

УДК667.64:678.026

АВТОМАТИЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ З НАНОНАПОВНЮВАЧЕМ

О. Сапронов

Аспірант,
Херсонська державна
морська академія,
м. Херсон

Розроблено алгоритм процесу ультразвукової обробки епоксидних композицій з нанодисперсним наповнювачем. Встановлено оптимальні температурно-часові режими обробки композиції ультразвуком, які забезпечують отримання матеріалу з поліпшеними фізико-механічними властивостями. Розроблено технологію і температурно-часові режими формування нанокомпозитів, яка включає етапи приготування компонентів, автоматизацію контролю та регулювання параметрів ультразвукової обробки композицій, а також їх остаточного формування при попередньо встановлених режимах термічного зшивання.

епоксидний композит, матриця, нанодисперсний наповнювач, технологія формування

Вступ. Область застосування композитних матеріалів (КМ) на полімерній основі постійно та стрімко розширюється. Поступове витіснення полімерними композиціями класичних конструкційних матеріалів (деревини, сталей, сплавів металів, кераміки) зумовлене поєднанням у них цілого ряду практичних важливих якостей. По-перше, це високі показники деформаційних і міцнісних характеристик. По-друге, хімічна стійкість та корозійна тривкість, а також широкий спектр електрофізичних і теплових властивостей полімерних композитів. По-третє, їх висока економічна ефективність як матеріалів, виготовлених з дешевих видів сировини, і, що особливо важливо, – висока технологічність. При сукупності усіх цих показників КМ на полімерній основі успішно конкурують з класичними конструкційними матеріалами [1].

На сьогоднішній день актуальним завданням в індустрії полімерних матеріалів є пошук нових та вдосконалених шляхів виробництва, які б дозволили зменшити

витрати капітальних вкладів та отримати кінцеві продукти з поліпшеними фізико-механічними властивостями та підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Одним з альтернативних шляхів вирішення цього завдання є модифікування енергетичними полями епоксидних композиційних матеріалів та введення різних за молекулярною структурою нанодисперсних наповнювачів. Проте одна із проблем застосування нанодисперсних наповнювачів – це нерівномірне розподілення часток у об'ємі композиції і технологія введення їх у епоксидний зв'язувач.

Слід зазначити, що при розробленні покриттів на основі епоксидної діанової смоли ЕД-20 важливим чинником на початковому етапі формування КМ є: технологія формування, оптимізація інгредієнтів та впливу ультразвукової обробки (УЗО), а також дослідження механізму перебігу фізико-хімічних процесів зшивання при введенні нанодисперсних наповнювачів різної молекулярної

структури у епоксидний зв'язувач. Відомо [2], що одним з важливих напрямків поліпшення міжфазової взаємодії при структуроутворенні КМ і, як наслідок, підвищення їх фізико-механічних та експлуатаційних характеристик є попередня обробка інгредієнтів композитів зовнішніми енергетичними полями. У цьому плані перспективним є використання УЗО епоксидних композицій до введення твердника, що забезпечує активацію процесів структуроутворення [3,4].

Проте у праці [5] експериментально була встановлена інша технологія введення нанодисперсних наповнювачів у композицію, що забезпечує рівномірне розподілення часток у об'ємі. Якщо розглядати епоксидну композицію «епоксидний олігомер ЕД-20 + затверджувач ПЕПА» з точки зору реологічних властивостей, можна стверджувати, що твердник характеризується найменшою в'язкістю. Отже, внесення наночасток в твердник (а не в смола або композицію) з наступною УЗО є найбільш вигідним для досягнення достатнього змочування субстрату і рівномірного розподілу часток у об'ємі.

При цьому нами було розроблено дещо іншу технологію введення нанодисперсного наповнювача, що охоплює різні етапи формування КМ, автоматизацію ультразвукової установки і оптимізацію режимів УЗО, яку описано нижче у роботі.

Виходячи з цього, цікавим з наукової і практичної точки зору, було проведення досліджень, пов'язаних з введенням наночасток і оптимізацією параметрів та режимів УЗО нанонаповнених епоксикомпозитів.

Мета статті – автоматизувати існуючий диспергатор УЗДН-А1200Т, розробити алгоритм оптимізації параметрів роботи установки і режимів УЗО композицій та встановити закономірності поліпшення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитних матеріалів, модифікованих нанодисперсним наповнювачем.

