

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
Кафедра технологій зварювання та будівництва

**ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 131-Прикладна механіка,  
освітня програма «Технології та устаткування зварювання»

Затверджено на засіданні  
кафедри зварювального виробництва  
Протокол № 2 від 29.02.2024 року

Зварювання пластмас. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти 131 Прикладна механіка, освітня програма «Технології та устаткування зварювання». /Укл.: Олексієнко С.В., Болотов М.Г., – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 34 с.

Укладачі: Олексієнко Сергій Владиславович, кандидат технічних наук, доцент;  
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, Національного університету «Чернігівська політехніка»

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 Лабораторна робота №1. Дослідження процесів нагріву при зварюванні нагрітим газом.....	5
2 Лабораторна робота №2. Зварювання пластмас нагрітим газом з присадкою.....	7
3 Лабораторна робота №3. Зварювання пластмас нагрітим інструментом...	11
4 Лабораторна робота №4. Ультразвукове зварювання пластмас.....	15
5 Лабораторна робота №5. Зварювання пластмас тертям.....	18
6 Лабораторна робота №6. Зварювання пластмас розчинниками.....	21
7 Лабораторна робота №7. Склеювання металів і пластмас.....	24
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	27
ДОДАТОК А.....	28

## ПЕРЕДМОВА

В теперішній час вироби із пластмас і конструкції із пластмас широко використовуються в багатьох галузях промисловості.

Постійне збільшення виробництва пластмас обумовлене їх невеликою щільністю та високою стійкістю до корозії. Технологічні властивості пластмас дозволяють перероблювати їх з меншими затратами енергії, чим металічні матеріали, пластмаси також являються надійними діелектриками. Тому зварювання пластмас стало важливим і самостійним технологічним процесом виготовлення конструкцій.

В значно менших обсягах, ніж зварювання, при виготовленні конструкцій із пластмас використовується склеювання. Однак воно найбільш ефективно при виготовленні конструкцій з листових склопластиків. Також його використання дозволяє з'єднувати метали та сплави, зварювання чи паяння яких викликає значні труднощі.

Представлений цикл лабораторних робіт дисципліни «Зварювання пластмас» охоплює ряд питань з теоретичних основ зварювання пластмас. Постановка завдань лабораторних робіт та можливість при їх виконанні вибору предмету досліджень, матеріалів, методів та обладнання допомагає більш глибокому засвоєнню теоретичного матеріалу та оволодінню студентами технікою зварювання пластмас та склеювання металів і пластмас.

# **1 Лабораторна робота №1**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ НАГРІТИМ ГАЗОМ**

**Мета роботи** – вивчення впливу параметрів режиму зварювання нагрітим газом на температуру газу-теплоносія і розповсюдження тепла в матеріалі, що зварюється

### **1.1 Інформація для самостійної підготовки**

Для зварювання виробів із пластмас необхідно нагріти кромки, що зварюються, до пластичного стану. Для цього використовують теплову енергію газового теплоносія, нагрітого інструмента, розплавленого присадочного матеріалу, ультразвуку, струмів високої частоти і т.д.

При зварюванні термопластів нагрітим газом нагрів кромки деталей, що зварюються, і присадочного прутка до пластичного стану здійснюється струменем гарячого повітря чи інертних газів. Нагрів здійснюється до температури, яка перевищує температуру текучості полімеру, однак треба приймати до уваги ще одну температуру – температуру деструкції, при нагріві до якої пластмаса втрачає свої первісні властивості. Саме тому при зварюванні необхідно забезпечити стабільність температурного режиму, що покращує здатність до зварювання і якість зварних швів. З цієї точки зору серед параметрів режиму зварювання термопластів нагрітим газом важливими є температура газу-теплоносія, витрати газу-теплоносія та відстань від зрізу сопла до кромки, що зварюється.

Щоб вивчити зварювальний процес і навчитись управляти їм, потрібно мати хоча б невелике уявлення про закони нагріву тіла і розповсюдження в ньому тепла. Розподіл температури по поверхні і об'єму матеріалу характеризується температурним полем, котре являє собою сукупність температур всіх точок тіла в даний момент часу.

Якщо нагріти лист полімеру нерухомим потоком газу-теплоносія, а потім заміряти температуру його поверхні на різних відстанях від джерела тепла і перенести отримані значення на креслення, то, з'єднавши на кресленні точки з однаковою температурою, отримаємо ізотерми, по характеру яких можна судити про температурне поле. Оскільки якості практично всіх полімерів однакові по всім напрямкам і теплорозповсюджується у всі сторони з однаковою інтенсивністю, ізотерми для випадку нерухомого джерела тепла будуть являти собою систему концентричних кіл. Величина температурних зон буде пов'язана з теплофізичними параметрами газу-теплоносія та матеріалу.

### **1.2 Обладнання та матеріали**

1.2.1 Лабораторна установка на базі пальника ГЭП-2.

1.2.2 Секундомір.

1.2.3 Лінійка.

### **1.3 Порядок виконання роботи**

1.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

1.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

1.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

1.3.4 Виставити відстань між соплом і пластиною. Підключити всі блоки до мережі живлення. Відрегулювати витрату повітря по ротаметру. Визначити вплив напруги живлення нагрівача пальника на температуру газу- теплоносія і розподілення температури в пластині. Зняття температурних показників для різних точок пластини здійснювати по потенціометру після встановлення стабільної температури. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

1.3.5 Визначити вплив відстані між зрізом сопла і пластиною на розподіл температури в пластині при інших постійних умовах, змінюючи відстань між зрізом сопла і пластиною через 5 мм в межах 15 мм. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

1.3.6 Дослідити вплив на температуру газу-теплоносія його витрат при інших постійних умовах, змінюючи витрати в межах від 0,2 до 0,6 м<sup>3</sup>/год.через кожні 0,1 м<sup>3</sup>/год. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

1.3.7 Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

### **1.4 Зміст звіту**

1.4.1 Назва роботи і її мета.

