

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы және технологиясы кафедрасы

**Полимерлі композиттер алу
технологиясы. Қаттыфазалы ПКНМ
синтезінің технологиясы.**

6B07101 – Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар» білім беру бағдарламасы

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

- **Мақсаты:**

- Полимерлі композиттер мен наноккомпозиттер алу технологиясының теориялық және практикалық негіздерін түсіндіру. Қаттыфазалы синтездің, ультрадыбыстық энергияның және шектеулі термиялық кеңею әдісінің полимер құрылымына және композиттердің физика-механикалық қасиеттеріне әсерін ашып көрсету. Композит сапасын арттыруға бағытталған заманауи технологиялық тәсілдермен таныстыру

- **Жоспары:**

1. Полимерлі композиттерді алудың жалпы технологиялық негіздері
 2. Композит құрамдастары: полимер матрицасы және толтырғыштардың рөлі
-
3. Қаттыфазалы ПКНМ синтезінің технологиясы
 4. Ультрадыбыстық толқындар энергиясын пайдаланып полимерлі композиттер алу
 5. Полимерлі композиттерді шектеулі термиялық кеңеюімен термоөңдеу технологиясы
 6. Композиттердің қасиеттеріне технологиялық параметрлердің әсері
 7. Полимерлі композиттерді өнеркәсіптік қолдану салалары

- **Полимерлі нанокомпозиттерді алу технологиясы**
- **ПНК алудың негізгі әдістері:**
- Нанотолтырғышты органикалық мономерде диспергирлеу , содан кейін нанобөлшектермен полимерлеу жүргізу (in situ);
- Полимер ерітіндісіне нанотолтырғыш бөлшектердің дисперсиясын енгізіп, соңынан еріткішті буландыру;
- Полимер балқымасына нанотолтырғышты енгізіп, салқындату;
- Нанотолтырғышты және ұнтақты полимерді араластыру, содан кейін экструзиялау (экструзиялық процесс);
- Нанотолтырғышты және ұнтақты полимерді араластыру, содан кейін пресстеу (пресстеу әдісі);
- Органикалық мономерді алкогольат гидролизі нәтижесінде алынған гидроксидпен поликонденсациялау (золь-гель процесі).

- ПНК алудың техникалық әдісін таңдау көптеген факторларға байланысты, мысалы:
 - Алынған өнімнің қасиеттеріне қойылатын талаптар;
 - Өндіріс тиімділігін анықтайтын көрсеткіштер;
 - Өндіріс сипаты (үздіксіз немесе периодты);
 - Өндірістің энергия сыйымдылығы;
 - Өндірістің экологиялық тазалығы;
 - Технологияның даму дәрежесі (әсіресе, жаңа қандай да бір ПНК синтезінде) .

- ПНК алудың белгілі әдістеріне негізделген технологияны таңдау полимерге енгізілген нанобөлшектердің түріне (керамика, органоқлайн, металл) қатты байланысты.
- Осылайша, сазды пайдаланатын қабатты ПНК әдетте полимер процесінде алынады. Технология алдымен сазды органосазға модификациялауға дейін әкеледі, содан кейін органосаз қабаттарын (қалыңдығы -1 нм) мономер ерітіндісімен қанықтыру (мономердің толтырғышқа интеркаляциясы), содан кейін буын полимерлеуі жүргізіледі.
- Нанокерамика көмегімен кездейсоқ (желілік) ПНК алу кезінде, әдетте, белгілі бір химиялық элементтердің алкогольттары мен органикалық олигомерлердің бастапқы компоненттері ретінде қызмет ететін золь-гель технологиясы қолданылады.
- Құрамында металл бар ПНК әртүрлі әдістермен алынуы мүмкін, бірақ технологиясы әртүрлі. Мысалы, *in situ* әдісін қолданғанда, полимерлеудің алдында металл булары мен белсенді полимер прекурсоры (мономер) бірге тұндырады.

- In situ сополимерлеу әдісінің ерекшеліктері
- Полимерлену реакциясы қыздырумен, сәулеленумен немесе сәйкес инициатормен басталуы мүмкін.
- Полимерлену реакциясы жүзеге асырылатын ортаға байланысты әдістің үш түрі бар:
 - Мономерлі ортада бірлескен полимерлену;
 - Мономер ерітіндісінің ортасында бірлескен полимерлену;
 - Эмульсияда немесе мономер суспензиясында бірлескен полимерлену;

- **Мономер ортасында бірлескен полимерлену (блоқты бірлескен полимерлену)**

- ПНК алу процесі жоғары температура (кейде қысым) әсерінен мономер, нанотолтырғыш және инициатор толтырылған жабық реакторда жүзеге асырылады.
- Бұл әдіспен ПНК блок түрінде алынады (реактор пішінді – өзекше, құбыр т.б.).
- Мономердің агрегатты күйіне байланысты: ПНК өндірісінде газды, сұйық және қатты фазалы блоқты бірлескен полимерлену.

- Мономерлі ортада сополимерленудің кемшіліктері:
- - реактордың конструкциясына қатаң шектеулер (полимерленудің қатты мақсатты өнімін жай ғана алып тастау керек);
- - реакциялық ортаны араластыру қиындықтары (реакция жүріп жатқанда ортаның тұтқырлығы артады);
- - ПНК компоненттерінің молекулалық массасының көлемі бойынша біркелкі таралуы (температураның біркелкі таралуына байланысты (блоктың тереңдігінде температура сыртқа қарағанда жоғары — полимерлеу кезінде жылу бөлінуіне байланысты) және ПНК көлемінде қалдық реакцияға түспеген мономердің болуы) .

