



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **57856** (13) **U**
(51) МПК (2011.01)
B29B 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ЗБИРАННЯ І ПЕРЕВІРКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВІТАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

1

2

(21) u201011421

(22) 24.09.2010

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) ЛУГОВСЬКА КАТЕРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА, КОЛОСОВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ, СІВЕЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, ЛУГОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ, САХАРОВ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, СІДОРОВ ДМИТРО ЕДУАРДОВИЧ, КУДРЯЧЕНКО ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ, СТОРОЖУК ВОЛОДИМИР ГРИГОРОВИЧ, ЯРЕМЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

(73) КОЛОСОВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ

(57) 1. Спосіб збирання і перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою на базі випромінювача ультразвукових коливань і випромінюючої пластини, відповідно до якого вибирають матеріал і товщину випромінюючої пластини, а також резонансну частоту ультразвукових коливань, виходячи з технологічних особливостей реалізації досліджуваного ультразвукового технологічного процесу, забезпечують контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань, для вибраної резонансної частоти ультразвукових коливань визначають довжину хвилі згинальних коливань випромінюючої пластини з урахуванням бажаної моди коливань

або порядку частоти, після чого здійснюють перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою, який **відрізняється** тим, що як випромінювач ультразвукових коливань використовують складений випромінювач ультразвуку у вигляді верхньої і нижньої частотопонижаючих накладок, кожен з яких виконують контактною через електроди з парою п'єзокерамічних перетворювачів у вигляді кілець, при цьому верхню накладку з'єднують з трансформатором швидкості або з концентратором ультразвукових коливань, а нижню - з джерелом ультразвукових коливань у вигляді генератора, контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань забезпечують за мінімальних акустичних втрат, а перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою здійснюють шляхом оцінки рівномірності кавітаційного поля випромінюючої пластини по ширині і довжині пластини за резонансного режиму її згинальних коливань.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою здійснюють шляхом оцінки рівномірності руйнування тонкої алюмінієвої фольги, установленної паралельно випромінюючій поверхні пластини за кавітаційного режиму.

Корисна модель відноситься до способів збирання і перевірки працездатності ультразвукового (УЗ) кавітаційного пристрою з випромінюючою пластинною, що здійснює згинальні коливання, і може бути використана для оптимізації процесу збирання та подальшої перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою на базі п'єзoeлектричних перетворювачів для різних розмірів випромінюючої пластини й різних технологічних умов УЗ-обробки.

Як аналог вибраний спосіб збирання кавітаційного пристрою з випромінюючою пластинною, відповідно до якого до цієї пластини кріплять однопакетний магнітострикційний перетворювач, розміри якого вибирають експериментально, і здійс-

нюють подальшу перевірку працездатності зібраного пристрою шляхом вимірювання амплітуди коливань уздовж і поперек пластини за резонансного режиму [1].

Згідно з цим способом, потрібно проводити кошовні і численні експериментальні дослідження для вибору оптимальних розмірів випромінюючої пластини. Крім того, великі розміри випромінюючої пластини призводять до того, що в останній, у випадку кріплення до неї, наприклад, однопакетного магнітострикційного перетворювача, відбуваються вигинні коливання, які зумовлюють нерівномірність УЗ-поля уздовж і поперек наріжної (робочої) поверхні пластини.

(13) **U**

(11) **57856**

(19) **UA**

Як найбільш близький аналог вибраний спосіб збирання кавітаційного пристрою з коливальною системою [2]. Відповідно до цього способу, як коливальну систему із шуканою випромінюючою пластиною вибирають коливальну систему на базі чотиригранного стрижня, яку з'єднують з випромінювачем ультразвукових коливань. Після цього вибирають матеріал і товщину випромінюючої пластини, а також резонансну частоту ультразвукових коливань, виходячи з технологічних особливостей реалізації досліджуваного ультразвукового технологічного процесу, забезпечують контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань, для вибраної резонансної частоти ультразвукових коливань визначають довжину хвилі згинальних коливань випромінюючої пластини з урахуванням бажаної моди коливань або порядку частоти, після чого здійснюють перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою. При цьому шукану довжину чотиригранного стрижня $\ell_{\text{СТ}}$ знаходять із виразу для згинальних коливань $f_{\text{СТ}}$ цього стрижня.

