

## ГІРНИЧІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК 621.781:678.020.438

### ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НЕПЕРЕРВНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ГНУЧКИХ ПОЛІМЕРНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ РУКАВІВ

*М. П. Нестеренко, канд. техн. наук (Інститут ім. Є. О. Патона НАН України), І. К. Сенченков, докт. фіз.-мат. наук (Інститут механіки НАН України), З. П. Луговий, асп. (Інститут ім. Є. О. Патона НАН України)*

*Рассмотрены основные особенности технологии непрерывной ультразвуковой сварки гибких полимерных шахтно-вентиляционных труб. Предложен алгоритм автоматического управления технологическим процессом, обеспечивающего высокое качество соединения.*

Відомо [1], що заміна стрічкових швів на зварні при виготовленні гнучких шахтних вентиляційних труб (ГШВТ) значно підвищує їх експлуатаційні характеристики і зменшує витікання повітря крізь таке з'єднання. Крім того, застосування зварювання для отримання поздовжніх швів при виготовленні ГШВТ з стрічкових заготовок дозволяє практично повністю автоматизувати технологічний процес і здійснювати поточний контроль якості отримуваних з'єднань. Аналіз літературних даних і дослідження авторів вказують на те, що в даному випадку найбільш ефективним способом отримання зварних напусткових з'єднань є неперервне ультразвукове зварювання (УЗЗ). Це обумовлено такими факторами.

Для виготовлення ГШВТ використовують штучні шкіри, які являють собою дубльований матеріал, що складається з основи (лавсан, чефер, бавовна) і покриття з полівінілхлориду (ПВХ). Залежно від виду і кількості пластифікатора температура течії покриття з ПВХ може знаходитися в інтервалі від 340 до 440 К [2]. При зварюванні заготовок ГШВТ у зоні зварювання розвиваються такі температури, які призводять до розкладу ПВХ наслідок протікання реакцій дегідрохлорування. Оскільки ступінь розкладу полімеру залежить не тільки від температури, але й від тривалості її дії, то при використанні високотемпературних джерел нагріву можна зсувати процеси термодеструкції у високотемпературну область і, тим самим, запобігати виникненню продуктів розкладу в області шва [3]. З цієї точки зору найбільш прийнятним є ультразвукове зварювання, при якому швидкість нагріву на 3...4 порядки вища, ніж швидкість нагріву, при якій відбувається розклад покриття з ПВХ. Застосування УЗЗ пов'язане з рядом технологічних та технічних труднощів. У зв'язку з цим доцільно розглянути деякі особливості даного способу зварювання, визначити ступінь впливу основних параметрів режиму

неперервного УЗЗ на якість зварних з'єднань і сформулювати технічні вимоги до зварного обладнання, які забезпечують задані характеристики шва.

Відомо [4, 5], що технологічний процес УЗЗ з точки зору теорії управління належить до систем з неповною апіорною інформацією. Цей процес можна розглядати як багатовимірний об'єкт, на вході якого діють випадкові функції  $x(t)$  з компонентами  $x_1(t), \dots, x_n(t)$ . До змінних  $x_i(t)$  належать всі властивості (механічні, хімічні, розміри, початкова температура тощо) зварюваних заготовок. Хід технологічного процесу описується векторною функцією  $z(t)$  зі складовими  $z_1(t), \dots, z_k(t)$ , до яких належать параметри керуючих дій (амплітуда коливань хвилеводу  $A$ , резонансна частота  $f$ , зварне зусилля  $F$ ) і параметри, які є наслідком технологічного процесу (температура в зоні зварювання, деформації заготовок та ін.). Вихідні змінні описуються векторною випадковою функцією  $y(t)$ , компоненти якої  $y_1(t), \dots, y_m(t)$  є характеристиками отриманого продукту – міцність, герметичність, геометричні розміри, вартість тощо. Кожна з цих змінних повністю визначається у ймовірнісному розумінні всіма вхідними змінними або частиною їх. При цьому слід відмітити, що неможливо врахувати всі вхідні і вихідні змінні, які впливають на хід процесу УЗЗ, тому слід обмежуватись незначною частиною визначальних вхідних змінних, а решту вважати такими, що належать до неконтрольованих збурень (шумів). Вибір вхідних змінних в основному диктується чисто технологічними причинами (наприклад, можливістю вимірювання), а не ступенем і формою впливу на вихідну змінну. Так, зокрема, в процесі УЗЗ неможливо виміряти амплітуду коливань робочого торця хвилеводу, тому необхідно обмежуватись вимірюванням потужності, яка підводиться до коливальної системи. Така заміна рівнозначна введенню у систему деякого вектора шуму  $n(t)$ , який збільшує ентропію системи. Таким чином, технологічний процес неперервного УЗЗ належить до класу стохастичних об'єктів і його вхідні та вихідні змінні є також стохастичними. На рис. 1 показані фактори, які впливають на процес неперервного УЗЗ ГШВТ та якість шва.

