

МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ МОДИФІКАЦІЇ РІДКИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ ТА ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Разработана усовершенствованная методика выбора эффективных конструктивно-технологических параметров устройств для ультразвуковой модификации жидких полимерных композиций и волокнистых наполнителей, которая может применяться для повышения производительности озвучивания и интенсификации процессов пропитки и дозированного нанесения в технологии формования полимерных композиционных материалов.

Is developed the improved methodic of choice of effective structurally-technological parameters of devices for ultrasonic modification of liquid polymeric compositions and fibred filaments which can be used for the increasing of the productivity of wiring for sound and intensification of processes of impregnation and dosed causing in technology of shaping of polymeric composition materials.

Розробка наукових основ застосування ультразвукової модифікації має на меті, базуючись на вихідних складах і технологічних властивостях полімерних композиційних матеріалів (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 методик вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для УЗ-модифікації рідких композицій та волокнистих наповнювачів, що максимально враховують попередньо отримані експериментальні результати зміни експлуатаційних властивостей ПКМ у залежності від широкого спектру досліджуваних параметрів УЗ-обробки, що раніше враховувались лише частково, є актуальним. Адже це сприяє у кінцевому результаті підвищенню продуктивності УЗ-модифікації таких середовищ.

Дослідження, результати яких висвітлені нижче, були отримані в рамках виконання держбюджетної теми №2920 "Моделювання процесів формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізичної модифікації" (№ДР 0106U0002131).

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 [1–4], 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 [5–6] показали перспективність здійснення УЗ-модифікації епоксидних олігомерів (ЕО) і епоксидних композицій (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.

Перші два чинники (інтенсивність I і частота f коливань) є такими, що впливають на вибір *типу апарату*.

Інші чинники визначають *кількість апаратів*, що встановлюються в дану технологічну лінію, або їх *конструктивні особливості*, наприклад, захист від корозії, міцність, систему охолодження, створення надлишкового статичного тиску й інші.

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

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).

Експериментально було знайдено, що для досягнення ефективних результатів у технології формування ПКМ, зокрема, при контактній УЗ-обробці як сухої тканини шириною 1120 мм, так і цієї ж тканини, але просоченої полімерним зв'язуючим, необхідно мати такі значення технологічних параметрів кавітаційної обробки: частота УЗК $f_{УЗ} = f_{ст} = 18\text{—}22$ кГц (для розрахунку приймемо $f_{УЗ} = 22$ кГц); амплітуда УЗК $3\text{—}5$ мкм; інтенсивність $2\text{—}4$ Вт/см² [5–7].

Як вказувалось вище, на ширину пластини $B_{пл}$ може накладатися також умова перекриття пластиною ширини оброблюваного тканого волокнистого наповнювача (яка у нашому випадку становить 1100—1200 мм –див. рис. 1).

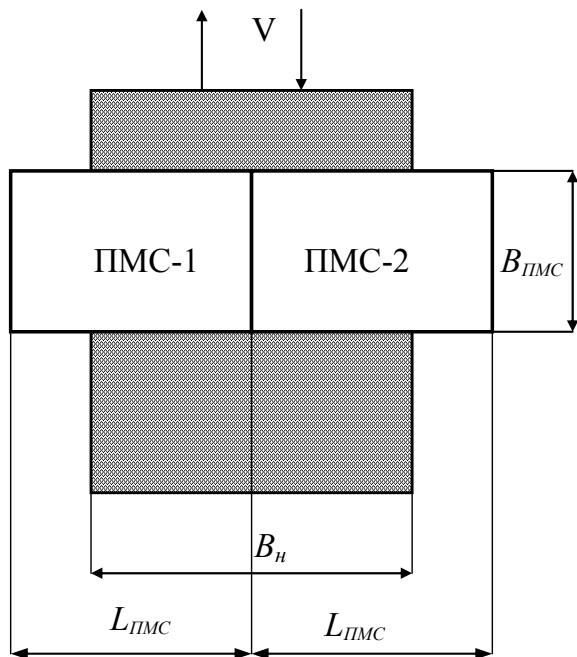


Рис. 1. Розташування двох ПМС (ПМС-1 і ПМС-2) у залежності від ширини B_n оброблюваного УЗ тканого наповнювача

Пропонована удосконалена методика вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для УЗ-модифікації рідких полімерних композицій полягає в наступному.

По-перше, 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 4 кВ, частотою 18 ± 4 кГц.