- **Мономерлі ортада буын полимерленуінің ерекшеліктері**
- **Газ тәрізді мономерді қолданған жағдайда** полимерлену реактордың қабырғаларында басталады (олар реакцияны бастау үшін қыздырылады), содан кейін алынған ПНҚ бетінде және көлемінде жүреді. ПНҚ-ның айтарлықтай шығуын қамтамасыз ету үшін газ тәрізді мономер жоғары қысымда болуы керек.
- **Сұйық фазалық блокты полимерлеуді** жүзеге асырған кезде алынған ПНҚ мономерде ерімей, ұлпектер түрінде тұнбаға түсуі мүмкін. Бұл жағдайда мақсатты өнім не ұсақ ұнтақ түрінде, немесе қосымша өңдеуді қажет ететін губка тәрізді (кеуекті) дене түрінде алынады.
- **Қатты фазалы блокты полимерлеу** кезінде мономер әртүрлі иондаушы сәулеленумен белсендіріледі. Полимерлену жылдамдығын арттыру үшін мономердің температурасын балқу температурасына жақындатады (бұл жағдайда полимерлену жылдамдығы сол мономердің сұйық фазадағы полимерлену жылдамдығынан да жоғары болады).

- **Мономер ерітіндісі ортасында бірлесіп полимерлену (лак сополимерленуі)**
 - Реакциялық ортаға еріткіш енгізу ортаның тұтқырлығын төмендетуге және араластыру арқылы реактор көлеміне температураны біркелкілігіне қол жеткізуге және салқындатқыш қаптамаларды қолдануға арқылы реакция ортасының температурасын тиімді бақылауға қол жеткізу үшін мүмкіндік береді.
-
- Ерітіндіде полимерлеудің екі нұсқасы бар:
 1. ПНҚ және мономер еріткіште ериді. Бұл жағдайда полимерленудің соңғы өнімі сырқ (еріткіштегі ПНҚ ерітіндісі) болып табылады.
 - ПНҚ-ны еріткіштен бөліп алу үшін тұндыру операциясы қолданылады, ерітіндіге полимерлі нанокомпозитті ерітпейтін сұйықтық қосылады. Бұл жағдайда ПНҚ тұнбаға түседі, оны сығып алып, жуып, кептіреді. Әлбетте, бұл полимерлеу әдісі қосымша операцияларды қажет етеді, бұл өндіріс циклін қиындатады. Сонымен қатар, еріткіштер адам үшін зиянды, олармен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздік шаралары қажет. Сирек, сыр әдісімен алынған ПНҚ тікелей сыр түрінде қолданылады.
 2. ПНҚ еріткіште ерімейді (тек мономер мен инициаторды ерітеді). Бұл жағдайда ПНҚ тікелей полимерлену реакциясы кезінде тұнбаға түседі және оны тұндыру қажет емес.

- **Эмульсиялық полимерлеу үшін:**

- - дисперстік орта (әдетте су), эмульгатор (реакцияға қатысатын беттік белсенді зат) [мономерді дисперстілеу үшін] және бос радикалды инициатор (мономерде ерімейді, бірақ суда ериді);
-

- **Суспензиялық полимерлеу үшін:**

- - дисперсиялық орта (әдетте су), микро майда инертті қатты бөлшектер (әдетте SiO_2) [мономерді тарату үшін] және бос радикалды инициатор (мономерде еритін);
- Бірлесіп полимерлену реакциясы екі жағдайда да дисперсті (оқшауланған) мономер (тамшы мөлшері 0,1-5 мкм) ортада өтеді.

• **Эмульсия немесе суспензияда мономерді бірлесіп полимерлеу**

- - Мономерді эмульсиясында бірлесіп полимерлену нәтижесінде латекс (эмульгатормен қоршалған ұсақ ПНҚ бөлшектерінің сулы эмульсиясы) түзіледі.
- Эмульсиялы полимерлеудің артықшылығы:
- Латекс түріндегі мақсатты өнімді шығару;
- ---

Өндіріс қауіпсіздігі.
- **Кемшілігі** - ПНҚ эмульгатормен және иондармен ластануы (эмульсияларды бұзу үшін қышқылдар мен тұздар жиі қолданылады).
- - Мономер суспензиясында бірлесіп полимерлену нәтижесінде инертті тұрақтандырғышпен қоршалған ұсақ ПНҚ бөлшектерінің сулы суспензиясы түзіледі.
- **Суспензияны полимерлеудің артықшылығы:**
- РНҚ ластануының болмауы (ПНҚ суспензиясы эмульсияға қарағанда жоғары электр оқшаулағыш қасиеттерімен сипатталады, өйткені суспензиядан ПНҚ оқшаулау центрифугалау және тұндыру арқылы жүзеге асырылады)
- Сулы ортадағы суспензия жақсы жылуды таратуға және жақсы араластыруға ықпал етеді.

