



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48177 (13) U

(51) МПК (2009)

B29B 15/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ
УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

1

2

(21) u200909330

(22) 11.09.2009

(24) 10.03.2010

(46) 10.03.2010, Бюл.№ 5, 2010 р.

(72) КОЛОСОВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ, СІВЕЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, КОЛОСОВ ВІКТОР ЄВГЕНОВИЧ, САХАРОВ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, КОЛОСОВА ОЛЕНА ПЕТРІВНА, СТЕПАНЕНКО БОРИС ЄВГЕНОВИЧ

(73) КОЛОСОВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ

(57) Спосіб прогнозування параметрів продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки епоксидних композицій, відповідно до якого визначення продуктивності обладнання (Q) при озвучуванні епоксидного олігомеру або зв'язуючого на його основі проводять з урахуванням геометричних розмірів випромінюючої ультразвук поверхні обладнання і ефективної маси наважки озвучуваного епоксидного олігомеру або зв'язуючого на його основі (m_c), а також результатів визначень експлуатаційних властивостей епоксидних полімерів, отримуваних на основі затверділих епоксидних композицій, отримуваних в результаті ультразвукової обробки рідких епоксидних композицій за даних конструктивних параметрів ультразвукового кавітаційного обладнання і технологічних параметрів ультразвукової обробки, причому як експлуатаційні властивості епоксидних полімерів вибирають їх адгезійну міцність при відриві ($\sigma_{a.в.}$), границю міцності щодо розтягання (σ_p) та адгезійну міцність при зсуві ($\sigma_{a.з.}$), який **відрізня-**

ється тим, що вибирають досліджуваний змінний параметр продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, у вигляді відношення площі випромінювача поздовжніх ультразвукових коливань (S_b) до маси наважки озвучуваного епоксидного олігомеру або зв'язуючого (m_c), задання значень якої проводять довільно, а прогнозування значень досліджуваного змінного параметра продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, здійснюють за допомогою математичної моделі шостого порядку у вигляді рівняння

$$\sigma_z(X) = b_0 + b_1 \cdot X^1 + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3 + b_4 \cdot X^4 + b_5 \cdot X^5 + b_6 \cdot X^6, \quad (1)$$

де $\sigma_z(X)$ - відгук або поточна характеристика міцності епоксидного олігомеру, яка досліджується, МПА,

z - нижній індекс, що є умовним позначенням поточної характеристики міцності епоксидного олігомеру; відповідно z=1 означає адгезійну міцність при відриві, z=2 означає міцність щодо розтягання, а z=3 означає адгезійну міцність при зсуві,

X - змінна, що є досліджуваним параметром продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, у вигляді відношення S_b/m_c , де S_b - площа випромінювача поздовжніх ультразвукових коливань, m^2 ,

m_c - змінна маса наважки озвучуваного епоксидного олігомеру або епоксидного зв'язуючого на його основі, кг,

а $b_0, b_1, b_2, \dots, b_6$ - постійні коефіцієнти рівняння, що підлягають визначенню.

Корисна модель відноситься до способів вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для ультразвукової модифікації рідких полімерних, зокрема, епоксидних композицій (ЕК), і може бути використана для розрахунку параметрів обладнання при формуванні виробів з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

Відомий спосіб вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для ультразвукової (УЗ) модифікації рідких середовищ, відповідно до якого визначають тип і конструктивні

особливості технологічного УЗ-пристрою, в якому енергія механічних коливань активно впливає на рідину, що обробляється, а саме пакету і випромінюючої УЗ-системи, а також амплітуду і характер коливань випромінюючої поверхні [1].

Однак відомий спосіб не може бути ефективно застосований для УЗ-модифікації рідких композицій та волокнистих наповнювачів, так як не враховує експериментальних результатів зміни технологічних і експлуатаційних властивостей ПКМ у залежності від широкого спектру досліджуваних

(13) U

(11) 48177

(19) UA

параметрів УЗ-обробки, що враховуються лише частково.

Як аналог вибраний спосіб вибору технологічних параметрів пристроїв для УЗ-модифікації рідких середовищ, який полягає у виборі типу пристрою або апарату для УЗ-обробки озвучуваного середовища у відповідності із генерованим робочими елементами випромінювачів діапазоном значень інтенсивності (I), частоти (f) і амплітуди (A) УЗ-коливань, необхідних для здійснення досліджуваного технологічного процесу [2].

Однак і спосіб аналога не може бути ефективно застосований для УЗ-модифікації рідких композицій та волокнистих наповнювачів, так як не враховує експериментальних результатів зміни технологічних і експлуатаційних властивостей ПКМ у залежності від широкого спектру досліджуваних параметрів УЗ-обробки при їх формуванні, що враховуються лише частково.

