

ФІЗИКО-ХЕМІЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 541. 183

¹Сіренко Г.О., ¹Мартинюк М.І., ¹Петраш Т.А., ²Мандзюк І.А.

Адсорбція компонентів епоксидного компаунда на наповнювачах

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

²Хмельницький національний університет,
вул. Інститутська, 11, м.Хмельницький, 28016, Україна

Теоретичне обґрунтування властивостей епоксидних смол та експериментальні дослідження адсорбції компонентів епоксидного компаунда на мінеральних наповнювачах: бентоніті, кварцовому піску і слоїді. У результаті досліджень було встановлено, що за адсорбційною активністю наповнювачі розміщуються в ряду: бентоніт → кварцовий пісок → слоїда. Досліджено також вплив температури на процес адсорбції.

Ключові слова: епоксидна смола, компаунд, наповнювач, бентоніт, кварцовий пісок, слоїда.
Adsorption of components of epoxy additive on fillers.

¹Sirenko H. A., ¹Martynyuk M.I., ¹Petrash T.A., ²Mandzyuk I.A.

Adsorption of components of epoxy additive on fillers. methods and results of experiment

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

²Khmelnysky National University, 11, Instytutska Str., Khmelnytsky, 29016, Ukraine

Work is the manuscript which has theoretical substantiation of properties of epoxy resins and experimental research of adsorption of components of epoxy additive on mineral fillers: bentonit, quartz sand and mica. As a result of research is turned out that the fillers settle down at the adsorption activity in the next row: bentonit quartz sand mica. The influence of temperature on the process of adsorption is investigated too.

Key words: epoxy resin, additive, filler, bentonit, quartz sand.

Вступ

В області наповнених полімерів провідною тенденцією є розробка конструкційних матеріалів на основі вих типів армуючих наповнювачів при порівняно постійному наборі зв'язуючих. Іншою, хоч і дещо менш вираженою тенденцією, є перехід до армуючих полімерних наповнювачів, особливо однієї хімічної структури. Відомо, що стан перехідного шару на поверхні наповнювачів, умови його формування, його структури часто відіграють визначальну роль у розвитку деформації всього тіла. Твердіння епоксидних смол і компаундів на їх основі та наступна термоциклічна дія викликають залишкове напруження, яке сприяє або безпосередньо веде до

розтріскування компаунда. Тому, важливим і актуальним є завдання вивчити адсорбцію компонентів заливного компаунда: ЕД-20, ЕБФ, ПЕПА, ТКФ і ТНМ на поверхні наповнювачів: бентоніту, кварцового піску і слоїди.

Метою роботи було дослідити адсорбцію компонентів епоксидного компаунда на наповнювачах.

Поставленій меті підпорядковані наступні **завдання:**

-Вивчити властивості епоксидних смол;

-Вияснити характеристики отверджувачів, які найефективніше використовуються в наш час, і яким рядом переваг вони володіють;

-Підібрати розчинник для проведення

процесу адсорбції;

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше досліджено адсорбцію складових епоксидних компаундів - епоксидної смоли, пластифікаторів та стверджувана - поліетиленполіаміну при температурах 298 і 343 К. На основі отриманих результатів було показано, що на одних поверхнях є сорбція, а на інших ні.

1. Властивості епоксидних смол

1.1. Одержання та властивості епоксидних смол

Епоксидними сполуками називають широкий клас речовин, які містять у своєму ланцюзі епоксидну групу С - С або гліцидилову СН-СН-СН групу.

Епоксидні сполуки, що містять дві або більше епоксидних груп, після введення в них зшиваючих агентів (отверджувачів, каталізаторів) при певних умовах переходять в неплавкі нерозчинні продукти, які володіють сітчастою трьохмірною структурою. Епоксидні групи можуть знаходитися в аліфатичних циклах або ланцюгах, гліцидні групи - частіше на кінці ланцюга.

Епоксидні смоли можна одержати двома способами :

1. При взаємодії епіхлоргідрину з дво- і багатоатомними гліколями та іншими сполуками.

2. Прямим епоксидуванням ненасичених сполук надкислотами (надоцтовою, надбензолною, мононадфталевою та іншими).

Першим способом у результаті реакції з епіхлоргідрином одержують:

а) діепоксидні смоли на основі дифенілолпропану, які називають діановими - ЕД-5, ЕД-6, ЕД-Л, Е-37, Е-40, Е-5, азотовмісні - ЕА (на основі аніліну); ЕМДА (на основі діамінофенілметану); ЕФФ (на основі фенолфталейну); ЕАФ-400;

б) поліепоксидні смоли на основі епоксиноволаків ЕН-5,

епоксиціаноуратні (ЕЦ); смоли на основі поліфенолів ЕТФ;

в) аліфатичні діепоксидні смоли: У-181; ДЕГ-1, ДЕГ-19, ТЕГ-17, ДЕГ-Ж, ДЕГ-Ф, ДЕГ-У, МЕГ-1, ЕЕТ-1.

Прямим епоксидуванням дициклопентадієну надоцтової кислоти одержують диоксид монооксидніліциклогексену МВЦГ.

Шляхом прямого епоксидування одержують також поліепоксидні олігомери - епоксидний дивінілстирол, епоксидний дивініл та інші.

1.1.1. Немодифіковані епоксидні смоли

До немодифікованих епоксидних смол [15] відносять ди- або поліепоксидні сполуки одного полімергомологічного ряду.

Немодифіковані епоксидні смоли одержують в основному двома способами: 1) конденсацією в лужному середовищі епіхлоргідрину або дихлоргідрину з сполуками, які містять рухомі атоми гідрогену (феноли, аміни, гліколі, кислоти); 2) прямим епоксидуванням безмежних сполук

органічними надкислотами, алкілгідроперекисями або пероксидом гідрогену.

Діанові епоксидні смоли ЕД-8, ЕД-10, ЕД-14, ЕД-16, ЕД-20, ЕД-22, (ГОСТ 10587-72); УД-24 (ТУ-6-05-241-23-72); Е-40 (МРТУ УХП 295-59), Е-44 (ТУ ЗЗП-61), Е-49 (МРТУ 6-10 606-66) - це розчинні і плавкі реакційноздатні мономерні або олігомерні продукти конденсації епіхлоргідрину і дифенілолпропану в лужному середовищі. Смоли Е-44 і Е-49 одержують сополімеризацією низькомолекулярної смоли Е-40 із дифенілолпропано лом.

Змінюючи співвідношення вихідних компонентів, а також умови реакції, одержують смоли з різною молекулярною масою. Смоли з молекулярною масою 350-600 є леткими речовинами, які володіють порівняно високою реакційною здатністю, що дозволяє стверджувати їх у видатках при помірних температурах або без нагрівання. Полімери на основі низькомолекулярних епоксидних смол поряд із високою термостійкістю володіють значною крихкістю, яка може бути знижена при введенні в композиції спеціальних модифікаторів і отверджувачів. Показники * властивостей низькомолекулярних смол наведені у табл. 1.1.

Низькомолекулярні епоксидіанові смоли застосовують в основному для виготовлення клеїв, просочуваних і заливних компаундів. Із збільшенням молекулярної маси збільшується в'язкість незатверділих діанових смол (смоли з молекулярною масою 1000 - тверді речовини) і незначно зменшується їх реакційна здатність.

Епоксидіанові смоли середньої молекулярної маси затверджуються в основному ангідридами дикарбонових кислот, ароматичними амінами, фенолоформальдегідними смолами та іншими затверджувачами гарячого застигання. Показники властивостей цих смол наведені у табл. 1.2.

В застиглому стані ці смоли мають знижену крихкість. Вони застосовуються для одержання прес-матеріалів, порошків для напилення, лакових покриттів і для модифікації низькомолекулярних епоксидних смол.

Епоксиноволачні смоли ЕН-6 (ТУ 6-05-1585-72); УП-6 і УП-643. Це поліфункціональні епоксидні сполуки, що містять більше двох епоксидних груп в молекулі. Вони розчинні, плавкі реакційноздатні продукти конденсації епіхлоргідрину з новолаковими фенолоформальдегідними смолами різної молекулярної маси. Ці смоли повинні відповідати вимогам, які наведені у табл. 1.3.

Епоксиноволачні смоли стверджуються ангідридами ди- і полікарбонових кислот, амінами, фенолоформальдегідними, аміноформальдегідними смолами та іншими отверджувачами. Режим застигання залежить від типу отверджувача. В затверділому стані Епоксиноволачні смоли володіють високими теплостійкістю, хімічною стійкістю, стабільністю

електричних показників при підвищених температурах, але крихкість їх вища, ніж у застиглих дианових смолах.

ТАБЛИЦЯ 1.1

ПОКАЗНИКИ ВЛАСТИВОСТЕЙ НИЗЬКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ [1-6]

Показники властивостей	ЕД-24	Е-22	ЕД-20	ЕД-16	ЕД-14	Е-40
Зовнішній вигляд	НИЗЬКО-В'ЯЗКА РІДИНА	ПРОЗОРА РІДИНА	В'ЯЗКА, ПРОЗОРА РІДИНА	ВИСОКО-В'ЯЗКА РІДИНА	ВИСОКО-В'ЯЗКА РІДИНА	ПРОЗОРА РІДИНА
Колір	від світло-жовтого до коричневого	від світло-жовтого до коричневого	від світло-жовтого до коричневого	від світло-жовтого до коричневого	від світло-жовтого до коричневого	від світло-жовтого до коричневого
Молекулярна маса	340-370	<<390	390-430	480-540	540-620	<<600
В'язкість за ВЗ-4 за 293 К, с	-	-	-	-	-	25-60
Умовна в'язкість: за 323 К за кульковим віскозиметром, с	-	-	-	15-55	15-100	-
З отверджувачем за 373 К, через 2 год. не більше, с	-	10	10	20	20	-
Динамічна в'язкість за 298 К, Пуаз	<<80	80-130	130-180	-	-	-
Вміст, % епоксидних груп	>=23	22,1-23,5	19,9-22,0	16,0-18,0	13,9-15,9	-
загального хлору	0,50	1,00	1,00	0,75	0,75	-
легких речовин	0,3	0,5	1,00	0,8	0,8	-
йону хлору	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	-
Час желатинізації з отверджувачем (малеїновий ангідрид) за 373 К, не менше	-	6,0	4,0	3,0	2,5	-

Епоксифуранова смола УП-546 (ВТУ-189-6-66) - це продукт конденсації епіхлоргідрину з резорцинофурфуровим новолаком в присутності їдкого натру. Смоли застосовують при виготовленні компаундів, клеїв та прес-матеріалів, зв'язуючи для склопластиків. Епоксидна смола ЕТФ (ТУ П-516-67) - це продукт конденсації епіхлоргідрину з три фенолом в присутності їдкого натру. Смоли ЕТФ використовують для виготовлення термостійких клеїв і склопластиків.

