

Ф.І. Василенко, проф., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, канд. техн. наук, Л.П. Свяцька, інж.

Кіровоградський національний технічний університет

Проектування нестандартних ультразвукових випромінювачів

Наведено розрахунок нестандартних магнітострикційних перетворювачів значної потужності для проведення експериментальних досліджень ультразвукового впливу на властивості виробів із полімерних матеріалів, які отримані литтям під тиском.

полімер, ультразвук, випромінювач, розрахунок, магнітострикційний перетворювач

Важливим резервом підвищення ефективності використання сільсько-господарської техніки, економії матеріальних і трудових ресурсів є виготовлення деталей і вузлів з матеріалів з необхідними фізико-механічними характеристиками, а також їхнє відновлення. Зазначене особливо важливе відносно посівних машин, так як польові роботи проводяться в короткі терміни з дотриманням жорстких агротехнічних вимог. За даними статистичних

© Ф.І. Василенко, В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька, 2010

досліджень від 65% до 75% деталей сільськогосподарської техніки підлягають відновленню [1]. Ефективність їхньої повторної експлуатації досить висока. Встановлено, що найбільш інтенсивно зношуються робочі поверхні деталей типу тіл обертання (до 52% від загальної кількості деталей різної форми) [2]. Деталі циліндричної групи – вали, а також підшипники ковзання, – є одними з найбільш поширених деталей сільськогосподарських машин, від технічного стану яких залежить працездатність тракторів, комбайнів і іншої техніки.

Одним з методів відновлення зношених поверхонь підшипників ковзання є нанесення тонкошарових полімерних покриттів з термопластичних матеріалів з використанням різних наповнювачів. Використання ультразвукового впливу в процесі відновлення дозволяє поліпшувати експлуатаційні характеристики готового виробу [3].

Проте ультразвукова технологія відновлення поверхонь стримується відсутністю необхідного устаткування, а саме, ультразвукових генераторів, ультразвукових випромінювачів різноманітних типів, головним чином магнітострикційних, які спроможні розвинути значну потужність. Магнітострикційні перетворювачі поділяються на стрижневі, плоскі пакетні, кільцеві пакетні, феритові і складаються вони, як правило, з двох головних частин: активного елемента (магнітостриктору) і пасивного (акустичного трансформатору пружних коливань). Матеріалом для їх виготовлення є: нікель або його сплави у вигляді холоднокатаних стрічок, труб або стрижнів; ферити, пресовані зі спеціальних порошоків у вигляді виробів заданої форми [4 – 7].

Стрижневі випромінювачі застосовуються для частоти коливань від 2 до 20 кГц при використанні ультразвуку невеликої потужності. Для більш високих частот використання таких випромінювачів небажано з конструктивних міркувань. При виготовленні нестандартних стрижневих випромінювачів основна власна частота пружних подовжніх коливань стрижня, який закріплено посередині, визначається по формулі:

$$f = \frac{n}{2 \cdot l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

де n – порядок гармоніки;

E – модуль пружності Юнга;

l – довжина стержню;

ρ – густина матеріалу стержня.

В стержневих вібраторах можуть виникати коливання вищих гармонік другого, третього і інших порядків. Найбільший коефіцієнт корисної дії отримують при значенні $n = 1$ на першій головній гармоніці.

Стержневі вібратори мають один суттєвий недолік – в процесі роботи вони сильно нагріваються вихровим струмом. Для усунення цього недоліку і підвищення потужності магнітострикційних перетворювачів використовуються багатострижневі плоскі пакетні випромінювачі.

Для плоского пакетного багатострижневого випромінювача основна частота коливань розраховується із залежності:

$$f = \frac{1}{2 \cdot l} \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot (1 + \frac{b}{2 \cdot l})}}, \quad (2)$$

де b – ширина накладки;

l – загальна вишина випромінювача ($l = h + 2 \cdot k$, де h – висота стержня; k – товщина стержня).

