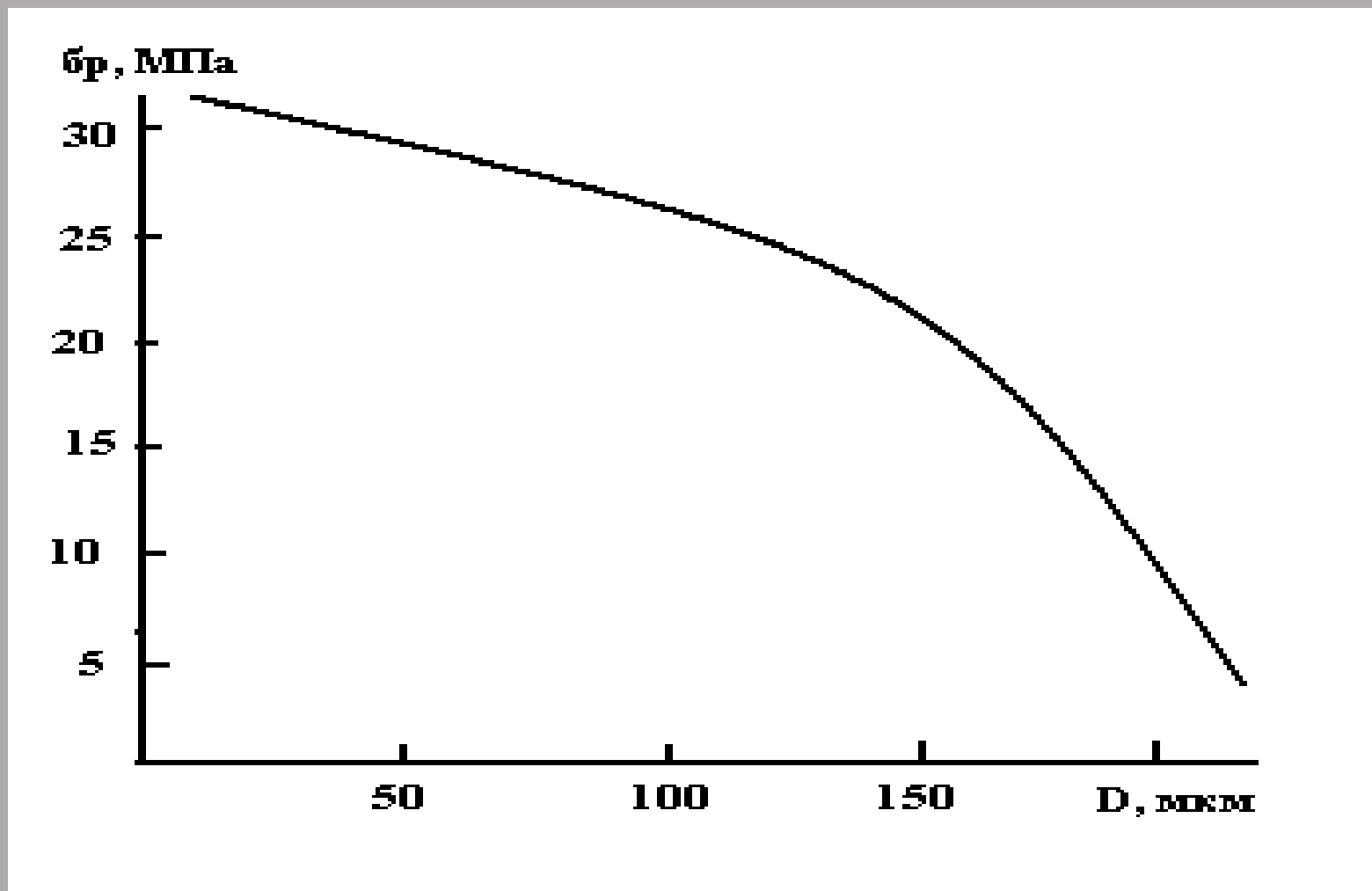
- ПКМ-дағы толтырғыш бөлшектерінің ара қашықтығы бөлшек мөлшері кішірейген сайын кішірейеді, себебі берілген толықтыру дәрежесінде көлем бірлігінде бөлшектер саны артады (сурет). Суреттен бөлшектер мөлшері мен олардың арақашықтығының арасында тура пропорционалдық жоқ екендігі көрініп тұр. Бөлшектердің мөлшері 10 мкм-ге аз болса, берілген диапозонда φ бөлшектер арасындағы қашықтықтың мөлшерінің өсуі тек меншікті беттің өсуіне ғана емес, сонымен қатар оның адсорбциялық қабілеттілігінің артуына әкеледі. Агломерацияға қабілеттілігі артқан сайын, көлемнің шекті толу көрсеткіші $\varphi_{\max}$ азаяды және φ өсуімен ПКМ қасиеті қарқынды өзгереді (сурет).