Смола УП-635 (ТУ 6-05-041-347-72) - це продукт конденсації епіхлоргідрину з сумішшю пентаеритриту і резорцину, що дегідролізується

їдким натром. Вона використовується для виготовлення компаундів, клеїв.

Азотовмісні епоксидні смоли марок ЕЦ, ЕЦ-Н, ЕЦ-К (МРТУ 6-05-1252-69) - це продукти конденсації епіхлоргідрину з ціануровою кислотою, що дегідрохлоровані їдким натром. Смоли ЕЦ та ЕЦ-Н застосовуються для використання у сполуках з диановими та іншими епоксидними смолами для виготовлення електроізоляційних компаундів, клеїв і зв'язуючи для пластиків, з підвищеною термостійкістю. Смола ЕЦ-К (кристалічний тригліциділізоціанурат) застосовується для виготовлення прескомпозицій, порошкових епоксидних композицій, клеїв та компаундів.

Таблиця 1.2
Показники властивостей середньомолекулярних епоксидних смол [1-6]

Показники властивостей	ЕД- 10	ЕД-8	Е -44	Е- 49
Зовнішній вигляд	Твердий продукт від світло-жовтого до коричневого кольору	Твердий продукт від світло-жовтого до коричневого кольору	Твердий продукт від світло-жовтого до коричневого кольору	Твердий продукт від світло-жовтого до коричневого кольору
Молекулярна маса	660-860	860-1100	1600	2500
Умовна в'язкість смоли з отверджувачем за кульковим віскозиметром за 373 К через 2 год., не більше	50	60	-	-
Вміст (%):				
• епоксидних груп	10,0-13,0	8,0-10,0	6,0-8,5	2,0-4,5
• загального хлору, не більше	0,6	0,6	0,2	0,2
• летких речовин, не більше	0,8	0,8	-	-
• йону хлору, не більше	0,007	0,007	0,02	0,02
Температура м'якшення за методом "Кільце і кулька", К	-	318-338	355-361	368-378
Час желатинізації з отверджувачем (малеїновий ангідрид) за 373 К, год., не менше	2,0	2,0	-	-

Таблиця 1.3
Показники властивостей епоксिनволакових смол [1-6]

Показники властивостей	ЕД - 6	УП - 642	УП - 643
Зовнішній вигляд	Твердий продукт від жовтого до коричневого кольору	В'язка рідина, безколірна або світло-жовтого кольору	Напівтвердий продукт від світло-жовтого і до коричневого кольору
Динамічна в'язкість за 325 К, не більше	-	40	900
Вміст (%):			
• епоксидних груп, не менше	18	23	22
• загального хлору, не більше	2,5	1,0	1,0
• летких речовин, не більше	0,7	2,0	2,0
• йону хлору, не більше	0,1	0,005	0,005
Температура м'якшення за методом «Кільце і кулька» К, не більше	313	-	-

Смола ЕА (МРТУ 6-05-1190-60) - диепоксидна смола - продукт конденсації епіхлоргідрину і аніліну в лужному середовищі. Смоли використовують в якості компоненту зв'язуючого для склопластиків, компаундів, клеїв, та як активний розчинник високолетких епоксидних смол.

Смола УП-622 (ВТУ-6-410-70) - продукт, одержаний внаслідок конденсації

біс(хлоргідрин)аніліну з формальдегідом в присутності соляної кислоти з наступним дегідрохлоруванням їдким натром.

Смола УП-633

- продукт конденсації епіхлоргідрину з Л-нафтиламіном. Показники властивостей незатверділих азотовмісних епоксидних смол наведені в табл. 1.4.

Аліфатичні епоксидні смоли ДЕГ-1, ТЕГ-1, МЕГ-2, ЕЕТ-1 (МРТУ 6-05-1223-69); ТЕГ-17 (МРТУ 6-05-907-63), ДЕГ-19 (МРТУ 6-05-908-63) одержують конденсацією епіхлоргідрину з багатоатомними спиртами двома шляхами: одностадійним у присутності луку та двохстадійним у присутності трьохфтористого бору чи інших кислотних каталізаторів із поступовим дегідрохлоруванням їдкою натру. Структура АЕС, що синтезуються одностадійним способом, аналогічна структурі дианових епоксидних олігомерів. АЕС, одержані у дві стадії, відрізняються порівняно малою в'язкістю, підвищеним вмістом епоксидних груп та хлору.

АЕС володіють високою реакційною здатністю, особливо при утворенні аминними отверджувачами. Цю властивість необхідно враховувати при їх переробці. Аліфатичні епоксидні смоли легко суміщаються практично з усіма епоксидними смолами. Завдяки їх низькій в'язкості застосовують як активний розчинник епоксидних смол. Крім того, АЕС надають

епоксидним композиціям у отвердженому стані підвищену еластичність, тому їх можна розглядати і як флексибілізатори.

Аліфатичні смоли містять до 9% гідроксильних груп, тому введення великої кількості їх у вигляді епоксидних композицій приводить до зниження водостійкості епоксидних полімерів. Максимальна кількість введених при отвердінні амінами не повинна перевищувати 25% маси від маси основної смоли. З метою підвищення водостійкості проводять етерифікацію АЕС метиловими ефірами жирних кислот (ДЕГ-Ж) і ізоціанами (ДНГ-У).

Більшого значення приділяють виробництву епоксидних матеріалів з пониженою горючістю. Розроблені і випускаються **галогеновмісні епоксидні смоли**. За структурою вони не відрізняються від смол, які розглядаються вище, але містять у ланцюзі атоми галогенів. Останні забезпечують знижену горючість отверджених композицій.

Таблиця 1.4
Показники властивостей азотовмісних епоксидних смол [1-6]

Показники властивостей	ЕА	УП-610	УП - 622	УП-633
Зовнішній вигляд	Рідина від світло-жовтого до темно-червоного кольору	В'язка рідина темно-вишневого кольору	В'язка рідина коричневого кольору	В'язка рідина коричневого кольору
Динамічна в'язкість за 313 К, сПз	100-820	300-000	400-700	200-500
Кінематична в'язкість за 325 К, сСт, не більше	500	-	-	-
Вміст, %				
• епоксидних груп, не менше	30	33	26	24
• загального хлору, не більше	2,50	2	2	1,5
• легких речовин, не більше	1,5	1,5	1,5	1,0
• йону хлору, не більше	0,05	0,06	0,06	0,02
Гарантійний строк зберігання (в герметичній тарі у складовому приміщенні), місяці	10	3	6	-

Смола УП (6-05-041-346-72) - це продукт конденсації епіхлоргідрину з тетрабромдифенілпропаном у присутності луку. Застосовується як компонент клеїв, компаундів і зв'язуючих для склопластиків з метою зниження горючості отвердженого матеріалу.

Смола УП-614 (ТУ П-226-70) - продукт конденсації епіхлоргідрину з дифенілпропаном у присутності трьохфтористого бору, дегідрохлорованим їдким натром. Застосовується

як смола для заливки, герметизації ізоляційних і захисних покриттів.

Смола ЕХД (ТУ 6-05-041-321-71) епіхлоргідрину і хлоровмісного ароматичного поліаміну, дегідрохлорованим їдким натром.

Смолу застосовують для виготовлення заливних компаундів, герметиків, клеїв, зв'язуючих для склопластиків.

Смола Е-181 (ТУ П-206-68) - це продукт дегідрохлоруванням хлоровмісних полімерів, які

одержуються взаємодією епіхлоргідрину з водою у присутності каталізатора - активованої глини "кіл". Смоли застосовують в основному як активний розчинник високов'язких смол. В свою чергу ці смоли використовуються в заливних композиціях, клеях і зв'язуючих для склопластиків.

Складні дигліцидилові ефіри одержують взаємодією епіхлоргідрину з дикарбоновими кислотами. Найбільш практичне значення мають

Динамічна в'язкість при 298К, не більше	13
Вміст, %	
епоксидних груп, не менше	23,5
загального хлору, не більше	2,1
йону хлору, не більше	0,005
летких речовин, не більше	1,0

За механічними властивостями смола УП-60 не поступається диановим, але за стійкістю до атмосферних взаємодій, за дуго- і трекінгостійкістю, а також стійкістю до струмовиткання має значні переваги.

Особливістю будови **циклоаліфатичних епоксидних смол** є те, що оксиген в них зв'язаний з атомами гідрогену ациклічного радикалу. Цим обумовлені специфічні властивості циклоаліфатичних смол.