Матеріали та методика дослідження. Виходячи з наведеного вище, як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діано-вий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується цілим комплексом властивостей, а саме: високою міцністю адгезійних з'єднань до металевої основи, можливістю затвердження при низьких температурах, малою усадкою, відсутністю виділення летючих речовин при формуванні у виробі, технологічністю при нанесенні на деталі зі складним профілем поверхні. Відомо [2], що молекули епоксидних олігомерів містять гліцидилові та епоксидні групи, які здатні, взаємодіючи з твердником, формувати зшиту структуру у матеріалі у вигляді сітки.

В якості наповнювача було використано нанодисперсні частки СК (спечений композит), до складу якого входять олігоелементи (мінерали, солі, метали). До олігоелементів відносяться: бікарбонати, залізо, цинк, магній, натрій, марганець. Нанодисперсний наповнювач спеченого композиту (ННСК) вводили у зв'язувач при вмісті 0,05 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20 (тут і далі за текстом мас.ч. наводяться на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20).

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-

78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо, що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$. Різні стадії зшивання моделювали і досліджували при введенні твердника у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту 10 мас.ч. з метою визначення оптимального для відповідних характеристик співвідношення компонентів у системі «зв'язувач – нанонаповнювач».

Результатами попередніх досліджень встановлено, що в'язкість середовища, в яке вводяться наночастки, має велике значення. Нами було доведено, що доцільно вводити частки в менш в'язке середовище із застосуванням УЗО. У такому середовищі процес диспергування за допомогою УЗО забезпечує як кавітаційні процеси, так і рівномірний розподіл часток у композиції, зумовить поліпшення властивостей матеріалів.

В якості диспергування використовувався метод, заснований на застосуванні ультразвукових коливань. Ультразвукове диспергування композицій відбувається під дією мікроударних хвиль, що зумовлюють виникнення кавітації, яка, у свою чергу, забезпечує максимальний енергетичний вплив як на епоксидний олігомер, так і на епоксидну композицію. Вплив ультразвукової кавітації приводить до активації епоксидних макромолекул, додаткового зниження в'язкості системи, а також до зростання температури полімерного зв'язувача. При цьому відбувається рівномірний розподіл нанонаповнювача у об'ємі зв'язувача (за рахунок диспергування), а також утворення вільних радикалів (за рахунок кавітаційних процесів). Ймовірна причина поліпшення властивостей КМ полягає в утворенні активних радикалів у епоксидному зв'язувачі за рахунок впливу високочастотних імпульсів і поліпшенні сегментальної рухливості безпосередньо макромолекул. Це, у свою чергу, забезпечить кращу взаємодію активних радикалів з частками наповнювача, що поліпшить адгезійні і когезійні властивості КМ.

Визначення оптимальних параметрів і режимів попередньої УЗО композицій (до введення твердника) з нанодисперсним наповнювачем проводили експериментально, а саме дослідженням фізико-механічних властивостей КМ.

Адгезійну міцність КМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження («метод грибків») при рівномірному відриві пари склеєних зразків. Дослідження проводили згідно з ГОСТ 14760-69, вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталених зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталених зразків становив при відриві $d = 25$ мм.

Залишкові напруження у КМ визначали консольним методом [6]. Покриття товщиною $d = 0,3 \dots 0,5$ мм формували на сталій основі. Параметри основи: загальна довжина $l = 100$ мм; робоча довжина $l_0 = 80$ мм; товщина $d = 0,2$ мм.

У процесі зшивання на межі поділу фаз «захисне покриття – металева основа» утворюються фізичні і хімічні зв'язки, що зумовлює виникнення залишкових напружень розтягу та відхилення консолі (у вигляді основи з покриттям), абсолютне значення якого (H) визначали