У свій час найбільш широко застосовували на підприємствах і у дослідних лабораторіях ультразвуковий генератор УЗГ-10, який комплектувався чотирма магнітострикційними випромінювачами ПМС-6 з випромінюючою поверхнею 300×300 мм, інтенсивністю випромінювання від 1,5 до 8 Вт/см², робочою частотою від 19 до 22 кГц і вихідною потужністю 2,5 кВт кожний. Ці випромінювачі розташовували, як правило, у спеціальних ваннах і використовували для підвищення якості і продуктивності процесу очищення поверхонь деталей від забруднення. Для стабільної роботи перетворювачів передбачалось водяне охолодження. Значно рідше застосовували магнітострикційні перетворювачі з концентраторами типу ПМС-15А-18. Ці випромінювачі мали такі технічні характеристики: робоча частота – від 19 до 22 кГц, потужність – 4 кВт, випромінююча поверхня – $\varnothing 65$ мм, амплітуда зміщення – 25 мкм; і використовувалися, наприклад, для поліпшення технологічного процесу відновлення деталей полімерним покриттям в ультразвуковому полі [3, 8].

Для проведення експериментальних досліджень ультразвукового впливу на властивості виробів із полімерних матеріалів, отриманих литтям під тиском, можливе переробка перетворювача типу ПМС-6. Для збільшення потужності випромінювача розмір робочої поверхні зменшено до 60×65 мм і повністю знята охолоджуюча водяна система. В результаті цих перетворень отримано компактний магнітострикційний випромінювач з резонансною частотою в межах від 20 до 24 кГц. Його можливо застосовувати для генераторів потужністю не більше 1 кВт з використанням для кріплення способу підвісної опори з лінією, зміщеною ближче до випромінюючої поверхні. Заміна водяної охолоджуючої системи на конвекційну привела до зниження інтервалу безперервної роботи перетворювача, але для проведення наукових досліджень цей недолік не є суттєвим.

Пакетні кільцеві випромінювачі виготовляють, як правило, з листового магнітострикційного матеріалу, який вирубано по заданим розмірам. Кільця набираються в пакет необхідної висоти. Направлення пружних коливань на боковій поверхні є радіальним. Випромінювачі працюють на частотах від 2 до 80 кГц. Для визначення основних параметрів перетворювачів використовується умова резонансу:

$$2 \cdot \pi R_C = \lambda_k,$$

де R_C – середній радіус кільця випромінювача;

λ_k – довжина хвилі у матеріалі кільця.

При використанні ультразвуку потужністю до 500 Вт доцільно використання феритових випромінювачів, які виготовляються з осердь циліндричної і П-образної форми. Схема установки стержневого вібратора показана на рис. 1.

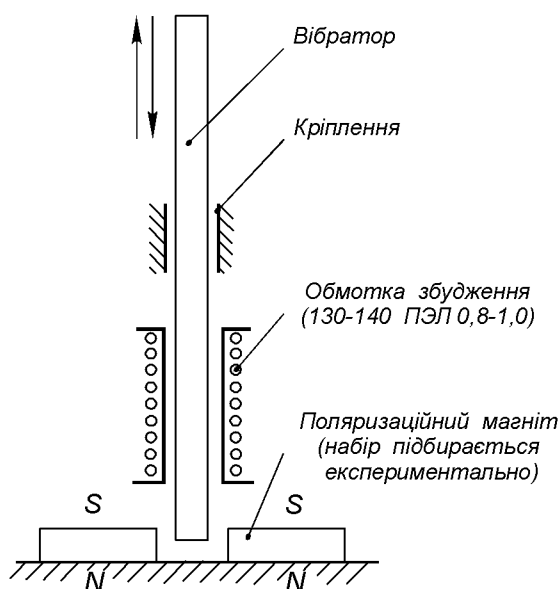


Рисунок 1 – Схема установки стержневого вібратора

Розрахунки нестандартних випромінювачів мають свої особливості. Наприклад, для розрахунку стержневого феритового випромінювача для заготовки з довжиною стержня 200 мм і діаметром 10 мм перша головна гармоніка ультразвукових коливань розраховується за формулою (1). З цієї формули можна знайти необхідну довжину вібратора для заданої резонансної частоти, використовуючи довідкові данні для фериту.

Але необхідно зауважити, що довідкова інформація має велику розбіжність значень. Наприклад, в попередньо проведених нами експериментах густина стержнів не перевищувала значення $4,86 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, в той час, як довідкова густина дорівнює $5,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ [4]. При відомих густині і модулі Юнга матеріалу швидкість звуку в фериті визначається залежністю:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Необхідна довжина стержня розраховується по формулі:

$$l = \frac{C}{2 \cdot f}.$$

Так, для частоти коливань $f = 20 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ довжина стержня становить приблизно 133 мм.