1.4.2 Необхідні теоретичні дані.

1.4.3 Обладнання та матеріали.

1.4.4 Порядок виконання роботи.

1.4.5 Експериментальні результати.

1.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

### **1.5 Питання для самоконтролю**

1.5.1 Механізм утворення нероз'ємного з'єднання при зварюванні пластмас нагрітим газом.

1.5.2 Поняття про температуру текучості та температуру деструкції полімеру.

1.5.3 Вплив параметрів режиму зварювання на розподіл температур в матеріалі, що зварюється.

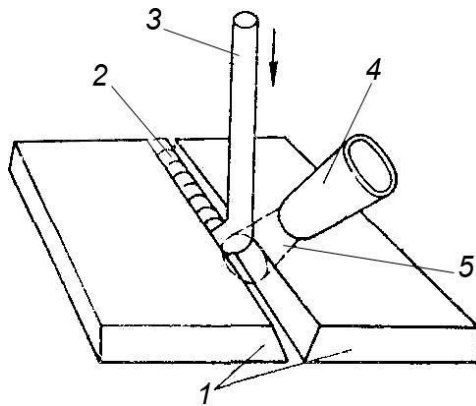
1.5.4 Регулювання температури газу-теплоносія.

## 2 Лабораторна робота №2 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС НАГРІТИМ ГАЗОМ З ПРИСАДКОЮ

**Мета роботи** – вивчити техніку і технологію зварювання пластмас нагрітим газом з використанням присадочного матеріалу

### 2.1 Інформація для самостійної підготовки

Зварювання термопластів газовим теплоносієм ґрунтоване на нагріві поверхонь, що з'єднуються, до температури зварювання струменем нагрітого газу. Виконують його з використанням присадочного матеріалу чи без нього за допомогою зварювальних пальників різноманітних конструкцій. Нагрітий газ, що виходить із сопла пальника, одночасно нагріває кромки, що зварюються, та присадочний пруток, щільний контакт між якими створюється за рахунок притискання прутка (рисунок 2.1).



*1 – деталі, що зварюються; 2 – зварний шов; 3 – присадочний матеріал;  
4 – наконечник нагрівача; 5 – струмінь нагрітого газу*

Рисунок 2.1 – Схема зварювання пластмас нагрітим газом з використанням присадочного матеріалу

При ручному зварюванні тиск на присадочний пруток, якщо він достатньо жорсткий, створюють рукою, якою він утримується, чи через ролик, якщо пруток м'який. Використовуючи спеціальні насадки на зварювальний пальник, забезпечують одночасний прогрів кромки, що зварюються, та прутка. Пруток втягується в отвір насадки при переміщенні пальника вручну вздовж шва і притискається до кромки виступом на насадці.

Цей спосіб універсальний та гнучкий, може бути використаний для зварювання матеріалів різних товщин, дозволяє здійснювати зварювання протяжних швів складної конфігурації при різному їх положенні в просторі, не потребує складного обладнання, тому його широко використовують при виготовленні конструкцій, не зважаючи на порівняно низьку продуктивність і недостатньо високу міцність з'єднань, особливо при ударних та згинаючих навантаженнях.

Якість зварних з'єднань суттєво залежить від типу зварного шва, підготовки виробів до зварювання, положення нагрівача в процесі зварювання, кута нахилу прутка при подачі в шов, температури, витрат татиску газу-теплоносія, швидкості та порядку укладання прутків в шов, відстані від наконечника нагрівача до поверхонь, що зварюються, зусилля вдавлення розм'якшеного прутка, діаметра прутка, діаметра отвору сопла, а також від дотримання зварником технологічних прийомів і режимів зварювального процесу.

Зварюванням нагрітим газом можна зварювати більшість відомих термопластів – полівінілхлорид непластифікований, полівінілхлорид пластифікований, поліетилен високого тиску, поліетилен низького тиску, поліпропілен, поліметилметакрилат, пентапласт, поліаміди, полікарбонати товщиною 1,5–20 мм, а також плівки з поліетилену високого тиску, поліетилену низького тиску та поліпропілену товщиною до 200 мкм.

Температуру теплоносія встановлюють від виду термопластичного матеріалу в залежності від температури його в'язкотекучого стану (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Режими та умови зварювання термопластів газовим теплоносієм з присадочним прутком

Матеріал	Газ-теплоносії	Температура текучості, $T_m$	Температура, °C	
			на виході із сопла	на відстані 6 мм від сопла
Вініпласт	повітря	180–200	250–350	200±15
Пластикат	повітря	–	180–210	–
Поліетилен високого тиску	повітря, азот, аргон	115–120	–	240±15
Поліетилен низького тиску	той же	120–125	–	250±15
Поліпропілен	той же	175–180	–	200±15
Пентапласт	повітря	–	–	300±15
Полікарбонат	повітря	220–240	450–500	–
Поліметилметакрилат	повітря	175	350–400	300±15
Поліамід	азот	150–160	240–280	–

При вірно вибраній температурі зварювання в процесі укладки прутка перед ним утворюється наплив того ж кольору, що і пруток.

Витрати газу-теплоносія вибирають в залежності від діаметру сопла, форми та перерізу присадочного матеріалу, товщини кромки, що зварюється, температури навколишнього повітря, теплової потужності джерела нагріву. При малих витратах газу-теплоносія знижується продуктивність зварювання, з'являються непровари. Звичайно в якості газу-теплоносія використовується повітря, однак при зварюванні матеріалів, схильних до сильної термоокислювальної деструкції, а також при зварюванні конструкцій з поліетилену і поліпропілену з підвищеними вимогами до міцності швів та при зварюванні поліамідів слід використовувати інертні гази (таблиця 2.1).