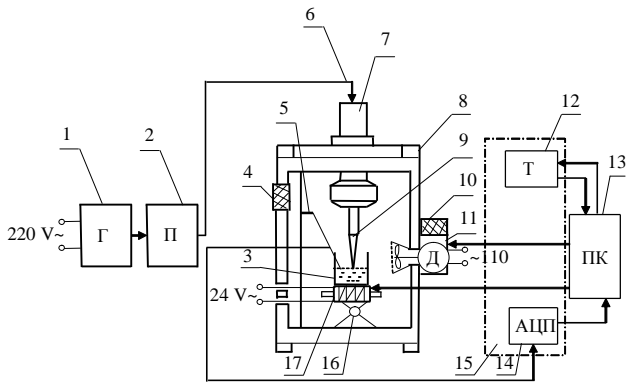


Рис. 1. Схема ультразвукового автоматизованого диспергатора УЗДН-А1200Т: 1 - генератор; 2 - підсилювач; 3 - емкість з композицією; 4, 10 - фільтруючі елементи; 5 - термодатчик; 6 - кабель живлення випромінювача (перетворювача); 7 - випромінювач (перетворювач); 8 - шумоізолюючий кожух; 9 - наконечник випромінювача (диспергатор); 11 - охолоджувач; 12 - таймер; 13 - персональний комп'ютер (ПК); 14 - аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 15 - плата «вводу-виводу» дискретних сигналів з гальванічною розв'язкою; 16 - підійомний стіл; 17 - підігрівач.

у кінці дослідження (після полімеризації матеріалу протягом часу $\tau=72$ год).

Результати досліджень та їх обговорення. Композицію з нанонаповнювачем обробляли автоматизованим ультразвуковим диспергатором УЗДН-А1200Т (рис. 1). Діапазон робочої частоти $\nu=20 - 25$ кГц, потужність ультразвуку $N=400-1200$ Вт. Амплітуда коливань диспергатора становить $A=10-20$ мкм, а його діаметр $d=20$ мм.

Основними частинами диспергатора є: ультразвуковий генератор 1 з підсилювачем 2 і перетворювач 7. Перетворювач перетворює високочастотні поздовжні і поперечні електричні коливання (за умови резонансу, який спостерігали при частоті $\nu=20 - 25$ кГц) в механічну енергію поздовжньої вібрації. Це, у свою чергу, забезпечує кавітаційні ефекти в композиції. Водночас важливими компонентами установки для регулювання і встановлення оптимального діапазону температури в композиції є підігрівач 17 і охолоджувач 11. Підігрівач складається з кварцової трубки на яку із кроком $d=0,5$ мм намотаний ніхромовий нагрівач з діаметром $d=0,8$ мм, поверх якого нанесене покриття зі скляної тканини для захисту від окиснення нагрівача. Для стабілізації теплового балансу нагрівача застосовується регульоване джерело змінного струму напругою $U=24$ В.

З метою компенсації магнітної складової, яка негативно впливає на роботу нагрівача, обмотки нагрівального елемента розташовано в протилежні сторони, тобто перехресно накладаються одна на одну. Це забезпечує компенсацію електромагнітної складової зовнішнього енергетичного поля.

Функцію охолоджувача виконує вентилятор, поміщений у дифузор, який спрямовує потік повітря на емкість із композицією. Приводом вентилятора є асинхронний двигун змінного струму, який живиться від частотного перетворювача. Останній дозволяє, змінюючи частоту струму, регулювати частоту обертання валу від 120 до

6000 об/хв. Так регулювали швидкість охолодження композиції.

Фільтри 4, 10 призначені для запобігання потрапляння домішок в композицію із навколишнього середовища під час УЗО. Наконечник 9 виготовлений з нікелевого сплаву і призначений для передачі поздовжніх коливань диспергатора безпосередньо у композицію.

Для контролю температури композиції під час УЗО застосовується платино-іридієва термопара 5. Підійомний стіл 16 слугує для контролю занурення наконечника випромінювача в композицію на задану глибину (10 - 15 мм).

Для регулювання температури у вибраних діапазонах термодатчик 5 з'єднаний з платою «вводу-виводу» дискретних сигналів з гальванічною розв'язкою 15, яку через аналогово-цифровий перетворювач 14 з'єднано з персональним комп'ютером 13. Персональний комп'ютер з'єднано з підігрівачем 16 і охолоджувачем 11. Це забезпечує можливість автоматизованого керування температурними характеристиками композиції під час УЗО. Водночас зазначимо, що для реалізації алгоритму у ПК міститься розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє регулювати як температуру, так і тривалість проведення кавітаційних процесів у композиції. Останній фактор (тривалість загального часу обробки та незалежно імпульсів) контролюють таймером 12, який розміщено на платі «вводу-виводу» дискретних сигналів з гальванічною розв'язкою 15.