При виготовленні випромінювача низької частоти з феритів П-образної форми необхідно отримати замкнутий магнітопровід при попарному з'єднанні стержнів відшліфованими торцевими поверхнями. Розрахунок одинарного замкнутого магнітопровода, утвореного двома феритними стержнями П-образної форми (рис. 2), ведеться по формулі:

$$S_1 \cdot C \cdot \text{tgk} \cdot l_1 = S_2 \cdot \text{tgk} \cdot l_2,$$

де l_1 – половина довжини одного стержня;

S_1 – площа поперечного перерізу стержня;

l_2 – довжина накладки;

S_2 – площа накладки;

C – швидкість звуку в фериті;

k – хвильове число:

$$k = \frac{\omega}{C} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{C},$$

де ω – кругова частота.

Головна резонансна частота повинна бути кратною довжині напівхвилі $\lambda/2$.

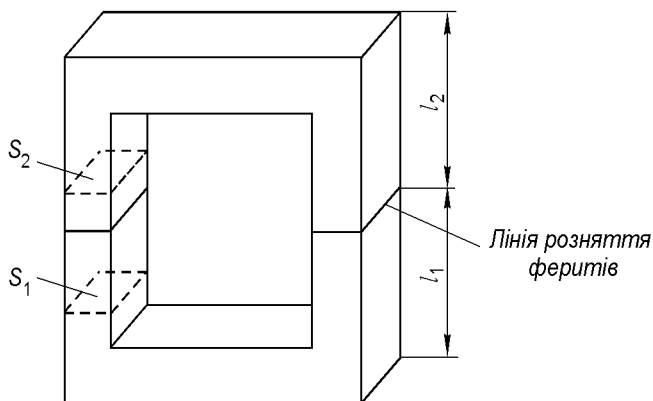


Рисунок 2 – Замкнутий магнітопровід з феритів П-образної форми

Використання феритових випромінювачів в межах дозволеного навантаження дає змогу вилучити водяне охолодження, отримати велике значення магнітострикційної постійної, велику магнітострикційну чутливість, отримати високу точку Кюрі, що дає можливість працювати при високих температурах (від 300 до 450° С).

Згідно приведеної методики були розраховані і виготовлені феритові магнітостриктори стрижневого типу на частоти коливань від 14 до 75 кГц, магнітостриктор з замкнутим магнітопроводом на частоту 44 кГц, а також був перелаштований магнітострикційний перетворювач типу ПМС-6 для озвучення полімерних матеріалів при литті під тиском.

Список літератури

1. М.И. Черновол, С.Е. Поединок, Н.Е. Степанов. Повышение качества восстановления деталей машин. – К.: Техніка, 1989. – 168 с.
2. М.И. Черновол. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. – К.: УМК ВО, 1989. – 256 с.
3. Василенко Ф.І., Лук'яненко Л.П., Свяцький В.В. Перевірка математичної моделі процесу відновлення деталей сільськогосподарської техніки полімерами в ультразвуковому полі // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8. – С. 308 – 311.
4. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. – М.: Машгиз, 1976. – 320 с.
5. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. – М.: Мир, 1972. – 424 с.
6. Ультразвуковая технология. / Под редакцией Б.А. Аграната. – М: Металлургия, 1974. – 504 с.
7. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. – М: Энергия, 1976. – 320 с.
8. Ф.І. Василенко, В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька. Керування якістю деталей, отриманих із склонаповнених поліамідів в ультразвуковому полі // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40, част. I. – С. 120 – 125.

Ф.Василенко, В.Свяцкий, Л.Свяцкая

Проектирование нестандартных ультразвуковых излучателей

Приведен расчет нестандартных магнитострикционных преобразователей значительной мощности для проведения экспериментальных исследований ультразвукового влияния на свойства изделий из полимерных материалов, полученных литьем под давлением.

F. Vasilenko, V. Svjatskiy, L. Svjatska

Design of non-standard ultrasonic radiators

Calculation non-standard magnetostrictor of high power for experimental researches of ultrasonic influence on productions property from the polymeric materials received by diecast is resulted.

Одержано 12.01.10