

**М.Ф. Дмитриченко, д.т.н., проф.**  
**О.П. Левківський, д.т.н., проф.**  
**Б.В. Шапошніков, к.т.н., проф.**  
**А.О. Корпач, к.т.н., проф.**  
**В.Г. Кошелев, ст. викл.**

*Національний транспортний університет*

## **ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС УЛЬТРАЗВУКОМ**

*Розглянуто зв'язок процесів тепловиділення і деформації в зоні зварювання пластмас ультразвуком.*

**Вступ.** Параметри режиму зварювання прийнято ділити на *основні* і *додаткові*. Таке ділення доцільно провести і для ультразвукового зварювання пластмас. До *основних параметрів* належать ті, що безпосередньо впливають на кількість механічної енергії, що підводиться до зварювальних матеріалів і перетворюється в теплову енергію. Такими параметрами є: амплітуда коливань робочого торця хвилеводу  $A$ , частота коливань  $f$  (кГц), тривалість ультразвукового імпульсу  $t_{зв}$  (с) або (у разі шовного зварювання) – швидкість зварювання  $V$  (м/с) і зварювальний тиск  $P_{ст}$  (Па) або зусилля притиснення  $F$  (Н) хвилеводу до матеріалу.

У випадках, коли дозування механічної енергії, що підводиться, здійснюється за спеціальними схемами, наприклад, при зварюванні з «фіксованим зазором» або «фіксованим осіданням», величина зазору або допустимого осідання можуть також вважатися основними параметрами. При зварюванні з попереднім і супутнім підігріванням чи охолодженням зварювальних деталей, температуру підігрівання або охолодження також слід віднести до основних параметрів, оскільки при цьому змінюються теплофізичні і релаксаційні характеристики матеріалу, що впливають на інтенсивність перетворення механічної енергії в теплову.

До *додаткових параметрів* режиму при ультразвуковому зварюванні належать параметри, за допомогою яких можна регулювати непродуктивні витрати енергії (енергію механічних коливань, що безповоротно втрачається в опорі або станині ультразвукової зварювальної машини, або теплоту, що йде зі зварювальної зони внаслідок тепловідводу в холодний хвилевід і опору). До додаткових параметрів належать також розміри, форма, матеріал опори і хвилеводу та теплоізоляційних прокладок, температура попереднього підігріву хвилеводу тощо.

**Викладення основного матеріалу.** Останніми роками успішно розробляються розрахункові методи визначення основних параметрів режиму ультразвукового зварювання пластмас і синтетичних тканин [1–4]. Проте, оскільки оптимальний режим зварювання залежить від ряду чинників, таких як властивості зварювальних матеріалів, товщина і форма виробу, стан контактуючих поверхонь й інших, які деколи важко врахувати, значення основних параметрів уточнюються у кожному конкретному випадку експериментально.

В процесі зварювання можливі відхилення від оптимального режиму, що може бути викликано, наприклад, коливаннями напруги живлячої мережі, нагріванням хвилеводу, зміною тиску, виходом коливальної системи з резонансу тощо. У зв'язку з цим важливо оцінити вплив зміни того або іншого параметра на міцність зварного з'єднання.

Правильність обраного режиму оцінюють за міцністю зварного з'єднання. Залежно від вимог, що висуваються до зварного виробу, перевіряють його герметичність, деформацію й інші показники.

Відомо [1], що час розігрівання полімеру до температури розм'якшення або плавлення кристалітів обернено пропорційний до квадрата амплітуди зсуву: при збільшенні амплітуди зсуву зростає енергія, що підводиться до зварювальних матеріалів.

Слід врахувати, що амплітуда робочого торця хвилеводу під навантаженням декілька нижча, ніж амплітуда на холостому ходу. Це обумовлено тим, що при розрахунку резонансної довжини хвилеводу останній розглядається як стрижень, що вільний на кінцях. Неврахування характеру навантаження на робочому торці хвилеводу призводить до виходу акустичної системи з резонансу, особливо при великому статичному тиску.

Так було виявлено, що при малих значеннях амплітуди зсуву робочого торця хвилеводу на холостому ходу різниця між його амплітудою при роботі під навантаженням і амплітудою коливань, що вводяться в зварюваний матеріал, незначна. При лінійному збільшенні амплітуди зсуву торця хвилеводу на холостому ходу практично лінійно збільшується і його амплітуда при роботі під навантаженням, причому різниця між цими амплітудами зростає. Нарешті, за амплітудою на холостому ходу, що дорівнює 60–65 мкм, вона при роботі під навантаженням приймає деяке постійне значення (в даному випадку – 36 мкм), тому стабілізується і час до початку плавлення кристалітів [5].