Попередньо експериментальними дослідженнями було встановлено, що кавітаційні процеси в епоксидному олігомері ЕД-20 повною мірою відбуваються при температурі $(T = 353 - 358) \pm 2$ К. Зважаючи на це, епоксидний олігомер перед УЗО підігрівали до даної температури, упродовж часу $\tau = 20 \pm 5$ хв. Надалі вводили частки ННСК і проводили гідродинамічне суміщення компонентів, при цьому температура композиції зменшується до $T=348 \pm 2$ К. Водночас при УЗО температура композиції зростає до $T=368 \pm 2$ К, внаслідок чого відбувається аварійне відключення установки. Даний фактор зумовлений тим, що існує ймовірність перегрівання обмоток випромінювача, а це призводить до виходу з ладу установки в цілому.

Виходячи з цього, нами було розроблено алгоритм УЗО композиції з нанонаповнювачем (рис. 2), який дозволяє врахувати комплекс перерахованих вище факторів і запропонувати механізм оптимального регулювання температурно-часових параметрів ультразвукової обробки для отримання КМ з максимальними показниками фізико-механічних характеристик. Режимми, які контролюють є: T – оптимальна температура УЗО композиції ($T = T_1, \dots, T_2$); T_1 – мінімальна температура УЗО композиції ($T_1 = 353$ К); T_2 – максимальна температура УЗО композиції ($T_2 = 368$ К).

Слід зазначити, що окрім зазначених вище робочих температур важливим фактором при роботі установки, який необхідно контролювати, є час оброблення композиції. При цьому він включає: τ_z – загальний час УЗО ($\tau_z = \sum \tau_i + \sum \tau_n$); τ_i – тривалість УЗО імпульсу (0...99 с); τ_n – час перерви між імпульсами (0...99 с).

Зазначимо, що виходячи з характеристик установки (враховували потужність випромінювача і матеріал

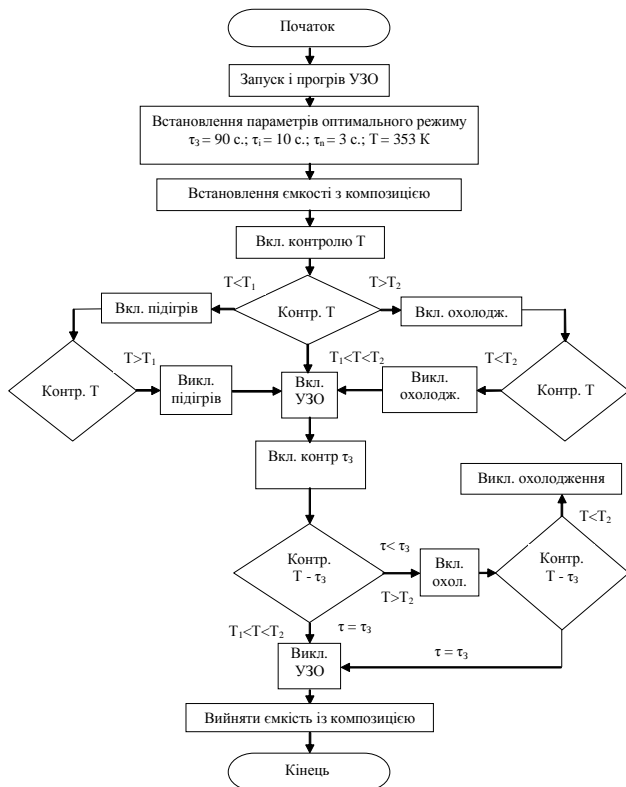


Рис. 2. Блок-схема алгоритму УЗО композиції з нанонаповнювачем

наконечника), попередніх апріорних експериментальних досліджень, а також літературних даних [2], прийняли, що $\tau_n = \text{const} = 3$ с. Тривалість УЗО імпульсу і загального часу обробки змінювали у зазначених вище межах. Дані параметри УЗО оптимізували за показниками фізико-механічних характеристик КМ (результати цих досліджень наведено нижче у роботі).