У відмінності від смол, що одержують внаслідок застигання епіхлоргідрину, циклоаліфатичні епоксидні смоли не стверджуються поліамінами, оскільки швидкість такої реакції дуже мала. Реакція з ангідридами полікарбонових кислот, навпаки, проходить із значно більшою швидкістю, особливо у присутності поліолів. Крім того, молекули циклоаліфатичних епоксидних смол більш компактно упаковані, а при ствердженні утворюють трьохмірні структури з великим числом поперечних зв'язків, що в свою чергу з'єднують безпосередньо цикли. Останні зумовлюють підвищення деформаційної теплостійкості полімеру. Завдяки відсутності ароматичних ядер отверджені циклоаліфатичні епоксидні смоли володіють високою дуго-, трекінгостійкістю і стійкістю до ультрафіолетових променів.

Смола УП-612 (ВТУ 6-260-68) - диоксид циклічного ацеталу, який одержаний конденсацією тетрагідробензальдегіду з 1,1-біс(гідроксиметил)циклогексаном-3.

полікарбонових кислот, комплексами трьохфтористого бору з амінами, фенолоформальдегідними смолами. Смола застосовується як основа зв'язуючих для виготовлення термостійких армірованих пластиків, просочуваних і заливних компаундів та клеїв.

смоли на основі гідроароматичних дикарбонових кислот. У порівнянні з іншими епоксидними смолами, вони володіють меншою токсичністю, ретельно очищені від епіхлоргідрину, оскільки сполучення цього класу не викликають подразнення на шкіру чи слизової оболонки очей.

Смола УП-640 (ТУ 6-05-241-24-72) - складний дигліцидиловий ефір метилтетрагідрофталевої кислоти.

Смола УП-632 (ВТУ 6-307-69) - це диоксид циклічного складного естеру, який одержують із тетрагідробензальдегіду у присутності ізопропілату алюмінію за реакцією Тіщенко. Стверджується тими ж компонентами, що і смола УП-612. Застосовується для виготовлення просочуваних і заливних компаундів, і як активний розчинник високов'язких епоксидних смол.

Поліепоксидними смолами називають сполуки, які містять у ланцюзі більше двох епоксидних груп. Їх одержують при взаємодії епіхлоргідрину з три- і поліфункціональними сполуками (новолачними смолами, ціанурової кислоти, поліфункціональними багатоатомними фенолами та ін.), а також прямим епоксидуванням ненасичених сполук, що містять у ланцюзі два подвійні зв'язки.

Синтезовані циклоаліфатичні поліепоксидні смоли типу ЕН-6, ЕЦ, циклічні (ЕДЦ) і інші.

Поліепоксидні смоли утворюються отвердженішими продуктами із збільшеною густиною "зшивки". Характеризуються високою теплостійкістю, та стабільністю діелектричних властивостей при підвищених температурах, але крихкість їх вища, ніж у отверджених дианових смолах.

Неотверджені поліепоксидні смоли тверді продукти з температурою пом'якшення 50 °С. Їх стверджують ангідридами полікарбонових кислот, ароматичних амінами, фенолоформальдегідними смолами та ін.

Деформативність теплостійким поліепоксидних смол складає 200 - 300 °С. Для зниження крихкості і в'язкість полі епоксидних смол їх суміщають з диановими епоксидними смолами (ЕД-5, ЕД-Л), з смолою ЕА.

Поліепоксидні застосовують як зв'язуючі для конструкційних теплостійких епопластиків, для виготовлення теплостійких клеїв і електроізоляційних матеріалів.

Смола поліепоксидна 5Н (ВТУ № П-206-60) - продукт взаємодії еріхлоридрину з фенолоформальдегідними конденсаційним розчином. Це

Температура плавлення, °С 56-70

Вміст епоксидних груп, % 18-22

Смола ЕН-6 застосовується головним чином як зв'язуюча при виготовленні теплостійких склопластиків і як складова частина теплостійкої цоколевочної мастики, теплостійких клеїв і компаундів. Для покращення технологічних властивостей і зниження крихкості отверджених

Температура плавлення (по Кремер - Сарнову), °С 32-45

Температура пом'якшення за методом "коло і круг", °С 40-65

Вміст, %

епоксидних груп, не менше

19,5

загального хлору, не більше

1,0

йону хлору, не більше

0.018

легких речовин, не більше

1.0

Гарантійний термін зберігання, місяці

12

Термохімічні властивості смоли ЕТФ незначно змінюються при зміні температури. Смола ЕТФ застосовується при виготовленні термостійких клеїв і склопластиків.

Диоксид дициклопентадієну ДДЦПД (ТУ П-462-66) - продукт епоксидуванням водню надцотковою кислотою. Стверджується ангідридом полікарбонівих кислот у присутності невеликої кількості багатоатомних спиртів. Оптимальні властивості досягаються при затвердінні малеїновим ангідридом при 190-210 °С. ДДЦПД з малеїновим ангідридом утворює рідкі

суміш низькомолекулярної полі епоксидної смоли і фенілгліцидилового ефіру.

Смола поліепоксидна ЕН-6 (ТУ № П-202-68) - продукт взаємодії новолачної смоли з епіхлоргідрином.

злитків смолу ЕН-6 змішують зі смолою ЕД або ЕД-Л (компаунд К-106).

Епоксидна смола ЕТФ (ТУ № П-516-67) - це продукт взаємодії трифенолу з епіхлоргідрином.

витривалі суміші, які зберігають технологічні властивості при н. у. протягом 1 0 - 1 2 діб. Після отвердіння утворюються полімери з деформаційною теплостійкістю до 300 °С, їх неодолює є підвищена крихкість. ДДЦПД застосовується як компонент теплостійких зв'язуючих для армірованих пластиків та клеїв. Властивості циклоаліфатичних епоксидних смол, отверджених МТГФА (метилтетрагідрофталевим ангідридом), можуть бути ілюстровані наступними даними:

	УП-612	УП-632
Руйнуюча напруга, МПа		
при розтягу	22-35	28-39
при стиску	159-165	158,4-160
при статичному вигині	64-90	88,3-98,3
Питома ударна в'язкість, кДж/м ²	6-10	4,7-8,0
Теплостійкість за Мартенсом, °С	180-200	190-200
Діелектрична проникність	3,21	3,35

1.1.2. Модифіковані епоксидні смоли

Для одержання матеріалів поряд з немодифікованими смолами застосовують модифіковані епоксидні смоли. Є два типи модифікованих смол. До першого відносяться смоли, що одержують шляхом хімічної взаємодії немодифікованих епоксидних смол з реакційноздатними модифікаторами. До другого типу - епоксидні смоли, які одержані змішуванням різноманітних епоксидних смол між собою, а

також розчинниками, пластифікаторами, наповнювачами та іншими модифікаторами [15].

Епоксидні смоли, одержані модифікованим змішуванням

Епоксидні смоли, які одержані модифікованим змішуванням: смоли К- 115, К- 168, К-293 (МРТУ 6-05-125-59) і К-176 (ТУ 6-05-041-358-72).

Одержують модифікацією епоксидних смол ЕД-20 і ЕД-16 пластифікаторами-

розчинниками - олігоефіром МФГ-9, дибутилфталатом і диоктилфталатом. Застосовуються для одержання компаундів,

клеїв, зв'язуючих переважно із застосуванням отверджувачів. Показники властивостей смоли наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Властивості модифікованих смол

Показники	К- 115	К- 168	К- 201	К-293
Зовнішній вигляд	Прозора рідина від світло-жовтого до коричневого кольору			
В'язкість за ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20±2°C, не більше	800	–	500	–
Вміст летких речовин, %, не більше	2,5	2,0	3,0	2,0
Кислотне число, не більше	-	2,0	3,0	2,0
Час желатинізації з поліетиленполіамінами при 20°C, хв., не менше	120	20	120	30

Смоли К-153 і К-153С (ТУ 6-05-1584-72) одержують модифікацією епоксидних смол ЕД-20 тіоколом і олігоефіром МФГ-9, застосовуються для одержання компаундів, клеїв, зв'язуючих для

склопластиків і антикорозійних покриттів. Смоли повинні відповідати таким вимогам:

Показники	К- 153	К- 153С
В'язкість за ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20°C, хв	8-30	6-20
Вміст епоксидних груп, %	14-18	15-19
Час желатинізації при 21±3°C, хв., не менше	60	60

Епоксидні смоли, одержані хімічною модифікацією

Смола Т-10 (ТУ П-533-67) - продукт

Умовна в'язкість за ВЗ-4 при 90 °С, с Вміст, % епоксидних груп

сухого залишку, не менше

Розчинність в ацетоні

модифікації епоксидіанової смоли поліорганосилоксаном. Неотверділа смола має наступні показники:

80-200
11,5-14,5

97

повна

Смола Т-11 застосовується для виготовлення термостійких клеїв, які використовують для склеювання металічних і неметалічних матеріалів, а також для за гладження зазорів на деталях у виробках з температурою експлуатації від -60 до +220 °С.

Смоли УП-536 і УП-599 (ТУ 11-211-69), УП-5А99 (ТУ 5-308-69) і УП- 5А99Д (ТУ 6-449-71) - рідкі продукти хімічної модифікації епоксидних смол ЕД-20 і ДЕГ-1 реакційноздатними олігоефірами. Понижують екзотермічний ефект отвердіння. Застосовуються як флексибілізатори при одержанні міцних, гнучких, морозостійких і

еластичних епоксидних полімерів для компаундів, клеїв, зв'язуючих із застосуванням отверджувачів. Показники властивостей неотверджених смол наведені нижче:

Показники властивостей модифікованих смол [1-6]

Показники властивостей	К-15	К-168	К-201	К-293
Зовнішній вигляд	Прозора рідина від світло-жовтого до коричневого кольору			
В'язкість за ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) за 293 К, не більше	800	-	500	-
Вміст летких речовин, %, не більше	2,5	2,0	3,0	2,0
Кислотне число, не більше	-	2,0	-	2,0
Час желатинізації з поліетилен-поліамінами за 293 К, хв, не менше	120	20	120	30

1.2. Отверджувачі епоксидних смол

Ствердження епоксидних смол (перехід в нешлавкий нерозчинний стан) - це процес утворення полімеру, в якому беруть участь епоксидні і гідроксильні групи смол, а також отверджувач.

