Д 14. Гидрофобты күйенің өнеркәсіпте және қорғаныс саласында қолданылуы

Материалтану · Функционалдық композиттер

Қолданылу аймақтары: резеңке және полимерлер, қорғаныш жабындар, өткізгіш композициялар, электромагниттік экрандау

Дәрістің мақсаты және құрылымы

Мақсаты

Гидрофобты күйенің құрылым–қасиет–қолданылу байланысын талдау және өнеркәсіптік, қорғаныш композиттеріне материал таңдаудың негіздерін түсіндіру.

01 Материалдың ғылыми негізі

Құрылым, беттік қасиет, модификация

02 Өнеркәсіптік бағыттар

Резеңке, жабындар, полимер, электроника

03 Қорғаныс саласы

EMI экрандау, антистатика, ұзақмерзімді тұрақтылық

04 Өлшеу және бағалау

BET/STSA, OAN, θ, электр және механика

Күйе негізіндегі функционалдық материалдар

Гидрофобты күйе — бетінің суға жақындығы төмендетілген немесе бастапқыда салыстырмалы гидрофобты көміртек қарасы негізіндегі ұнтақ не композиция.

Маңызды айырмашылық: өндірістік carbon black бақыланатын процестерде алынады; жану күйесі (soot) құрылымы мен қоспалары бойынша өзгеше.

Гидрофобтылық, электрөткізгіштік, дисперсия және механикалық күшейту — әртүрлі қасиеттер; біреуінің артуы қалғандарының міндетті түрде өсуін білдірмейді.

Дереккөз: ASTM D6556-21; RSC Adv. 2026, DOI:10.1039/D6RA03128E

Күйенің құрылымдық иерархиясы

Бастапқы бөлшектер

Наноөлшемді түйірлер; құрылымдық бірлік.

Бөлшек өлшемі мен беткі химиясы түйісу энергиясын анықтайды.

Агрегаттар және агломераттар

Біріккен бөлшектердің тармақты агрегаттары.

Агломераттар — әлсіз байланысқан ірі топтар; өңдеу кезінде бөлшектенуі мүмкін.

Дереккөз: Nanostructure Quantification of Carbon Blacks, Carbon 2019

Гидрофобтылық қайдан пайда болады?

Беттік химиялық факторлар

Полярлы оттекті топтар үлесі; көмірсутекті немесе силандық жабын; бет энергиясы.

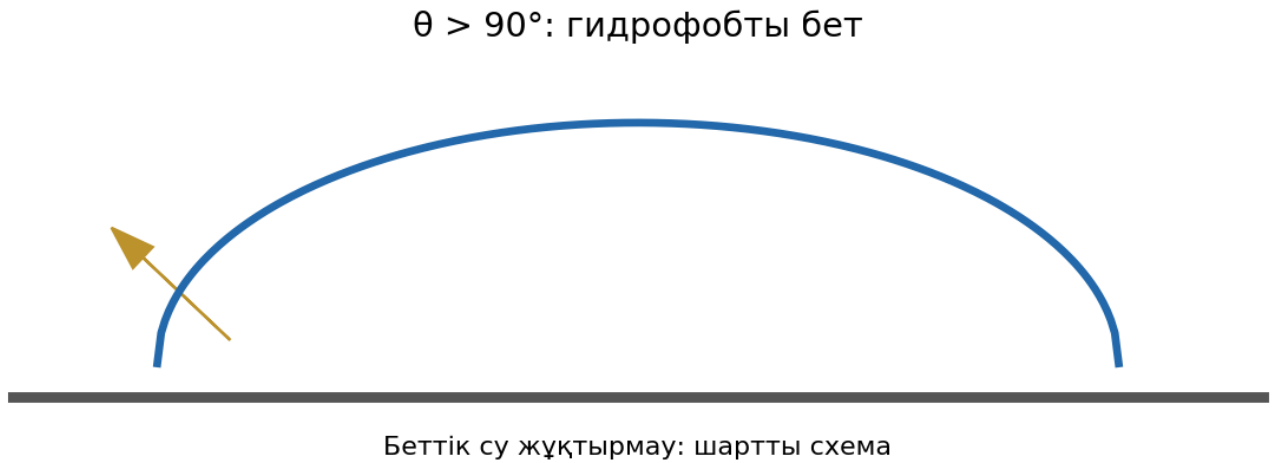
Жақсы гидрофобтылық жоғары арнайы беттік ауданмен бірдей емес.