Недоліком способу найближчого аналога є обмеженість його застосування при збиранні коливальної системи на базі п'єзокерамічних перетворювачів і трансформаторів швидкості за резонансного режиму згинальних коливань випромінюючої пластини.

Задачею корисної моделі є спрощення процесу збирання і підвищення достовірності та наглядності результатів перевірки працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою шляхом проведення ефективної послідовності операцій збирання, що забезпечують мінімальні акустичні втрати, усувають необхідність проведення коштовних і численних експериментальних досліджень в процесі збирання, а також приводять до отримання рівномірного поля вигинних коливань випромінюючої пластини в процесі її роботи за резонансного режиму.

Вказана задача досягається тим, що у способі збирання і перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою на базі випромінювача ультразвукових коливань і випромінюючої пластини, відповідно до якого вибирають матеріал і товщину випромінюючої пластини, а також резонансну частоту ультразвукових коливань, виходячи з технологічних особливостей реалізації досліджуваного ультразвукового технологічного процесу, забезпечують контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань, для вибраної резонансної частоти ультразвукових коливань визначають довжину хвилі згинальних коливань випромінюючої пластини з урахуванням бажаної моди коливань або порядку частоти, після чого здійснюють перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою, новим є те, що, як випромінювач ультразвукових коливань використовують складений випромінювач ультразвуку у вигляді верхньої і нижньої частотопонижаючих накладок, кожен з яких виконують контактною через електроди з парою п'єзокерамічних перетворювачів у вигляді кілець, при цьому верхню накладку з'єднують з

трансформатором швидкості або з концентратором ультразвукових коливань, а нижню - з джерелом ультразвукових коливань у вигляді генератора, контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань забезпечують за мінімальних акустичних втрат, а перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою здійснюють шляхом оцінки рівномірності кавітаційного поля випромінюючої пластини по ширині і довжині пластини за резонансного режиму її згинальних коливань.

Перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою здійснюють шляхом оцінки рівномірності руйнування тонкої алюмінієвої фольги, установлені паралельно випромінюючій поверхні пластини за кавітаційного режиму.

Перераховані вище ознаки складають суть рисної моделі.

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

У способі найближчого аналога [2], як коливальну систему із шуканою випромінюючою пластиною вибирають коливальну систему на базі чотиригранного стрижня, яку з'єднують з випромінювачем ультразвукових коливань. Після цього вибирають матеріал і товщину випромінюючої пластини, а також резонансну частоту ультразвукових коливань, виходячи з технологічних особливостей реалізації досліджуваного ультразвукового технологічного процесу, забезпечують контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань, для вибраної резонансної частоти ультразвукових коливань визначають довжину хвилі згинальних коливань випромінюючої пластини з урахуванням бажаної моди коливань або порядку частоти, після чого здійснюють перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою. А довжину чотиригранного стрижня $\ell_{\text{СТ}}$ знаходять із виразу для згинальних коливань $f_{\text{СТ}}$ цього стрижня.

Так, для чотиригранного стрижня довжиною $\ell_{\text{СТ}}$ (м) і площею поперечного перерізу $S_{\text{СТ}}$ (м²) власну частоту згинальних коливань $f_{\text{СТ}}$ (Гц) знаходять [2] за формулою (1):

$$f_{\text{СТ}} = \frac{\lambda_{\text{СТ}}^2}{2\pi\ell_{\text{СТ}}^2} \sqrt{\frac{E I_{\text{СТ}}}{\gamma S_{\text{СТ}}}} = \frac{\lambda_{\text{СТ}}^2}{2\pi\ell_{\text{СТ}}} c_{\text{СТ}} \sqrt{\frac{I_{\text{СТ}}}{S_{\text{СТ}}}}, \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{СТ}}$ - так званий порядок частоти, що є безрозмірною величиною, і який для випадку ультразвукових коливань (УЗК) низькочастотного діапазону вибирається залежно від порядку коливань