Оборудование для *совместной* полимеризации *in situ*

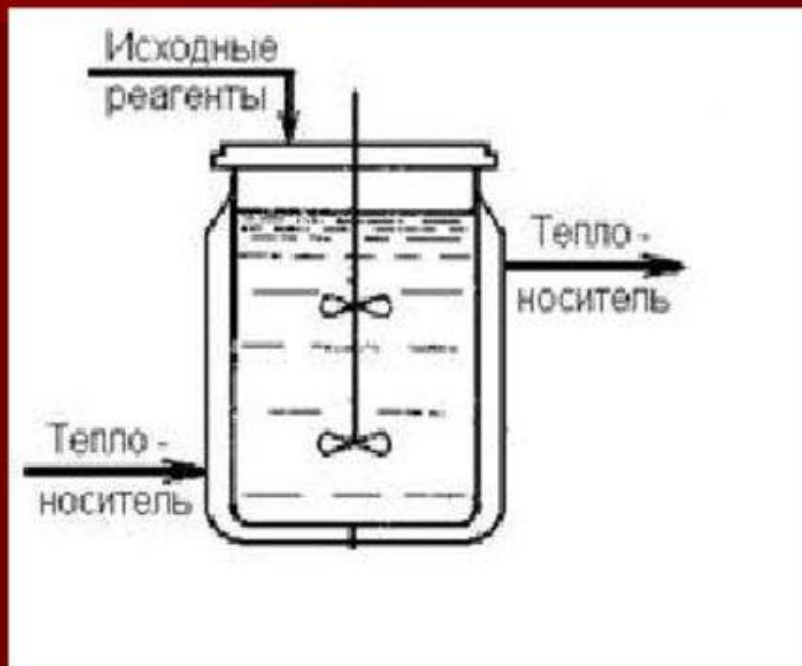


Рис. 1. Схема химического реактора

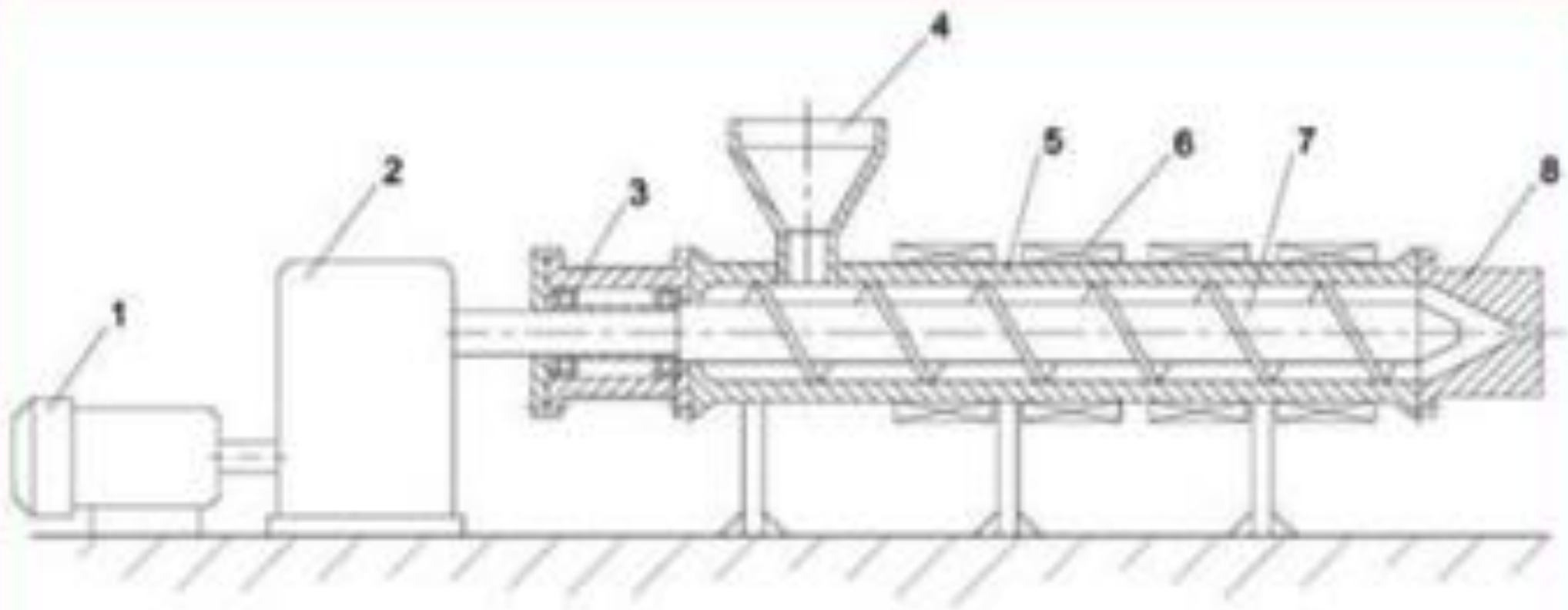


Рис. 2. Автоклав

- **ПНК алудың экструзионды (шнекті) әдісі:**
 - • Бұл полимер балқымасына нанотолтырғышты енгізу әдісінің бір түрі;
 - • Ыстық бұрандамен араластыру және композицияны (полимер ұнтағы мен толтырғыш нанобөлшектерден) экструдерде (экструзия машинасында) балқыту процесіне негізделген.
- • Ол өнеркәсіптік ауқымда ПНК алу үшін ғана емес, сонымен қатар оларды өнімдерге (шыбықтар, қаңылтырлар, құбырлар және басқа профильді бұйымдар, сонымен қатар пленкалар мен жабындар) өңдеуге арналған.
- Экструзия әдісі $T_6 < T < T_d$ температурасында термопластикалық полимерлер негізіндегі ПНК алу және өңдеу үшін қолданылады.

Экструзия әдісінің артықшылығы:

- • Белгіленген әдістер және өндірістің қарапайым технологиялық жобасы;
- • Жоғары өнімділік (процестің жоғары жылдамдығы);
- • Өнеркәсіптік өндірістің рентабельділігі (жабдықты ұстауға кететін аз шығындар):
- • Өндірістің экологиялық тазалығы (еріткіштер мен зиянды дренаждардың болмауы).



1 - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ
2 - РЕДУКТОР
3 - ПОДШИПНИКОВЫЙ УЗЕЛ
4 - ЗАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

5 - КОРПУС
6 - НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ
7 - ШНЕК
8 - ЭКСТРУЗИОННАЯ ГОЛОВКА

- Бір шнекті екструдердің сызбасы

Экструзионный (шнековый) метод получения ПНК

Основным элементом экструдера является шнек (рис. 4).

Важнейшие параметры шнека: диаметр D , длина L , шаг резьбы s , угол наклона нарезки ϕ , глубина канала h , ширина гребня e , отношение L/D , зазор между шнеком и цилиндром.

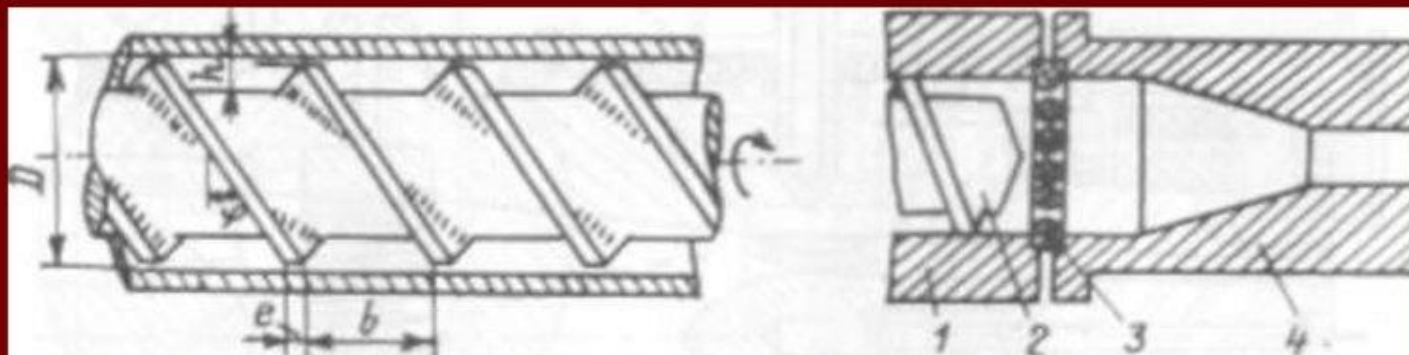


Рис. 4. Схема шнека экструдера

Рис. 5. Схема головки с фильтрующей решеткой:
1 – цилиндр; 2 – шнек; 3 – решетка; 4 – головка

Производительность экструдера определяется:

диаметром шнека,
отношением длины шнека к диаметру (L/D),
скоростью вращения шнека
и видом профиля (т. е. конструкцией экструзионной головки, рис. 5).