Морфологиялық факторлар

Микро- және нанокедір-бұдырлық; бөлшектердің орналасуы; кеуек пен топография.

Сулану режимі үлгінің пішініне және химиялық құрамына тәуелді.

Жанасу бұрышы және су жұқтырмау



Беттік су жұқтырмау: шартты схема

Ғылыми түсіндірме

Жанасу бұрышы θ > 90° болса, бет гидрофобты деп жіктеледі.

Өлшеу: статикалық, жылжу/шегіну бұрыштары; гистерезис және тамшының сырғу бұрышы.

Тек бір статикалық бұрыш бойынша ұзақмерзімді төзімділікті анықтауға болмайды.

Дереккөз: Түсіндірмелі сұлба (нақты өлшеу емес)

Өнеркәсіптік қолдану картасы

Негізгі салалар

- Шина және резеңке бұйымдары
- Полимерлік антистатикалық материалдар
- Кабель және электроника корпустары
- Бояулар, герметиктер, жабындар

Қосымша функциялар

- Механикалық беріктікті өзгерту
- Электрлік диссипация
- Ультракүлгін сәуледен қорғау
- Беттік су жұқтырмау және ластанудан қорғау

Дереккөз: RSC Adv. 2026, DOI:10.1039/D6RA03128E

Резеңке және эластомер композиттері

Күшейткіш қызметі

Күйе агрегаттары полимер тізбектерінің қозғалысына ықпал етіп, модульді, қажалуға төзімділікті және гистерезисті өзгертеді.

Нәтиже: күйе маркасы, дисперсия, толтыру деңгейі және вулканизация шарттарына тәуелді.