(моди коливань) n_k з наступного ряду[3]:

$$4,750(n_k = 1); 7,853(n_k = 2); 10,996(n_k = 3); 14,137(n_k = 4); 17,279(n_k = 5);$$

E - модуль пружності матеріалу стрижня щодо розтягання, МПа;

$I_{\text{СТ}}$ - осьовий момент інерції перетину стрижня, см⁴,

γ - прискорення сили тяжіння, м/с²;

$S_{\text{ст}}$ - площа перетину стрижня, м^2 ;
 ρ - питома вага (щільність) матеріалу стрижня кг/м^3 ;

$c_{\text{ст}}$ - швидкість поширення звуку при поздовжніх коливаннях, м/с , яка для твердих матеріалів (стрижня) щільністю ρ має наступну залежність [3]:

$$c_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

Для стрижня прямокутного перетину:

$$BV_{\text{ст}} \cdot H_{\text{ст}} \left(l_{\text{ст}} = B_{\text{ст}} \cdot H_{\text{ст}}^3 / 12; S_{\text{ст}} = B_{\text{ст}} \cdot H_{\text{ст}} \right),$$

і формула (1) приймає вигляд:

$$f_{\text{cm}} = \frac{\lambda_{\text{cm}}^2}{2\pi l_{\text{cm}}^2} c_{\text{ст}} \frac{H_{\text{cm}}}{\sqrt{12}} \quad (3)$$

З формули (3), зокрема, слідує, що власна частота згинальних коливань $f_{\text{ст}}$ стрижня не залежить від його ширини $B_{\text{ст}}$. Це дає можливість частково використовувати цю залежність для розрахунку згинальних коливань випромінюючої пластини однакої зі стрижнем товщини $H_{\text{пл}} = H_{\text{cm}}$, причому розміри цієї пластини (довжина й ширина) повинні бути пропорційні знайдений величині довжини хвилі $l_{\text{ст}}$.

Звідси, знаючи (або задавши) резонансну частоту УЗК $f_{\text{ст}}$, одержують вираз для довжини стрижня $l_{\text{ст}}$:

$$l_{\text{cm}} = \frac{\lambda_{\text{cm}}}{2} \sqrt{\frac{c_{\text{ст}} \cdot H_{\text{cm}}}{\pi \cdot \sqrt{3} \cdot f_{\text{ст}}}} \quad (4)$$

Метою проведених досліджень було розроблення на основі способу найближчого аналога [2] удосконаленого способу збирання і перевірки працездатності УЗ-кавітаційного пристрою з випромінюючою пластиною, що здійснює згинальні коливання, на базі п'єзокерамічних перетворювачів і трансформаторів швидкості, а також експериментальна перевірка працездатності зібраного пристрою.

Крім того, розроблюваний спосіб повинен дозволити здійснювати збирання кавітаційних апаратів для різних розмірів випромінюючої пластини й різних технологічних умов УЗ-обробки.

При розробці пропонованого способу збирання УЗ-кавітаційний апарат з випромінюючою пластиною розглядався як резонансна механічна система, для якої після збирання передбачався розрахунок резонансних акустичних розмірів утворюючих її елементів. З огляду на значну складність коливальної системи, що розглядається, зробили такі припущення:

1). взаємний вплив УЗ-перетворювачів, установлених у регулярному порядку по ширині й довжині випромінюючої пластини, є незначним;

2). зневажали взаємним впливом згинальних хвиль у поздовжньому й поперечному напрямках випромінюючої пластини, тобто не враховували коливання, що викликані гармоніками n -го порядку;

3). вплив озвучуваного середовища (рідини, сухої або просоченої тканини) на коливальну систему також визнавали незначним.

Точність розрахунку складаючих конструктивних елементів відповідно до даного способу і, відповідно, ефективність роботи пластинчастого УЗ-кавітатора, в значній мірі залежать від якості контакту випромінювачів УЗ із внутрішньою (нижньою) поверхнею випромінюючої пластини кавітатора.