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 діапазоні при роботі на резонансному режимі досягається значення інтенсивності I коливань до $5\text{--}10$ Вт/см² для ПМС і до $20\text{--}25$ Вт/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 вібрметра, або мікроскопа. У другому випадку шукане значення амплітуди A у залежності від потужності, що підводилася до ПМС, отримували діленням на 2 виміряного значення максимального розмаху коливань торця УЗ-концентратора (або робочої пластини ПМС). Для ПМС (випромінююча пластина) максимальні значення амплітуди коливань складали $A_{\max} = 5\text{--}6$ мкм, а для УЗ-концентраторів продольних коливань $A_{\max} = 30\text{--}40$ мкм.

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

Для генерації середньочастотних УЗК у мегагерцовому діапазоні в

експериментальній установці разом з перетворювачем використовували фокуруючі п'єзокерамічні перетворювачі, які закріплювали на бокових стінках ванни.

По-друге, проводять вибір конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки рідинних ЕО і ЕК.

Серед технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки рідинних ЕО і ЕК виділяють продуктивність Q , температуру T , тиск P і час τ озвучування.

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.

В роботі [6] було встановлено, що при дослідженнях технологічних характеристик ЕО і експлуатаційних характеристик затверділих ЕК на їх основі для ефективного озвучування ЕО відношення площі випромінювача поздовжніх УЗК до маси наважки ЕО, що обробляється, повинно становити $S_\theta/m_c = (4-5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Таким чином, маючи геометричні розміри випромінюючої пластини S_θ , можна знайти ефективне значення маси наважки зв'язуючого m_c , або мінімальний з точки зору продуктивності озвучування Q об'єм ванни для просочування. Відповідно до проведених досліджень об'єм ванн диспергатора, що були виготовлені із неіржавіючої сталі і забезпечені звукоізоляційним корпусом, становив 700 і 1100 мл.

Для регулювання необхідної температури T озвучування корпус ванни мав сорочку водяного охолодження, сполучену по воді послідовно з бачком охолодження пакету перетворювача.

Згідно розробленої методики [5], границі інтервалу ефективного часу озвучування τ олігомера оцінювали по зміні крайового кута змочування θ і змочувальної здатності $\sigma \cos \theta$, залежності яких мають, як правило, екстремальну залежність від часу озвучування τ . В результаті вибирають шуканий інтервал часу озвучування (наприклад, у нашому випадку озвучування ЕО і ЕК це значення становить 25—35 хв – див. рис.2).

Необхідне значення (інтервал значень) надлишкового тиску P при УЗ-обробці ЕК визначають за результатами вимірювань експлуатаційних властивостей затверділих ЕК (див.рис.3), отриманих при певних значеннях надлишкового тиску P . У диспергаторі можливе досягнення значень надлишкового тиску P до 10 МПа.

По-третє, проводять вибір конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки волокнистих наповнювачів (як просочених, так і не просочених, як дисперсних, так і регулярної структури — однонаправлених або тканих).

Серед конструктивних параметрів пристроїв УЗ-обробки волокнистих тканих наповнювачів визначають: розміри робочої пластини ПМС, а саме $B_{nl} = B_{ПМС}$ (див. рис. 1), а серед технологічних параметрів — час контактної УЗ-обробки $t_{УЗ}$ тканого (або дисперсного) волокнистого наповнювача.

Так, час контактної УЗ-обробки дисперсного волокнистого наповнювача $t_{УЗ}$, що здійснюють в процесі приготування ЕКК та ЕК, призначених для формування виробів, що термоусаджуються, визначають на основі вимірювань крайового кута змочування θ епоксидного зв'язуючого по підложці, виготовленої з матеріалу наповнювача, а також максимальної висоти підйому зв'язуючого (ЕС) по волокну наповнювача h у

залежності від часу УЗ-активації $t_{уз}$ волокна наповнювача. Ці залежності, як правило, мають екстремальний вигляд [5—6].