Як найбільш близький аналог вибраний спосіб вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів, і, зокрема, продуктивності озвучування (Q), пристроїв для УЗ-модифікації рідких полімерних композицій та волокнистих наповнювачів, який полягає у виборі типу пристрою або апарату для УЗ-обробки озвучуваного середовища, переважно епоксидних олігомерів (ЕО) або епоксидних композицій (ЕК) на їх основі, у відповідності із діапазоном значень інтенсивності (I), частоти (f) і амплітуди (A) ультразвукових коливань, необхідних для здійснення досліджуваного технологічного процесу [3]. Після цього оцінюють якість озвучування або рівномірність кавітаційного поля випромінювача у низькочастотному УЗ-діапазоні, проводять вибір його конструктивно-технологічних параметрів, а саме розмірів випромінюючої пластини ультразвукового кавітаційного апарату, продуктивності озвучування (Q), температури (T), тиску (P) і часу (τ) озвучування. При цьому мінімальне значення продуктивності озвучування (Q) ЕО або зв'язуючого на його основі визначають на основі вимірювань геометричних розмірів випромінюючої пластини і визначення ефективної маси наважки озвучуваного ЕО або зв'язуючого на його m_c , а також результатів визначень експлуатаційних властивостей затверділих ЕК, отримуваних в результаті УЗ-обробки за даних конструктивних параметрів ультразвукового кавітаційного обладнання і технологічних параметрів УЗ-обробки. Причому як експлуатаційні властивості затверділих ЕК у вигляді епоксидних полімерів (ЕП) вибирають адгезійну міцність при відриві ЕП, границю міцності щодо розтягання ЕП та адгезійну міцність при зсуві ЕП.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення ефективності, спрощення процесу прогнозування та підвищення достовірності отримуваних результатів при визначенні ефективного співвідношення параметрів продуктивності обладнання, призначеного для УЗ-обробки ЕК, що дасть змогу прогнозування цих параметрів.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у способі прогнозування параметрів продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки епоксидних композицій, відповідно до якого визначення продуктивності

обладнання (Q) при озвучуванні епоксидного олігомера або зв'язуючого на його основі проводять з урахуванням геометричних розмірів випромінюючої ультразвук поверхні обладнання і ефективної маси наважки озвучуваного епоксидного олігомера або зв'язуючого на його основі (m_c), а також результатів визначень експлуатаційних властивостей затверділих епоксидних композицій, отримуваних в результаті ультразвукової обробки рідких епоксидних композицій за даних конструктивних параметрів ультразвукового кавітаційного обладнання і технологічних параметрів ультразвукової обробки, причому як експлуатаційні властивості затверділих епоксидних композицій у вигляді епоксидних полімерів вибирають їх адгезійну міцність при відриві ($\sigma_{a,v}$), границю міцності щодо розтягання (σ_p) та адгезійну міцність при зсуві ($\sigma_{a,z}$), новим є те, що, вибирають досліджуваний змінний параметр продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, у вигляді відношення площі випромінювача поздовжніх ультразвукових коливань (S_a) до маси наважки озвучуваного епоксидного олігомера або зв'язуючого (m_c), задання значень якої проводять довільно, а прогнозування значень досліджуваного змінного параметра продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, здійснюють за допомогою математичної моделі шостого порядку у вигляді рівняння

$$\sigma_z(X) = b_0 + b_1 \cdot X^1 + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3 + b_4 \cdot X^4 + b_5 \cdot X^5 + b_6 \cdot X^6,$$

де $\sigma_z(X)$ - відгук, або поточна характеристика міцності епоксидного полімеру, яка досліджується, МПА,

z - нижній індекс, що є умовним позначенням поточної характеристики міцності епоксидного полімеру, відповідно з якою $z=1$ означає адгезійну міцність при відриві, $z=2$ означає міцність щодо розтягання, а $z=3$ означає адгезійну міцність при зсуві,

X - змінна, що є досліджуваним параметром продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки, у вигляді відношення S_a/m_c ,

де S_a - площа випромінювача поздовжніх ультразвукових коливань, m^2 ,

m_c - змінна маса наважки озвучуваного епоксидного олігомера або епоксидного зв'язуючого на його основі, кг,

а $b_0, b_1, b_2, \dots, b_6$ - постійні коефіцієнти рівняння, що підлягають визначенню.

Перераховані вище ознаки складають суть рисової моделі.

Наявність причинно-слідчого зв'язку між сукупністю істотних ознак корисної моделі і технічним результатом, що отримується полягає в наступному.

Розробка наукових основ застосування УЗ-модифікації має на меті, базуючись на вихідних складах і технологічних властивостях ПКМ у вигляді реактопластичних та термопластичних композицій, а також волокнистих наповнювачів (як дисперсних, так і безперервних), що серійно виробляються промисловістю, розраховувати параметри формуючого обладнання, направлено вибирати режимні параметри формування та регулювати властивості одержуваних кінцевих ПКМ.