При заданной скорости вращения шнека и длине производительность экструдера пропорциональна диаметру шнека и зависит от свойств перерабатываемого материала.

Оптимальные скорости вращения шнека 10–40 об/мин (с точки зрения качества «гомогенизации»).

Пресстеу әдісімен ПНК алу

Термопласттар негізінде де, реактопласттар негізінде де салмағы 5-10 кг дейінгі ПНК бөлшектерін дайындау үшін ұнтақты пресстеу әдісі қолданылады.

Пресстеу қыздыру жағдайында болат қалыптарда гидравликалық пресстерде жүзеге асырылады (жоғары температура материалды тұтқыр күйге көшіру және реактопласттар негізіндегі ПНК өнімдерінің қатаюын тездету үшін қажет).

Пресстеудің 2 түрі бар: а) тікелей; б) құю.

Получение ПНК методом прямого прессования

В прямом прессовании используются пресс-формы двух типов: открытого и закрытого (рис. 6).

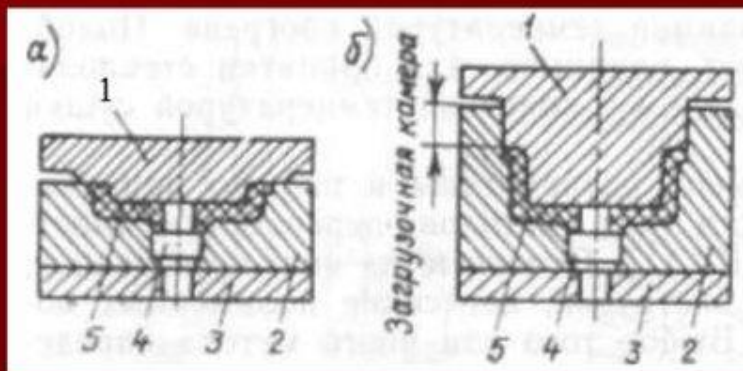


Рис. 6. Схемы пресс-форм: а – открытого типа; б – закрытого типа;
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – основание; 4 – выталкиватель; 5 – изделие

Основными частями пресс-форм являются: матрица (неподвижная часть), пуансон (подвижная часть), выталкиватель изделия и обойма, обеспечивающая связь указанных элементов пресс-формы.

Наиболее простыми и дешевыми как в изготовлении, так и при эксплуатации являются **пресс-формы открытого типа**, в которых нет трущихся частей.

В случае прямого прессования композицию загружают непосредственно в пресс-форму (при снятом пуансоне), где и происходит оформление изделия.

Получение ПНК методом прямого прессования

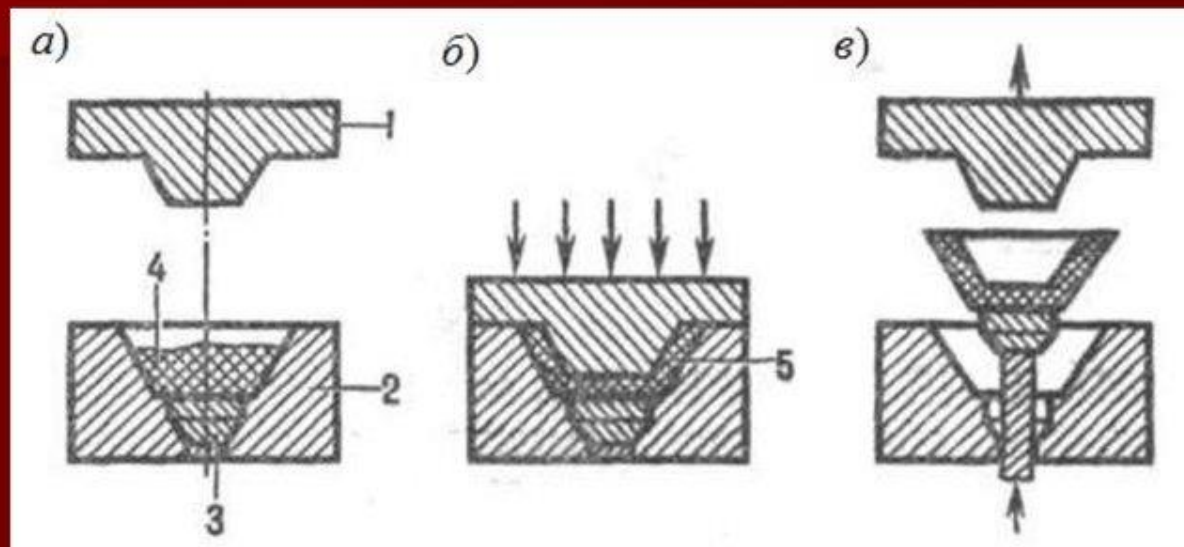


Рис. 7. Схема изготовления ПНК прессованием:
а – загрузка прессматериала в нагретую прессформу;
б – прессование; в – выталкивание изделия;
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – выталкиватель;
4 – прессматериал; 5 – готовое изделие

- **Құйып қалыптау арқылы ПНК алу**
- Құйып қалыптау күрделі пішінді бұйымдарды, сонымен қатар жұқа қабырғалы бұйымдарды жасау үшін қолданылады. Престеудің бұл түрі қалып тиеу камерасының қалыптау қуысынан бір немесе бірнеше тар ысырма каналдармен бөлінгендігімен сипатталады.
- Бастапқы материал арнайы тиеу камерасына жүктеледі, онда ол қажетті температураға дейін қызады. Тұтқыр күйге дейін қыздырылған материал поршеньдің (тескіштің) қысымымен саңылаулар арналары арқылы қалыптың қалыптаушы қуысына түседі.
- Престеу әдістері шағын көлемдегі қайта өңдеу процестері үшін үнемді.