Аналіз інформативності та ступеня контролюваності вхідних змінних дозволив з достатньою достовірністю виділити основну групу параметрів, що характеризують процес утворення нероз'ємного з'єднання. Комплексними параметрами вибрані: амплітуда коливань хвилеводу  $A$ , зварне зусилля  $F$  та швидкість протяжки зварних заготовок  $v$ . При проведенні досліджень була застосована методика, яка базується на теорії планування експерименту [6], а критерієм оптимізації була міцність шва  $\sigma$  на зсув. Центр досліджень та інтервали варіювання факторів визначались за допомогою попередньо проведених експериментів.

За нижній і верхній рівні варіювання амплітуди коливань хвилеводу були вибрані значення крайніх точок ( $A_- = 10$  мкм,  $A_+ = 45$  мкм), які могли бути реалізовані на даному типі установки.

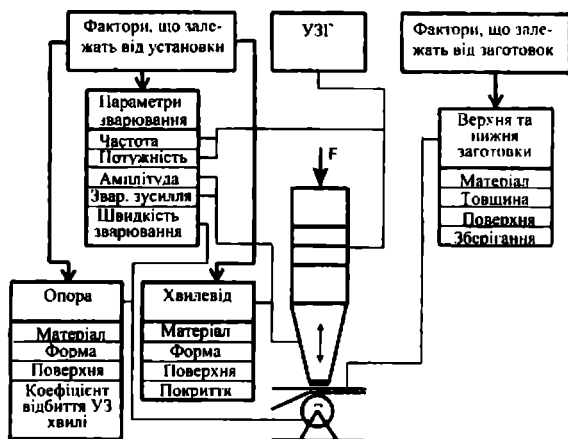


Рис. 1. Фактори, що впливають на процес неперервного ультразвукового зварювання ГШВТ

За нижній рівень зварного зусилля  $F$  була вибрана така величина навантаження, яка б забезпечувала акустичний контакт, достатній для передачі енергії механічних коливань у зону зварювання ( $F = 100 \text{ Н}$ ). Верхній рівень визначався значенням зусилля, при якому зварювання ставало практично неможливим внаслідок “заклинювання” матеріалу між робочим торцем хвилеводу і опорою ( $F_+ = 900 \text{ Н}$ ).

Верхній рівень швидкості протяжки  $v$  заготовок визначався самою можливістю здійснення зварювання ( $v = 5 \text{ м/хв}$ ). Нижній рівень був установлений, виходячи з технічних можливостей приводу зварювальної установки ( $v = 0,5 \text{ м/хв}$ ).

На рис. 2 наведено залежності розривного навантаження  $\sigma$  від основних параметрів неперервного УЗЗ листових заготовок з вінілісіпкіри на лавсановій основі. Кожна крива отримана при оптимальному фіксованому значенні двох останніх параметрів режиму зварювання. Однак, як показали дослідження, стабілізація основних технологічних параметрів не дозволяє отримати якісне зварне з'єднання по всій довжині рукавних заготовок внаслідок впливу неконтрольованих збурень (шумів). До них, головним чином, належить різномовчинність покриття з ПВХ, яка може досягати 20...30 %. Тому технологічний процес неперервного УЗЗ ГШВТ вимагає адаптивного управління, основними принципами якого є [5, 7]:

- максимальне використання ефекту саморегулювання процесу УЗЗ;
- оптимальна комбінація засобів локального керування по детермінованим функціям і комплексного керування по статистичним функціям;
- організація неруйнівного контролю зварного з'єднання.