Конкретний технологічний процес УЗ-обробки рідинних полімерних композицій повністю визначає тип і конструктивні особливості технологічного УЗ-пристрою, в якому енергія механічних коливань активно впливає на рідину, що обробляється, а саме пакету і випромінюючої УЗ системи, а також амплітуду і характер коливань випромінюючої поверхні [1].

Тому розроблення відповідних удосконалених способів вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для УЗ-модифікації рідких композицій та волокнистих наповнювачів, що максимально враховують попередньо отримані експериментальні результати зміни технологічних і експлуатаційних властивостей складових ПКМ у залежності від широкого спектру досліджуваних параметрів УЗ-обробки при їх формуванні, що раніше враховувались лише частково, є актуальним. Адже це сприяє у кінцевому результаті підвищенню продуктивності УЗ-модифікації таких середовищ.

Для здійснення ефективного режиму УЗ-обробки рідини необхідно визначати ефективні значення інтенсивності I і частоти f УЗК. Так як більшість УЗ-рідких технологічних процесів пов'язано із кавітацією та звукокапілярним ефектом [1-2, 4-5], то змінюючи умови протікання кавітації, можна підсилювати або послаблювати різні кавітаційні ефекти.

Крім того, фізико-хімічна дія пружних УЗК у рідині, як правило, виявляється в полях середньої і великої інтенсивності УЗ, коли істотними, окрім УЗ-кавітації, стають такі ефекти, як радіаційний тиск і звуковий вітер.

Попередньо проведені дослідження показали перспективність здійснення УЗ-модифікації ЕО і ЕК чи епоксидних клейових композицій (ЕКК) як у низькочастотному, так і у середньочастотному УЗ-діапазонах, а також доцільність використання надлишкового тиску при формуванні ПКМ. Адже при цьому зростає інтенсивність і водночас скорочується час УЗ-обробки рідких полімерних композицій.

Основними чинниками, що зумовлюють вибір акустичної апаратури для роботи в рідинах, потрібно вважати такі: інтенсивність I і частоту f коливань; час озвучування τ ; продуктивність Q апарату або пристрою; температуру T , тиск P та інші умови проведення процесу в УЗ-полі.

Серед конструктивних особливостей апаратів для УЗ-обробки рідин перш за все слід відзначити те, що відповідно до розробленого способу розміри випромінюючої пластини магнітострикційного перетворювача (ПМС) вибирають так, щоб внутрішній опір перетворювача був найкращим образом узгоджений з акустичним опором. Ця умова задовольняється, наприклад, якщо площа випромінюючої поверхні пластини значно перевищує площу випромінюючої поверхні магнітострикційного пакету (ПМС).

Розміри робочих випромінюючих пластин вибирають експериментально. При цьому великі розміри випромінюючої поверхні пластини призводять до того, що остання зазнає вигинних коливань, чим обумовлює нерівномірність УЗ-

поля: максимальне в центрі і мінімальне по краях [2, 4].

Ця нерівномірність поля згинального випромінювача може бути зменшена раціональним вибором типу випромінювача УЗ, геометричних розмірів випромінюючої пластини (наприклад її товщини), а також упорядкуванням розташування випромінювачів друг щодо друга й щодо оброблюваного об'єкта (середовища).

Так, наприклад, експериментально було знайдено, що для досягнення ефективних результатів у технології формування ПКМ, зокрема, при контактній УЗ-обробці як сухої тканини шириною 1120мм, так і цієї ж тканини, але просоченої полімерним зв'язуючим, необхідно мати такі значення технологічних параметрів кавітаційної обробки: частота УЗК $f_{\text{УЗ}}=f_{\text{сг}}=18\text{--}22\text{кГц}$ (для розрахунку приймемо $f_{\text{УЗ}} 22\text{кГц}$); амплітуда УЗК 3-5мкм; інтенсивність 2-4Вт/см² [5].

Спочатку вибирають тип апарату у відповідності з необхідними значеннями інтенсивності I , частоти f і амплітуди A УЗ-коливань, що визначаються особливостями конкретного технологічного процесу.

Так, проведені дослідження показали доцільність вибору для УЗ-обробки рідинних ЕО і ЕК диспергатора типу УЗВД-6, який є найбільш потужною по акустичному полю установкою [2]. Цей диспергатор був зібраний на ПМС типу ПМС-15А-18 потужністю 4кВт, частотою 18±4кГц.

Живлення диспергатора здійснювалось від генератора УЗГ 3-4. Використання автоматичного підстроювання частоти з акустичним зворотним зв'язком забезпечувало стабільність параметрів озвучування.