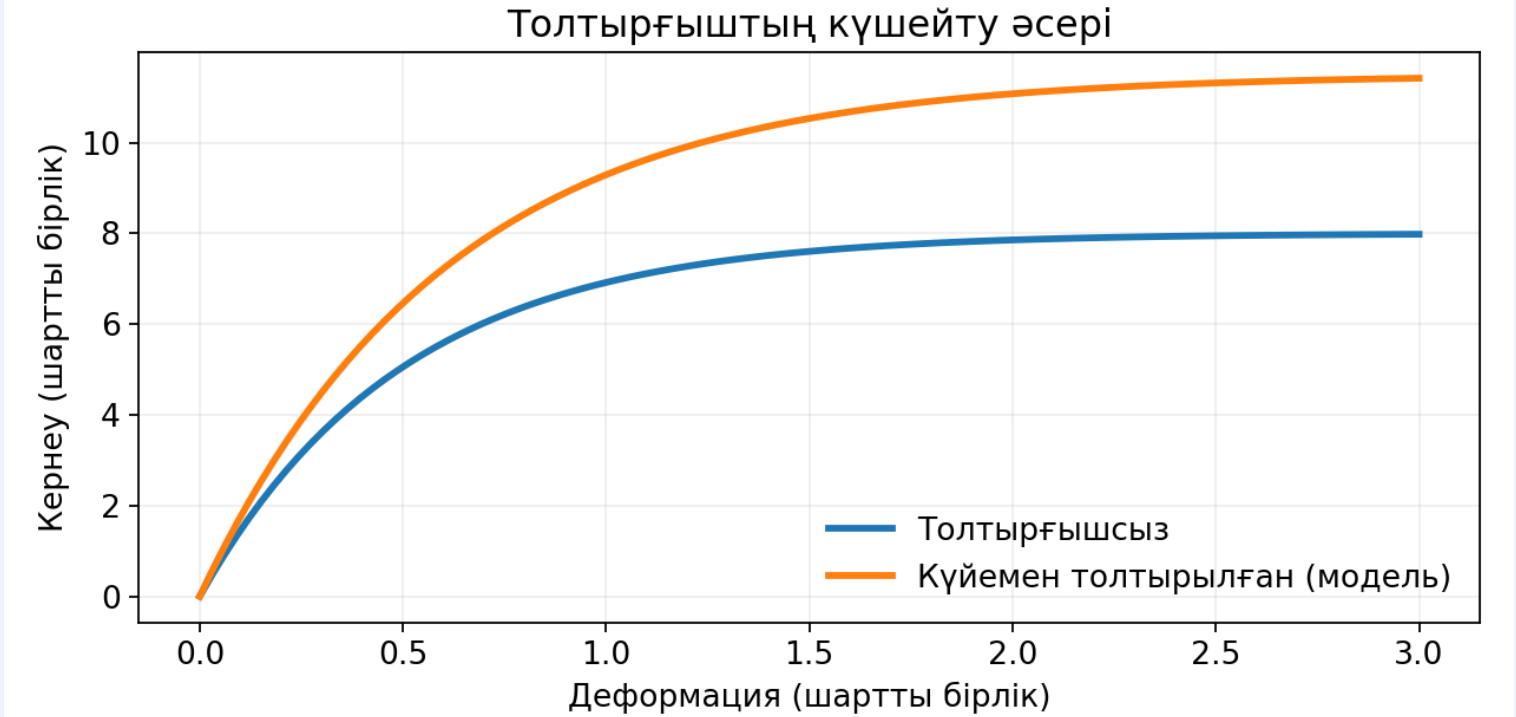
Технологиялық шектеулер

Толтырғыш артық болса тұтқырлық артады, өңдеу қиындайды.

Гидрофобтандыру кейде полимермен үйлесімділікті жақсартады, бірақ адгезияны әр жағдайда арттырмайды.

Дереккөз: ASTM D2414-26

Күшейту әсерінің сапалық сызбасы



Ғылыми түсіндірме

Сызба нақты өлшеу емес.

Күйе қосу серпімділік модулін күшейтуі мүмкін, бірақ созылғыштық пен үзілу кезіндегі деформация да өзгеруі ықтимал.

Шынайы зерттеуде ASTM/ISO бойынша созу сынағы жасалады.