Правильність вибору присадочного матеріалу, його діаметра та форми перерізу – основні параметри, що визначають якість зварювання та продуктивність праці. Крашу якість зварного з'єднання отримують при використанні прутків з пластифікаторами. Прутки для зварювання випускають діаметром 2–6 мм з допуском по діаметру  $\pm 0,5$  мм, а також спарені прутки у вигляді смуги розміром  $2 \times 3$  мм. Діаметр прутка залежить від товщини матеріалів, що зварюються, геометрії зварного шва, умов відведення теплоти в шов і міцності зварного з'єднання, що вимагається. Шов, виконаний з меншої кількості прутків більшого діаметра, більш міцний, ніж шов, отриманий із більшої кількості прутків меншого діаметра, так як в цьому випадку збільшується контактна поверхня і зменшується ймовірність появи погано зчеплених ділянок. Використання прутків більше 5 мм обмежене, так як вони за час зварювання не прогріваються рівномірно на всю товщину і в них з'являються внутрішні напруження. Обробка поверхонь прутків наждачним папером чи цикльовкою перед зварюванням підвищує міцність швів.

В процесі зварювання дуже важливо забезпечити правильне положення присадочного прутка по відношенню до поверхонь шва. Для вініпласту, поліетилену низького тиску, поліпропілену та пентапласту присадочний пруток рекомендується тримати під кутом  $90^\circ$  до поверхні шва. Якщо кут нахилу менший за  $90^\circ$ , то присадочний пруток нагрівається на ділянці більшої довжини, витрати його в результаті усадки збільшуються, а в шві через повздовжнє стиснення пруток вигинається. Якщо кут нахилу більший за  $90^\circ$ , то пруток, що вкладений в шов, витягується, внаслідок чого при охолодженні може розірватись. При зварюванні м'яких пластмас (пластикату, поліетилену високого тиску) кращі результати досягаються, якщо кут між прутком та поверхнею складає  $120^\circ$ . В процесі укладки в шов пруток не повинен збільшувати свою довжину більш ніж на 15 % в порівнянні з початковою, для чого зусилля натиснення на пруток повинне бути незначним (для жорстких полімерів приблизно 3 Н на  $1 \text{ мм}^2$  перерізу присадочного прутка). Для отримання зварного з'єднання високої якості кінець прутка на початку шва нагрівають, відгинають під прямим кутом і охолоджують на повітрі. Перед початком зварювання пруток встановлюється на відстані 10–15 мм від шва.

Діаметр сопла на виході повинен перевищувати діаметр одинарного прутка чи ширину спареного прутка на  $0,5 \pm 0,25$  мм.

Відстань між зрізом сопла пальника і матеріалом, що зварюється – один з технологічних параметрів, що визначають якість і продуктивність зварювання. Кваліфікація зварника багато в чому визначається його вмінням підтримувати постійну відстань між мундштуком і матеріалом, що зварюється. Оптимальна відстань для пальників з електропідігрівом складає  $(1-1,5)d$  ( $d$  – діаметр сопла). Збільшення вказаної відстані знижує продуктивність зварювання, збільшує зону термічного впливу, погіршує якість зварного з'єднання.

Кут підводу наконечника нагрівача до поверхні зварного шва повинен складати  $26^\circ \pm 6^\circ$  при товщині деталей до 5 мм та  $39^\circ \pm 6^\circ$  при товщині деталей більше 5 мм.

Швидкість укладання прутка повинна відповідати часу його нагріву, а також нагріву основного матеріалу до температури зварювання. Тільки оптимальне співвідношення швидкості укладання прутка і часу його нагріву разом з основним полімером до температури зварювання може забезпечити нормальне, якісне протікання процесу зварювання. Для цього струмінь теплоносія протягом більшого часу повинен бути направлений на основний матеріал, маса якого більше, ніж маса присадочного прутка. Маніпулюючи пальником направляють потік газу то на присадочний матеріал, то на основний.

## **2.2 Обладнання та матеріали**

2.2.1 Лабораторна установка на базі пальника ГЭП-2.

2.2.2 Пластинчаті зразки з будь-яких термопластів, присадочний матеріал.

2.2.3 Інструмент слюсарний, абразивний папір, ацетон, серветки.

2.2.4 Пристосування для складання зразків під зварювання.

## **2.3 Порядок виконання роботи**

2.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

2.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

2.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання.

2.3.4 Підготувати зразки до зварювання: провести зачищення поверхні зразків, що підлягають зварюванню, чи, за необхідністю, розробку кромки; знежирити поверхні, що зварюються; підготувати присадочний матеріал до зварювання.

2.3.5 Підключити всі блоки до мережі живлення. Встановити параметри режиму зварювання відповідно до обраних марок матеріалів та провести зварювання.

2.3.6 Після охолодження зразків провести контроль якості зварних з'єднань.

2.3.6 Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

## **2.4 Зміст звіту**

2.4.1 Назва роботи і її мета.

2.4.2 Необхідні теоретичні дані.

2.4.3 Обладнання та матеріали.

2.4.4 Порядок виконання роботи.

2.4.5 Експериментальні результати.

2.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

## **2.5 Питання для самоконтролю**

2.5.1 Сутність процесу зварювання нагрітим газом.

2.5.2 Якість при зварюванні нагрітим газом з присадочним матеріалом.

2.5.3 Різновиди процесу зварювання нагрітим газом.

2.5.4 Параметри режиму зварювання термопластів газовим теплоносієм.

2.5.5 Переваги та недоліки процесу.