- ПНК құйып қалыптау процесін анықтайтын негізгі технологиялық факторлар:
- Композицияны дайындау және араластыру (араластыру нанотолтырғыштың жақсы сіңдіруін қамтамасыз ете отырып, жоғары температурада жүргізіледі);
- Престеу процесінде композицияның полимерлі материалының өтімділігі;
- қалып температурасы;
- пішіндегі қысым;
- Материалды қалыпта ұстау уақыты.

ПКМ ҚАТТЫ ФАЗАЛЫҚ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

- Күрделі құрамды полимерлік композиттің супрамолекулалық құрылымының түзілу процесі әртүрлі технологиялық факторлардың әсерінен синтез процесінде басталады. ПНКМ өндіру технологиясының өзіндік ерекшеліктері бар. Оны ПТФЭ негізіндегі ПНКМ қатты фазалық синтезінің мысалы арқылы қарастырайық.

- **Технология келесі негізгі операцияларды қамтиды:**
- 1) толтырғыштарды (көміртекті талшықты және басқа компоненттер) ұнтақ ПТФЭ қатысуымен диірменде ұнтақтау және механикалық белсендіру;
- 2) барлық компоненттерді, соның ішінде наноөлшемділерді арнайы араластырғышта араластыру;
- 3) дайындалған композицияны тордың өлшемі 40–70 мкм електен өткізу;
- 4) қалыптарды арнайы аспаппен және жабдықтармен біркелкі толтыру ;
- 5) берілген қысыммен композициялық қоспаны салқын престеу (60–80 МПа);
- 6) престелген дайындамаларды берілген режим бойынша термиялық өңдеу (қызу жылдамдығы, салқындату жылдамдығы, агломерацияның тұрақты температурасында ұстау)

- Технологиялық процестің жоғарыда аталған операцияларының әрқайсысы ПНКМ құрылымы мен қасиеттеріне белгілі бір әсер етеді. Көмірсутекті талшықты ұнтақтау жұмыстарының режимдері: қысым мен жүктеме астында ұстау ұзақтығы бөлшектердің ұзындығына және олардың механикалық активтенуіне, белсендірілген бөлшектердің жақындау дәрежесіне, олардың адгезиялық әрекеттесу деңгейіне және композиттердің механикалық қасиеттеріне әсер етеді. Термиялық өңдеу режимдері дайындама көлеміндегі композицияны қыздырудың біркелкілігіне, фазалық түрлену жағдайларына әсер етеді және полимер матрицасының кристалдану процестерін, фазалық құрамды және фазааралық қабаттың түзілуін, ПНКМ-ның жоғары молекулалық құрылымының параметрлерін және қасиеттерін анықтайды.

- Зерттеу нәтижелері ПТФЭ негізіндегі ПНКМ құрылымының қалыптасуына технологиялық процестің режимдері әсер ететінін көрсетті. Маңыздысы 360 - 250 °C аралығында агломерациялау температурасына байланысты дайындамаларды салқындату жылдамдығы. Салқындату жылдамдығының 4 есе жоғарылауы кристалдық дәрежесінің шамамен 20% төмендеуіне әкелетіні анықталды. Жүктеме астында агломерациялау кристалдық дәрежесінің шамалы жоғарылауын тудырады. Көміртекті талшықты ұнтақтау ұзақтығының ұлғаюымен бұл мәндер аздап төмендейді.

Сондықтан технологиялық процесінің режимдерін өзгерту арқылы ПТФЭ кристалдық дәрежесін, сондай-ақ ПНКМ механикалық және триботехникалық қасиеттерін бақылау, оларды машина бөлшектерінің тасымалдау жағдайына байланысты қажетті бағытта өзгерту мүмкін болады. Полимерлі композициялық материалдың Барлық қасиеттерін өзгерту полимерлі композитті материалдарды алудың ПТФЭ полимерлі матрицасының құрылымдық-фазалық күйінің қалыптасу жағдайларының өзгеруіне байланысты. Осылайша, мысалы, тозуға төзімділігі жоғары және қажетті қаттылығы бар материалды алу үшін оны жасау технологиясында толтырғыштарды ұнтақтау мен механикалық белсендірудің жеткілікті жоғары дәрежесін орнату, материалды жүктеме кезінде сәйкес салқындату жылдамдығында агломерациялау қажет.

