

П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРВАЧІ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ТЕХНОЛОГІЇ

Ультразвук (УЗ) являє собою звукову хвилю діапазоном від 18 кГц до 1 ГГц, який лежить за межею чутливості слухового апарату людини. За своєю природою УЗ хвиля не відрізняється від хвиль чутного діапазону і підпорядковується тим же фізичним законам [1].

В якості джерел ультразвуку широке застосування знайшли електроакустичні перетворювачі, оскільки електрична енергія найбільш універсальна у використанні, зручна в розподілі, управлінні, вимірі і перетворенні в інші види. Електроакустичні перетворювачі в залежності від фізичної природи ефекту перетворення поділяються на класи: електродинамічні, електростатичні, п'єзоелектричні, електромагнітні, магнітострикційні. В УЗ технології переважно використовують магнітострикційні і п'єзоелектричні перетворювачі, так як вони дозволяють досить ефективно перетворювати і випромінювати в навантаження більшу щільність енергії.

Взаємодія зовнішнього електричного поля з дипольними моментами п'єзоелектричного матеріалу призводить до переміщення іонів в його кристалах. Це явище супроводжується деформацією кристалів і називається зворотним п'єзоелектричним ефектом. Якщо той же самий кристал деформувати, то відбудеться зворотне - зміниться розташування іонів, а також величина і напрямок дипольного моменту. При цьому на поверхні кристала з'являються заряди, що називається прямим п'єзоелектричним ефектом. Кількісно п'єзоэффект характеризується відносною зміною лінійних розмірів при накладенні електричного поля. Математично він виражається часткою від ділення відносної зміни геометричних розмірів $\Delta l/l$ на прикладену напругу U . Ця величина називається п'єзоелектричної постійною.

П'єзоелектричний ефект добре проявляється у природно або штучно вирощеного монокристала кварцу або сегнетової солі, а також у деяких керамічних матеріалів (наприклад, у титанату барію - BaTiO_3 ; цирконате-титанату свинцю - ЦТС) [2]. Змінне електричне поле частоти бажаного ультразвуку подається через напилені металеві електроди, розташовані на протилежних гранях зразка, виготовленого певним чином з п'єзоелектрика. При цьому виникають механічні коливання, які і поширюються у вигляді ультразвуку в суміжному рідкому або твердотільному середовищі. П'єзоелектричні перетворювачі у вигляді тонких кристалічних пластинок можуть випромінювати потужні ультразвукові хвилі частотою до 1 ... 3 МГц (в лабораторних умовах отримані частоти до 1000 МГц) [3]. Довжина ультразвукової хвилі (обернено пропорційна частоті) дуже мала, тому з таких хвиль, як і з світлових, можна формувати цілеспрямовані пучки. Перевага керамічних п'єзоелектриків полягає в тому, що з них можна відливати, пресувати або отримувати видавлюванням перетворювачі різних розмірів і форм. Перетворювач, виконаний в вигляді чаші сферичного контуру, здатний сфокусувати ультразвукове випромінювання в малу пляму дуже великої інтенсивності. Ультразвукові лінзи фокусують звукові хвилі так само, як лупи фокусують світло.

П'єзокераміка має високий п'єзомодуль, значної діелектричної проникності, малою гігроскопічністю, порівняно великою механічною та електричною міцністю. Однак, їй властиве старіння, тобто зміна основних параметрів з часом.

Основними параметрами і характеристиками п'єзокераміки, що визначають її використання в якості УЗ перетворювачів, є п'єзомодуль d_{33} ; діелектрична проникність ϵ ; модуль Юнга E ; тангенс кута діелектричних втрат $\tan \delta$; залежність d_{33} , ϵ і $\tan \delta$ від температури; залежність d_{33} , ϵ і $\tan \delta$ від напруженості електричного поля; стабільність фізичних параметрів у часі. Ці параметри можна знайти в відповідних довідниках [3,4].

П'єзоелектричні перетворювачі, що використовуються в УЗ установках, є, як правило, резонансними системами, що працюють на частотах основного резонансу. Існує три основних типи п'єзоелектричних випромінювачів ультразвуку (рис. 1).