### 3 Лабораторна робота №3

## ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС НАГРІТИМ ІНСТРУМЕНТОМ

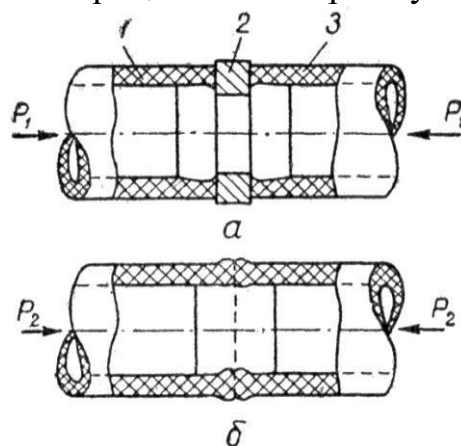
**Мета роботи** – вивчити техніку та технологію стикового зварювання пластмас нагрітим інструментом

### 3.1 Інформація для самостійної підготовки

Зварювання нагрітим інструментом є найбільш універсальним для з'єднання різноманітних деталей з термопластів. Сутність способу полягає в нагріванні деталей, що з'єднуються, шляхом контакту з попередньо нагрітимчи таким, що нагрівається в процесі зварювання, інструментом. Звичайно при цьому способі присадочний матеріал не використовується.

Стикове зварювання нагрітим інструментом широко використовується для з'єднання труб, профілів, листів та інших напівфабрикатів із пластмас і є найбільш важливим способом теплового зварювання.

Процес зварювання складається з двох етапів. Спочатку деталі з попередньо обробленими торцями нагріваються (оплавляються) шляхом безпосереднього контакту з введеним між ними нагрітим інструментом. Після видалення нагрітого інструменту оплавлені торці деталей осаджують під тиском і витримують під цим тиском певний час, що визначається швидкістю охолодження і релаксаційними процесами в зварному з'єднанні (рисунок 3.1).



*a – нагрів; б – з'єднання та охолодження;  
1 і 3 – труби, що зварюються; 2 – нагрітий інструмент*

Рисунок 3.1 – Послідовність процесу стикового зварювання нагрітим інструментом

Основним типом зварного з'єднання при стиковому зварюванні нагрітим інструментом є таке, у якого площина кромки перпендикулярна до поверхні заготовок, але іноді використовується з'єднання на “вус”. Листи та плити на всю необхідну довжину зварюють за один цикл.

Кінці деталей перед зварюванням повинні бути очищені від всіх забруднень на відстані від кромки не менше 50 мм. Жирові забруднення

видаляють за допомогою розчинників (спирту, ацетону). Забоїни видаляють механічним шляхом (обрізанням кромки).

Особливістю стикового зварювання є необхідність точної підгонки торців деталей, що з'єднуються, – максимальна величина зміщення кромки не повинна перевищувати 10 % номінальної товщини стінки деталі, причому абсолютне значення не повинне бути більше 1,2 мм; зазор між кромками не повинен перевищувати 0,5–1,0 мм. Складання, механічну обробку торців та їх зварювання виконують за допомогою спеціальних складально-зварювальних пристроїв. Виліт кінців труб із затискачів центраторів зварювальних пристроїв не повинен перевищувати 15–30 мм.

Основні параметри процесу зварювання (таблиця 3.1) взаємопов'язані, зміна одного з них викликає за собою зміну другого.

Таблиця 3.1 – Технологічні параметри зварювання труб встик

Матеріал	Товщина стінки, мм	Оплавлення торців					Технологічна пауза, с (не більше)	Осадка	
		Температура інструмента, °C	Початок процесу		Завершення			Тиск, МПа	Тривалість охолодження, хв.
			Тиск, МПа	Тривалість, с	Тиск, МПа	Тривалість, с			
ПНД	4–7	220–240	0,18–0,23	15	0,02–0,05	50±10	3	0,18–0,23	8±2
ПВД	4–7	200–210	0,08–0,15	10	0,01–0,03	40±10	2	0,08–0,15	6±2
ПП	4–7	240±10	0,15–0,20	15	0,02–0,05	50±10	3	0,18–0,25	8±2
ПВХ-Ж	4–7	245±5	0,25–0,30	15	0,02–0,05	50±10	3	0,25–0,03	8±2

Температура інструмента залежить від типу пластмаси, типу і товщини антиадгезійного покриття, температури навколишнього середовища.

Тиск на деталі на початку оплавлення слід підтримувати приблизно на порядок вищим, ніж в процесі оплавлення, для швидкого зняття можливих незначних нерівностей на поверхнях, що зварюються. З появою валика оплавленого матеріалу тиск знижують до значень, вказаних в таблиці 3.1 (рекомендується також поступове зниження тиску до нуля, що викликане необхідністю виключення видавлювання розм'якшеного матеріалу). Величина тиску при оплавленні торців не чинить значного впливу на міцність шва. Збільшення тиску понад вказані в таблиці 3.1 величини, як правило, не покращує якості зварювання і веде до надмірного видавлювання оплавленого матеріалу. Прогрів торців при пониженому тиску викликаний необхідністю переходу прилягаючих до нагрівача шарів матеріалу у в'язкотекучий стан. При скороченні тривалості прогріву при постійній температурі інструмента погіршується якість шва внаслідок недостатнього розм'якшення матеріалу. Орієнтовно ступінь оплавлення деталей в кожному окремому випадку можна визначити візуально по утворенню на кромках торців деталей по всьому периметру валика оплавленого матеріалу висотою 1–2 мм.

Тривалість технологічної паузи (час між завершенням прогріву та з'єднанням деталей) повинна бути по можливості мінімальною, щоб поверхні, що зварюються, не встигли охолотитись. Збільшення технологічної паузи понад вказані в таблиці 3.1 значення приводить до різкого зниження міцності зварного шва.

При зварюванні деталей слід створити такий тиск, при якому із шва можна було б витіснити бульбашки повітря (не видавлюючи повністю розм'якшений матеріал) і щільно стиснути оплавлені поверхні.