Алгоритм працює так. Вмикають ультразвуковий диспергатор УЗДН-А1200Т і прогривають генератор упродовж часу $\tau = 10 \pm 5$ хв. Після прогрівання задають параметри УЗО композиції ($\tau_3, \tau_n, \tau_p, T$), після чого поміщають ємкість з композицією на підйомний стіл. Далі занурюють диспергатор (наконечник випромінювача) на глибину 10...15 мм. Виходячи з того, що композиція попередньо прогріта і встановлена оптимальна температура УЗО – включається контроль температури. Якщо температура знаходиться в межах $T_1 < T < T_2$, тобто у оптимальному діапазоні, при якому відбуваються кавітаційні процеси і водночас змочування наповнювача та його рівномірний розподіл у композиції, - проводять УЗО і водночас контролюють загальний час обробки τ_3 . Під час УЗО, як було зазначено вище, відбувається додаткове підігрівання композиції. Враховуючи цей фактор під час УЗО контролюється два основних параметри: T і τ_3 . Якщо при цьому температура не досягає межі T_2 , тобто виконується умова $T_1 < T < T_2$ і $\tau = \tau_3$ – відбувається виключення УЗО, виймають оброблену композицію – кінець процесу УЗО. Якщо температура досягає межі T_2 і виконується вимога $\tau < \tau_3, T > T_2$ – вмикається охолоджувач і водночас контролюються

параметри: $T - \tau_3$. При виконанні умови $T < T_2$ і $\tau = \tau_3$ – відбувається виключення УЗО, виймання обробленої композиції – кінець процесу УЗО.

Особливу увагу приділяють процесам підігрівання і охолодження композиції під час УЗО композиції у автоматизованій установці.

Підігрівання. За умови, коли під час гідродинамічного суміщення компонентів після введення у епоксидний олігомер наповнювача, температура композиції зменшується за критичну межу (тобто, виконується умова $T < T_1$), автоматично вмикається підігрівач і при досягненні необхідної температури T_1 вмикається УЗО з одночасним вимкненням підігрівача. Наступним кроком є включення контролю часу УЗО (вкл. контр. τ_3) і контролю оптимальної температури. Якщо при цьому температура не досягає T_2 , тобто виконується умова $T_1 < T < T_2$ і $\tau = \tau_3$ – відбувається виключення УЗО, виймання обробленої композиції – кінець процесу УЗО. Якщо температура композиції досягає межі T_2 (тобто, виконується вимога $\tau < \tau_3, T > T_2$) – включається охолоджувач і одночасно контролюються параметри $T - \tau_3$. При виконанні умови $T < T_2$ і $\tau = \tau_3$ автоматично вмикається УЗО, виймають оброблену композицію – кінець процесу УЗО.

Охолодження. За умови, коли після гідродинамічного суміщення компонентів температура композиції є високою (тобто, виконується умова $T > T_2$) – автоматично вмикається охолоджувач і одночасно контролюється температура композиції. При виконанні умови $T < T_2$ відбувається відключення охолоджувача, після чого вмикається УЗО. Наступним кроком є контроль часу УЗО (вкл. контр. τ_3) і оптимальної температури. Якщо при цьому температура не досягає значення T_2 , тобто виконується умова $T_1 < T < T_2$ і $\tau = \tau_3$ – відбувається вимкнення УЗО, виймають оброблену композицію – кінець УЗО. Якщо температура композиції досягає значення T_2 і виконується умова $\tau < \tau_3, T > T_2$ – включається охолоджувач, контролюються параметри: $T - \tau_3$, а при виконанні умови $T < T_2$ та $\tau = \tau_3$ – відбувається вимкнення УЗО, виймають оброблену композицію – кінець процесу УЗО.

Як було зазначено вище, оптимізацію температурно-часових режимів УЗО композиції проводили за результатами аналізу досліджень фізико-механічних властивостей (адгезійна міцність і залишкові напруження) КМ. Дослідження проводили у два етапи: оптимізували загальний час обробки (τ_3) і тривалість ультразвукового імпульсу (τ_i).

Етап 1. Дослідження впливу загального часу УЗО композиції. Випробування проводили у діапазоні загального часу обробки $\tau_3 = 0,5 - 3,0$ хв. (рис. 3).