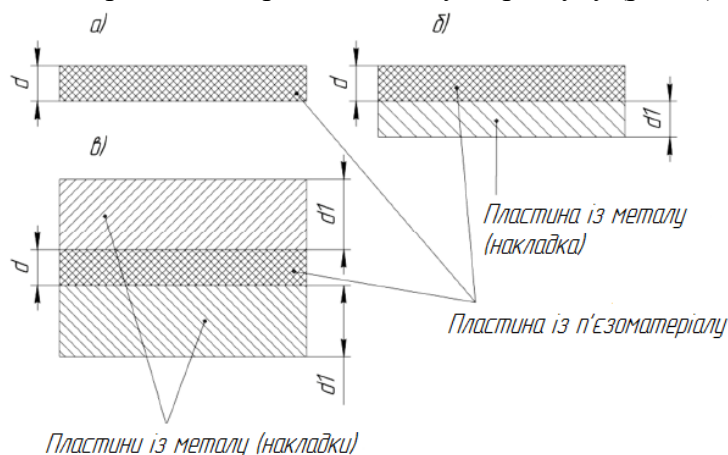


Рис. 1 – Найбільш поширені типи п'єзовипромінювачів:

а – напівхвильовий; б – четвертьхвильовий; в – багат шаровий.

Широко поширений напівхвильовий випромінювач (рис. 1, а), що складається з пластини п'єзоматеріалу круглої, кільцеподібної, прямокутної або іншої форми. Товщина пластини на частоті основного резонансу f_0 визначається виразом:

$$d = \lambda/2 = c/(2f_0), \quad (1)$$

де λ – довжина звукової хвилі в матеріалі перетворювача, м; c – швидкість поширення звуку в даному матеріалі, м/с.

Інтенсивність коливань напівхвильового перетворювача з одностороннім випромінюванням визначається виразом:

$$P'_{ак} = \frac{P_{ак}}{S} = 1,2 \frac{2\pi k_i U^2 d_{33}^2 E^2 \eta_{ма}}{(\rho_c)_{cp} d^2} \cdot 10^{-20}, \quad (2)$$

де $P'_{ак}$ – питома акустична потужність (інтенсивність) випромінювання, Вт/м²; $P_{ак}$ – повна акустична потужність, Вт; k_i – коефіцієнт (4 – для напівхвильового перетворювача) [5]; U – діюче значення напруги на перетворювачі, В; d_{33} – п'єзомодуль по товщині перетворювача, Кл/Н; E – модуль пружності (Юнга), Па; $\eta_{ма}$ – механіко-акустичний ККД перетворювача (зазвичай 0,75 ... 0,8) [5]; $(\rho_c)_{cp}$ – хвильовий опір середовища, кг/(м²·с).

При розрахунку напівхвильового перетворювача з одностороннім випромінюванням вихідними даними для розрахунку є: геометричні розміри, фізичні параметри застосовуваного п'єзоматеріалу і питома акустична потужність. Питому акустичну потужність $P_{ак}$ для п'єзокераміки, що використовується в діапазоні $f_0 = 300 \dots 1000$ кГц, зазвичай приймають рівною 5 Вт/м² [5].

Вплив ультразвуку на середовище породжує велику кількість специфічних ефектів, серед яких необхідно виділити явище ультразвукової (акустичної) кавітації в рідині. Під кавітацією в рідині розуміють появу заповнених паром і газом порожнин або бульбашок при локальному зниженні тиску в рідині до тиску насичених парів. При поширенні в рідині ультразвуковий хвиль навіть порівняно невеликої інтенсивності виникає змінний звуковий тиск. Під дією цього тиску рідина поперемінно відчуває стиснення і розтягування. Розтягуюче зусилля в області розрідження хвилі приводять до утворення в рідині розривів, тобто найдрібніших бульбашок, заповнених газом і паром. ці бульбашки називаються кавітаційними, а саме явище - УЗ кавітація.

Явище УЗ кавітації використовується надзвичайно різноманітно: його застосовують для отримання дрібнодисперсних емульсій незмішувальних рідин, збудження і прискорення хімічних реакцій, знищення шкідливих мікроорганізмів, екстрагування з тваринних і рослинних клітин ферментів, очищення деталей машин і механізмів, диспергування твердих тіл і рідин.

Література

1. Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В. Энергоэффективные электротехнологии в агроинженерном сервисе и природопользовании: учебное пособие. – СПб.: СПбГАУ, 2012. – 242 с.
2. Беззубцева М.М. Электротехнологии и электротехнологические установки: учебное пособие. – СПб.: СПбГАУ, 2012. – 242 с.
3. Беззубцева М.М., Ковалев М.Э. Электротехнологии переработки и хранения продукции в АПК. – СПб.: СПбГАУ, 2012. – 280с.
4. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства/ В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. - СПб. : Политехника, 2001. - 421 с.
5. Ультразвуковые электротехнологические установки / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.- 208 с., ил.