Тривалість охолодження стику визначається часом, необхідним для рекристалізації полімеру в зоні шва. При охолодженні зварного стику під тиском не допускається зміщення деталей відносно одна одної, а також зміна тиску. В протилежному випадку внаслідок місцевої деформації деталей, що зварюються, можливе їхнє відшарування та короблення.

На практиці при проведенні зварювальних робіт часто використовують різноманітні способи, що дозволяють зменшити величину ґрату, попередити його виникнення чи повністю видалити (зняття фаски на торцях деталей, обкатка чи видалення ґрату в розплавленому стані з поверхні стику механічною обробкою). Встановлено, що на стадіях підготовки кромки, що зварюються, і в процесі їх зварювання повністю ліквідувати ґрат без нанесення збитку якості зварного шва неможливо, а найбільш ефективним методом ліквідації ґрату є зняття його механічним способом після зварювання стику.

## **3.2 Обладнання та матеріали**

3.2.1 Лабораторна установка.

3.2.2 Розривна машина.

3.2.3 Пластинчаті зразки з термопластів.

3.2.4 Інструмент слюсарний, абразивний папір, секундомір, лінійка, штангенциркуль, ацетон, серветки.

## **3.3 Порядок виконання роботи**

3.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

3.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

3.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

3.3.4 Підготувати зразки до зварювання: провести зачищення поверхні зразків, що підлягають зварюванню; знежирити поверхні, що зварюються.

3.3.5 Підключити всі блоки до мережі живлення. Встановити вплив температури нагрітого інструменту на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання. Встановити параметри режиму зварювання відповідно до обраних марок пластмас та провести зварювання трьох пар зразків при трьох значеннях температури, орієнтуючись на дані таблиці 3.1. Після охолодження зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

3.3.6 Встановити вплив тривалості оплавлення на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання. Встановити параметри режиму зварювання відповідно до обраних марок пластмас та провести зварювання трьох пар зразків при трьох значеннях тривалості оплавлення, орієнтуючись на дані таблиці 3.1. Після охолодження зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

3.3.7 Встановити вплив зусилля осадки на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання. Встановити параметри режиму зварювання відповідно до обраних марок пластмас та провести зварювання трьох пар зразків при трьох значеннях зусилля осадки, орієнтуючись на дані таблиці 3.1. Після охолодження зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

3.3.8 Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

### **3.4 Зміст звіту**

3.4.1 Назва роботи і її мета.

3.4.2 Необхідні теоретичні дані.

3.4.3 Обладнання та матеріали.

3.4.4 Порядок виконання роботи.

3.4.5 Експериментальні результати.

3.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

### **3.5 Питання для самоконтролю**

3.5.1 Сутність процесу зварювання нагрітим інструментом.

3.5.2 Параметри режиму стикового зварювання нагрітим інструментом.

3.5.3 Типи з'єднань при стиковому зварюванні нагрітим інструментом.

3.5.4 Підготовка матеріалів до зварювання.

3.5.5 Якість при стиковому зварюванні пластмас нагрітим інструментом.

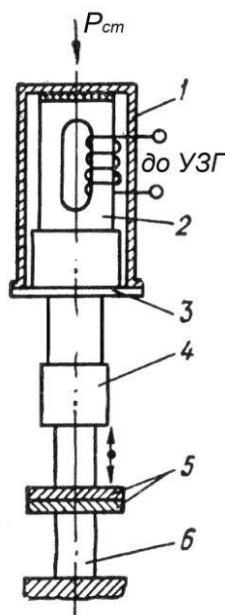
## 4 Лабораторна робота №4

### УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

**Мета роботи** – вивчити техніку та технологію ультразвукового зварювання пластмас

#### 4.1 Інформація для самостійної підготовки

Спосіб ультразвукового зварювання пластмас полягає в тому, що електричні коливання ультразвукової частоти перетворюються електроакустичним перетворювачем в механічні повздовжні коливання в декілька мікрометрів. Трансформатор пружних коливань збільшує амплітуду до 30–50 мкм, після чого вони вводяться в матеріал, що зварюється, за допомогою інструмента-хвильовода, розміщеного перпендикулярно до поверхонь, що зварюються (рисунок 4.1). Утворення з'єднання ґрунтоване на нагріві контактуючих поверхонь до температури розм'якшення за рахунок перетворення енергії механічних коливань в теплову при терті молекул полімеру. Підведення механічної енергії ультразвукових коливань здійснюється за рахунок контакту інструмента-хвильовода з виробом, що зварюється. Такий контакт забезпечується статичним тиском  $P_{cm}$  робочого торця хвильовода на деталі. Цей тиск також сприяє концентрації енергії в зоні зварювання.



- 1 – корпус перетворювача; 2 – перетворювач з обмоткою;  
3 – трансформатор пружних коливань; 4 – хвильовід;  
5 – деталі, що зварюються; 6 – опора

Рисунок 4.1 – Схема ультразвукового зварювання з нормальним введенням коливань

В залежності від переміщення інструмента-хвильовода відносно виробу розрізняють пресове та роликове зварювання ультразвуком. Пресове

зварювання виконується за один робочий рух хвильовода і дозволяє отримати точкові, прямошовні та контурні шви.

Основними параметрами пресового зварювання ультразвуком є амплітуда коливань робочого торця інструмента-хвильовода, частота коливань, тривалість ультразвукового імпульсу, статичний тиск та час його дії.