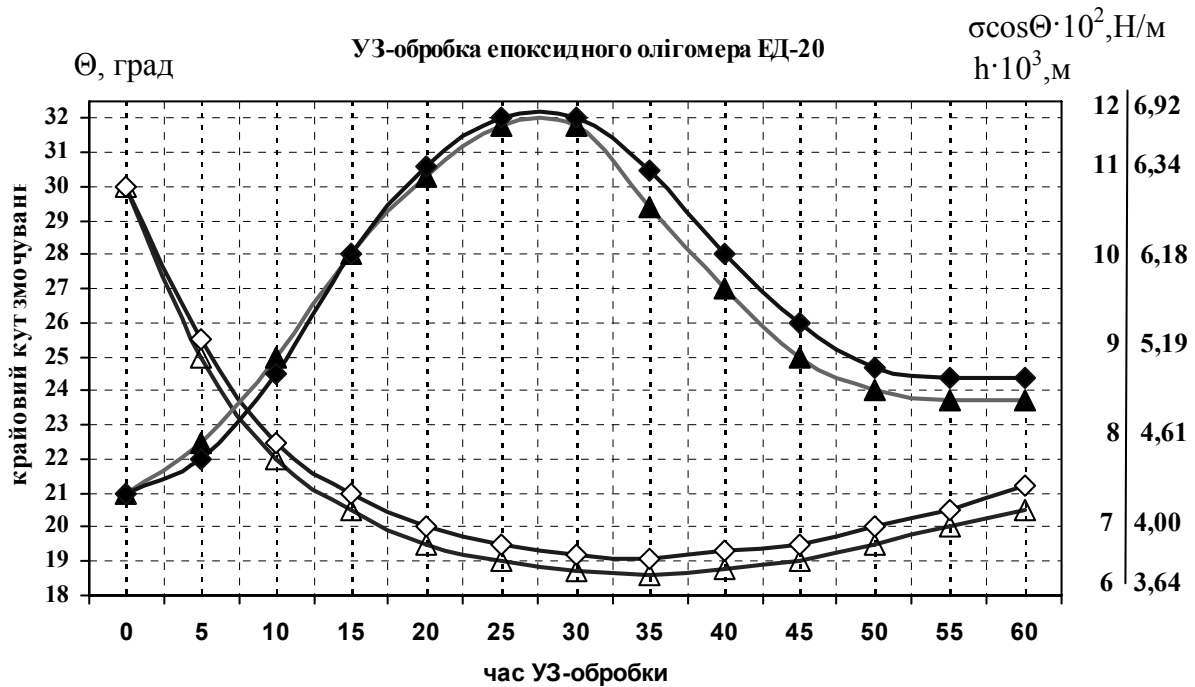


Рис. 2. Зміна крайового кута змочування Θ по скляній підложці і змочувальності $\sigma\cos\theta$ олигомера ЕД-20 при 20°C у залежності від часу озвучування τ у низькочастотному УЗ-діапазоні: частота $f=17$ кГц для Θ (\triangle) і для $\sigma\cos\theta$ (\blacktriangle); частота $f=22$ кГц для Θ (\diamond) і для $\sigma\cos\theta$ (\blacklozenge); h — висота підйому олигомера ЕД-20 по скляному капіляру

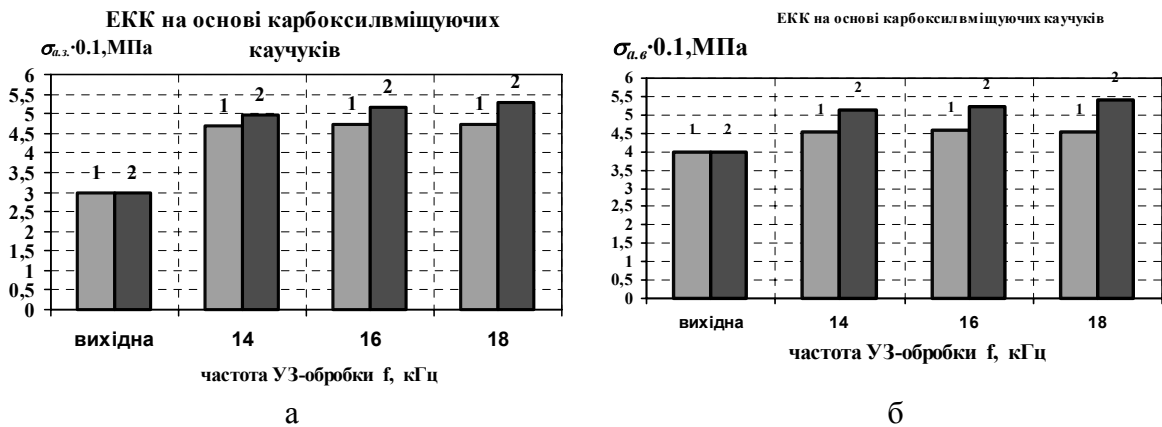


Рис. 3. Вплив частоти f УЗ-обробки за атмосферного (1) та надлишкового (2) тисків на міцнісні властивості $\sigma_{a.z} \cdot 0.1$, (а) та $\sigma_{a.e} \cdot 0.1$, (МПа) (б) вихідної затверділої ЕКК, модифікованої карбоксилвміщуючими каучуками

Експериментально було встановлено, що для досягнення прийнятних величин здрібнювання і стану контактної поверхні дисперсних скловолокнистих наповнювачів необхідно, щоби час УЗ-активації $t_{уз}$ був в діапазоні 30—45 с — див. рис.4 [5—6].