ПКМ-дағы дисперсті бөлшектердің мөлшері мен пішіні



Бөлшектердің орташа арақашықтығының a толтырғыштың көлемдік үлесінен ϕ және бөлшектер мөлшерінен тәуелділігі

- Мұнда жағымсыз ерекшелік полимерлер балқымасының қалаусыз «қоюлануы». Агломерацияға бейім толтырғышты енгізгенде, оның аз мөлшерінде балқыманың тұтқырлығы бірден артады және энергия шығымының өсуімен қайта өңдеу нашарлайды, сонымен қатар балқыманың серпімділігі артады.
- Жоғарыда айтылған факторлардың барлығы әр ПКМ-да әртүрлі анықталады. Маңыздысы - толтырғыш бөлшектерін ірілеткенде беріктіліктің төмендеуі. Бұл келес суретте айқын көрсетілген. Үзілуде салыстырмалы ұзару бөлшектер мөлшерінің кішіреюімен бірқалыпсыз өзгереді.



- Қаттыланған эпоксидті шайырлар беріктілігінің σ_p толтырғыш (шынысфера) бөлшектерінің мөлшеріне D тәуелділігі

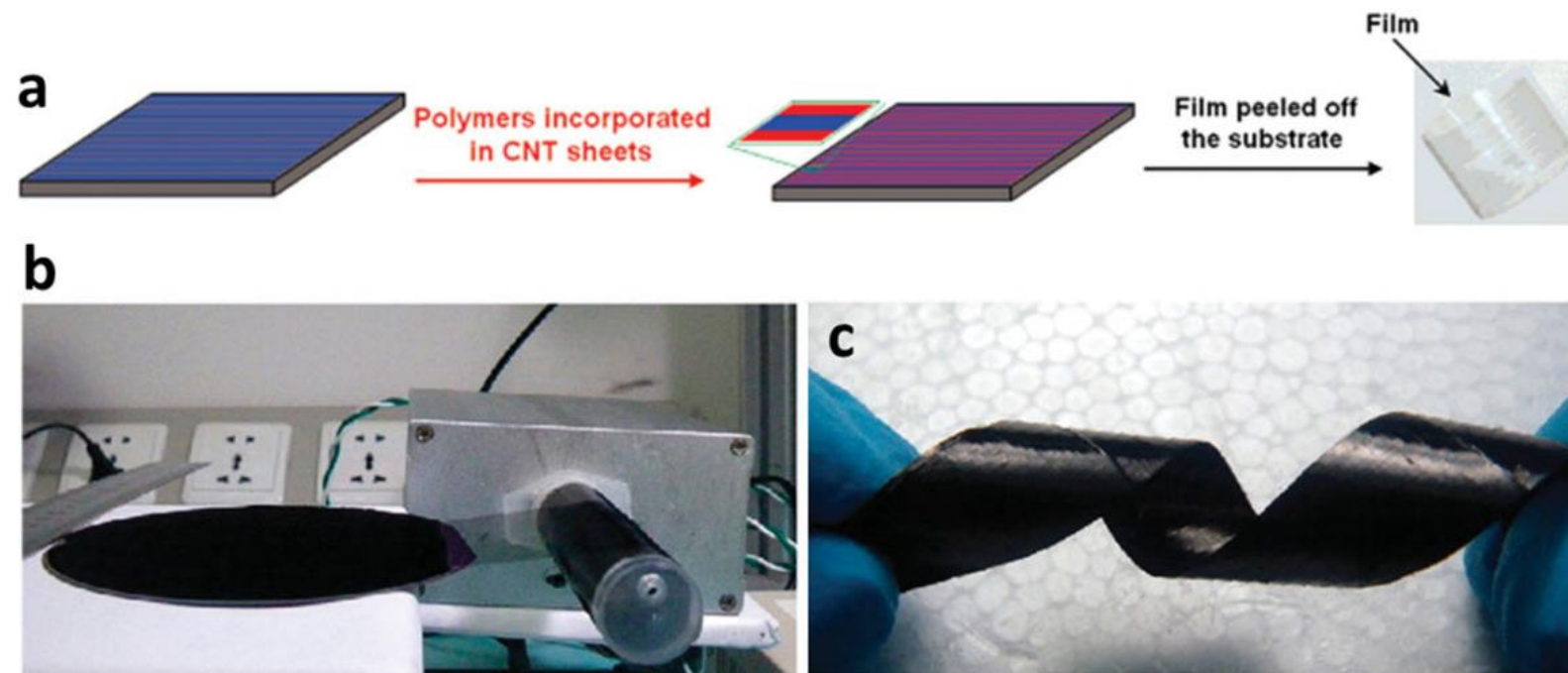
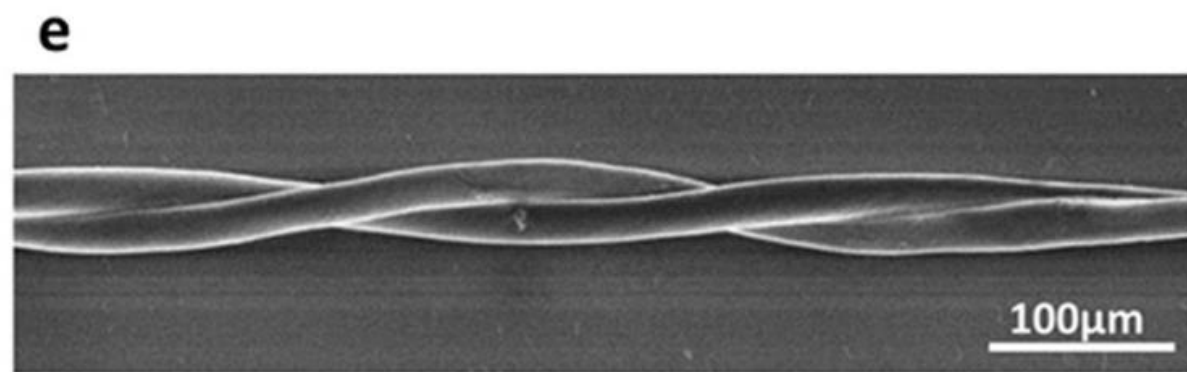
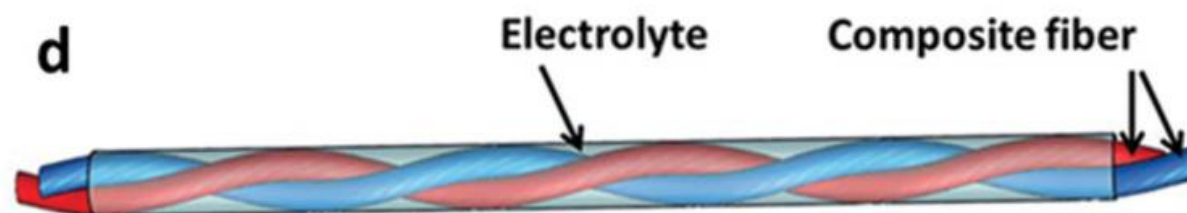
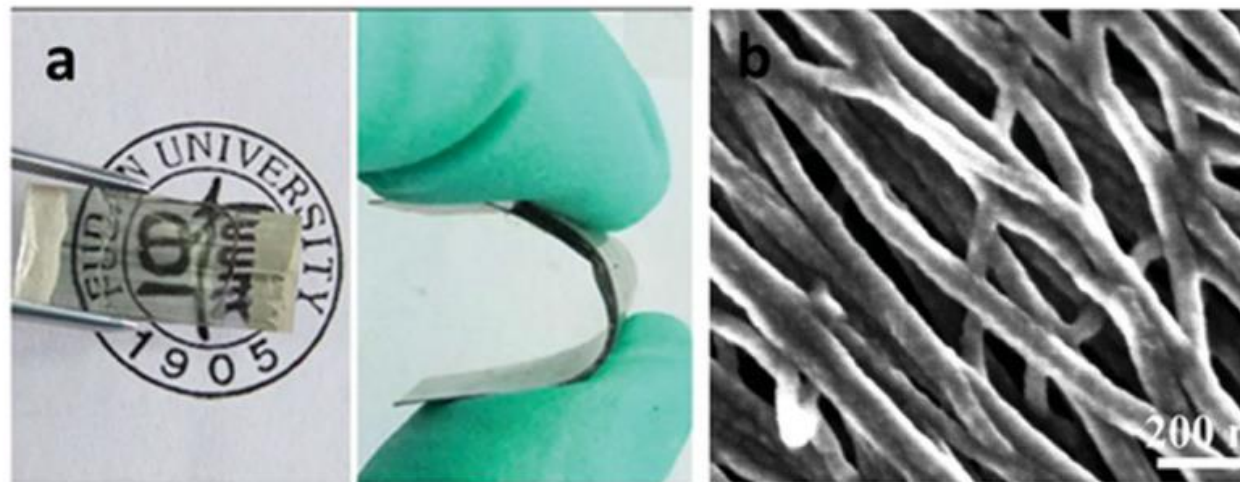