Найбільш розповсюджений робочий цикл ультразвукового зварювання виглядає наступним чином: зварювальний тиск прикладається за деякий час до подачі ультразвукових коливань і знімається через деякий час після їхнього виключення, залишаючись постійним протягом всього робочого циклу. При зварюванні забруднених поверхонь ультразвуковий імпульс подається до прикладення зварювального тиску. При наявності помітної шорсткості прикладається зварювальний тиск, після чого спочатку подається ультразвуковий імпульс, достатній лише для локального оплавлення контактуючих мікровиступів, і після деякої витримки під зварювальним тиском подають зварювальний ультразвуковий імпульс. Через деякий час після завершення зварювального імпульсу знімається і зварювальний тиск.

Роликове зварювання здійснюється шляхом протягування матеріалу в зазорі між торцем хвильовода і опорою. При цьому опора може бути нерухомою чи виконана у вигляді ролика, що обертається.

При зварюванні пластмас утворення зварного з'єднання в значній мірі визначається ступінню концентрації напружень в зоні зварювання. Тому в ряді випадків неможливо отримати якісне зварне з'єднання плоских поверхонь. Ступінь концентрації напружень в зоні зварювання може бути збільшений шляхом створення штучних концентраторів енергії. Найбільш розповсюджений спосіб розробки кромek, коли одна із поверхонь, що зварюється, має V-подібний виступ. Збільшення шорсткості контактуючих поверхонь також сприяє концентрації напружень. З цією метою зручно використовувати крихти з того ж полімерного матеріалу, які рівномірно наносяться на нижню поверхню, що зварюється.

Розрізняють ультразвукове зварювання в ближньому та дальньому полі. Перше дозволяє зварювати поверхні на відстанях до 5 мм від місця введення в матеріал ультразвукових коливань, друге – до 250 мм. Здатність пластмаси зварюватись в дальньому полі визначається її модулем пружності  $E$  та коефіцієнтом поглинання ультразвуку  $\beta$  – чим більше модуль пружності та менше коефіцієнт поглинання ультразвуку, тим більше енергія, яка підводиться до поверхонь, що зварюються, і отримання з'єднання можливе на більшій відстані від місця введення коливань.

В якості акустичних перетворювачів використовуються магніострикційні та електрострикційні перетворювачі. В якості трансформаторів пружних коливань використовуються хвильоводи різноманітної форми: ступінчаті, експоненціальні та конічні.

Опори можуть бути активними та пасивними. Перші відбивають ультразвукові коливання, другі поглинають. В якості матеріалу для активної опори можуть бути використані різні сталі, сплави титану, а для пасивної опори – гума, дерево, текстоліт.



Робочі діапазони частот,  $\kappa\Gamma\upsilon$ , дозволені для промислового використання наступні:  $18\pm 1,35$ ;  $22\pm 1,65$ ;  $44\pm 4,4$  та  $66\pm 6,6$ .

## **4.2 Обладнання та матеріали**

4.2.1 Лабораторна установка на базі ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4 та ультразвукового паяльника УЗП2-0,025.

4.2.2 Розривна машина.

4.2.3 Пластинчаті зразки з термопластів.

4.2.4 Інструмент слюсарний, абразивний папір, секундомір, лінійка, штангенциркуль, ацетон, серветки.

### **4.3.3 Порядок виконання роботи**

4.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

4.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

4.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

4.3.4 Підключити всі блоки до мережі живлення. Зразки для зварювання використовувати у вихідному стані без попередньої підготовки. Експериментальним шляхом визначити орієнтовні параметри режиму пресового зварювання напусткових з'єднань обраних марок пластмас. Якість зварювання оцінювати за результатами механічних випробувань зварних з'єднань на розтяг. Всі отримані результати занести до таблиці.

4.3.5 Дослідити вплив на міцність зварних з'єднань характеристик опор.

4.3.6 Дослідити вплив на міцність зварних з'єднань характеру підготовки поверхонь до зварювання.

4.3.7 Провести аналіз результатів роботи та зробити висновки.

## **4.4 Зміст звіту**

4.4.1 Назва роботи і її мета.

4.4.2 Необхідні теоретичні дані.

4.4.3 Обладнання та матеріали.

4.4.4 Порядок виконання роботи.

4.4.5 Експериментальні результати.

4.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

## **4.5 Питання для самоконтролю**

4.5.1 Сутність процесу ультразвукового зварювання пластмас.

4.5.2 Основні параметри режиму пресового зварювання ультразвуком.

4.5.3 Робочі цикли при ультразвуковому зварюванні.

4.5.4 Особливості зварювання пластмас в ближньому та дальньому полі.

4.5.5 Підготовка матеріалів до зварювання.

4.5.6 Склад обладнання для ультразвукового зварювання.

## 5 Лабораторна робота №5 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС ТЕРТЯМ

**Мета роботи** – вивчити техніку та технологію зварювання пластмас тертям

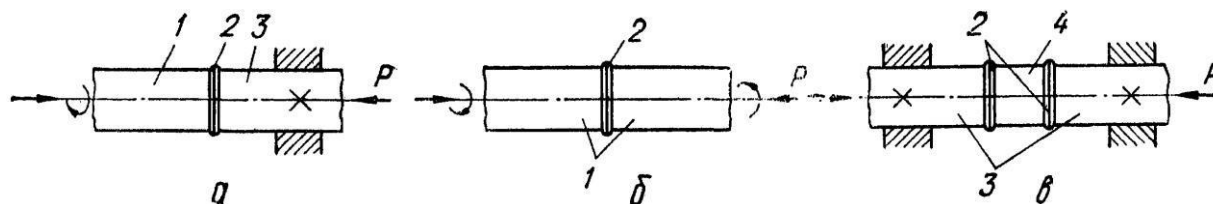
### 5.1 Інформація для самостійної підготовки

Зварювання пластмас тертям ґрунтується на нагріві поверхонь, що з'єднуються, за рахунок перетворення механічної енергії в теплову. Оскільки пластмаси володіють низькою теплопровідністю, від зони контакту деталей, що труться, відводиться незначна кількість тепла і тому нагрів відбувається швидко. Використовують зварювання тертям шляхом обертання деталей, що з'єднуються, і зварювання шляхом коливальних рухів – вібротертям.