Цикл зварювання багато в чому визначає міцність зварного з'єднання, тому цикл зварювання при розробці технології та обладнанні закладається в основу вибору принципової схеми механізму тиску і включення ультразвукових коливань.

Найбільш поширений цикл ультразвукового зварювання (статичний тиск – ультразвук) представлений на рисунку 1, а. Статичний тиск  $P_{ст}$  прикладається до вмикання ультразвукових коливань ( $t_n$  – час попереднього стиснення), залишається постійним протягом всього зварювального циклу і знімається із запізненням на  $t_3$ .

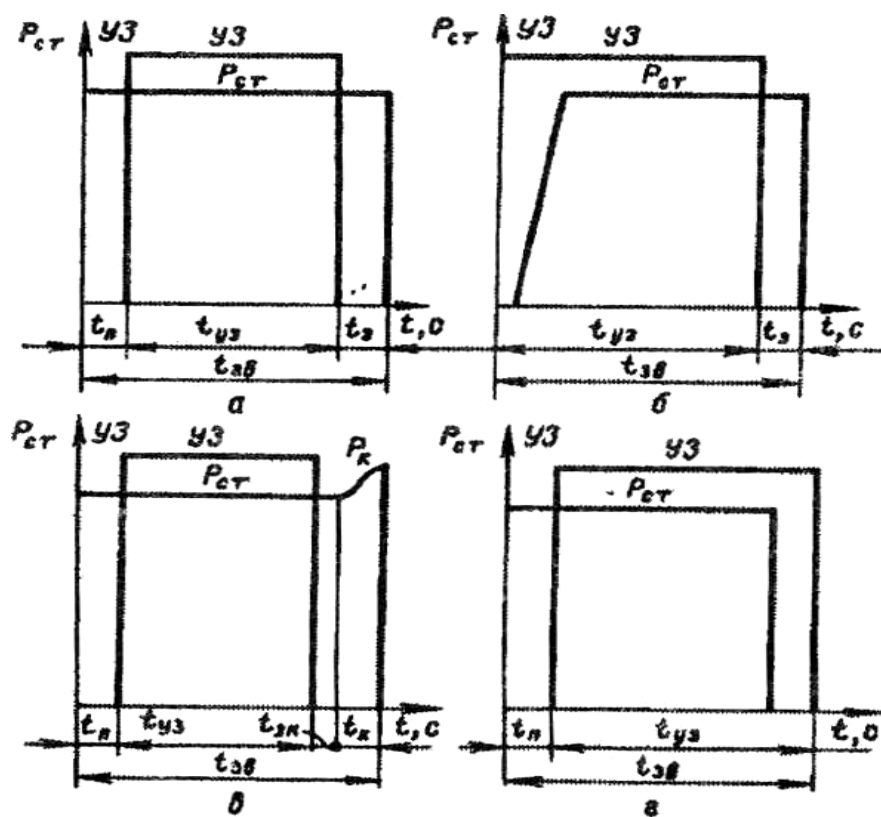


Рис. 1. Робочі цикли при ультразвуковому зварюванні пластмас

Велике значення для отримання високоякісного зварного з'єднання має охолодження зварного шва під тиском протягом часу  $t_3$ . Так при зварюванні поліетилену низької щільності витримка під тиском протягом 3 с дозволяє підвищити міцність зварних з'єднань на 40–50 %.

При циклі ультразвук–статичний тиск (рис. 1, б) ультразвукові коливання вмикаються до прикладання статичного тиску. Первинне включення ультразвуку дає можливість проводити очищення зварювальних поверхонь, забруднених різними речовинами. В цьому випадку зварювальний тиск прикладається до виробу поступово. Торкаючись виробу, хвилевід передає йому механічні коливання, тим самим очищаючи поверхню перш, ніж настає зварювання. По закінченні дії ультразвукових коливань тиск знімається з запізненням на  $t_3$ .

Для підвищення міцності зварного з'єднання в деяких випадках необхідно безпосередньо після вмикання ультразвукових коливань підвищувати тиск (рис. 1, в). Підвищений тиск  $P_k$  (кувальне зусилля) повинен слідувати за вимкненням ультразвукових коливань через невеликий, суворо контрольований інтервал часу  $t_{зк}$ . При надмірно великому  $t_{зк}$  застосування проковування небажане, оскільки зварювальний матеріал встигає остигнути до його початку. При дуже малому  $t_{зк}$  можливе витискування розплавленого матеріалу з-під хвилеводу під дією значного кувального посилення  $P_k$ . В цьому випадку можливі виплески і пропалення полімеру. Такий цикл часто використовується, коли необхідно отримати герметичний шов на об'ємних деталях, виконаних з удароміцного полістиролу. При цьому застосовуються спеціальні оброблення шва у вигляді замкових, клиноподібних канавок, де передбачені допуски на розтікання розплавленого полімеру.