Доведено, що час УЗО суттєво впливає на механізм перебігу фізико-хімічних процесів зшивання КМ при введенні нанодисперсного наповнювача в епоксидний зв'язувач, а, отже, і на властивості композитів в цілому (рис. 3). Встановлено, що адгезійна міцність вихідної (необробленої ультразвуком) епоксидної матриці становить $\sigma_a = 18,5$ МПа, а залишкові напруження – $\sigma_3 = 2,3$ МПа. Після УЗО адгезійна міцність матриці зростає до $\sigma_a = 24,8$ МПа, а залишкові напруження зменшуються до $\sigma_3 = 1,4$ МПа відповідно. Зазначимо, що УЗО епоксидного зв'язувача проводили до введення

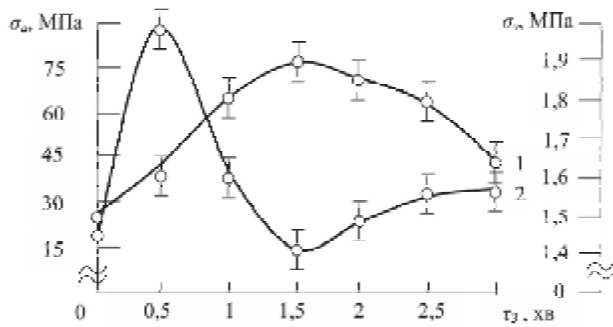


Рис. 3. Залежність адгезійної міцності при відриві (σ_a) і залишкових напружень (σ_s) від загального часу (τ_z) УЗО композиції: 1 - адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 - залишкові напруження (σ_s)

твердника упродовж часу $\tau_z = 1,5 \pm 0,1$ хв. Отже, можна констатувати, що УЗО безпосередньо зв'язувача приводить до покращення фізико-механічних властивостей матриці. Це зумовлено, як було показано вище, наступними чинниками. Під час УЗО у зв'язувачі відбуваються кавітаційні процеси, що забезпечує активацію макромолекул епоксидного олігомера і утворення вільних радикалів. Останні, порівняно з вихідними макромолекулами є мобільнішими до взаємодії при зшиванні, що, у свою чергу, забезпечує підвищення гель-фракції матриці, а, відповідно, і поліпшення її когезійної міцності [2].

Експериментально встановлено, що при подальшому введенні у зв'язувач часток наповнювача ННСК за вибраного вмісту ($q = 0,05$ мас.ч.) важливе значення має загальний час УЗО композиції (рис. 3). Максимальне збільшення адгезійної міцності з $\sigma_a = 24,8$ МПа до $\sigma_a = 76,6$ МПа спостерігали після обробки ультразвуком композиції упродовж загального часу $\tau_z = 1,5$ хв. Надалі збільшення часу обробки до $\tau_z = 3,0$ хв. призводить до зменшення показників адгезійної міцності КМ до $\sigma_a = 41,1$ МПа. Водночас встановлено, що при збільшенні часу обробки залишкові напруження спочатку зростають (при $\tau_z = 0,5$ хв. вони становлять $\sigma_s = 2,0$ МПа), а потім зменшуються і за тривалості обробки $\tau_z = 1,0 \dots 3,0$ хв. вони становлять $\sigma_s = 1,5 \dots 1,6$ МПа (рис. 3). У першу чергу це зумовлено активацією макромолекул зв'язувача внаслідок перебігу кавітаційних процесів у олігомері, а також кращим змочуванням наповнювача і рівномірним його розподілом у композиції. Додатково нами було з'ясовано, що після УЗО композиція зберігає седиментаційну стійкість. Дані фактори забезпечують не лише поліпшення адгезійних властивостей, але й водночас суттєве зниження залишкових напружень у КМ. На основі наведених результатів досліджень на першому етапі визначено оптимальний загальний час УЗО композиції, який становить $\tau_z = 1,5 \pm 0,1$ хв. На наступному етапі ставили завдання оптимізувати тривалість імпульсу (τ_i) УЗО композиції.