При роботі у низькочастотному УЗ-діапазоні при роботі на резонансному режимі досягається значення інтенсивності I коливань до 5-10Вт/см² для ПМС і до 20-25Вт/см² для УЗ-концентраторів. Шукану інтенсивність I УЗ розраховують за стандартною методикою відповідно до [4-5].

Частоту пружних коливань f вимірюють за допомогою частотоміра марки ЧЗ-49. Амплітуду озвучування A вимірюють оптичним методом за допомогою віброметра, або мікроскопа. У другому випадку шукане значення амплітуди A у залежності від потужності, що підводилася до ПМС, отримували діленням на 2 вимірюного значення максимального розмаху коливань торця УЗ-концентратора (або робочої пластини ПМС). Для ПМС (випромінююча пластина) максимальні значення амплітуди коливань складали $A_{\text{max}}=5\text{--}6\text{мкм}$, а для УЗ-концентраторів продольних коливань $A_{\text{max}}=30\text{--}40\text{мкм}$.

Якість озвучування (рівномірність кавітаційного поля випромінювача) у низькочастотному діапазоні оцінювали по рівномірності руйнування тонкої алюмінієвої фольги, установленної паралельно випромінюючій поверхні.

Після цього проводять вибір конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки рідинних ЕО і ЕК.

Визначають конструктивні параметри ультразвукового кавітаційного обладнання шляхом вимірювання розмірів його випромінюючої поверхні. З розмірами випромінюючої пластини кавітаційного

апарата при її розташуванні у просочувальній ванні корелює об'єм ванни для просочування (УЗ-обробки), або ефективна маса наважки m_c зв'язуючого.

Визначення продуктивності обладнання (Q) при озвучуванні ЕО або зв'язуючого на його основі проводять з урахуванням геометричних розмірів випромінюючої поверхні обладнання і ефективної маси наважки озвучуваного ЕО або зв'язуючого на його основі (m_c), а також результатів визначень експлуатаційних властивостей затверділих ЕК, отримуваних в результаті ультразвукової обробки за даних конструктивних параметрів ультразвукового кавітаційного обладнання і технологічних параметрів УЗ-обробки.

Причому як експлуатаційні властивості затверділих ЕК у вигляді ЕП вибирають адгезійну міцність при відриві ЕП, границю міцності щодо розтягання ЕП та адгезійну міцність при зсуві ЕП.

Як досліджуваний змінний параметр продуктивності обладнання, призначеного для УЗ-обробки, вибирають відношення площі випромінювача поздовжніх УЗ-коливаль (S_v) до маси наважки озвучуваного ЕО або зв'язуючого (m_c), задання значень якої проводять довільно.

Прогнозування шуканих значень змінного параметра продуктивності обладнання, призначеного для УЗ-обробки, здійснюють за допомогою математичної моделі шостого порядку у вигляді рівняння (1)

$$\sigma_z(X) = b_0 + b_1 \cdot X^1 + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3 + b_4 \cdot X^4 + b_5 \cdot X^5 + b_6 \cdot X^6, \quad (1)$$

де $\sigma_z(X)$ - відгук, або поточна характеристика міцності ЕП, яка досліджується, МПа,

z - нижній індекс, що є умовним позначенням поточної характеристики міцності ЕП; відповідно $z=1$ означає адгезійну міцність при відриві, $z=2$ означає міцність щодо розтягання, а $z=3$ означає адгезійну міцність при зсуві,

X - змінна, що є досліджуваним параметром продуктивності обладнання, призначеного для УЗ-обробки, у вигляді відношення S_v/m_c ,

де S_v - площа випромінювача поздовжніх УЗ-коливаль, m^2 ,

m_c - змінна маса наважки озвучуваного ЕО або зв'язуючого на його основі, кг,

а $b_0, b_1, b_2, \dots, b_6$ - постійні коефіцієнти рівняння, що підлягають визначенню.

Спосіб ілюструється Фіг.1-5, де:

на Фіг.1 показано вплив варіювання маси епоксидної смоли (ЕС) у вигляді ЕД-20, що озвучується за нормального тиску, на характеристики міцності затверділої композиції у складі ЕД-20+ДЕТА;

на Фіг.2-4 показано залежність міцнісних властивостей ЕП $\sigma_1(X) = \sigma_{a.v.}$ (Фіг.2), $\sigma_3(X) = \sigma_{a.z.}$ (Фіг.3), $\sigma_2(X) = \sigma_p$ (Фіг.4) затверділої ЕК у складі ЕД-

20+ДЕТА від відношення $(S_v/m_c) \cdot 10^3$ (m^2/kg) при озвучуванні ЕС марки ЕД-20;

на Фіг.5 показана залежність функції бажаності $d(D)$ для відношення $(S_v/m_c) \cdot 10^3$, (m^2/kg) при озвучуванні ЕД-20.