Отверджувачі умовно поділяють на стверджувачі "зшиваючої" дії і каталізатори процесу отвердження. Отверджувачі "зшиваючої" дії - це ди- або поліфункціональні сполуки, здатні вступати в реакцію міграційної співполімерізації або поліпрієднання до епоксидних чи гідроксильних груп епоксидної смоли. Каталізатори отвердження - це сполуки, що здатні у визначених умовах прискорювати реакцію міграційної співполімерізації епоксидних і гідроксильних груп епоксидної смоли.

Отверджувачі бувають холодного і гарячого отвердження, що викликають тривимірну

Характеристики амінних отверджувачів, що використовуються в наш час, представлені в таблиці 1.6.

Зазвичай аміни вводять у кількості 8-16 масових часток на 100 масових часток смоли - у залежності від виду взятого аміну і молекулярної маси смоли. Перед ствердженням епоксидну смолу вакуумують для видалення бульбашок повітря при 25-30°C, а потім ретельно перемішують з отверджувачем.

В останній час як амінний отверджувач почали застосовувати низькомолекулярні поліаміди, які володіють рядом переваг у порівнянні з іншими амінами: вони суміщаються з епоксидними смолами у широких межах, збільшуючи життєздатність композицій, нетоксичні, екзотермічний ефект при отвердженні низькомолекулярними поліамідами невеликий. Крім того, при використанні отверджувачів цього виду можливе одержання зливок від твердих і жорстких до м'яких гумоподібних без введення пластифікаторів (при різних кількостях введеного отверджувача). Одержані зливки мають низький вміст домішок, добре відшрацьовуються різанням [7].

полімерізацію епоксидних смол без нагрівання і при нагріванні відповідно.

Отвердження амінами

У залежності від технологічних властивостей епоксидних смол і вимог, які висуваються до властивостей епоксидних полімерів, кількість стверджувача може коливатися у досить широких межах. Наприклад, для аліфатичних поліамінів вона складає 90-130%, для поліаміноолігоамідів - до 150%, для ароматичних амінів - від 80 до 120%, для ангідридів ди- і полікарбонових кислот - 60-100% від стехіометричного.

У випадку використання поліетиленполіамінів (ПЕПА) розрахунок проводять за диетилентриаміном (ДЕТА), який містить 5 атомів гідрогену у амінних групах. В цьому випадку $M/p = 103/5 = 20,6$.

Розроблені такі марки низькомолекулярних поліамідів: Л-18, Л-19, Л-20 (МРТУ 6-05-1123-68); С-18, С-19, С-20 (ТУ П-372-64); Т-19 (ТУ П-521-67); ЛТ-13 (ТУ П-452-65).

Низькомолекулярні поліаміди - це продукти конденсації різних фракцій ПЕПА з димеризованими метиловими ефірами жирних кислот лляної (Л), соєвої (С), таллової (Т) олії і полімеризованих ефірів лляної олії та етиленгліколю (ЛТ).

Отвердження ангітридами ди- і полікарбонових кислот

При взаємодії епоксидних груп з гідроксильними групами двохосновних карбонових кислот не проходить виділення води і утворення побічних продуктів. Процес протікає при температурі більше 100°C значно повільніше, ніж при введенні амінів. Найбільш широке промислове застосування знайшли такі кислотні отверджувачі: малеїновий, фталевий, метилтетрагідрофталевий, тетрагідрофталевий, хлорендіковий, ендіковий ангідрид та його суміші. Ендіковий ангідрид підвищує стабільність термозаливних компаундів, хлорендіковий надає негорючості отвердженим смолам.

Перед застосуванням смоли підігривають до температури, на 10-15°C вищу за температуру плавлення стверджувана, і в розігріту масу вводять розраховане число ангідриду та стверджувана. У деяких випадках вводять наповнювачі і масу ретельно перемішують. Для усунення бульбашок

повітря рекомендується вакууму вати масу при 20 мм рт. ст. протягом 15-30 хв. Після цього масу зливають у підігріту форму, попередньо змащену роздільним складом. Режими ствердження малеїновим, метилтетрагідрофталеєвим, тетрагідрофталеєвим ангідридам наведені нижче:

МА
При 80-100° С-2 год
>> 120 - 2 год
>>140-150°С-10-14 год

МТГФА
при 80° С-2 год
>> 120°С - 2 год
>> 140-150°С-15год

ТГФА
при 80°С- 2 год
>>130°С-2год
>>160°С-6год

Таблиця 1.6.

Показники властивостей амініх отверджувачів

Отверджувач	Молекулярна маса	Температура топлення, К	Температура кипіння, К	Загальний вміст азоту (у перерахунку на суху речовину)	Кількість отверджувача (у масових частках) на 100 масових часток смоли	Кількість отверджувача (м.ч.) за температури (К) і час суміщення у (год.)
Діетилентриамін (ДЕТА)	103	рідина	480	1С – 27,2 2С – 12,8	20-40	8-12 м.ч. 298 К – 5 діб 353 К – 8-10 год. 373 К – 4-6 год.
Поліетиленполіамін (ПЕПА)	-	рідина	-	36	20-30	10-14 м.ч. 298 К – 5 діб >353 К – 8-10 год. >373 К – 4-6 год.
Гексаметилендіамін (ГМДА)	-	315	473	24	40-60	10-15 м.ч. 333 К – 10 год. >353 К – 8 год. >373 К – 6 год. >393 К – 3 год.
Складні аміни на основі кубових осадів (ГМДА) (вміст ГМДА - 5-8%)	-	рідина	-	-	20-40	15-20 м.ч. 298 К – 5 діб >353 К – 10-12 год. >373 К – 4-6 год. >393 К – 3 год.
m-фенілдіамін (МФДА)	108	336	560	-	60-90	10-14 м.ч. >353 К – 8 год. >393 К – 2 год.

Для підвищення теплостійкості рекомендується додаткова термообробка при 180°C протягом двох годин. При ствердженні у товстому шарі температуру піднімають поступово. Життєздатність заливної маси без прискорювача складає: для МА при 80°C - 6-12 год; для МТГФА Ці продукти - розчини ГМДА (40АГ) і м-фенілдіаміну (40АФ) у продукті А-40.

при 80°C - 6-18 год; для ТГФА при 110°C - 6 год. У наш час почали застосовувати наступні отверджувачі: продукт 40-АГ (ТУ П-435-65) і 40-АФ. Їх застосовують для ствердження епоксидних смол при кімнатній температурі і при 100°C.

При виготовленні виробів радіотехнологічної промисловості як отверджувачі використовують кислі ефіри адипінової (отверджувач АГ) і себацінової кислот (отверджувач СГ) і деяких інших.

Продукт Т-4 (ТУ П-532-67) - продукт взаємодії гексаметилендіаміну з епоксидною смолою ТЕГ-1. Застосовується як отверджувач холодного і гарячого ствердження епоксидних смол і компаундів на їх основі. Цей продукт повинен відповідати таким вимогам:

амінне число, мг НСІ/г - 300-700;

в'язкість при 30°C, спз - 7000-15000;

гарантійний термін зберігання у вакуумній упаковці - 1 місяць.

Адукт ПЕА-3 (ТУ П-404-65) - продукт взаємодії гексаметилендіаміну і м-фенілдіаміну з аліфатичною епоксидною смолою. Застосування ПЕА-3 значно знижує екзотермічний ефект ствердження. До адукту ПЕА-3 висуваються такі вимоги:

зовнішній вигляд - в'язка рідина від темно-коричневого до червоного;

амінне число, мг НСІ/г - 195-255;

в'язкість при 30°C, спз - 2000-3500;

гарантійний термін зберігання - 3 місяці.

Триетаноламінотитанат ТЕАТ-1 (МРТУ 6-09-74-62) - продукт переестерифікації тетрабутиратитанату триетаноламіном. Повинен відповідати наступним вимогам:

вміст титану (у перерахунку на двоокис титану), % - 20-30;

вміст бутоксильних груп, %, не менше - 8-10; умовна в'язкість, сек. - 50-60.

ТЕАТ-1 застосовують при виготовленні клеєвих сполук і як отверджувач для звязуючих при одержанні склопластиків.

Продукт №254 (ТУ П-176-60) - рідкий отверджувач, який одночасно служить як і пластифікатор. Композиції, що містять цей отверджувач, зберігають життєздатність протягом 24 год при кімнатній температурі. Повинен задовольняти наступні вимоги: вміст двоокису титану, % - 13-16; в'язкість за віскозиметром Хеплера, спз - 60-110.

Отверджувач УП-575(ВТУ 181-5-66)- продукт конденсації гексаметилендіаміну з циклогексанолом. Це рідина від світло- до темно-коричневого кольору з показником заломлення у межах 1,49-1,51. Застосовують при виготовленні компаундів, які стверджуються при температурі, вищій за 20°C. Цей отверджувач збільшує життєздатність композицій.

Отверджувач УП-583(ВТУ 182-5-66)- продукт конденсації гексаметилендіаміну з фенолом і формальдегідом. Рідина від світло- до темно-коричневого кольору з показником заломлення 0,56-1,57.

Застосовують для збільшення життєздатності композицій.

Отверджувач ММФ - адукт поліефіракрилату МГФ-9 з м-фенілдіаміном. Вводиться в кількості 35-50 мас. ч. на 100 мас. ч. смоли ЕД-5, ствердження проводять при 60-120°C. Одержані композиції відрізняються великою життєздатністю і низьким екзотермічним ефектом. Отверджувач ММФ застосовують для ствердження заливних композицій при виготовленні великогабаритних виробів, що працюють при 60-120°C.

Отверджувач АФ-2 - продукт на основі фенолу, етилендіаміну і формаліну. Це в'язка рідина червоно-коричневого кольору, нерозчинна у воді. При 20°C ствердження у його присутності проходить за 15-20 хв., може застосовуватись при умові підвищеної вологості.