За рахунок тепла, що виділяється при терті, матеріал переходить у в'язкотекучий стан (плавиться) і під дією зусилля, що при цьому прикладається, частина розплаву витікає в процесі тертя (оплавлення) деталей. При накопиченні в стику необхідної кількості розплаву процес тертя припиняється і деталі стискаються (осаджуються) – утворюється нероз'ємне з'єднання.

Зварювання тертям обертання використовують при з'єднанні деталей, які мають форму тіл обертання. Вібротертям можна зварювати несиметричні деталі практично будь-якої конфігурації.

Кінематично зварювання тертям обертання може виконуватись при безпосередньому контакті деталей обертанням однієї із них (рисунок 5.1, а), обертанням обох в протилежних напрямках (рисунок 5.1, б), а також обертанням проміжної вставки між деталями, що зварюються (рисунок 5.1, в).



- а – з використанням обертання однієї деталі;*
- б – з використанням обертання обох деталей;*
- в – з використанням обертання проміжної вставки;*
- 1 – деталь, що обертається; 2 – зварний шов;*
- 3 – нерухома деталь; 4 – вставка*

Рисунок 5.1 – Принципова схема зварювання тертям

Найбільше практичне використання має схема зварювання обертанням, при якому одна з деталей, що зварюються, нерухома.

Перевага способу зварювання тертям полягає в тому, що при терті в місці контакту руйнуються всі поверхневі складові, які утворились до початку процесу зварювання. В процесі зварювання розплав захищений від

впливу атмосфери, чим у значній мірі виключені процеси окислення макромолекул, які знаходяться в активованому стані.

Основними технологічними параметрами зварювання тертям обертання є лінійна швидкість поверхонь, що труться,  $v_l$ , тиск притискання  $P_n$ , тиск осадки  $P_{oc}$ , час зварювання  $t_{зв}$ , який включає час нагріву  $t_n$  та час осадки  $t_{oc}$ . Час нагріву залежить від параметрів  $v_l$  та  $P_n$ , теплофізичних властивостей матеріалів, що з'єднуються та геометричних розмірів деталей. В залежності від вибраного зварювального циклу тиск може варіюватись різноманітним чином. На рисунку 5.2 приведена одна із можливих циклограм зварювального процесу. По досягненні температури зварювання  $T_{зв}$  відносно обертання деталей, що з'єднуються, швидко зменшують до нуля та охолоджують при  $P_{oc}$ . Тиск притискання та тиск осадки повинні наростати поступово, що пов'язано з необхідністю усунення небажаних вібрацій деталей, що з'єднуються.

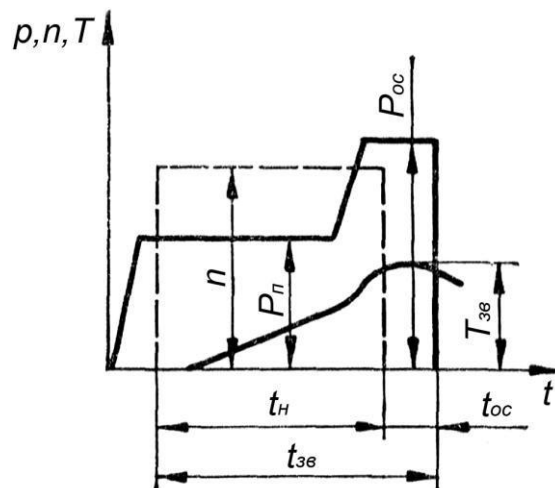


Рисунок 5.2 – Циклограма зміни параметрів режиму зварювання тертям

Основні параметри режиму зварювання тертям обертання приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні параметри зварювання тертям обертання

Матеріал	Швидкість $v_l$ , м/с	Тиск, МПа	
		$P_n$	$P_{oc}$
ПНД	1,5–3,0	2,0–5,0	1,5–2,0
ПВД	1,5–2,2	1,5–3,0	0,5–1,0
ПП	1,5–3,0	2,0–5,0	1,5–2,0
ПВХ-Ж	1,6–2,5	3,0–8,0	3,5–5,0

Установки для зварювання пластмас тертям обертання складаються із механізму обертання, вузлів затискання заготовок, гальмівного механізму та вузла осадки.

Зварювання тертям володіє рядом важливих переваг: високою продуктивністю, малим споживанням енергії та потужності, високою якістю

зварного з'єднання, стабільністю якості зварних з'єднань, можливістю зварювання різнорідних пластмас, гігієнічністю процесу.

## **5.2 Обладнання та матеріали**

5.2.1 Лабораторна установка.

5.2.2 Установка для механічних випробувань зварних з'єднань.

5.2.3 Трубочаті зразки з термопластів.

5.2.4 Інструмент слюсарний, абразивний папір, секундомір, лінійка, штангенциркуль.

## **5.3 Порядок виконання роботи**

5.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

5.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

5.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

5.3.4 Підготувати зразки до зварювання.

5.3.5 Підключити всі блоки до мережі живлення. Встановити вплив тривалості нагріву на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання. Встановити параметри режиму зварювання відповідно до обраних марок пластмас та провести зварювання зразків при різних значеннях тривалості нагріву, орієнтуючись на дані таблиці 5.1. Після охолодження зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

5.3.6 Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

## **5.4 Зміст звіту**

5.4.1 Назва роботи і її мета.

5.4.2 Необхідні теоретичні дані.

5.4.3 Обладнання та матеріали.

5.4.4 Порядок виконання роботи.

5.4.5 Експериментальні результати.

5.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

## **5.5 Питання для самоконтролю**

5.5.1 Сутність процесу зварювання тертям.