Дереккөз: Модельдік қисықтар; сандық эксперименттік дерек емес

Қорғаныш жабындар және бояулар

Негізгі функциялар

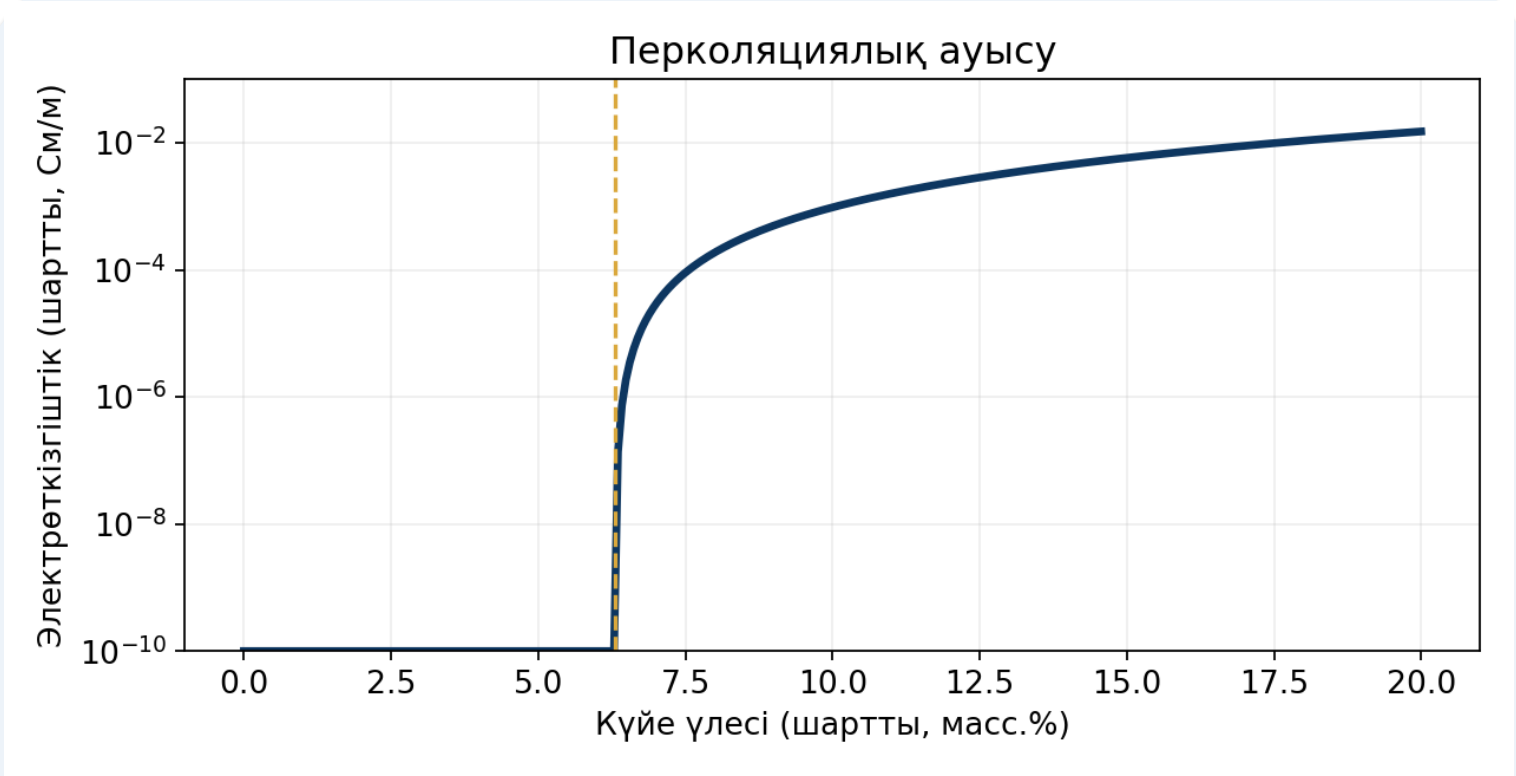
- Су сіңіруді төмендету
- Пигменттік қасиет
- Ультракүлгін әсерінен қорғау
- Өткізгіш немесе антистатикалық қабат қалыптастыру

Маңызды шектеу

Көміртек қарасы электрөткізгіш болғандықтан, металмен жанасқан жабынның коррозиялық мінезін жеке тексеру керек.

Қорғаныш әсері барьерлік қасиет пен жабын тұтастығына тәуелді.

Электрлік перколяция және өткізгіш желі



Ғылыми түсіндірме

Толтырғыш үлесі шектік мәнге жеткенде бөлшектер түйісіп, электрөткізгіш желі құра алады.

Шек күйе құрылымына, полимерге және өңдеуге тәуелді.

График сапалық; сандық жобалау үшін эксперимент керек.

Дереккөз: Модельдік қисық; RSC Adv. 2026, DOI:10.1039/D6RA03128E

Антистатикалық материалдар

Қолданылуы

Электрондық қаптамалар, антистатикалық төсеніштер, кабель элементтері, өндірістік корпустар.

Мақсат — заряд жиналуын азайту және басқарылатын электрлік кедергі алу.

Бағалау өлшемдері

Беттік кедергі, көлемдік меншікті кедергі, ылғалға тәуелділік, иілу кезіндегі тұрақтылық.

Антистатикалық материал міндетті түрде жақсы EMI экраны емес.

Электромагниттік кедергіден қорғау (EMI)

Физикалық принцип

Экран қабатының өткізгіш желісі толқынның бір бөлігін шағылдырады, жұтады және ішінде шашыратады.

Көміртек қарасы көбінесе полимерлік композиттің функционалдық толтырғышы.