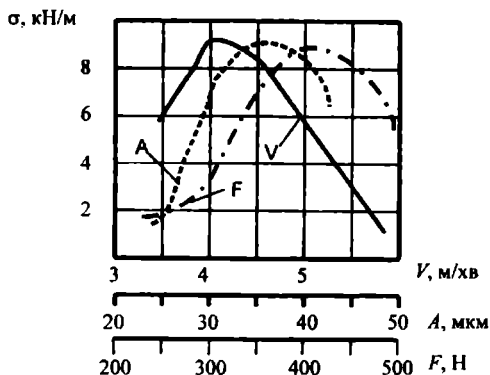


Рис. 2. Залежність розривного зусилля  $\sigma$  від швидкості  $V$ , амплітуди коливань хвилеводу  $A$  і зварного зусилля  $F$  при неперервному УЗЗ вінілісхіри

Реалізація цих принципів дозволила розробити систему адаптації і контролю режимів неперервного УЗЗ ГШВТ (рис. 3). Об'єктами керування у цій системі є: зона зварювання, ультразвукова коливальна система (УЗКС), ультразвуковий генератор (УЗГ) та механізм подачі заготовок у зону зварювання (на рисунку не показаний). За допомогою спеціальних засобів контролю і мікропроцесора здійснюється аналіз робочих характеристик виконавчих органів і забезпечується видача сигналів про параметри УЗЗ і позиціонування зварних заготовок.

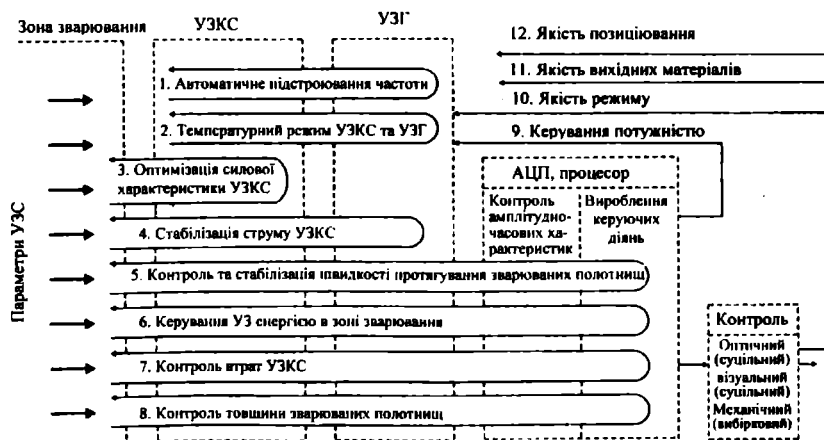


Рис. 3. Система адаптації і контролю режимів неперервного ультразвукового зварювання ГШВТ

Описана система адаптації має кілька замкнутих контурів регулювання з незалежними зворотними зв'язками локального керування окремими параметрами (контури 1...4) і комплексного керування групою параметрів з більш глибокими зворотними зв'язками (контури 5...8). При цьому не всі види нестабільності вхідних параметрів неперервного УЗЗ компенсуються зворотними детермінованими керуючими діями. Основна частина, що має стохастичний характер, визначається і компенсується засобами статистичного керування (контур 9), а решта – в контурах 10...12. Так, зокрема, розробка алгоритму контролю процесу неперервного УЗЗ з урахуванням різнотовщинності покриття з ПВХ по довжині заготовок і вироблення керуючих діянь дозволили створити ефективну автоматичну систему контролю якості зварювання [8]. Принцип її роботи полягає в тому, що при вмиканні механізму протяжки зварюваних заготовок з датчика локальної товщини, встановленого в зоні зварювання симетрично до осі акустичної головки, надходить вихідний сигнал на вхід мікропроцесора, вмонтованого у зварювальну установку. Величина і знак напруги, що знімається з датчика, є функцією товщини, виду матеріалу і визначаються експериментальним шляхом. В ОЗП зберігаються запрограмовані дані про оптимальні значення амплітуди хвилеводу (вихідної потужності УЗКС), які відповідають заданій швидкості протяжки і зварному зусиллю. Алгоритм керування діями по відхиленню товщини матеріалу забезпечує автоматичну зміну вихідної потужності УЗГ.