На рисунку 1, г показано небажаний варіант розглянутого циклу ультразвукового зварювання, при якому вимкнення ультразвукових коливань відбувається при заздалегідь знятому зварювальному тиску. Попереднє зняття зварювального тиску при ввімкненому ультразвуку і підйом зварювального вузла від

зварювальної поверхні веде до погіршення якості з'єднання, значного її здимання (зварний шов в деяких випадках має гофри).

Активне управління процесом досягається стабілізацією температури поблизу заданого значення, що трохи перевищує  $T_{вт}$  або  $T_{пл}$ . Таке управління може полягати в зменшенні коефіцієнта режиму за рахунок зменшення амплітуди зсуву робочого торця хвилеводу до кінця процесу зварювання або за рахунок зменшення статичного тиску при збереженні незмінним положення зварювальної головки щодо опори.

**Висновок.** Такий цикл можна використовувати при односторонньому і двосторонньому зварюванні, коли потрібне формування розплаву в профільний зварний шов.

#### Список використаної літератури:

1. Ультразвукове зварювання в автомобілебудуванні / М.Ф. Дмитриченко, П.В. Шапошніков, В.Г. Кошелів та ін. – К. : НТУ, 2011. – 136 с.
2. Тростянская Е.Б. Сварка пластмасс / Е.Б. Тростянская, Г.В. Комаров, В.А. Шишкин. – М. : Машиностроение, 1967. – 252 с.
3. Холопов Ю.В. // Сварочное производство. – 1975. – № 8. – С. 38–39.
4. Волков С.С. Расчет и конструирование ультразвуковых сварочных машин / С.С. Волков, Ю.Н. Орлов, Б.Я. Черняк. – М. : ЦНИИТЭИлегпром, 1974. – 103 с.
5. Волков С.С. Сварка пластмасс ультразвуком / С.С. Волков, Б.Я. Черняк. – М. : Химич, 1986. – 256 с.

ДМИТРИЧЕНКО Микола Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Виробництво, ремонт та матеріалознавство” Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;
- технологія машинобудування;
- зварювання тиском;
- фізико-хімічні основи виробництва металів.

Тел.: (044)280–20–77; 280–98–05.

ЛЕВКІВСЬКИЙ Олександр Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;
- технологія машинобудування;
- зварювання тиском;
- фізико-хімічні основи виробництва металів.

Тел.: (044)280–20–77; 280–98–05.

ШАПОШНИКОВ Борис Вікторович – кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;
- технологія машинобудування;
- зварювання тиском;
- фізико-хімічні основи виробництва металів.

Тел.: (044)280–20–77; 280–98–05.

КОРПАЧ Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, професор кафедри “Двигуни і теплотехніка” Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;
- технологія машинобудування;
- зварювання тиском;
- фізико-хімічні основи виробництва металів.

Тел.: (044)280–20–77; 280–98–05.

E-mail: korpach@mail.ru

КОШЕЛЛЕВ Володимир Григорович – старший викладач кафедри “Виробництво, ремонт та матеріалознавство” Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;

- технологія машинобудування;
  - зварювання тиском;
  - фізико-хімічні основи виробництва металів.
- Тел.: (044)280-20-77; 280-98-05.

Стаття надійшла до редакції 14.08.2012

**Дмитриченко М.Ф., Левківський О.П., Шапошников Б.В., Корпач А.О., Кошелев В.Г.** Зварювання пластмас ультразвуком.

**Дмитриченко М.Ф., Левковський О.П., Шапошников Б.В., Корпач А.О., Кошелев В.Г.** Сваривание пластмасс ультразвуком

**Dmitrichenko N., Levkovskiy A., Shaposhnikov B., Korpach A., Koshelev V.** Welding of plastics by an ultrasound

УДК 629.33

**Сваривание пластмасс ультразвуком / Н.Ф. Дмитриченко, А.П. Левковський, Б.В. Шапошников, А.А. Корпач, В.Г. Кошелев**

Рассмотрена связь процессов тепловыделения и деформации в зоне сваривания пластмасс ультразвуком.

УДК 629.33

**Welding of plastics by an ultrasound / N.Dmitrichenko, A.Levkovskiy, B.Shaposhnikov, A.Korpach, V.Koshelev**

Connection of processes of calorification and deformation is considered in the zone of welding of plastics by an ultrasound