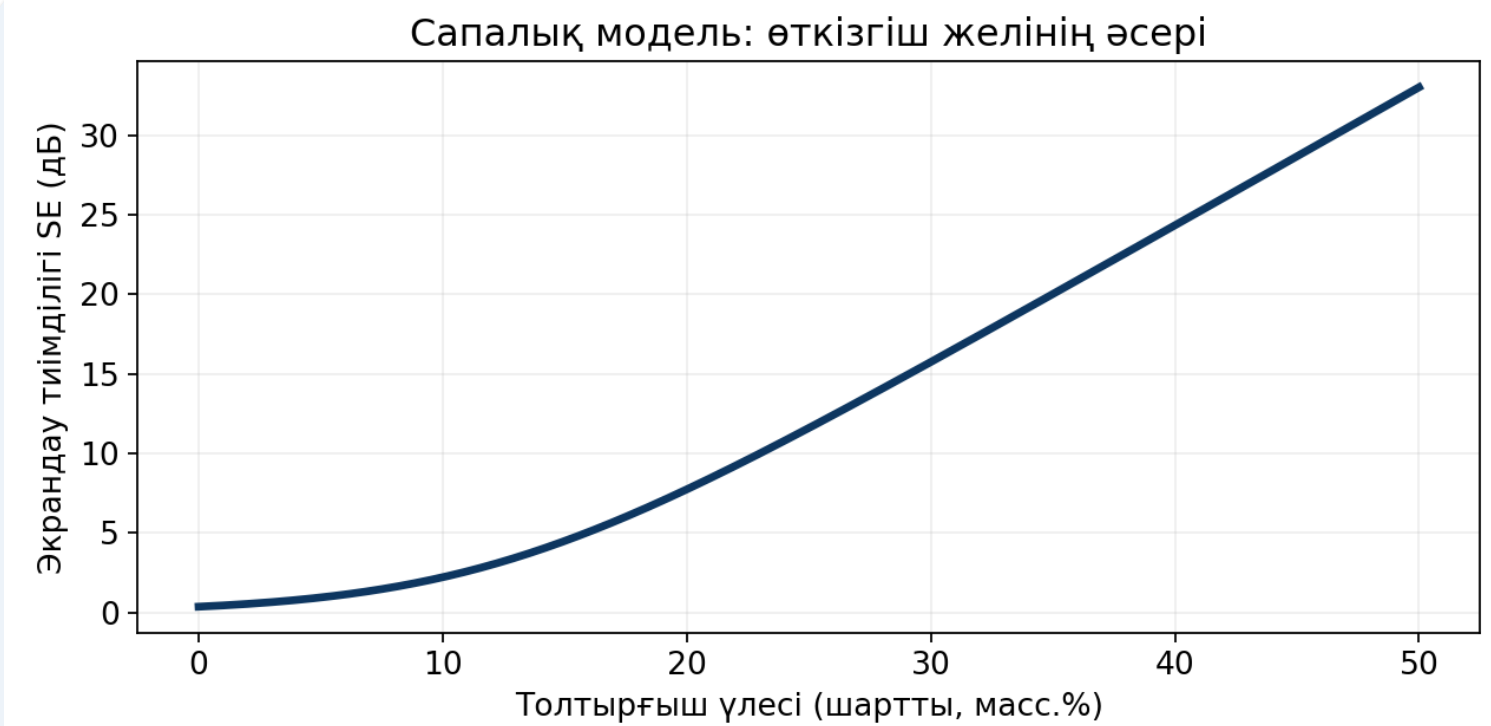
Қорғаныс материалдарындағы орны

Байланыс және өлшеу электроникасының корпустары, авиация техникасының электрондық тораптары, сезімтал құрылғылардың қаптамалары.

Әр технология белгілі жиілік ауқымында жеке сынақтан өтеді.

Дереккөз: Polymer Composites 2022, DOI:10.1002/pc.27009

EMI экрандаудың сапалық әсері



Ғылыми түсіндірме

$SE = 10 \log_{10}(Pin/Pout)$, дБ.

Мысал: SE=20 дБ → өткен қуат үлесі 1% (бірдей өлшеу шарттарында).

Көрсеткіш материалдың қалыңдығы мен жиілікке тәуелді.

Дереккөз: Түсіндірмелі модель; RSC Adv. 2026, DOI:10.1039/D6RA03128E

Жарияланған EMI нәтижелерінің мысалдары

Композит	Жиілік	Қалыңдығы	Экрандау тиімділігі
Фенол шайыры / CB	8–12 ГГц	Әдебиет кестесінде жоқ	30–40 дБ
CPE / Ketjen CB (30 масс.%)	8,2–12,4 ГГц	1 мм	38,4 дБ
NR/бутил резеңке / CB	0,5–5 ГГц	2 мм	7–30 дБ

Дереккөз: Review of Polymer Composites with Diverse Nanofillers for EMI Shielding, 2020; PMC7153630. Әртүрлі тәжірибелер тікелей салыстыруға келмеуі мүмкін.