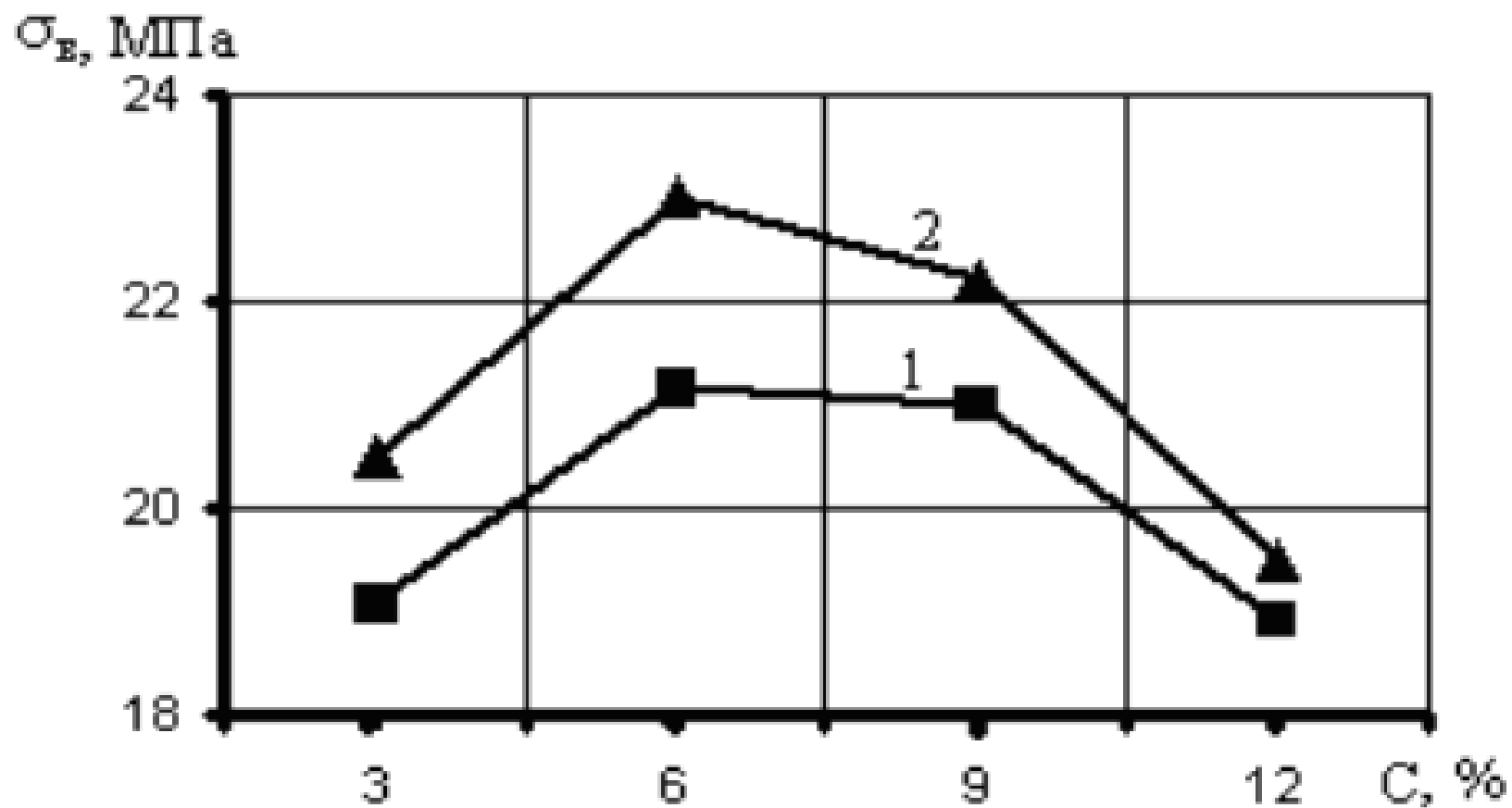
Ультрадыбыстық толқындар энергиясын қолдана отырып полимерлі композиттерді алу

- Ұнтақ компоненттерін нығыздау әдісі вибрация - виброқалыптау бір мезгілде қолдану арқылы - ПНКМ қасиеттердің сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік береді. Діріл әсерінен бөлшектердің үйкеліс және когезия күштері азаяды. Сонымен бірге ұнтақтардың өтімділігі, лаймер бойынша бөлшектердің бойымен төсеудің біркелкілігі артады, арка тәрізді құрылымдар бұзылады. Дірілдеу кезінде өңделетін материалдың бөлшектеріне елеулі таңбалы айнымалы жылдамдықтар мен үдеулер беріледі, соның нәтижесінде полимерлерде өңдеу процестерінің интенсификациясына, құрал-жабдықтардың энергия сыйымдылығының төмендеуіне, дайын өнім сапасын арттыруға әкелетін бірқатар физикалық және химиялық құбылыстар байқалады.

- Діріл әсерінің тиімді әдісі - бұл ультрадыбыстық тербелістердің қаббаттасуы, соның арқасында ұнтақ бөлшектерінің айтарлықтай пайда болуы және пластикалық деформациясының дамуы жеңілдетіледі. Бұл престеу қысымына байланысты үйкеліс күштерінің өзгеру сипатына оң әсер етеді және салыстырмалы түрде аз күш-жігермен күрделі пішінді өнімді алуға мүмкіндік береді.

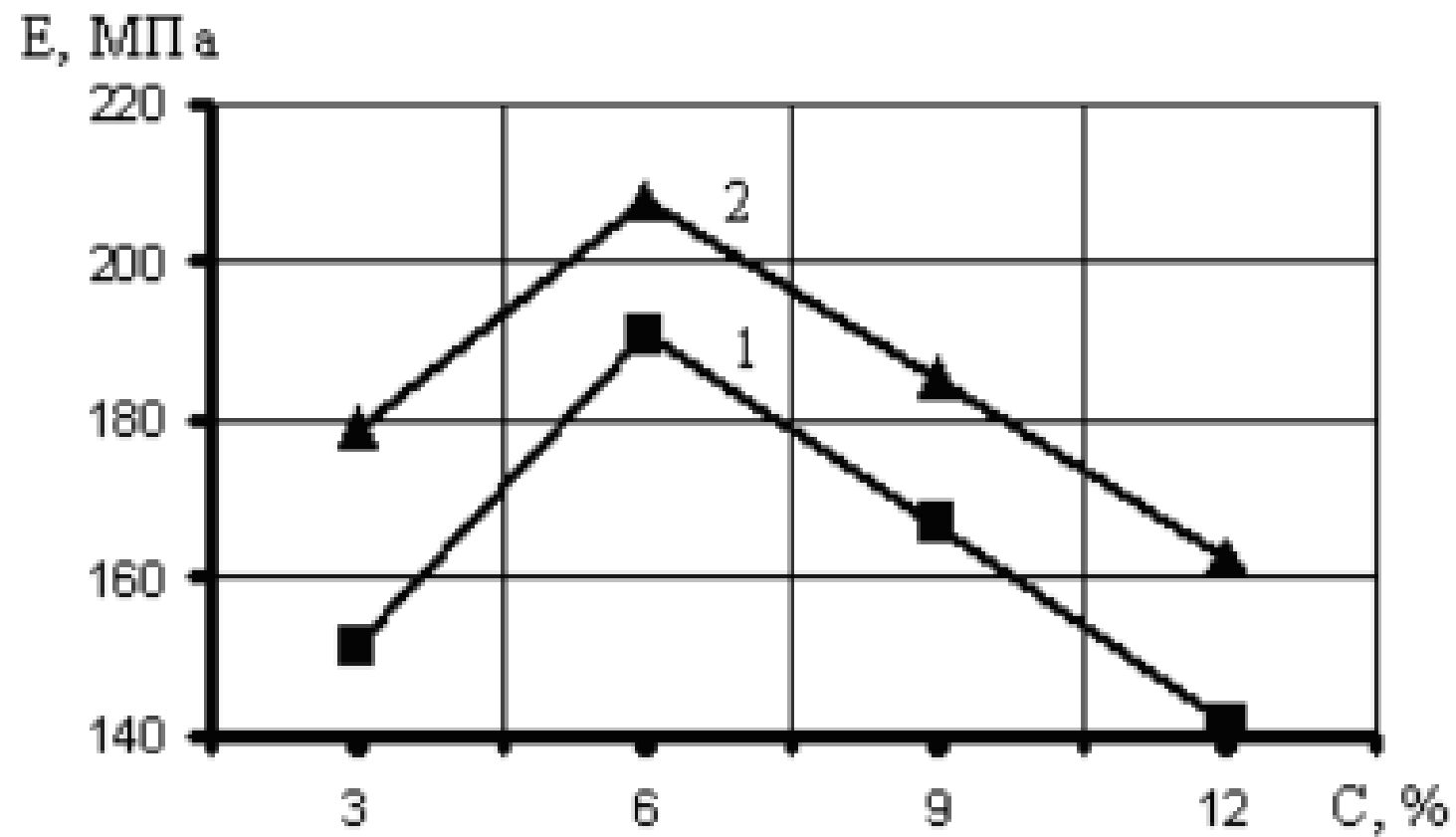
- Таза ПТФЭ беріктігі мен қаттылығы төмен екені белгілі. Алайда, эксперименттер көрсеткендей, таза ПТФЭ-ге ультрадыбыстық тербелістердің қабаттасуы серпімділік модулінің ұлғаюына әкеледі. Ультрадыбыстық тербелістердің қабаттануынсыз 3% криптокристалды графит енгізудегі сияқты, ультрадыбыстық тербелістердің 30 секунд қабаттасуы икемділік модулін 30% арттырады. Бұл нәтижелер ультрадыбыстық тербеліс әсерлерін және ультра жұқа белсенді бөлшектерін енгізу ПТФЭ механикалық қасиеттерінің өзгеруіне және оның супрамолекулалық құрылымына бірдей әсер ететіндігін көрсетеді.