Отверджувач 1-5М - продукт конденсації метилових ефірів жирних кислот з ПЕПА. На 100 мас. ч. смоли ЕД-5 вводять 65-70 мас. ч. отверджувача 1-5М.

Отверджувач УП-581 - евтектична суміш Едикового ангідриду (93 мас. ч.) і адукту малеїнового ангідриду з антраценом (7 мас. ч.). Режим ствердження: 5 год при 80°C, 6 год при 140°C, і 6 год при 180°C [15].

Каталізатори отвердження

Каталітична дія каталізатора ствердження визначається його оптимальною концентрацією і температурою активації. Оптимальну концентрацію каталізатора підбирають експериментально, зазвичай вона складає 2-10 мас. ч. на 100 мас. ч. смоли. Каталізатори ствердження використовують і як прискорювачі процесу ствердження епоксидних смол ангідридами, амінами та іншими "зшиваючими" отверджувачами. У такому випадку їх вводять у кількості 0,05-1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смоли.

Кислотні каталізатори отвердження

Показники властивостей кислотних каталізаторів отвердження епоксидних смол - комплексів трьохфтористого бромиду з аніліном [УП-605/1 (ТУ 15П-419-68)], з бензиламіном [УП-605/3 (ТУ 6-09-6099-69)], з п-толуїдином [УП-605/5 (ТУ 6-09-6100-69)], з моноетиламіном [УП-606 (ТУ 15П-389-67)] наведені в таблиці 1.7.

Основні каталізатори отвердження

У групу основних каталізаторів отвердження включені основи Менніха і їх солі - 2,4,6-трис(диметиламінометил)фенол [УП-606/2 (ТУ 6-09-6101-69)] і дослідні продукти - 2,4,6-трис(диметиламінометил)резорцин (УП-0628), а також солі 2,4,6-трис(диметиламінометил)фенолу (УП-0613)

Показники властивостей цих отверджувачів наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.7

Властивості кислотних каталізаторів отвердження

Показники	УП-605/1	УП-605/3	УП-605/5	УП-606
Зовнішній вигляд	Білий порошок	Білий порошок	Жовтуватий порошок	Жовтуватий порошок
Температура плавлення, °С	240	137-139	240	86-93
Вміст азоту, %	8,55±0,2	7,75±0,3	7,75±0,3	12,2±0,3
Питомий екзотермічний ефект, ккал/кг	1362	1362	1362	1390
Температура активації	32-35	100	63-66	138-142
Час желатинізації, год: при 25±2°С при 100±0,5°С	9,2 0,01	> 1 000 18,1	>24 0,05	> 1 000 >20
Термін зберігання, місяці	6	6	6	6
Руйнуюча напруга, кгс/см ² :				
при розтягуванні	678±48	608±43	661±51	680±36
при стисканні	1330±18	1050±28	1124±20	1184±22
при статичному згинанні	810±45	972±38	900±34	1025±44
Відносне видовження при розриві, %	1,8±0,4	2,0±0,3	2,0±0,3	1,4±0,6
Ударна в'язкість, кгс/см ²	18±3,8	21±6,8	20±4,1	16±6,9
Водопоглин., %	0,058	0,058	0,74	0,032

2. Матеріали та методи дослідження**2.1. Вибір розчинника для проведення процесу адсорбції. Визначення теплоти змочування поверхні адсорбенту розчинником.**

Адсорбція на межі тверде тіло - розчин ускладнюється наявністю третього компоненту - середовища (розчинника), молекули якого також можуть адсорбуватися на поверхні адсорбенту. Чим гірше адсорбується середовище, тим краще відбуватиметься адсорбція розчиненої речовини на поверхні твердого тіла. Критерієм придатності розчинника в якості середовища для адсорбції є теплота змочування цим розчинником адсорбенту.

Визначення теплоти змочування поверхні адсорбенту розчинником проводили в калориметрі з ізотермічною оболонкою, який складається із склянки, патрубку, термометра Бекмана та кришки. В склянку заливали 100 мл досліджуваного розчинника і залишали до встановлення теплової

рівноваги калориметричної системи на 2 год. Потім протягом 5 хв. з інтервалом в 1 хв. знімали покази термометра Бекмана. Після чого в систему через патрубок вводили адсорбент кількістю 0,7 г. Знімали покази термометра через 30 с. При введенні адсорбенту спостерігається різкий стрибок підвищення температури. Після закінчення реакції знімали температурний хід протягом 5 хв. з інтервалом в 1 хв. Інтегральна теплота змочування визначається за формулою:

$$Q = [(m_p + m)c + K_{тр}] \Delta t / m \quad (2.1)$$

де Q - інтегральна теплота змочування, кал/г;

m_p - наважка розчинника, г;

m - наважка адсорбенту, г;

$K_{тр}$ - стала приладу, кал/град;

Δt - стрибок температури, град (°С).

Внаслідок різниці температур між калориметром і оточуючим його середовищем, виділення тепла при терті мішалки відбувається або нагрівання, або охолодження калориметра. Все це викликає похибку вимірюваних змін ΔT . Щоб визначити істинне значення ΔT вводять (аналітично чи графічно) поправку на теплообмін. За другою методикою калориметричний дослід ділять на три періоди: попередній - не менше 5 хв.; головний період - увесь час протікання досліджуваного процесу; кінцевий - не менше 5 хв.

Відповідно дослід починають після того, як встановиться рівномірний хід температури. Закінчення попереднього (початок головного) періоду відмічають при проведенні дослідів. В цей момент проводять змішування досліджуваних речовин і починається різка зміна температури. Тривалість головного періоду визначають за графіком температура - час, приймаючи за кінець головного періоду ту точку, яка першою лягає на пряму, що проходить через всі точки кінцевого періоду. Екстраполюють прямі до середини діаграми. Час головного періоду ділять навпіл і із

одержаної точки проводять перпендикуляр до перетину з обома екстрапольними прямими. Відрізок перпендикуляру між цими прямими, виражений в градусах, дає шукане значення істинної зміни температури ΔT .

Сталу приладу $K_{пр}$ визначали наступним чином. В склянку заливали 100 мл дистилляту і залишали на 2 год. Потім вводили наважку калій хлориду (2г). Через 30 с записували покази термометра Бекмана в попередньому і кінцевому періодах і через 15 с в головному періоді.

$K_{пр}$ визначаємо із рівняння 2.2:

$$Q = [(I + g)c + K_{пр}] \Delta t \cdot M/m \quad (2.2)$$

де Q - молярна інтегральна теплота розчинення, кал/моль;

I - наважка розчинника, г;

g - наважка досліджуваної речовини, г;

c - теплоємність розчину, кал/г·град;

Δt - дійсне значення температури;

M - молекулярна маса.

Таблиця 1.8

Властивості основних каталізаторів ствердження

Показники	УП-606/2	УП-0613	УП-0627	УП-0628	УП-0632
Зовнішній вигляд	В'язка темна рідина	В'язка темна рідина	В'язка рідина	В'язка рідина	Тверда смолоподібна маса
Густина при 25 °С, г/см ³	1,15	1,20	1,15		
Температура плавлення, °С				40-45	62-65
Вміст азоту, %	15,4	4,07	13,0	12,3	5,5
Питомий екзотермічний ефект, ккал/кг	1324	1420	1360	1360	
Час желатинізації, хв.	380	>6000			
Термін зберігання каталізатора, місяці	6	6	6	6	6
Руйнуюча напруга, кгс/см ² : при розтягуванні при стисканні при статичному згині	620±52 1117±39 1220±46	640±35 1012±27 1074±72	1000±46	-	-
Відносне видовження при розриві, %	1,4±0,7	3,5±1,2			
Ударна в'язкість, кгс/см ²	15,0±4,2	14,0±6,1	-	-	-
Водопоглинання,	0,082	0,106	0,38	0,07	4

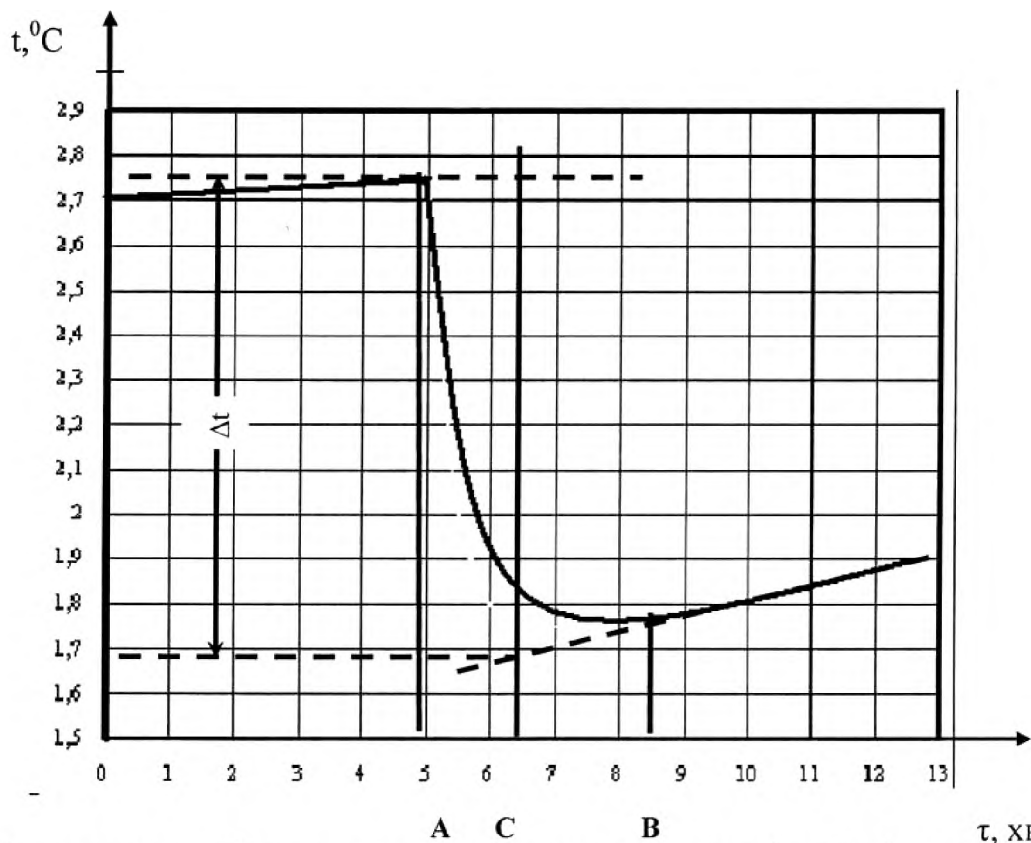


Рис. 2.1. Температурна залежність розчинення КСl: А - початок головного періоду; В - кінець головного періоду; С – половина головного періоду; t - значення температури.