В ідеальному випадку в місці контакту повинні спостерігатися мінімальні акустичні втрати, тобто з'єднання повинно бути дуже щільним і з високоякісно виконаними контактуючими поверхнями. Крім того, площадка контакту повинна бути меншого розміру в порівнянні з напівхвилею згинальної деформації.

Оскільки в УЗ-кавітаційних апаратах із площинною випромінюючою пластиною постійного перетину передбачається тільки резонансний режим роботи, що є найбільш ефективним з погляду озвучування робочого середовища (рідини або речовини), то можна не брати до уваги перехідні процеси, що відбуваються в регулярно встановлених на нижній частині випромінюючої пластини п'єзоелектричних перетворювачах.

Спосіб ілюструється Фіг.1-5, де:

на Фіг.1 показана схема регулярного розміщення УЗ-вібраторів на нижній поверхні робочої випромінюючої пластини, що здійснює резонансні згинальні коливання (пунктирною лінією позначені границі подібної ділянки пластини з елементами її кріплення до вібратора УЗК);

на Фіг.2-3 - порядок розміщення й підключення УЗ-вібраторів, зібраних на п'єзоелектричних перетворювачах, на нижній частині випромінюючої пластини по її довжині (Фіг.2) і на стрижні (хвилеводі) шириною $B_{\text{ст}}$, що здійснюють згинальні коливання (Фіг.3);

на Фіг.4 - розрахункова схема однохвильового УЗ-диспергатора із симетричним п'єзоелектричним пакетним перетворювачем;

на Фіг.5 - розташування двох магнітострикційних перетворювачів ПМС (ПМС-1 і ПМС-2) у залежності від ширини $B_{\text{н}}$ оброблюваного УЗ тканого наповнювача.

На Фіг.1-4 прийняті наступні позначення:

1 - випромінююча пластина (стрижень), або випромінюючий циліндр еквівалентного перетину;

2 - місця кріплення УЗ-вібраторів на нижній поверхні робочої випромінюючої пластини;

3 - хвилі згинальних коливань по довжині $L_{\text{пл}}$ пластини;

4 - хвилі згинальних коливань по ширині $B_{\text{пл}}$ пластини.

5 - УЗ-вібратори (№№1-5), що зібрані на базі п'єзокерамічних перетворювачів 6;

6 - п'єзокерамічні перетворювачі;

7 - УЗ-генератор;

8, 10 - накладки, що понижають частоту (10 - демпфер);

9 - електроди товщиною 0,2-0,3 мм;

11 - концентратор УЗК (трансформатор швидкості);

12 - хвиля поздовжніх коливань довжиною λ .

Крім того, на Фіг.4 прийняті такі позначення:

a_1, E_1, S_1 і a_2, E_2, S_2 - відповідно товщина, модуль пружності щодо розтягання й площа торцевої поверхні накладки 10, що понижує частоту, і п'єзокерамічної шайби 6;

c_1 і c_2 - відповідно швидкість звуку в матеріалі накладки 10, що понижує частоту, і п'єзокерамічної шайби 6;

E_3, c_3 - відповідно модуль пружності і швидкість звуку в матеріалі концентратора коливань і прилягаючої до нього накладки 8, що понижує частоту;

E_4, S_4, c_4 - відповідно модуль пружності щодо розтягання, площа поперечного перетину й швидкість звуку в матеріалі циліндра 1, еквівалентного по масі елементу з поверхнею випромінюючої пластини 1.

Вихідними даними для розробленого способу у частині розрахунку конструктивних елементів складеного перетворювача є резонансна частота УЗК $f_{\text{ст}}$, характерна для конкретного технологічного процесу УЗ-модифікації (наприклад, це може бути робоча частота УЗ-генератора), інтенсивність УЗ-кавітації, а також ширина оброблюваного тканого наповнювача (або об'єм УЗ-ванни для озвучування полімерного зв'язуючого).

Підведення акустичної енергії до кавітаційного апарата на базі випромінюючої пластини 1 (див. Фіг.1) здійснювали за допомогою випромінювачів УЗ 5, які фіксували щільно до пластини за допомогою нарізного сполучення й зварювання.