На Фіг.1 прийнято наступні позначення: 1 - $\sigma_{a.v.} \cdot 0,1$, (МПа); 2 - $\sigma_p \cdot 0,1$, (МПа); 3 - $\sigma_{a.z.} \cdot 0,1$, (МПа).

На Фіг.2-4 прийнято наступні позначення: експериментальні дані (\square); результати розрахунку (\blacksquare) за рівняннями (2-4).

Отримання ЕП здійснювали шляхом УЗ-обробки епоксидної смоли (ЕС) марки ЕД-20 із твердником ДЕТА з наступним твердінням отриманої ЕК. УЗ-обробку ЕС здійснювали за допомогою концентратора поздовжніх УЗК при частоті 17-44кГц, амплітуді 50-120мкм, інтенсивності 15-30Вт/см² і температурі 70-90°C протягом 30-45хв.

Після УЗ-обробки 100 в.ч. смоли ЕД-20 змішували із 10 в.ч. твердника ДЕТА. Отриману суміш затверджували за режимом 20°C/24год + 130°C/6год.

Перед озвучуванням початкові ЕО підігрівали до температури 50-60°C для найшвидшого виходу до початкового температурного режиму озвучування, а в ході озвучування в зв'язку з розігріванням ЕО їх охолоджували до необхідної температури.

Як параметр продуктивності обладнання, призначеного для здійснення УЗ-модифікації, було прийнято відношення площі випромінювача S_v концентратора поздовжніх УЗК до маси наважки m_c епоксидної основи (ЕД-20), що озвучується, тобто $(S_v/m_c) \cdot 10^3$, m^2/kg .

Це відношення обумовлюється конструктивно-технологічними параметрами існуючого електротехнологічного обладнання і визначає необхідну питому потужність УЗ-кавітаційного обладнання на одиницю об'єму (або площі – у випадку обробки склотканин) озвучуваного середовища.

Початкова маса наважки смоли ЕД-20, що озвучувалась, складала $m_c=80g$ для УЗ-диспергатора УЗДН-2Т з площею випромінювання концентратора УЗК $S_v=3,3 \cdot 10^{-4} m^2$, а для ПМС типу ПМС-15А-18 маса наважки складала $m_c=350g$ для $S_v=15 \cdot 10^{-4} m^2$. Було встановлено, що при збільшенні маси наважки, що озвучувалась, у 1,5 рази для обох випромінювачів УЗ відбувалося зниження значення максимального зміцнення.

Так, для адгезійного зміцнення $\sigma_{a.z.}$ затверділої композиції ЕД-20+ДЕТА до сталі Ст45 це зниження відбувалося в 1,2-1,4 рази, а при збільшенні маси наважки в 2 рази зміцнення становило не більше 10% у порівнянні з неозвученим олігомером. Така ж тенденція спостерігається й для інших експлуатаційних характеристик (див. табл. 1).

Таблиця 1

Вплив варіювання відношення площі випромінювача поздовжніх УЗК S_b до маси наважки m_c епоксидної основи ЕД-20, що обробляється, на характеристики міцності затверділої композиції ЕД-20+ДЕТА

$S_b/m_c \cdot 10^3, \text{ м}^2/\text{кг}$	Властивості композиції		
	$\sigma_{a.v.}, \text{ МПа}$	$\sigma_{a.z.}, \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$
Без УЗ-обробки	28	8,0	48
0,3	39	10,8	68
0,4	40	11,0	69
0,5	39	10,8	68
0,6	34	9,6	60
0,7	32	9,3	54
0,8	30	8,7	51

І хоча при менших значеннях S_b/m_c тобто за меншої маси наважки, досягаються результати, не гірші за оптимальні, проте з точки зору продуктивності процесу переробки полімерних композицій треба вибирати максимально припустиме значення маси наважки, при якому не відбувається суттєвого погіршення експлуатаційних характеристик ЕП, що були встановлені за ефективних параметрів УЗ-обробки.

На основі аналізу попередньої та отриманої (див. табл. 1) інформації було встановлено, що залежність характеристик міцності затверділої ЕК від режимів УЗ-обробки носить нелінійний характер (див. Фіг.1).

У зв'язку із цим при математичному моделюванні наявні експериментальні дані були апроксимовані поліномами 2–7 порядків. В результаті проведених модельних досліджень було прийнято рішення зупинитись на рівнянні 6-го порядку, яке з достатньою точністю (розраховані значення мають

той же порядок, що і експериментальні дані, тобто збігаються в першій значущій цифрі), прийнятною для трактування отриманих результатів, яке описує експериментальні дані, а саме:

$$\sigma_z(X) = b_0 + b_1 \cdot X^1 + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3 + b_4 \cdot X^4 + b_5 \cdot X^5 + b_6 \cdot X^6, \quad (1)$$

де $\sigma_z(X) = Y(X)$ - відгук;

X - змінна, що є досліджуваним параметром УЗ-обробки (у даному випадку це відношення S_b/m_c);

z - нижній індекс, що є умовним позначенням поточної характеристики міцності σ , яка досліджується;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_6$ - постійні коефіцієнти рівняння (1), що підлягають визначенню.