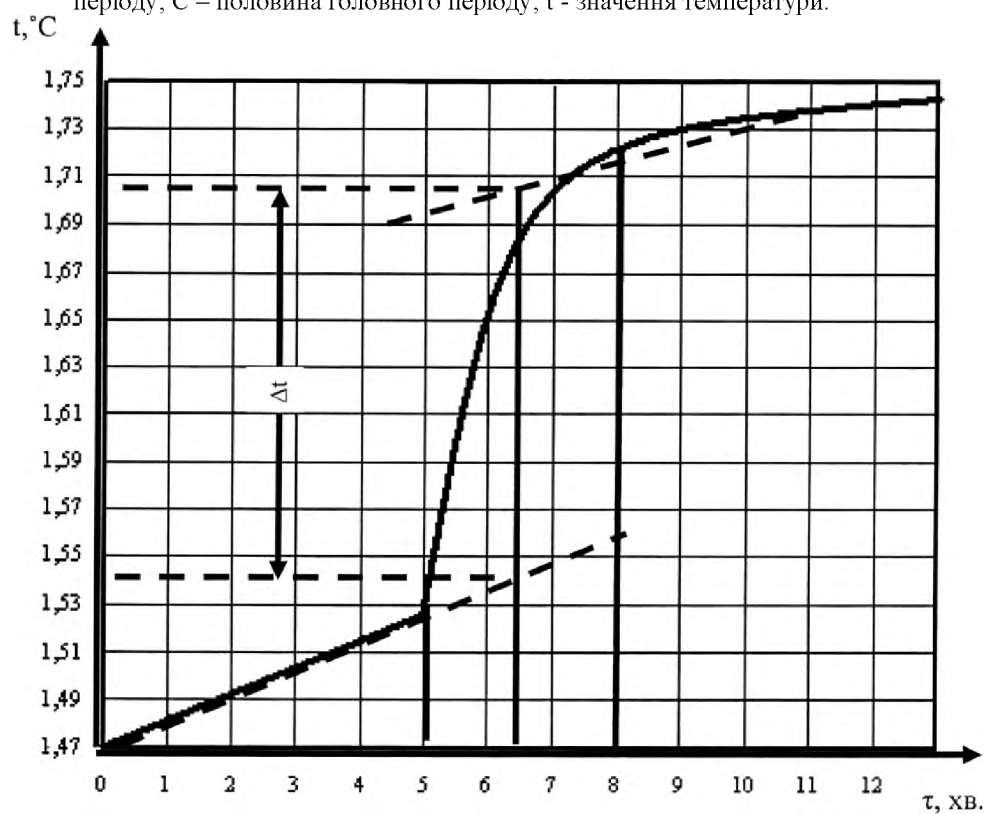


Рис. 2.2. Температурна залежність теплоти змочування системи бентоніт- толуол: А - початок головного періоду; В - кінець головного періоду; С - половина головного періоду; t - значення температури

2.2. Методика проведення процесу адсорбції

Наважку наповнювача кількістю 1 г вносили в скляну ампулу. В кожену ампулу заливали по 10 мл розчину досліджуваної речовини в бутиловому спирті з концентрацією 5г на 100 мл. Після чого ампули запаювали і поміщали в повітряний термостат. В термостаті був встановлений електродвигун РЦ-9, який обертав вістря зі швидкістю 54-60 об./хв. На крилах вістря спеціальними зажимами закріплювались ампули в горизонтальному положенні. Адсорбцію проводили при температурах ствердження компаунда, тобто при $T = +70^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ і $T = +25^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$. Адсорбент відділяли за допомогою центрифугування протягом 5 хв. ($n = 6000$ об./хв.). Концентрації досліджуваних речовин визначали по сухому залишку. Для контролю концентрацію ЕД-20 в розчинах визначали методом зворотного титрування епоксидних груп. Час контакту адсорбенту з розчином вибраний на основі кінетичних даних і складав 1 год.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Дослідження адсорбції епоксидного олігомеру ЕД-20 та інших компонентів

t, с	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
t, °C	2,504	2,510	2,514	2,520	2,525	2,528	2,532	2,538	2,540	2,544
τ , с	300	315	330	345	360	375	390	405	420	450
t, °C	2,550	2,350	2,150	1,980	1,815	1,725	1,607	1,580	1,590	1,620
τ , с	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750
t, °C	1,622	1,640	1,650	1,666	1,680	1,690	1,704	1,718	1,730	1,740

Визначення теплоти змочування системи

бентоніт-ксілол

Інтегральна теплота змочування визначається за формулою:

$$Q = [(m_p + m_a)c + K_{np}] \Delta t / m_a \quad (3.1)$$

1-ий дослід: $m_p = 86$ г;

$$\Delta t = 3,195 - 2,973 = 0,222 \text{ град}$$

$$\text{Знаходимо } Q = [(86 + 0,7) \cdot 0,397 + 7] \cdot 0,222 / 0,7 = 13,18 \text{ кал/г}$$

2-ий дослід: $m_p = 86$ г;

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град;}$$

$$c = 0,397 \text{ кал/г} \cdot \text{град.}$$

Для визначення Δt , за даними із табл.3.2 будуємо графік температурної залежності теплоти змочування системи бентоніт-ксілол.

компаунда на мінеральних наповнювачах: бентоніті, кварцовому піску і слоїді.

$$\Delta t = 2,560 - 1,560 = 1 \text{ град}$$

$$K_{np} = 3990 \cdot 2 / 1 \cdot 74,5 - (100 + 2) \cdot 0,98 = 7 \text{ кал/град.}$$

Одержані наступні результати по визначенню сталої приладу K_{np} за рівнянням 2.3.

$$1\text{-ий дослід: } Q_{КСІ} = 3990 \text{ кал/моль;}$$

$$I = 100 \text{ г; } g = 2 \text{ г;}$$

$$c_p = 0,98 \text{ кал/г} \cdot \text{град;}$$

$$M_{КСІ} = 74,5.$$

Значення Δt визначаємо із графіка на рис.2.1:

$$\Delta t = 2,75 - 1,75 = 1 \text{ град}$$

$$K_{np} = 3990 \cdot 2 / 1 \cdot 74,5 - (100 + 2) \cdot 0,98 = 7 \text{ кал/град}$$

$$2\text{-ий дослід: } Q_{КСІ} = 3990 \text{ кал/моль;}$$

$$I = 100 \text{ г; } g = 2 \text{ г; } c_p = 0,98 \text{ кал/г} \cdot \text{град;}$$

$$M_{КСІ} = 74,5.$$

Для визначення Δt за даними із табл.3.1 будували графік температурної залежності розчинення КСІ в дистилляті, схожий до того, що зображений на рисунку 2.1.

Таблиця 3.1

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град;}$$

$$c = 0,397 \text{ кал/г} \cdot \text{град.}$$

Δt визначаємо із графіка температурної залежності теплоти змочування системи бентоніт-ксілол. Приклад визначення ΔX за кривою температурної залежності теплоти змочування приведений на рис.2.2.

Таблиця 3.2

X, с	0	60	120	180	240	300	330	360	390	420
τ , °C	2,290	2,932	2,948	2,958	2,970	2,982	3,100	3,198	3,320	3,224
τ , с	480	540	600	660	720	—	—	—	—	—
t, °C	3,228	3,232	3,235	3,239	23,244	—	—	—	—	—

$$\Delta t = 3,220 - 2,995 = 0,225 \text{ град}$$

Знаходимо $Q = [(86 + 0,7) \cdot 0,397 + 7] \cdot 0,225 / 0,7 = 13,22 \text{ кал/г.}$

Теплота змочування системи бентоніт-ксілол становить $Q = 13,30 \text{ кал/г.}$

Визначення теплоти змочування системи бентоніт-толуол

1-ий дослід: $m_p = 86$ г;

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град;}$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град;}$$

$$c = 0,420 \text{ кал/г} \cdot \text{град.}$$

Δt знаходимо із графіка на рис.2.2.

$$\Delta t = 1,702 - 1,536 = 0,166 \text{ град}$$

$$Q'' = [(86,6 + 0,7) \cdot 0,420 + 7] \cdot 0,166 / 0,7 = 10,38 \text{ кал/г}$$

2-ий дослід: $m_p = 86 \text{ г}$;

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град};$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град};$$

$$c = 0,420 \text{ кал/г} \cdot \text{град}.$$

Δt знаходимо із графіка побудованого із даних табл.3.3.

$$\Delta t = 3,016 - 2,848 = 0,168 \text{ град}$$

$$Q'' = [(86,6 + 0,7) \cdot 0,420 + 7] \cdot 0,168 / 0,7 = 10,45 \text{ кал/г}$$

Теплота змочування системи бентоніт-толуол становить $Q = 10,41 \text{ кал/г}$.