Етап 2. Дослідження впливу тривалості імпульсу УЗО композиції. Випробування проводили у діапазоні тривалості імпульсу обробки $\tau_i = 3 - 90$ с. (рис. 4). Експериментально встановлено, що важливе значення також має тривалість імпульсу (τ_i) УЗО композиції (рис. 4). Максимальне збільшення адгезійної міцності з $\sigma_a = 24,8$ МПа до

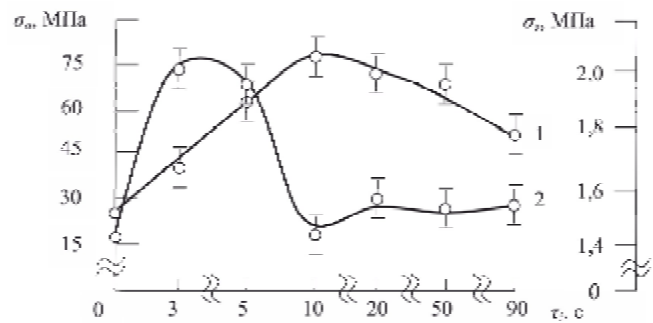


Рис. 4. Залежність адгезійної міцності при відриві (σ_a) і залишкових напружень (σ_s) від тривалості імпульсу (τ_i) УЗО композиції: 1 - адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 - залишкові напруження (σ_s)

$\sigma_a = 76,6$ МПа спостерігали після обробки ультразвуком композиції з тривалістю імпульсу упродовж $\tau_i = 10$ с. Надалі збільшення тривалості імпульсу до $\tau_i = 90$ с. призводить до зменшення показників адгезійної міцності КМ до $\sigma_a = 52,5$ МПа. Водночас встановлено, що при збільшенні тривалості імпульсу залишкові напруження спочатку зростають (при $\tau_i = 3 \dots 5$ с. вони становлять $\sigma_s = 1,9 \dots 2,0$ МПа), а потім зменшуються і при тривалості імпульсу $\tau_i = 10 \dots 90$ с. вони становлять $\sigma_s = 1,5 \dots 1,6$ МПа (рис. 4). Отже, на основі наведених результатів досліджень визначено оптимальну тривалість імпульсу УЗО композиції, яка становить $\tau_i = 10$ с. Виходячи з цього можна стверджувати, що оптимальними часовими режимами УЗО композиції з частками нанодисперсного наповнювача є: $\tau_z = 1,5 \pm 0,1$ хв., $\tau_i = 10$ с. При цьому адгезійна міцність КМ з частками ННСК ($q = 0,05$ мас.ч.) становить $\sigma_a = 76,6$ МПа, а залишкові напруження – $\sigma_s = 1,4$ МПа.

Слід зазначити, що не менш важливим є встановлення температурно-часових режимів формування нанокомпозитів після УЗО. Нами розроблена технологія формування нанокомпозитів, діаграму якої наведено на рис. 5.

Епоксидний композит з нанонаповнювачем ННСК формували за такою технологією з виконанням температурно-часових режимів: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли та нанодисперсного наповнювача до температури $T = 353 \pm 2$ К і витримка компонентів при даній температурі упродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1$ хв.; дозування наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомера ЕД-20 і нанонаповнювача упродовж часу $\tau = 1 \pm 0,1$ хв.; ультразвукова обробка композиції упродовж часу $\tau_z = 1,5 \pm 0,1$ хв.; охолодження композиції до кімнатної температури упродовж часу $\tau = 60 \pm 5$ хв.; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1$ хв. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримування упродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1$ год. при температурі $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ град / хв. до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримування КМ упродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували упродовж часу $\tau = 24$ год. на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