Гибридті толтырғыш жүйелері

Неге гибридтеу қажет?

CB + CNT, CB + графен немесе өткізгіш талшықтар желіні төмен толтыру үлесінде дамытуға көмектесуі мүмкін.

Синергия әр жүйеде расталмайды.

Инженерлік тәуекелдер

Қымбат қосымша компонент, күрделі диспергирлеу, қабаттың біркелкі еместігі, механикалық беріктік пен өткізгіштік арасындағы ымыра.

Дереккөз: Macromol. Mater. Eng. 2024, DOI:10.1002/mame.202300344

Қорғаныс саласындағы қауіпсіз материалдық қолданулар

Электроника және конструкциялар

EMI экрандау; антистатикалық бөлшектер; жеңіл, икемді композиттер; сыртқы климаттық әсерден қорғаныш жабындар.

Техникалық бағалау

Электромагниттік үйлесімділік, температура–ылғал циклдері, механикалық қажалу, адгезия және ұзақмерзімді қартаю.

Материалды таңдауда қауіпсіздік пен реттеуші талаптар ескеріледі.

Дереккөз: Polymer Composites 2022, DOI:10.1002/pc.27009

Су және мұнай–су жүйелеріндегі қолданылу

Гидрофобты-олеофильді беттер

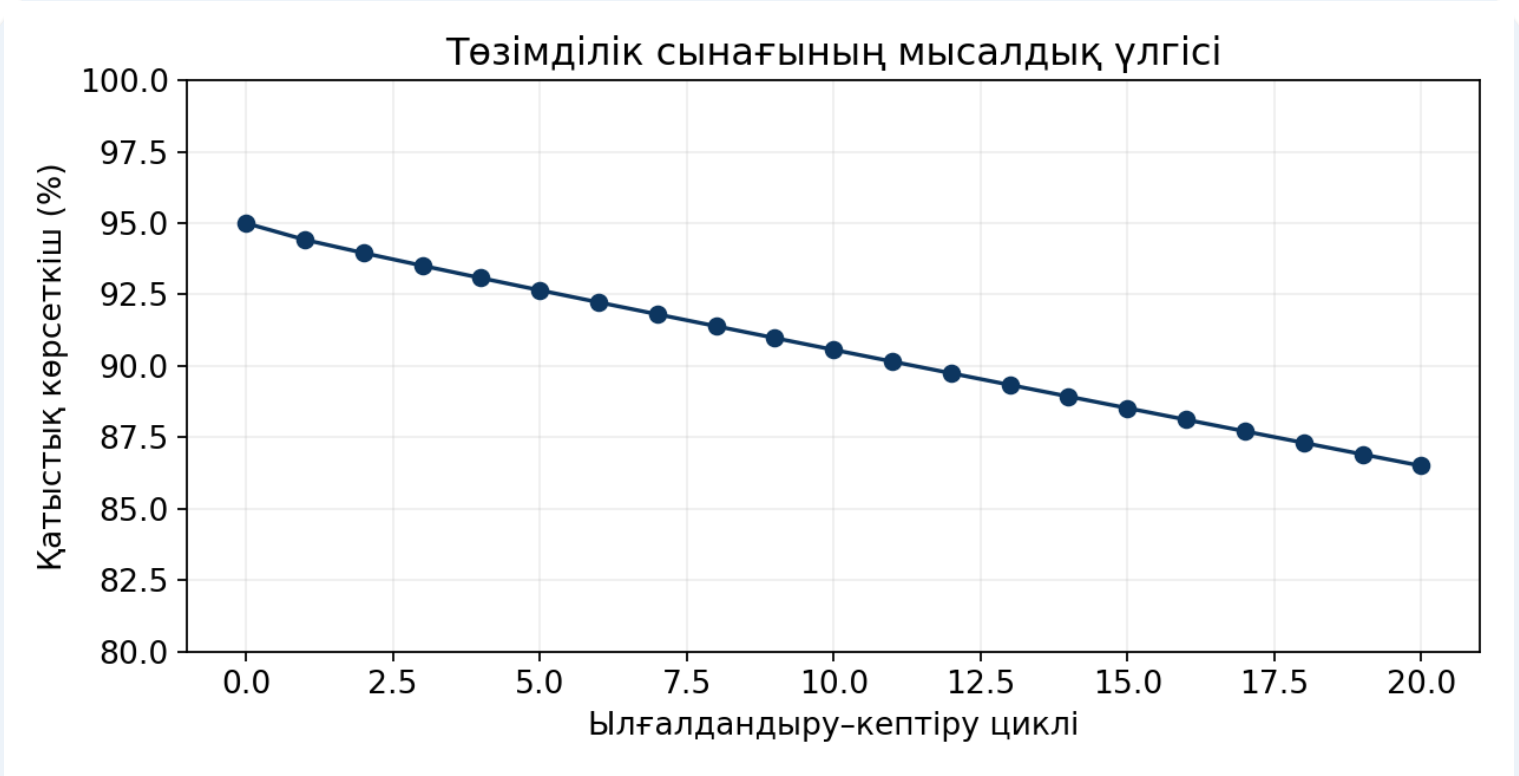
Күйе бөлшектерімен қапталған кеуекті тасымалдағыштың су жұқтыруын азайтуға, органикалық фазаны қабылдауын өзгертуге болады.