Отримані статистичним методом [6] адекватні статистичні математичні моделі, що характеризують вплив варіювання відношення (S_b/m_c) на характеристики міцності затверділої ЕК, мають такий вигляд:

$$\sigma_{a.v.} = 27,9931 + 385,7804 \cdot X^4 - 576,3107 \cdot X^3 + 191,1123 \cdot X^2 + 21,11938 \cdot X; \quad (2)$$

$$\sigma_{a.z.} = 7,9977 + 66,14327 \cdot X^4 - 92,8138 \cdot X^3 + 20,9083 \cdot X^2 + 9,7426 \cdot X; \quad (3)$$

$$\sigma_p = 48,0058 + 3738,40504 \cdot X^4 - 1130,414 \cdot X^3 + 403,01216 \cdot X^2 + 26,767 \cdot X. \quad (4)$$

Експериментальні та розраховані за формулами (2-4) значення змінних наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Зведені експериментальні та розраховані значення змінних при оптимізації відношення (S_b/m_c)

$(S_b/m_c) \cdot 10^3, \text{ м}^2/\text{кг}$	Експериментальні значення			Розраховані значення		
	$\sigma_{a.v.}$	$\sigma_{a.z.}, \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$\sigma_{a.v.}, \text{ МПа}$	$\sigma_{a.z.}, \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$
Без УЗ-обробки	28	8,0	48	27,99	7,99	48,00
0,3	39	10,8	68	39,09	10,83	67,76
0,4	40	11,0	69	40,01	10,99	69,75
0,5	39	10,8	68	38,40	10,62	66,99
0,6	34	9,6	60	34,97	9,89	60,67
0,7	32	9,3	54	31,37	9,10	53,77
0,8	30	8,7	51	30,14	8,74	51,02

Графічне відображення порівняльних результатів показано на Фіг.2-4.

Найкращі та найгірші значення вихідної змінної $Y(X)$ для оптимізації відношення (S_b/m_c), отримані при експериментально-статистичному моделюванні в процесі пошуку компромісної точки, становлять:

характеристика міцності ЕП:	$\sigma_{a.v.}, \text{ МПа}$	$\sigma_{a.z.}, \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$
найкращі значення:	50	30	80
найгірші значення:	25	7	45

Характеристики міцності ЕП, отримані для оптимального значення відношення (S_b/m_c), знаходяться всередині цих інтервалів. Результати розрахунку узагальненої функції бажаності $d(D)$ при оптимізації відношення (S_b/m_c) відображені на Фіг.5.

Відповідно до результатів розрахунків, а також графічної залежності функції бажаності для відношення (S_b/m_c) (див. Фіг.5), можна зробити висновок про те, що вимозі максимальних значень усіх вихідних змінних найкраще відповідає точка №3, у якій досягається максимальне значення функції бажаності $d(D)=0,5047$, що відповідає значенню (S_b/m_c)= $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Тоді, наприклад, для озвучування в УЗ-ванні типу УЗВ-1 наважки ЕД-20 масою 10кг протягом певного часового проміжку УЗ-модифікації сумарна площа випромінювачів S_b УЗК, установлених на дні і бокових стінках ванни в певному порядку, повинна становити $S_b=0,4 \cdot 10^3 \cdot m_c \text{ (кгм}^2/\text{кг)}=0,4 \cdot 10^3 \cdot 10 \text{ м}^2=0,4 \cdot 10^2 \text{ м}^2$.

Таким чином, в результаті експериментально-статистичних досліджень технологічних характеристик ЕО і зв'язуючих на їх основі було встановлено, що для ефективного озвучування відношення площі випромінювача поздовжніх УЗК до маси наважки епоксидної основи, що обробляється, повинно становити $(4-5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ при даних пара-

метрах УЗ-обробки за першим варіантом озвучування.

Розроблений спосіб може застосовуватись для підвищення продуктивності обладнання, призначеного для ультразвукової обробки епоксидних композицій.

Джерела інформації:

1. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. М, Энергия, 1976. – 319 с.