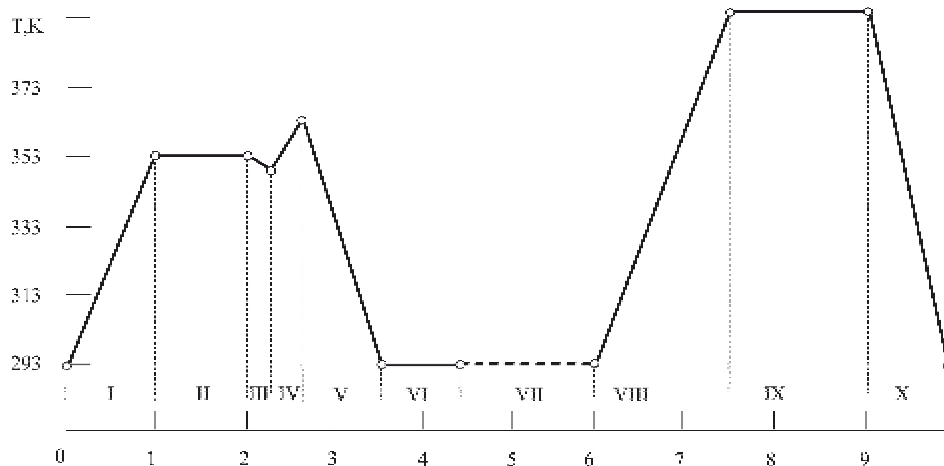


Рис. 5. Діаграма температурно-часових режимів формування нанокомпозитів з використанням УЗО: I - нагрівання у пічці незалежно наповнювача і епоксидного олігомера ЕД-20 до $353 \pm 2\text{K}$ ($20 \pm 0,1$ хв.); II - витримка епоксидного олігомера ЕД-20 і наповнювача у пічці ($20 \pm 0,1$ хв.); III - гідродинамічне суміщення олігомера ЕД-20 і нано наповнювача ($1 \pm 0,1$ хв.); IV - УЗО обробка композиції ($1,5 \pm 0,1$ хв.); V - охолодження композиції до кімнатної температури (60 ± 1 хв.); VI - введення твердника і перемішування композиції ($5 \pm 0,1$ хв.); VII - витримка композиції (12 год.); VIII - нагрівання композиції до температури зшивання (35 ± 2 хв.); IX - термічне зшивання композиції (120 ± 2 хв.); X - охолодження композиту у пічці ($160 \pm 0,5$ хв)

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень, виконаних у даній роботі, можна констатувати наступне.

1. Розроблено алгоритм процесу ультразвукової обробки епоксидних композицій з нанодисперсним наповнювачем. Встановлено оптимальні температурно-часові режими обробки композиції ультразвуком ($\tau_3 = 90$ с.; $\tau_i = 10$ с.; $\tau_n = 3$ с.; $T = 353$ К), які забезпечують отримання матеріалу з поліпшеними фізико-механічними властивостями. Автоматизація процесу керування зазначеними режимами обробки забезпечує не лише контроль, але й регулювання температури та часу обробки.

2. Встановлено оптимальний загальний час ультразвукової обробки композиції з частками нанодисперсного наповнювача спеченого композиту (ННСК) $\tau_3 = 1,5 \pm 0,1$ хв і тривалість імпульсу $\tau_i = 10$ с. При цьому адгезійна міцність композиту з частками ННСК ($q = 0,05$ мас.ч.) становить $\sigma_a = 76,6$ МПа, а залишкові напруження $-\sigma_3 = 1,4$ МПа.

3. Розроблено технологію і температурно-часові режими формування нанокомпозитів, яка включає етапи приготування компонентів, автоматизацію контролю та регулювання параметрів ультразвукової обробки композицій, а також їх остаточного формування при попередньо встановлених режимах термічного зшивання.

Література

1. Нарусберг В. Л. Устойчивость и оптимизация оболочек из композитов / В. Л. Нарусберг, Г. А. Тетере. – Рига: Зинатне, 1988. – 299 с.

2. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В.Букетов, П.Д.Стухляк, І.В.Чихіра. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.

3. Трофимов Н.Н. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений / Н.Н.Трофимов, С.И.Пугачев. – Л.: ЛДНТП, 1979. – 20 с.;

4. Москалев Е.В. Опыт ультразвукового склеивания при использовании эпоксидных адгезивов / Е.В.Москалев, Л.П.Вишневская, М.С.Тризно. – Л.: ЛДНТП, 1983. – 16 с.

5. Низина Т.А. Экспериментальные исследования упруго-прочностных характеристик эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами / Т.А. Низина, П.А. Кисляков, Н.М. Кузнецов // Строительство, архитектура, дизайн. – 2009. – Вып. 1 (5). – С. 23-32.

6. Корякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И.Корякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

Отимана 14.05.13

O. Sapronov

Automation ultrasound units for processing epoxy compositions with nanodispersive

Kherson state Maritime Academy, Kherson

The algorithm process ultrasound quit-rents epoxy compositions of nanodispersive filler. The optimum temperature-time regimes ultrasound treatment compositions which provide a material with improved physical and mechanical properties. The technology and temperature-time regime of nanocomposites, which comprises the steps of preparing components, automation control and tuning ultrasonic treatment compositions and their final formation at preset modes thermal cross linking.