Нақты бағалау қажет

Бөлу тиімділігі, ағын, май жүктемесі, циклдік тұрақтылық және бөлшектің шайылып кетуі өлшенеді.

Беттік гидрофобтылық бөлудің жоғары тиімділігін өздігінен дәлелдемейді.

Гидрофобты қабаттың циклдік сынағы



Ғылыми түсіндірме

Сынақ көрсеткіштері: θ, адгезия, массаның жоғалуы, қабаттың тұтастығы және бөлу тиімділігі.

Көрсетілген қисық — оқу үшін алынған шартты мәндер.

Дереккөз: Модельдік мысал; тәжірибелік өлшеу емес

Қолдану бағыты және талап етілетін қасиет

Сала	Негізгі қажеттілік	Тексеру әдісі
Резеңке бұйымдары	Күшейту, тозуға төзімділік	Созу, динамикалық механика
Антистатикалық бөлшек	Реттелетін кедергі	Беттік/көлемдік кедергі
EMI корпус	Берілген жиіліктегі SE	Векторлық анализатор
Гидрофобты жабын	θ, адгезия, тұрақтылық	Контакт бұрышы, цикл сынағы
Кабель қабаты	Өткізгіштік, өңделгіштік	Реология, электрлік сынақ

Өндіріс технологиясының тізбегі

Материал дайындау

1. Күйе маркасын таңдау
2. Беттік өңдеу / модификация
3. Полимермен диспергирлеу
4. Қалыптау немесе жабын жағу

Сапаны бақылау

5. Агрегация және морфология
6. Механика және өткізгіштік
7. Қартаю/ылғалға төзімділік
8. Қайталанымдылық және қауіпсіздік

Беттік ауданды және құрылымды өлшеу

BET және STSA

ASTM D6556-21: азот адсорбциясы арқылы толық BET беті (NSA) мен сыртқы беттік ауданды (STSA) анықтау.

Бұл шамалар бірдей емес.

OAN және құрылым

ASTM D2414-26: май сіңіру саны (OAN).

OAN күйенің құрылымымен және резеңке қоспаларын өңдеу мінезімен байланысты.

Дереккөз: ASTM D6556-21; ASTM D2414-26

Кешенді сипаттау әдістері

Әдіс	Ақпарат	Шектеу
SEM/TEM	Агрегат, дисперсия	Үлгі дайындауға тәуелді
FTIR/XPS	Беттік химиялық топтар	Талдау тереңдігі әртүрлі
BET/STSA	Беттік аудан	Бетке қолжетімділік шартты
Контакт бұрышы	Сулану	Бет топографиясына тәуелді
DMA/созу	Механикалық мінез	Құрам және температура әсер етеді
Электрлік/EMI	R, σ, SE	Жиілік, қалыңдық әсері

Мысал есеп: экрандау тиімділігі

Берілгені

Кіріс қуаты: Pin = 100 мВт.