- Суретте ПНКМ созғандағы беріктігінің концентрацияға тәуелділіктері көрсетілген. Әдеттегідей технологиялармен жасалған үлгілерге және ультрадыбыстық тербелістердің энергиясының қабаттасуы кезінде экстремум 6% концентрацияда бірдей сипатқа ие. Дәл осындай концентрацияда созылу беріктігінің ең үлкен мәні алынды - 8,7%



Концентрационные зависимости предела прочности при разрыве:
1 – традиционная технология; *2* – технология с наложением УЗК

- Нано компоненттер әртүрлі концентрациясы бар үлгілердің серпімділік модулінің тәуелділігі, дәстүрлі технологиямен және ультрадыбыстық тербеліс энергиясының қабаттасуымен алынған (сурет) пресстеу процесінде ультрадыбысты енгізу толтырғыштың концентрациясына байланысты серпімділік модулінің 8,1–15,5% ұлғаюына әкелетінін көрсетеді. Серпімділік модулінің максималды мәні екі технология үшін де нано бөлшектердің 6 мас.% концентрациясында байқалады.



Концентрационные зависимости модуля упругости:
1 – традиционная технология; *2* – технология с наложением УЗК

- ПНКМ механикалық қасиеттерінің тәжірибелік тәуелділіктерін талдаудан дайындамаларды престоу процесінде ультрадыбыстық тербелістерді қолданғанда механикалық қасиеттер айтарлықтай өзгереді: созылу күші мен серпімділік модулі артады, ал салыстырмалы ұзару төмендейді. Тағы бір жалпы заңдылық технологиялардың екі түрі үшін - 6 мас. % толтырғыш концентрациясында экстремумның қисық сызықтардағы айқын көрінетін орны.

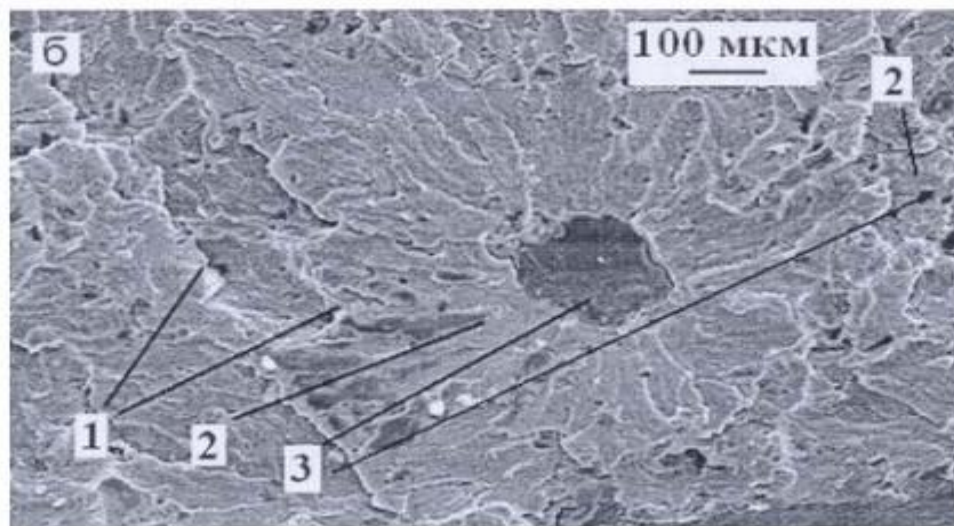
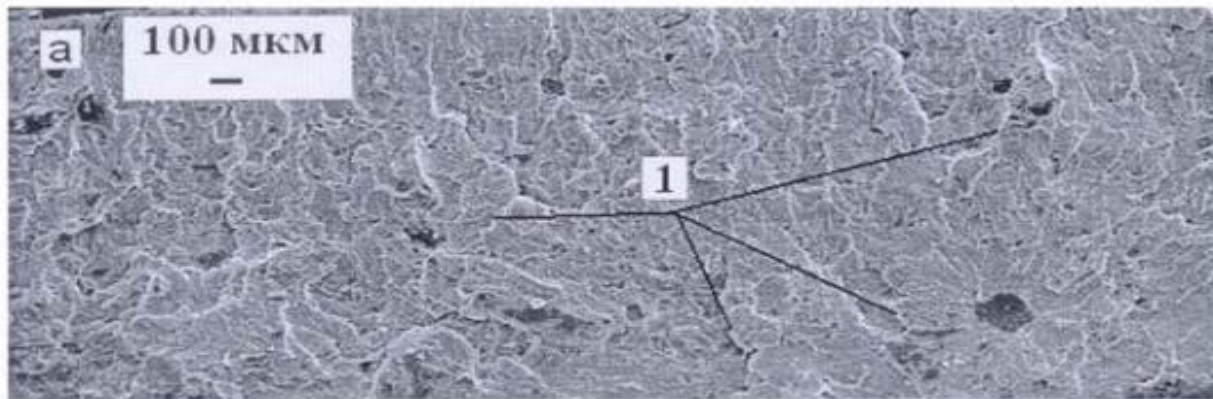
- Ультрадыбыстық тербеліс энергиясының ПНКМ триботехникалық қасиеттеріне әсерін зерттеу олардың да жоғарылайтынын көрсетті. Тозу жылдамдығы 23,6%, үйкеліс коэффициенті 11% төмендеді. Тозуға төзімділіктің мұндай айтарлықтай артуы, ең алдымен, композициялық материалдың құрылымының өзгеруін көрсетеді, бұл оның механикалық және триботехникалық қасиеттерінің өсуіне әкеледі.