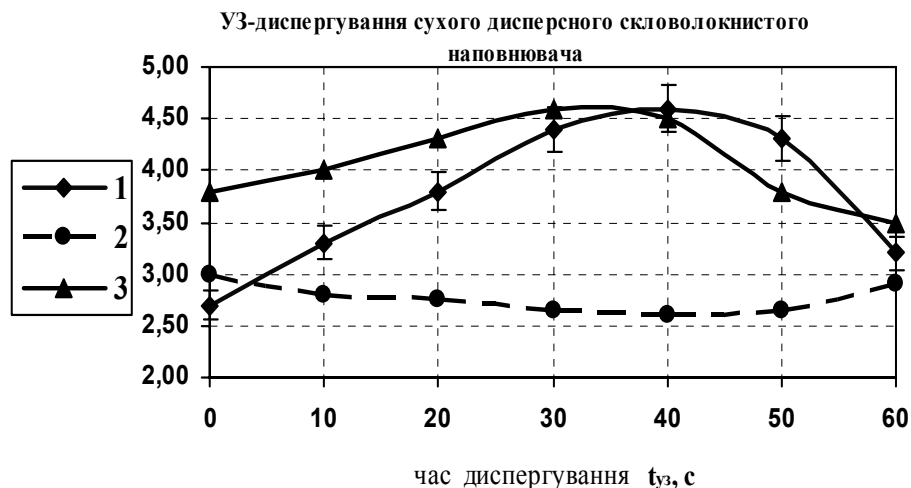


Рис. 4. Залежність характеристик просочування і адгезії від часу диспергування скловолокнистого наповнювача t_{yz} : 1 – висота підйому рідинної ЕК по скловолокну $h \cdot 10^{-3}$, м; 2 — крайовий кут змочування рідинної ЕК по скляній підложці θ , °; 3 — змочувальна здатність $\sigma \cos \theta$, Н/м.

У свою чергу, час контактної УЗ-обробки t_{yz} тканого наповнювача регулярної структури (як просоченого, так і непросоченого) визначають по розмірам робочої пластини ПМС і швидкості протягування наповнювача V . Або визначають швидкість протягування тканого наповнювача V за часом контактної УЗ-обробки наповнювача t_{yz} .

Крім цього, знаючи другий розмір робочої пластини ПМС, а саме $B_{nl} = B_{ПМС}$ і швидкість протягування тканого наповнювача V , можна визначити час контактної УЗ-обробки наповнювача t_{yz} (як непросоченого, так і просоченого): $t_{yz} = B_{ПМС}/V$. І навпаки, знаючи час контактної УЗ-обробки наповнювача t_{yz} (як просоченого, так і непросоченого), можна визначити швидкість протягування тканого наповнювача V .

Таким чином, послідовність реалізації розробленої методики вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів УЗ-модифікації рідких полімерних композицій та волокнистих наповнювачів полягає в наступному:

1. Вибирають *тип апарату* у відповідності із необхідними значеннями інтенсивності I , частоти f і амплітуди A УЗ-коливань, а також оцінюють якість озвучування:

- 1.1. Шукану інтенсивність I УЗ розраховують за стандартною методикою відповідно до [4—5].

- 1.2. Частоту пружних коливань f вимірюють за допомогою частотоміра.

- 1.3. Амплітуду озвучування A вимірюють оптичним методом за допомогою вібрметра, або мікроскопа.

- 1.4. Якість озвучування (рівномірність кавітаційного поля випромінювача) у низькочастотному діапазоні оцінюють по рівномірності руйнування тонкої алюмінієвої фольги, установлені паралельно випромінюючій поверхні.

2. Проводять вибір *конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки рідких ЕО і ЕК*:

- 2.1. Визначають ефективну масу наважки ЕО (зв'язуючого) m_e .

2.2. Маючи геометричні розміри випромінюючої пластини S_g ПМС і ефективне значення маси наважки зв'язуючого m_c , знаходять за умови $S_g/m_c = (4—5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ мінімальне значення продуктивності озвучування Q (або об'єм ванни для просочування).

2.3. Визначають інтервал значень ефективного часу озвучування олігомера (зв'язуючого) τ по зміні значень крайового кута змочування θ і змочувальної здатності $\sigma \cos \theta$, залежності яких мають, як правило, екстремальну залежність від часу озвучування τ .