Уздвож (див. Фіг.2-3) і поперек (див. Фіг.1) випромінюючої пластини 1 регулярно розміщували кілька секцій з випромінювачами УЗ, що давало можливість забезпечити необхідну площу випромінюючої поверхні (див. Фіг. 2-3).

Резонансна частота згинальних коливань $f_{\text{ст}}$ випромінюючої пластини 1 і необхідна площа випромінювання кавітатора дають можливість вибрати необхідну кількість УЗ-випромінювачів, які можна встановити на її нижній поверхні. При цьому для досягнення максимального ефекту розміщені поруч випромінювачі УЗ підключали проти-фазно, а випромінювачі, що розміщували через один - синфазно.

Оскільки випромінювачі УЗ можуть живитися як від одного, так і від двох УЗ-генераторів 7, то у випадку застосування одного УЗ-генератора необхідний протифазний режим роботи досягався врахуванням полярності п'єзоелементів при збиранні відповідних випромінювачів УЗ.

Задіяні в кавітаційному апараті випромінювачі УЗ були зібрані за схемою однохвильової акустичної системи (див. Фіг.4). Джерелом УЗК був складений п'єзоелектричний перетворювач, зібраний із двох установлених послідовно п'єзодіелектриків 6, підключених паралельно до УЗ-генератора 7.

Необхідне значення резонансної частоти коливань п'єзоелектричного перетворювача досягалося вибором акустичних розмірів і властивостей

матеріалу демпфера 10 і трансформатора швидкості 11.

Оскільки ефективність роботи подібного кавітаційного апарата з випромінюючою пластинною визначається рівнем кавітації, що досягається при обробці робітничого середовища, а сам апарат, у свою чергу, залежить від ефективності коливань випромінюючої пластини, те резонансний режим згинальних коливань випромінюючої пластини є головним чинником, з яким варто погоджувати резонансну частоту поздовжніх коливань складених п'єзоелектричних перетворювачів.

Як контрольовані параметри низькочастотних коливань ультразвукового діапазону (16-24 кГц) вибирали частоту f , інтенсивність I й амплітуду A пружних коливань, генеруємих зовнішньою поверхнею випромінюючої пластини в навколишнє середовище.

Спосіб реалізують наступним чином.

Як випромінювач ультразвукових коливань використовують складений випромінювач ультразвуку у вигляді верхньої і нижньої частотопонижуючих накладок, кожна з яких виконують контактною через електроди з парою п'єзокерамічних перетворювачів у вигляді кілець.

При цьому верхню накладку з'єднують з трансформатором швидкості або з концентратором ультразвукових коливань, а нижню - з джерелом ультразвукових коливань у вигляді генератора. А контакт випромінюючої пластини з випромінювачем ультразвукових коливань забезпечують за мінімальних акустичних втрат.

Після цього здійснюють перевірку працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою шляхом оцінки рівномірності кавітаційного поля випромінюючої пластини по ширині і довжині пластини за резонансного режиму її згинальних коливань.

У свою чергу, розрахунок акустичних елементів складеного перетворювача здійснюють у наступній послідовності.

1. Задають бажану резонансну частоту УЗК $f_{\text{ст}}$, характерну для конкретного технологічного процесу, і визначають інтенсивність УЗ-кавітації (наприклад, це може бути частота УЗК УЗ-генератора 7).

2. Вибирають матеріал ($c_{\text{пл}} = c_4, E_{\text{пл}} = E_4$) і

товщину $H_{\text{пл}}$ випромінюючої пластини 1 (див. Фіг.1), виходячи з конструктивно-технологічних особливостей реалізації конкретного технологічного процесу (озвучування рідких композицій, просочування чи дозованого нанесення).

3. Для вибраної резонансної частоти УЗК $f_{\text{ст}}$ визначають по формулі (4) довжину хвилі $\ell_{\text{ст}}$ згинальних коливань випромінюючої пластини 1 з урахуванням бажаної моди коливань n_k (або порядку частоти $\lambda_{\text{ст}}$).