Шығыс қуаты: Pout = 1 мВт.

$SE = 10 \log_{10}(Pin/Pout)$.

Шешуі және түсіндірмесі

$SE = 10 \log_{10}(100/1) = 20$ дБ.

Өткен қуат үлесі = 1%.

Бұл — тек есептеу үлгісі, қандай да бір нақты композицияның өлшенген көрсеткіші емес.

Мысал есеп: композит құрамын есептеу

Берілгені

Полимер массасы: 850 г.

Күйе массасы: 150 г.

Жалпы масса: 1000 г.

Нәтиже

Күйе үлесі = (150/1000) × 100% = 15 масс.%.

Ескерту: көлемдік үлес пен массалық үлес бірдей емес; перколяциялық модельге көшкенде тығыздықтар қажет.

Қауіпсіздік, қоршаған орта және шектеулер

Өндірістік гигиена

Ұнтақтың ауаға көтерілуін азайту, жергілікті сорғыш желдету, жабық тасымалдау, тиісті жеке қорғаныш құралдары.

Тұрақтылық және экология

Шайылу, бөлшек босап шығуы, жабынның ескіруі, қалдықтар мен қайта өңдеу мүмкіндігі.

Гидрофобтандырғыштың өзіне тән экологиялық әсері де бағаланады.

Қорытынды: негізгі тұжырымдар

1. Гидрофобты күйенің тиімділігі беткі химияға, агрегат құрылымына және полимерлік матрицамен үйлесімділігіне тәуелді.

2. Өнеркәсіпте ол күшейту, антистатикалық қасиет, өткізгіштік және қорғаныш жабын үшін қолданылады.

3. ЕМІ экрандау сапасы тек толтырғыш үлесімен емес, өткізгіш желі, жиілік, қалыңдық және технологиялық өңдеу арқылы анықталады.

4. Қорғаныс саласындағы қолданулар материалтанулық әрі құрылғыны қорғау міндеттеріне негізделеді.

5. Кез келген жарияланған көрсеткіш тек нақты жүйе мен сынақ жағдайына қатысты.

Бақылау сұрақтары

1. Гидрофобтылық пен электрөткізгіштік неге тәуелсіз қасиеттер ретінде бағаланады?
2. Агрегат және агломерат ұғымдарының айырмашылығы қандай?
3. Электрлік перколяция нені білдіреді?
4. EMI экрандау тиімділігі қандай факторларға тәуелді?
5. ASTM D6556 және D2414 әдістері нені өлшейді?
6. Гидрофобты жабынның ұзақмерзімді тұрақтылығын қалай дәлелдейміз?

Ғылыми әдебиеттер және стандарттар (I)

1. Fallah A. et al. A review on conductive polymeric nanocomposites for advanced electromagnetic interference shielding. RSC Adv. 2026. DOI: 10.1039/D6RA03128E.

2. Role of carbonaceous fillers in electromagnetic interference shielding behavior of polymeric composites: A review. Polymer Composites. 2022. DOI: 10.1002/pc.27009.

3. Design, Processing, and Challenges of Multicomponent Polymer Composites for Improved EMI Shielding Properties: A Review. Macromol. Mater. Eng. 2024. DOI: 10.1002/mame.202300344.

4. ASTM D6556-21. Carbon Black—Total and External Surface Area by Nitrogen Adsorption. DOI: 10.1520/D6556-21.

Ғылыми әдебиеттер және стандарттар (II)

5. ASTM D2414-26. Carbon Black—Oil Absorption Number. DOI: 10.1520/D2414-26.

6. Review of Polymer Composites with Diverse Nanofillers for Electromagnetic Interference Shielding. 2020. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7153630/

7. Sankaran S. et al. Recent advances in EMI shielding properties of metal and carbon filler reinforced flexible polymer composites. Composites Part A. 2018. DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.08.006.

Ескерту: тақырыптық теориялық графиктер авторлық оқу сұлбалары болып табылады; сандық эксперименттік дерек ретінде қолдануға болмайды.