Figure 3. Aligned CNT/polymer composite film. (a) Schematic illustration to the preparation process. (b) Preparation of a CNT sheet. (c) Photograph of a CNT sheet. Reprinted with permission.^[45e,47a] Copyright 2007, ACS; 2012, ACS.



- **Қорытынды:**
- Полимерлі композициялық материалдарды (ПКМ) алудың теориялық негізі — полимер матрицасы мен толтырғыш арасындағы құрылымдық және энергиялық өзара әрекеттесуге негізделеді. Бұл өзара байланыс композиттің микродеңгейден макродеңгейге дейінгі қасиеттерін анықтайды. Толтырғыштың беткі энергиясы мен полимер тізбегінің адгезиялық қабілеті неғұрлым жоғары болса, композит соғұрлым берік және тұрақты болады.
- Полимерлі композиттердің **механикалық беріктілігі** олардың құрылымдық біртектілігіне, талшықтар мен нанотолтырғыштардың таралуына және адгезиялық байланыс сапасына тәуелді. **Мәңгілік** (долговечность) қасиеті материалдың тозуға, қартаюға, жарық пен температураның әсеріне төзімділігін сипаттайды.
- Осылайша, полимерлі композициялық және нанокомпозициялық материалдарды алудың теориялық және практикалық негіздерін меңгеру — жоғары беріктігі бар, ұзақ қызмет ететін және экологиялық тұрақты жаңа буын материалдарын жасауға мүмкіндік береді.

- **Әдебиет:**

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.
- 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).