4. Загальні розміри випромінюючої пластини 1, тобто її довжину $L_{\text{пл}}$ і ширину $B_{\text{пл}}$ вибирають кра-

тними величині довжини хвилі $\ell_{\text{ст}}$, тобто $L_{\text{пл}} = N_L \ell_{\text{ст}}, V_{\text{пл}} = M_V \ell_{\text{ст}}$.

При цьому на ширину пластини $V_{\text{пл}}$ може накладатися також умова перекриття пластиною ширини тканого волокнистого наповнювача.

5. Залежно від отриманої кількості пучностей, що утворюються при згинальних коливаннях з довжиною хвилі $\ell_{\text{ст}}$, по довжині й ширині випромінюючої пластини 1, визначають кількість складених УЗ-випромінювачів, установлених по довжині (N) й ширині (M) пластини і контактуючих з нею.

При цьому максимальна кількість УЗ-випромінювачів, установлених по довжині пластини $L_{\text{пл}}$ для одержання рівномірної інтенсивності випромінюючої поверхні дорівнює: $N = 2N_L - 1$, а максимальна кількість УЗ-випромінювачів, які встановлюються по ширині випромінюючої пластини $V_{\text{пл}}$, дорівнює $M = 2M_V - 1$.

6. Розраховують масу елементів кріплення складеного УЗ-випромінювача з урахуванням приєднаної маси окремої ділянки (секції) випромінюючої пластини, тобто характеристики так званого еквівалентного циліндра.

7. Під резонансну частоту $f_{\text{ст}} = f_{\text{пл}}$ випромінюючої пластини 1 розраховують акустичні розміри елементів складеного УЗ-випромінювача (a_1, a_3, ℓ).

Причому вихідними даними для розрахунку акустичних розмірів УЗ-випромінювача є геометричні розміри і фізичні параметри застосовуваного п'єзоматеріала 6 (a_2, c_2, E_2, S_2), трансформатора швидкості 11 (c_3, E_3, S_3), частотопонижаючих накладок 8, 10 (c_1, E_1, S_1), а також питома акустична потужність.

Нижче наведено приклад реалізації розробленого способу.

Експериментально було знайдено, що для досягнення ефективних результатів у технології формування композиційно-волокнистих полімерних матеріалів, 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 $f_{\text{уз}} = f_{\text{ст}} = 18 - 22$ кГц (для розрахунку приймемо $f_{\text{уз}} = 22$ кГц); амплітуда УЗК 3-5 мкм; інтенсивність 2-4 Вт/см².

Як вказувалось вище, на ширину пластини $V_{\text{пл}}$ може накладатися також умова перекриття пластиною ширини тканого волокнистого наповнювача (яка у нашому випадку становить 1100-1200 мм - див. Фіг.5).

Для цього використовували по дві ($K=2$) пластини з магнітострикційними (або п'єзоелектричними) перетворювачами шириною $V_{\text{пл}} = V_{\text{пмс}} = 150$

мм і довжиною $L_{\text{пл}} = L_{\text{пмс}} = 600$ мм кожна, розташовані поряд і з кожного боку від тканого наповнювача, тобто задовольняли умову $V_{\text{н}} \leq K \cdot L_{\text{пл}}$ (див. Фіг. 1-4).

Обрана товщина випромінюючої пластини 1 становить $H_{\text{пл}} = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$; матеріал - нержавіюча сталь марки 1ХН18Н9Т з такими характеристиками: швидкість звуку $c_{\text{пл}} = c_4 = 5,2 \cdot 10^3$ м/с; модуль пружності щодо розтягання $E_4 = 20,5 \cdot 10^4$ МПа.

Обчислена по формулі (4) довжина згинальних коливань пластини при $\lambda_{\text{ст}} = 4,750$ ($n_k = 1$) складе:

$\ell_{\text{ст}} = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$. Тоді максимальна кількість перетворювачів, яку можна встановити по довжині випромінюючої пластини $L_{\text{пл}} = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м}$, дорівнює: $N = 2N_L - 1 = 2 \cdot 12 - 1 = 23$, а максимальна кількість перетворювачів M, що можна встановити по ширині випромінюючої пластини $V_{\text{пл}} = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$, дорівнює: $M = 2M_V - 1 = 2 \cdot 3 - 1 = 5$.