Розроблена система керування має ряд переваг: простота модифікації програми контролю, можливість створення банку даних про хід процесу, що, в свою чергу, дозволяє визначити систематичні відхилення у параметрах роботи устаткування і своєчасно попередити появу браку.

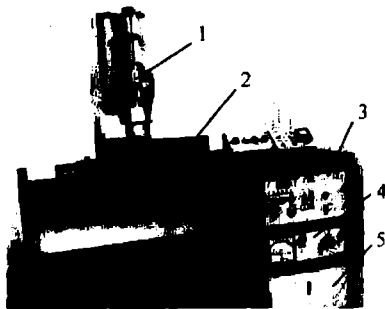


Рис. 4. Загальний вигляд ультразвукової установки для неперервного та шовно-крокового зварювання ГШВТ: 1 – ультразвукова коливальна система; 2 – механізм протяжки; 3 – мікропроцесор; 4 – ультразвуковий генератор; 5 – електропривід

На рис. 4 наведено загальний вигляд розробленої в ІЕЗ ім. Є. О. Патона зварювальної установки із вмонтованим мікропроцесором для неперервного УЗЗ, яку використовують для зварювання полімерів і, зокрема, для

виготовлення ГШВТ. Вихідна потужність УЗГ становить 1500 Вт, робоча частота – 20 кГц. Установка дозволяє виконувати неперервні поздовжні шви при формуванні трубної заготовки, а також виготовляти вузли з'єднання ГШВТ у шовно-кроковому режимі. При виконанні поздовжніх швів на зварюваних заготовках з вінілісшкіри рекомендуються такі параметри: амплітуда коливань хвилеводу – 35 мкм, зварне зусилля 400 Н, швидкість протяжки 4...4,5 м/хв. В установці передбачено: використання десяти критеріїв дозування енергії, що вводиться в зону зварювання; індикацію і запис основних параметрів режиму зварювання; підключення до ЕОМ з більш високим пріоритетом; керування транспортними механізмами; тестування всіх виконавчих вузлів; визначення втрат холостого ходу УЗКС; сигналізацію аварійного стану при перевищенні максимальної потужності УЗГ на 10 % протягом 30 мс; видачу сигналу при отриманні неякісного з'єднання.

1. *Комаров Г. В., Мацюк Л. Н., Шадрин А. А. и др.* Сварка термопластичных композиционных материалов. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 32 с.

2. *Волков С. С., Черняк Б. Я.* Сварка пластмасс ультразвуком. – М: Химия, 1986. – 256 с.

3. *Мозговой И. В.* Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров. – Красноярск: изд-во КГУ, 1991. – 280 с.

4. *Тарасенко О. В., Нестеренко Н. П., Потрохов А. В.* Управление процессом УЗС пластмасс по мощности, потребляемой колебательной системой // Автом. сварка. – 1985. – № 1. – С. 72–73.

5. *Основы управления технологическими процессами.* Под ред. Н. С. Райбмана. – М: Наука, 1978. – 440 с.

6. *Джонсон Н., Лион Ф.* Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Пер. с англ. / Под ред. Э. К. Лецкого – М: Мир, 1981. – 520 с.

7. *Робототехника и гибкие автоматизированные производства /* Под ред. И. М. Макарова. – М: Высшая школа, 1986. – Кн. 3. – 176 с.

8. *А.с. 1519915 СССР, МКИ<sup>1</sup> В 29 С 65/08.* Устройство для шовной ультразвуковой сварки полимерных материалов / Н. П. Нестеренко, А. В. Потрохов, И. Л. Беркова и др. – Опубл. 07.11.89, Бюл. № 41.