Полимерлік композиттерді шектеулі термиялық кеңеюімен термо өңдеу технологиясы

- Микро және наноөлшемді толтырғыштармен ПТФЭ құрылымдық модификациясының тиімділігін арттыру үшін дайындамаларды жабық қалыптағы агломерациялау режимін қолдануға болады. Дегенмен, дайындаманың термиялық кеңеюі шектеуге байланысты престеу бағытында әкелетін бір осьті қысу қысымы пайда болады, ол толтырғыш пен полимер бөлшектері арасындағы байланыс әрекетінің артуына әкеледі. Термиялық кеңеюді шектейтін қысқыштарда ПНКМ синтезі кезінде нано бөлшектер және ПТФЭ бөлшектерінің композицияны престеу кезінде ғана емес, сонымен қатар оны агломерациялау кезінде де айтарлықтай жақындау жағдайында супрамолекулалық құрылымның түзілу процестері жүзеге асырылады.

- Толтырылмаған ПТФЭ-де, қолданылатын өндіріс технологиясына қарамастан, ламеллалардың пачкалары болып табылатын кеңейтілген бағытталған супрамолекулалық түзілімдер («агрегаттар») кездеседі. Өте ультрадисперстенген толтырғышты енгізу бастапқы құрылымды ұсақтауға әкеледі, ол екі технологиямен жасалған үлгілерге тән. Бұл әсерді матрицаға геометриялық өзгертуші әсер ретінде қарастырайық: бастапқы ПТФЭ-нің таспа құрылымы матрицаға еніп жатқан толтырғыш бөлшектермен бұзылады.

- Қысқыштарда термиялық өңделген (агломерленген) үлгілердің матрицасында , надмолекулалық түзілістермен бірге ПТФЭ-ге тән полимердің таза ПТФЭ-ге тән емес құрылымы бар аймақтары кездеседі, олар жоғары ақаулы пішіні дұрыс емес сферулиттер ретінде анықталады. Сферулиттердің түзілуі әртүрлі өлшемдегі бөлшектердің жанында байқалады, бірақ ең күштісі ірі дисперсиялық толтырғыштың жанында (сурет), ал кристалдану орталықтары толтырғыш бөлшектердің беткі аудандары болып табылады.



- Политетрафторэтиленнің бөліну үлгісінің микросуреттері, құрамында 5% толықтырғыш бар және қысқыштарда агломерленген: а – 30 есе үлкейту; б – 90 есе үлкейту; 1 – сферулиттердің шекаралары; 2 – сферулит; 3 - микробөлшектерді толтырғыш

- Сферулиттердің пайда болуы толтырғыштың кинетикалық және құрылымдық белсенділігін бастайтын матрицаға толтырғыштың энергетикалық әсерімен байланысты. Ол полимердің толтырғыш шекарасында адгезивті әрекеттесуіне байланысты беттік энергиясының төмендеуімен байқалады. Бұл жағдайда толтырғыш бөлшектермен адгезивті байланысқан макромолекулалардың сегменттері фаза аралық қабаттың түзілуіне қатысады және ПКМ салқындату және кристалдану кезінде макромолекулалардың конформациялық күйіне әсер ете отырып, полимер макротізбектерінің сегменттік қозғалғыштығының жібуін тежейді.

- Толтырғыш концентрациясының барлық диапазонында (5-20 масса %), ультра және орташа дисперсті толтырғыштар бөлшектерін матрицаның кристалды аймақтарына олардың надрамолекулалық құрылымын өзгертпей, бірақ ақаулықты арттырып енгізуге болады. Полимер матрицасының надрамолекулалық құрылымының негізгі сипаттамаларының бірі - кристалдық дәрежесі.

- **Қорытынды:**

- Полимерлі композиттер алу технологиясы — полимер матрицасы мен толтырғыштардың өзара әрекеттесуін басқаруға және олардың біртекті құрылым түзуін қамтамасыз етуге негізделген күрделі көпсатылы процесс. Технологияның мақсаты — материалдың механикалық беріктігін, термиялық тұрақтылығын және эксплуатациялық қасиеттерін арттыру.
- Қорытындылай келе, қаттыфазалы синтез, ультрадыбыстық энергия және шектеулі термиялық өңдеу сияқты технологиялар полимерлі композиттердің құрылымын тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл тәсілдер арқылы алынған материалдар жоғары беріктігімен, сенімділігімен және ұзақмерзімді тұрақтылығымен ерекшеленеді, сондықтан олар авиацияда, электроникада, медицинада және ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылады.

- **Әдебиет:**

1. Тоқтабаева А.Қ. Полимерлік қомпозиттік 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).