Таблиця 3.3

$\tau, \text{с}$	0	60	120	180	240	300	330	360	390	420
$t, \text{°C}$	2,740	2,756	2,772	2,788	2,806	2,824	2,860	2,940	2,988	3,010
$\tau, \text{с}$	450	480	540	600	660	720	780	—	—	—
$t, \text{°C}$	3,024	3,030	3,042	3,050	3,060	3,070	3,084			

Визначення теплоти змочування системи бентоніт-перхлоретилен

1-ий дослід: $m_p = 161,9 \text{ г}$;

$$m_a = 0,7 \text{ г};$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град};$$

$$c = 0,211 \text{ кал/г} \cdot \text{град}.$$

$$\Delta t = 2,074 - 1,956 = 0,118 \text{ град}$$

$$Q'' = [(161,9 + 0,7) \cdot 0,211 + 7] \cdot 0,118 / 0,7 = 6,92 \text{ кал/г}$$

2-ий дослід: $m_p = 161,9 \text{ г}$;

$$m_a = 0,7 \text{ г};$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град};$$

$$c = 0,211 \text{ кал/г} \cdot \text{град}.$$

$$\Delta t = 2,954 - 2,833 = 0,121 \text{ град}$$

$$Q'' = [(161,9 + 0,7) \cdot 0,211 + 7] \cdot 0,121 / 0,7 = 7,10 \text{ кал/г}$$

Теплота змочування системи бентоніт-толуол становить $Q = 7,01 \text{ кал/г}$.

Таблиця 3.4

$\tau, \text{с}$	0	60	120	180	240	300	330	360	390	420
$t, \text{°C}$	2,790	2,798	2,806	2,812	2,818	2,824	2,850	2,890	2,940	2,952
$\tau, \text{с}$	450	480	540	600	660	720	780	—	—	—
$t, \text{°C}$	2,962	2,964	2,969	2,974	2,978	2,980	2,982	—	—	—

Визначення теплоти змочування системи бентоніт-бутиловий спирт

1-ий дослід: $m_p = 81 \text{ г}$;

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град};$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град};$$

$$c = 0,563 \text{ кал/г} \cdot \text{град}.$$

$$\Delta t = 3,192 - 3,106 = 0,086 \text{ град}$$

$$Q'' = [(81 + 0,7) \cdot 0,563 + 7] \cdot 0,086 / 0,7 = 6,48 \text{ кал/г}$$

2-ий дослід: $m_p = 81 \text{ г}$;

$$m_a = 0,7 \text{ кал/град};$$

$$K_{np} = 7 \text{ кал/град};$$

$$c = 0,563 \text{ кал/г} \cdot \text{град}.$$

Δt знаходимо із графіка побудованого із даних табл.3.5.

$$\Delta t = 4,084 - 4,000 = 0,084 \text{ град}$$

$$Q'' = [(81 + 0,7) \cdot 0,563 + 7] \cdot 0,084 / 0,7 = 6,38 \text{ кал/г}$$

Теплота змочування системи бентоніт-бутиловий спирт становить $Q = 6,43 \text{ кал/г}$.

Дані по визначенню теплоти змочування бентоніту різними органічними розчинниками зведені в табл.3.6.

Таблиця 3.5

$\tau, \text{с}$	0	60	120	180	240	300	330	360	390	420
$t, \text{°C}$	3,970	3,976	3,980	3,984	3,988	3,994	4,000	4,035	4,060	4,072
$\tau, \text{с}$	450	480	510	570	630	690	750	810	—	—
$t, \text{°C}$	4,084	4,090	4,092	4,097	4,100	4,104	4,108	4,112	—	—

Таблиця 3.6

Теплота змочування бентоніту органічними розчинниками

Розчинник	$C_6H_4(CH_3)_2$	$C_6H_5CH_3$	$CCl_2 = CCl_2$	C_4H_9OH
Теплота змочування, кал/г	13,20	10,41	7,01	6,43

Оскільки теплота змочування практично рівна інтегральній теплоті адсорбції, то на поверхні бентоніту із наведеного в табл.3.6 ряду розчинників

найменше буде адсорбуватися бутиловий спирт. Чим менша теплота, яка виділяється в процесі енергетичної взаємодії розчинника з адсорбентом,

тим гірше відбувається адсорбція і даний розчинник буде кращим середовищем для адсорбції. Тому в якості розчинника для вивчення адсорбції епоксидного олігомеру ЕД-20 та інших компонентів заливного компаунда на мінеральних наповнювачах нами був вибраний бутиловий спирт.

Бутиловий спирт практично не адсорбується на кварцовому піску і слюді, на що і вказують дані температурного ходу в табл.3.7. При введенні цих наповнювачів практично не відбувається різкої зміни температури.

Таблиця 3.7

τ , с	0	60	120	180	240	300	330	360	390	420
t , °С	2,780	2,786	2,792	2,799	2,805	2,810	2,812	2,818	2,824	2,828

При розрахунку величини адсорбованої речовини визначали:

C_0 - початкову концентрацію розчину, г/2 мл;

C_p - рівноважну концентрацію розчину, г/2 мл; •

$C_0 - C_p$ - різницю між початковою і рівноважною концентрацією розчинів;

a - кількість адсорбованої речовини, мг на 1 г адсорбенту;

C - початкова концентрація розчину, г/100 мл.

Залежність величини адсорбції складових компонентів компаунда на наповнювачах при 298 і 343 К приведена в табл.3.8.

Таблиця 3.8.

Залежність величини адсорбції компонентів епоксидного компаунда, мг/г

Температура адсорбції	Компоненти	Наповнювач		
		Бентоніт	Кварцовий пісок	Слюда
298 К	ЕД-20	33	15	15
	ПЕПА	25	15	0
	ЕБФ	10	0	0
	ТКФ	5	0	0
	ТНТ	0	0	0
343 К	ЕД-20	30	0	0
	ПЕПА	10	0	0
	ЕБФ	0	0	0
	ТКФ	0	0	0
	ТНМ	0	0	0

За адсорбційною активністю наповнювачі розташовуються в наступний ряд: бентоніт → кварцовий пісок → слюда. З підвищенням температури адсорбційна активність знижується як адсорбата, так і адсорбента.

3.2. Вивчення адсорбції компонентів компаунда із розчину в ксилолі на мінеральних наповнювачах

Досліджена адсорбція компонентів епоксидного компаунда: ЕД-20, ПЕПА, ТКФ, ТНМ, ЕТФ, ЕБФ, на поверхні наповнювачів: бентоніту, кварцового піску, слюди. В якості розчинника використаний ксилол.

Методика проведення адсорбції полягала в наступному. Наважку наповнювача кількістю 1 г вносили в скляну ампулу. Об'єм розчинника складав 10 мл. Ампулу запаювали. Процес адсорбції проводили у повітряному термостаті при 25 °С із повільним перемішуванням ампул. Зміну концентрації адсорбата визначали за допомогою інтерферометра ІТР-2. Час адсорбції вибрано на основі кінетичних кривих і складав 2 год.

Результати наведені в таблиці 3.9, де a - кількість адсорбованої речовини на наповнювачі, мг/г;

c - концентрація адсорбата, яка відповідає максимальній величині адсорбції, г/л.

Таблиця 3.9

Залежність величини адсорбції компонентів епоксидного компаунда із розчину в ксилолі

Температура адсорбції	Компоненти	Наповнювач					
		Бентоніт		Кварцовий пісок		Слюда	
		a_{max} , мг/г	при c г/л	a_{max} , мг/г	при c , г/л	a_{max} , мг/г	при c , г/л
298 К	ЕД-20	34	0,655	29	1,206	24	1,206
	ПЕПА	29	0,094	19	0,094	15	0,072
	ТКФ	22	0,686	6	0,514	0	0
	ЕТФ	12	0,502	5	0,706	0	0

ВИСНОВКИ

1. Здійснено комплексне вивчення властивостей епоксидних смол, проведений аналіз експериментальних даних адсорбції компонентів епоксидного компаунда на мінеральних наповнювачах: бентоніті, кварцовому піску і слюді.

2. Епоксидні смоли - широкий клас речовин з реакційноздатними епоксидними і гідроксильними групами. На основі епоксидних смол створено нові матеріали, які володіють покращеними властивостями, що стало причиною їх широкого застосування в промисловості.

3. Отверджені епоксидні смоли володіють хорошою стійкістю до дії лугів, окислювачів і більшості неорганічних кислот. Низькомолекулярні поліаміди володіють рядом переваг у порівнянні з іншими амінами: вони суміщаються з епоксидними смолами у широких межах, збільшуючи життєздатність композицій, нетоксичні, екзотермічний ефект при ствердженні ними невеликий. Крім того, при використанні отверджувачів цього виду можливе одержання зливок від твердих і жорстких до м'яких і гумоподібних без введення пластифікаторів при різних кількостях введенного стверджувача. Одержані зливки мають малий вміст домішок.

4. Розробка конструкційних матеріалів на основі нових типів армуючих наповнювачів при порівняно постійному наборі зв'язуючих є провідною тенденцією в області наповнених полімерів. Іншою, хоч і дещо менш вираженою тенденцією, є перехід до армуючих полімерних наповнювачів, особливо однієї хімічної структури. Відомо, що стан перехідного шару на поверхні наповнювачів, умови його формування, його структури відіграють визначальну роль у розвитку деформації всього тіла. Тому важливим було завдання вивчити адсорбцію компонентів епоксидного компаунда на поверхні наповнювачів: бентоніту, кварцового піску і слюди.