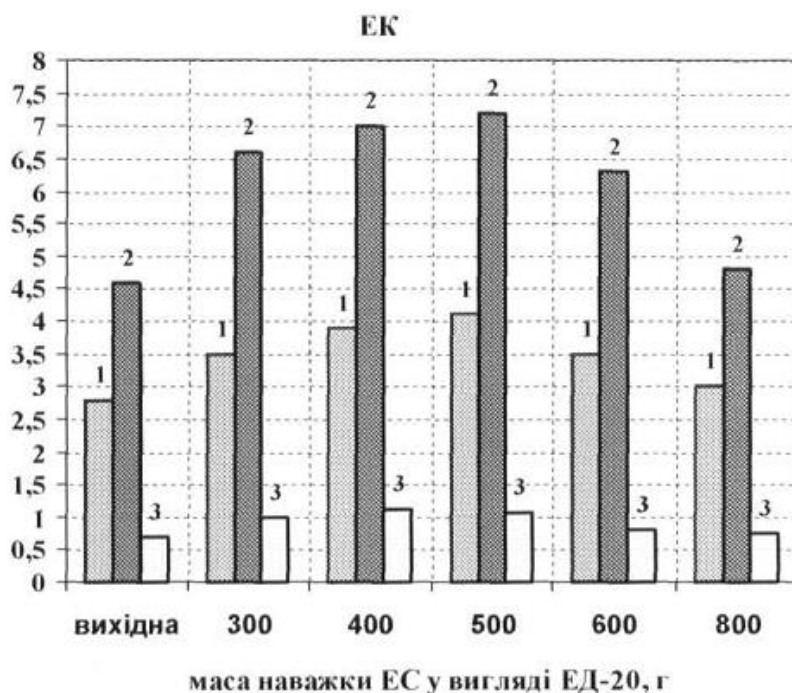
2. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 192 с.

3. Колосов О.Є. Спосіб вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для ультразвукової модифікації рідких полімерних композицій та волокнистих наповнювачів. UA № 30505. МПК (2006) B29B15/00. Опубл. 25.02.2008. Бюл. № 4.

4. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Под ред. Голяминой И.П. – М.: Сов. энциклопедия, 1979. – 192 с.

5. Колосов О.Є., Сівецький В.І. Методика розрахунку параметрів пристроїв для ультразвукової обробки і інтенсифікації процесу просочення тканин наповнювачів полімерними зв'язуючими // Вісник КНУТД. – 2003. – № 1. – С. 156-159.

6. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. – М.: Химия, 1972. – 200 с.