Для матеріалу частотопонижаючих накладок 8 і 10 (демпферів) на основі сталі 40Х13 маємо: швидкість звуку $c_1 = 5,2 \cdot 10^3$ м/с; модуль пружності

$E_1 = 2,05 \cdot 10^5$ МПа; вибраний наріжний діаметр частотопонижаючих накладок 8, 10 складає 40,2 мм = 0,042 м; їх внутрішній діаметр - 0,012 м.

Задамо конструктивно необхідне значення розміру товщини a_2 для випадку збирання на базі чотирьох п'єзокерамічних кілець 6 марки 841 зовнішнім діаметром $d_6 = 38$ мм, а саме: $a_2 = 25,6 \text{ мм} = 0,0256 \text{ м}$. Швидкість поширення звуку в матеріалі кільця 6 дорівнює: $c_2 = 2,5 \cdot 10^3$ м/с;

модуль пружності $E_2 = 6,3 \cdot 10^4$ МПа. Питома акустичну потужність для п'єзокераміки, що використовується в діапазоні 18-22 кГц, звичайно приймають рівною 1-3 Вт/см².

Значення товщини a_1 частотопонижаючих накладок 8 і 10, знайдене по формулі (5):

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} \arctg \frac{E_2 S_2 c_1 \text{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 + E_1 S_1 c_2 \text{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 \text{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 \text{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2} - a_2 \quad (5)$$

склало 15,73 мм, довжина ступені концентратора 11 меншого діаметра a_3 відповідно до формули

$$a_3 = \frac{c_3}{\omega} \arctg \frac{E_3 S_3 c_4}{E_4 S_4 c_3 \text{tg} \frac{\omega}{c_4} b} \quad (6)$$

склало $a_3 = 18,7$ мм,

а значення довжини ступені ℓ ділянки більшого діаметра концентратора згідно наступної формули (7)

$$\ell = \frac{c_3}{\omega} \frac{\pi}{2} = \frac{c_3}{4f}, \quad (7)$$

склало 55,91 мм.

Рівномірність руйнування тонкої алюмінієвої фольги, установленної паралельно випромінюючій поверхні пластини 1, дала можливість припустити про рівномірність кавітаційного поля пластини.

Порівняльний аналіз розрахункових параметрів, отриманих відповідно до пропонованого способу, і експериментальних параметрів, отриманих на виготовленому й впроваджену в технологічний процес кавітаційному апараті з випромінюючою пластиною, що здійснює згинальні коливання, підтверджує, що погрішність розрахунків конструктивних елементів складеного перетворювача за розробленим способом не перевищує 10 %, тоді як для відомих способів - понад 20 %.

Крім того, розроблений спосіб спрощує процес збирання і підвищує достовірність (у тому числі за рахунок наявності відповідних аналітичних залежностей) та наглядність результатів перевірки працездатності зібраного ультразвукового кавітаційного пристрою шляхом проведення ефективної послідовності операцій збирання, що забезпечують мінімальні акустичні втрати, а також усувають необхідність проведення коштовних і численних експериментальних досліджень в процесі збирання, а також приводять до отримання рівномірного поля вигинних коливань випромінюючої пластини в процесі її роботи за резонансного режиму.

Розроблений спосіб вибору і розрахунку конструктивних параметрів УЗ-кавітатора з випромінюючою пластиною був перевірений при створенні декількох моделей кавітаційних апаратів для хімі-

чної промисловості, зокрема, для регулювання дозованого нанесення полімерного зв'язуючого у просоченій скловолокнистій тканині електроізоляційного призначення шириною 1120 мм.