5. Адсорбція на межі тверде тіло - розчин ускладнюється наявністю третього компоненту - середовища (розчинника), молекули якого також можуть адсорбуватися на поверхні адсорбенту. Критерієм придатності розчинника в якості середовища для адсорбції є теплота змочування цим розчинником адсорбенту. Результати по визначенню теплоти змочування поверхні адсорбенту розчинниками, зокрема ксилолом, толуолом, перхлоретиленом, бутанолом, показали, що на поверхні бентоніту менш за все адсорбується бутиловий спирт, оскільки чим менша теплота, що виділяється під час процесу енергетичної взаємодії розчинника з адсорбентом, тим гірше йде адсорбція і даний розчинник буде кращим середовищем для адсорбції. Тому в якості розчинника для вивчення процесу адсорбції епоксидного олігомеру та інших компонентів заливного компаунда на мінеральних наповнювачах було вибрано бутиловий спирт. Бутиловий спирт практично не адсорбується на кварцовому піску і слюді. При введенні цих наповнювачів практично не відбувається різкої зміни температури.

6. Адсорбцію компонентів компаунда на наповнювачах проводили при температурах ствердження компаунда, тобто при 298 і 343 К.

7. Результати експерименту показали, що за адсорбційною активністю наповнювачі розміщуються в ряд: бентоніт → кварцовий пісок → слюда. Компоненти епоксидного компаунда розміщуються в ряд: епоксидна смола → отверджувач (поліетиленполіамін) → епоксидований бензилфенол (активний пластифікатор) → трикрезилфосфат (неактивний пластифікатор з об'ємними молекулами) → толілнафтилметан (неактивний пластифікатор з плоскими молекулами). З підвищенням температури адсорбційна активність знижується як адсорбата, так і адсорбента.

Використані літературні джерела інформації

1. А.М. Павкин. Химия и технология полимеров. - М.: Химия, 1959. - №2. - с.33.
2. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. - М.: Высшая школа, 1973. - 124 с.
3. Бажант В., Хваловски В., Ратоуски И. Силиконы. - М.: Госхимиздат, 1960. - 711 с.
4. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. - М.: Химия, 1975. - 512 с.
5. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость./ Пер. с англ. - 2-е изд. - М.: Мир, 1984. - 306 с.
6. Гугов И.И., Шуалов А.Ю.// Высокомолекулярное соединения. Краткое сообщение. - 1990. - Т. 32, №7. - с. 527-529.
7. Darby J.R., Sears J.L. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. - N. V., v.10. 1969.-403 p.
8. Энциклопедия полимеров в 3-х т./ Под. ред. В.А. Кабанова, М.С. Акутина, Н.Ф. Бакеева и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1977. - с. 992.
9. Кускін А.М., Лебедев С.В., Несторов А.Є., Мужев В.В.// Полімерні композиційні матеріали. - 2003. - Т. 26, №2. - С. 54-56.
10. Липатов Ю.С., А.Е. Несторов, Т.М. Грищенко и др. Физикохимия наполненных полимеров. - К.: Наукова думка, 1971. - 536 с.
11. Ли Х., Невил К. Справочное руководство по эпоксидным смолам./ Пер. с англ./ Под. ред. Н.В. Александрова. - М.: Энергия, 1973. - с. 416.
12. Межиковский С.М. Полимер-олигомерные композиты. - М.: Знание, 1989. -с. 32.
13. Мищенко К.П., Равдель А.А. Практические работы по физической химии. - Л.: Химия, 1967. - 342 с.
14. Пакен А.М. Эпоксидные соединения и эпоксидные смолы./Пер. с нем. - Л.: Химия, 1962. - с. 5.
15. Справочник по пластическим массам. В 2-х т./Под. ред. В.М. Катаева, В.А. Попова, Б.Н. Сажина. - Т. 2. - М.: Химия, 1975. - с. 199.
16. Сіренко Г., Мандзюк І., Шрам Т. Розробка методу дослідження деформаційних властивостей епоксидних смол і компаундів на їх основі // Вісник Прикарп. ун-ту ім. В. Стефаника, 2002. - с. 115-133.
17. Сіренко Г.О., Солтис Л.М., Мартинюк М.І. Технологія отримання та властивості мастильних присадок на основі мідного комплексу аддукту моногліциділових етерів та поліамінів // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т. 13, № 4. – С. 1064-1070.
18. Сіренко Г.О., Мартинюк М.І., Солтис Л.М., Мандзюк І.А. Вплив пластифікаторів на напружений стан епоксидних композитів // Фізика і хімія твердого тіла. – 2016. – Т. 17, № 3. – С. 440-449.
19. Сіренко Г.О., Мартинюк М.І., Солтис Л.М., Мандзюк І.А. Порівняльний аналіз визначення напруженого стану епоксидних компаундів гідростатичною усадкою та тензометричною деформацією // Фізика і хімія твердого тіла. – 2016. – Т.17. – №4. – С.625-629.
20. Sirenko H.O., Soltys L.M., Sulyma I.V., Martynyuk M.I. Methods of Thermochemical and Mechanical Activation of Fillers of Polymer Composite Materials // Physics and Chemistry of Solidstate. – 2017. – Vol.18. - №2. P.249-251.
21. H.O. Sirenko, M.I. Martynyuk, V.P. Svidersky, I.V. Sulym, R.V. Ilnitsky, N.V. Shmaltser M.I. Kretoy, A.M. Zavoyko, O.V. Kuzyshyn. Problem of Selection and Properties of Lubricants for Ethelene HighPressure Compressors. 5. Compatibility of Oils with Polyethylene // Physics and Chemistry of Solidstate. – 2017. – Vol. 18, № 4. P.460-466.
22. H.O. Sirenko , M.I. Martynyuk , V.P. Svidersky . Problem of Selection of Lubricants for ethelene High-Pressure Compressors. 1. Statement of a question of Selection of Lubricants for ethelene High-Pressure Compressors.Physics and Chemistry of Solidstate. – 2018. – Vol. 18, № 3.
23. H.O. Sirenko, M.I. Martynyuk, V.P.Svidersky, N.V. Shmaltser, O.V. Kuzyshyn .Problem of Selection of Lubricants for ethelene High-Pressure Compressors. 2.Characteristic of object of investigation. 2018. – Vol. 19, № 4. P.345-351.
24. Мартинюк М.І., Сіренко Г.О., Бойко Л.Я. Епоксидні смоли і композиційні матеріали на їх основі (огляд) // Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2014. – Вип. XVIII. – С. 115 – 132.
25. Сіренко Г.О., Мартинюк М.І., Мандзюк І.А. Метод та методологія дослідження деформаційних та пружних властивостей епоксидних композитів під час твердіння та термоударів // Вісник Прикарп. нац. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2016. – Вип. XX. – С. 97-112.
26. H.O. Sirenko, M.I. Martynyuk, V.P.Svidersky, N.V. Shmaltser, M.I.Kretoy, A.M.Zavoyko, O.V. Kuzyshyn. Problem of Selection of Lubricants for ethelene High-Pressure Compressors. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2017. – Вип. XXI. – С. 4 – 43.
27. H.O. Sirenko, M.I. Martynyuk, V.I. Kyrychenko, N.V. Shmaltser, V.M. Kyrychenko, O.V. Kuzyshyn, L.Ya. Midak. Wear Ability of Metal Surfaces in Lubrication with Polycomponent Compositions based on Chemical-Modification Rare-Oil. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2018. – Вип. XXII. – С. 4 – 19.

28. Г.О. Сіренко, В.П. Свідерський, М.Б. Складанюк, М.І. Мартинюк, І.В.Говдяк. Застосування дисперсійної аналізи у дослідженні тертя та зношування метало-полімерних пар. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2018. – Вип. XXII. – С. 44 – 62.
29. Г.О. Сіренко, М.Б. Складанюк, М.І. Мартинюк. Статистичні методи в хемії та хемічній технології: 2.Кореляційна аналіза. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2018. – Вип. XXII. – С. 63 – 90.
30. Г.О. Сіренко, М.Б. Складанюк, І.В. Говдяк, М.І. Мартинюк. Статистичні методи в хемії та хемічній технології: 1. Дисперсійна аналіза (теорія). Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2018. – Вип. XXII. – С. 91 – 107.
31. Г.О. Сіренко, М.Б. Складанюк, М.І. Мартинюк, О.В. Кузишкін, Н.В. Ковалишин, І.В. Говдяк. Теоретичні основи цукрового діабету. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2019. – Вип. XXIII. – С. 4 – 70.
32. Г.О. Сіренко, М.Ф. Семенюк, Л.М. Солтис, М.Б. Складанюк, Мартинюк М.І. Математичний опис нано- та мікрошореткових поверхонь тертя та зношування твердих тіл. Вісник Прикарп. ун-ту ім. В.Стефаника. Сер. Хімія. – 2019. – Вип. XXIII. – С. 71 – 121.
33. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведение исследований в легкой и текстильной промышленности. – Москва: Легкая индустрия, 1974. – 264 с.
34. Кобельчук Ю.М. Исследование в области синтеза и применения новых активных разбавителей эпоксидных смол/Автореф. Канд. Дис. – Днепропетровск.- ДХТИ, 1974.
35. Тиниус К., Пластификаторы. /Пер. с нем. Г.В. Ткаченко, Э.М.Левинной. Под ред. Е.Б.Тростянской. – Москва: Химия, 1964. – 916 с.
36. Мандзюк І.А. Исследование условий возникновения внутренних напряжений в многокомпонентных эпоксидных системах с целью создания новых эпоксикомпозитов/Дис, к.т.н. за спец.02.00.06 – химия высокомолекулярных соединений/Днепропет. химико-технол. ин-т, 1981, 130 с.
37. Мандзюк І.А., Нестер В.Р., Кравченко В.П. Новая методика тензометрического измерения деформаций эпоксидных компаундов // Применение синтетических материалов. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1975. –42 с.

Автори:

Сіренко Г.О. – заслужений діяч науки і техніки України, академік АТНУ, професор, доктор технічних наук, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії;

Мартинюк М.І. – магістр, аспірант хімії.

Петраш Т.А. – магістр

Мандзюк І.А. – професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри хімічної технології фізичної хімії