2.4. Ефективне значення (інтервал значень) надлишкового тиску P при УЗ-обробці ЕК визначають за результатами вимірювань експлуатаційних властивостей затверділих ЕК, отриманих при певних значеннях надлишкового тиску P .

3. Проводять вибір *конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки волокнистих наповнювачів* (як просочених, так і не просочених, як дисперсних, так і регулярної структури — однонаправлених або тканих):

3.1. Визначають розміри робочої пластини ПМС, а саме $B_{пл} = B_{ПМС}$.

3.2. Визначають час контактної УЗ-обробки тканого (або дисперсного) волокнистого наповнювача $t_{УЗ}$ на основі вимірювань крайового кута змочування θ епоксидного зв'язуючого по підложці, виготовленої з матеріалу наповнювача, а також максимальної висоти підйому зв'язуючого (ЕС) по волокну наповнювача h у залежності від часу УЗ-активації $t_{УЗ}$ волокна наповнювача, залежності яких мають, як правило, екстремальну залежність від часу озвучування $t_{УЗ}$.

3.2. Час контактної УЗ-обробки $t_{УЗ}$ тканого наповнювача регулярної структури (як просоченого, так і непросоченого) визначають по розмірам робочої пластини ПМС і швидкості протягування наповнювача V : $t_{УЗ} = B_{ПМС}/V$. Або визначають швидкість протягування тканого наповнювача V за часом контактної УЗ-обробки наповнювача $t_{УЗ}$.

Висновки

Розроблена методика вибору ефективних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв для УЗ-модифікації рідких полімерних композицій та волокнистих наповнювачів. Відповідно до цієї методики спочатку вибирають тип УЗ-апарата у відповідності із необхідними значеннями інтенсивності I , частоти f і амплітуди A УЗ-коливань, а також оцінюють якість озвучування.

Потім проводять вибір конструктивно-технологічних параметрів пристроїв УЗ-обробки рідких ЕО і ЕК, а також пристроїв УЗ-обробки волокнистих наповнювачів (як просочених, так і не просочених, як дисперсних, так і регулярної структури — однонаправлених або тканих).

Методика може застосовуватись для підвищення продуктивності озвучування і інтенсифікації процесів просочування і дозованого нанесення в технології формування конкретних ПКМ.

Список використаної літератури

1. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. — М.: Химия, 1983. — 192 с.
2. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. М, Энергия, 1976. — 319с.

3. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. — Минск, Тэхніка, 1981. — 135 с.
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 тканих наповнювачів полімерними зв'язуючими//Вісник КНУТД. — 2003. — №1. — С. 156—159.
6. Колосов О.Є. Оптимізація параметрів фізичної модифікації епоксидних олігомерів та композицій на їх основі з застосуванням ультразвуку//Полімерний журнал. — 2005. — №2. — С. 123—130.
7. Луговской А.Ф., Колосов А.Е. Методика расчета ультразвукового кавитационного устройства с излучающей пластиной//Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2005. — №1. — С. 59—67.

УДК 621.914.5

**Н.С. Равська, д-р техн. наук, проф., В.Г. Панчук, канд.техн.наук, доц.
НТУ України "Київський Політехнічний Інститут" м.Київ, Україна**

УЗАГАЛЬНЕНА ТЕОРІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ

Представлена обобщенная аналитическая модель геометрии режущей части дисковой отрезной фрезы с разнонаправленными зубьями и переменным шагом между ними. Геометрическим методом выведены зависимости между конструктивными, инструментальными и статическими параметрами режущей части зубьев.

There is developed the analytical model of the cutting edge geometry of the disk detachable cutter with the differently directed teeth and variable step. With the use of geometric method there are determined the dependences between the design, instrumental and statical parameters of the cutting teeth edge.

Вступ. Відносно низька жорсткість технологічної системи при фрезеруванні відрізними фрезами, поряд з несприятливими умовами їх експлуатації, висувають підвищені вимоги до конструкції фрез в цілому і до конструкції їх різальної частини зокрема. Дискова відрізна фреза характеризується низькою поперечною стійкістю і працює в умовах складного термодинамічного навантаження. На даний час відомі різноманітні прогресивні конструкції відрізнних фрез, які дозволяють поліпшити умови роботи інструменту в процесі відрізнання, але при цьому відсутня узагальнена теорія розрахунку відрізнних фрез.

В умовах загальної комп'ютеризації науки і виробництва найбільш доцільним є розробка нових конструкцій виробів на основі дослідження їх віртуальних комп'ютерних моделей. Узагальнена теоретична модель дискової відрізнної фрези дозволить виконувати розробку нових прогресивних конструкцій відрізнних фрез більш