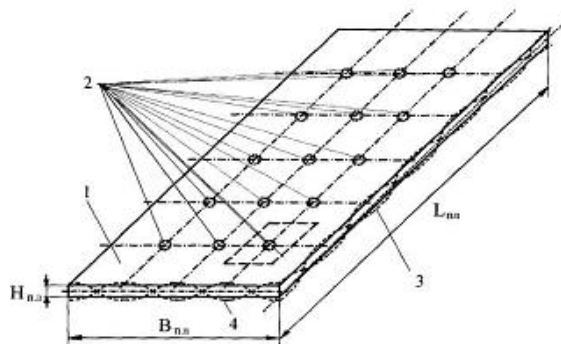
З його допомогою на базі московського радіотехнічного заводу (м. Москва) та науково-технічного центру "Атол" (м. Київ) були створені експериментальні УЗ-кавітаційні апарати потужністю 2,5 кВт, призначені для УЗ-просочування електроізоляційних склотканин і наступного формування фольгованих діелектриків для Всеросійського науково-дослідного і проектно-технологічного інституту електроізоляційних матеріалів і фольгованих діелектриків (НВО "Діелектрик", м. Москва).

Розроблений спосіб дає можливість створювати широку гаму типорозмірів кавітаційних апаратів для різних розмірів випромінюючої пластини й різних технологічних умов.

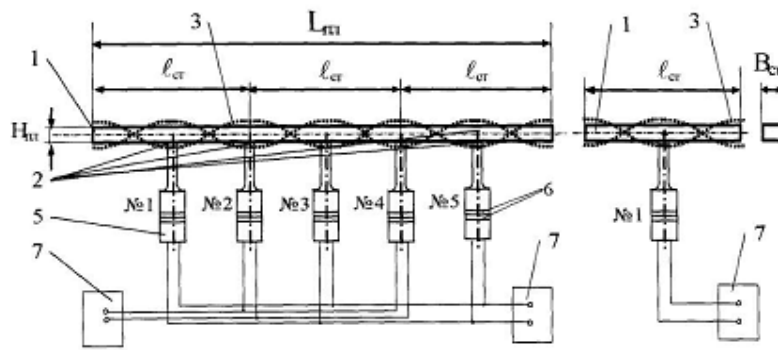
Конструкція УЗ-кавітаторів розглянутого типу дозволяє за рахунок зміни кількості секцій з випромінювачами змінювати потужність апаратів у широких межах. Експлуатація експериментальних зразків розглянутого типу УЗ-кавітаторів різних потужностей підтвердила їхню високу ефективність, надійність і легкість в обслуговуванні.

Джерела інформації:

1. Донской А. В., Келлер О. К., Кратыш Г. С. Ультразвуковые электротехнологические установки. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 208 с.
2. Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
3. Кумабэ Д. Вибрационное резание. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
4. Гершгал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. - М.: Энергия, 1976. - 320 с.

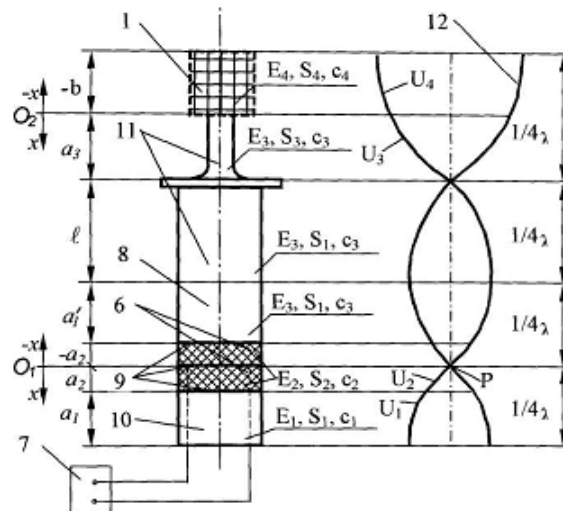


Фіг. 1

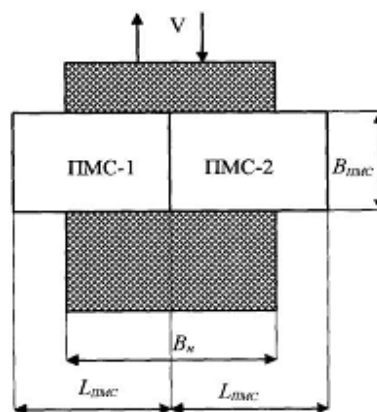


Фиг. 2

Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5