Фіг. 1

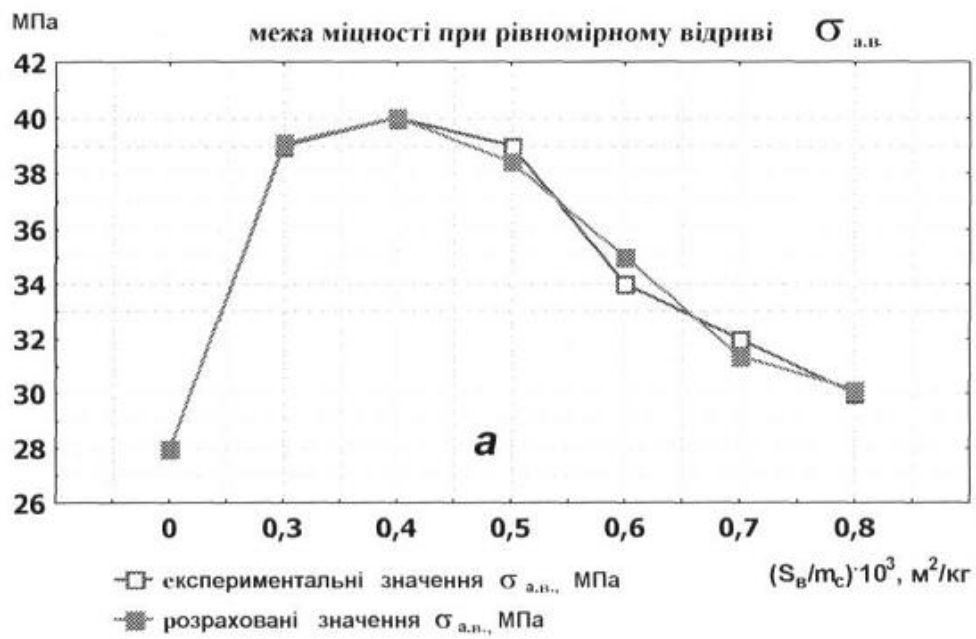


Fig. 2

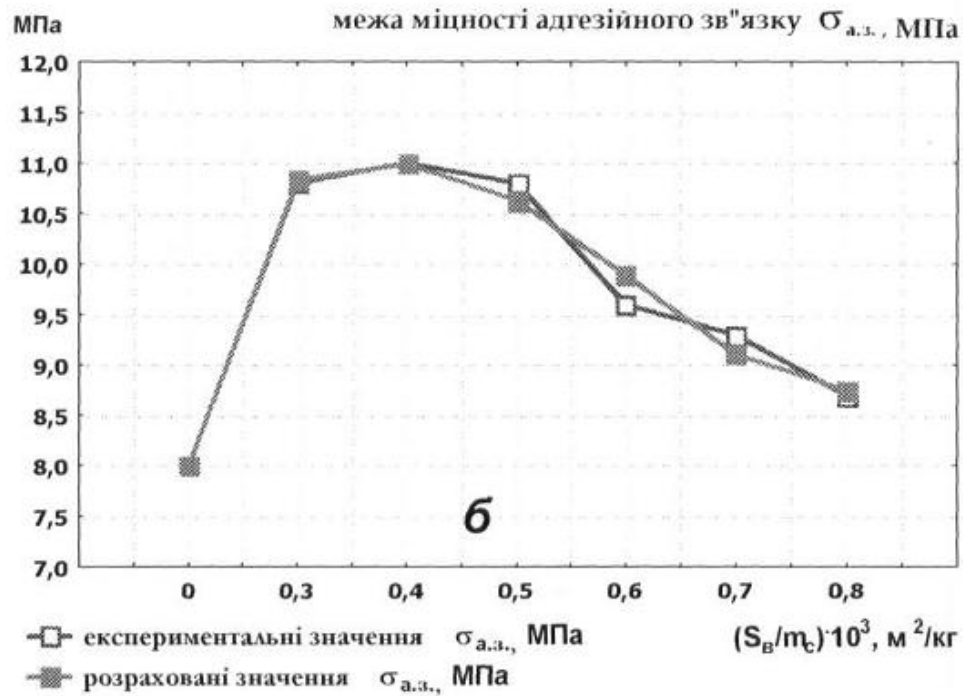
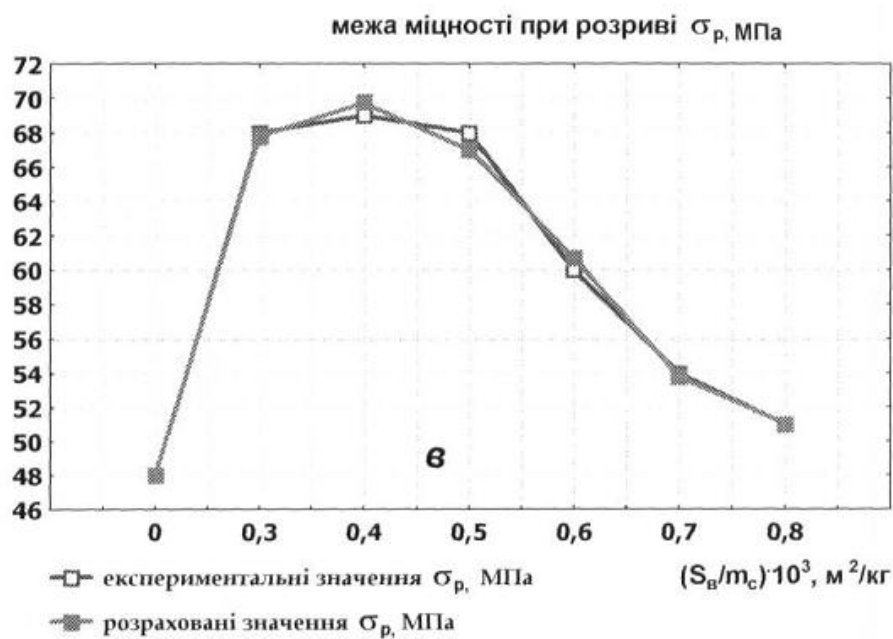
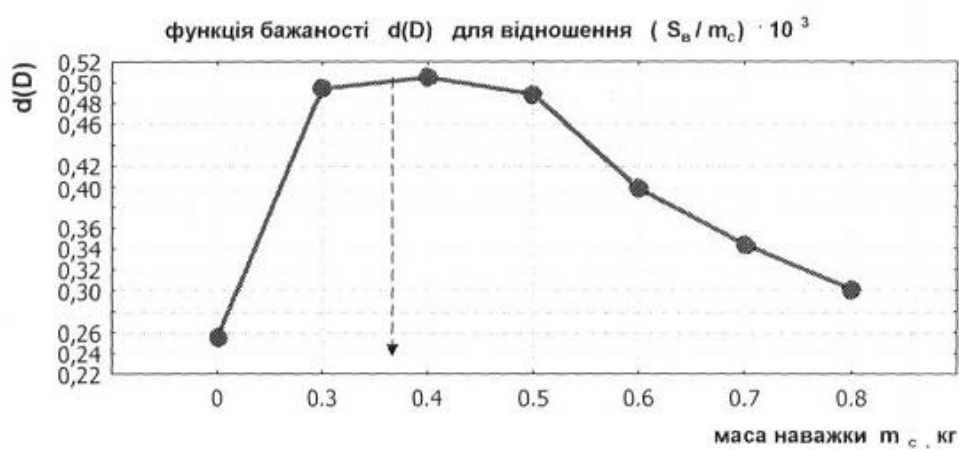


Fig. 3



Фіг. 4



Фіг. 5