5.5.2 Різновиди процесу зварювання тертям.

5.5.3 Основні параметри режиму зварювання пластмас тертям обертання.

5.5.4 Типова циклограма зміни параметрів режиму зварювання тертям.

5.5.5 Склад обладнання для зварювання тертям обертання.

5.5.6 Переваги способу.

## **6 Лабораторна робота №6**

### **ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС РОЗЧИННИКАМИ**

**Мета роботи** – вивчити техніку та технологію зварювання пластмас розчинниками

#### **6.1 Інформація для самостійної підготовки**

З'єднання за допомогою розчинників по механізму утворення шва можна віднести до дифузійного зварювання, а по технологічним ознакам – до склеювання. Оскільки швидкість дифузії макромолекул в поверхневому шарі пластмаси при змочуванні розчинником значно нижча, ніж швидкість дифузії макромолекул тієї ж пластмаси, нагрітої до температури, вищої за температуру текучості, то зварювання розчинником потребує значно більшого часу для утворення міцного з'єднання в порівнянні зі зварюванням нагрівом.

Основними видами з'єднань при зварюванні розчинниками листових термопластів є з'єднання внапусток, з'єднання на “вус” та стикові з односторонньою накладкою. Для товстостінних виробів та стержнів використовуються стикові з'єднання без накладок, для труб – розтрубні з'єднання.

Зварювання розчинниками застосовується в тих випадках, коли методи теплового зварювання не забезпечують надійного з'єднання чи нераціональні (змінюється форма та розміри деталей), в індивідуальному виробництві, а також для з'єднання прозорих термопластів – поліакрилатів, полікарбонату, полістиролу, зварні шви яких повинні мати не тільки досить високу міцність, але і добрий зовнішній вигляд, повинні бути прозорими.

Основними операціями технологічного процесу зварювання розчинниками є підготовка поверхонь до зварювання; змочування поверхонь рівномірним шаром розчинника або сполуки, що містить розчинник (при стиковому з'єднанні сполукою заповнюють розробку шва); відкрита витримка поверхонь (період часу від нанесення розчинника до складання деталей, що зварюються); приведення поверхонь у дотик; прикладення тиску й витримка деталей під тиском до моменту твердіння шва.

Підготовку поверхонь до зварювання варто робити з особливою ретельністю. У стикових з'єднаннях та з'єднаннях на “вус” різниця в розмірах поверхонь, що з'єднуються, не повинна коливатися більш ніж на 1 мм. Підігнані поверхні перед нанесенням розчинника необхідно очистити від пилу й знежирити. Для очищення й знежирення не рекомендується використовувати розчинник полімеру, тому що в цьому випадку на набряклій поверхні матеріалу можуть залишатися забруднення.

Кількість розчинника, що наноситься на поверхні, повинна бути достатньою для набрякання полімеру, але в той же час його надлишок веде до зниження міцності з'єднання й подовження технологічного циклу. Нанесення розчинника здійснюють зануренням, пульверизацією, роликком, пензликом й іншими способами доти, поки поверхні, що з'єднуються, не

набудуть липкості, характерної для сильно набряклого полімеру. У приміщенні, де наносять розчинник, що має низьку температуру кипіння, необхідно підтримувати мінімальну температуру. Поверхні, які не підлягають з'єднанню, доцільно захищати від дії пару розчинника папером, клейкою стрічкою або захисною плівкою.

Технологічні режими зварювання (відкрита витримка до запресовування, тиск і час запресовування) залежать, в основному, від типу полімеру й розчинника і підбираються експериментально з урахуванням температури приміщення та інших факторів. Тривалість відкритої витримки повинна бути достатньою, щоб відбулося набрякання й розм'якшення полімеру по всій поверхні та на достатню глибину (до 0,5–1,0 мм). Як правило, відкрита витримка складає декілька хвилин, тиск запресовування знаходиться в інтервалі 0,1–1,0 МПа, а час витримки під тиском запресовування – від 2 до 24 год.

Деталі, що зварюються, запресовуються у пресах, що забезпечують постійність тиску протягом усього часу запресовування, а також струбцинами. При запресовуванні необхідно стежити, щоб не було перекосів і зміщень деталей, що зварюються (для чого рекомендується встановлювати шпильки або упори), а також щоб у зоні шва не утворювалися бульбашки повітря. Розпресовка з'єднання допускається тільки після твердіння шва, а механічна обробка й експлуатація зварних виробів – не раніше, ніж через 24 год. після розпресовки.

## **6.2 Обладнання та матеріали**

6.2.1 Прес.

6.2.2 Пластинчаті деталі з поліметилметакрилату.

6.2.3 Розчинники: ацетон, дихлоретан.

6.2.4 Розривна машина.

6.2.5 Інструмент слюсарний, пристрої для нанесення розчинника, секундомір, штангенциркуль.

## **6.3 Порядок виконання роботи**

6.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

6.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

6.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

6.3.4 Дослідити вплив виду розчинника на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання: тривалості нанесення розчинника, тиску і часу запресовування. Після розпресовки зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці.

6.3.5 Дослідити вплив тривалості нанесення розчинника на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання: видірозчинника, тиску і часу запресовування. Після розпресовки зразків провести

необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

6.3.6 Дослідити вплив тиску запресовування на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання: виді розчинника, тривалості нанесення розчинника, часу запресовування. Після розпресовки зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

6.3.7 Дослідити вплив часу запресовування на міцність з'єднань при інших постійних параметрах режиму зварювання: виді розчинника, тривалості нанесення розчинника, тиску запресовування. Після розпресовки зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

6.3.8 Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

## **6.4 Зміст звіту**

6.4.1 Назва роботи і її мета.

6.4.2 Необхідні теоретичні дані.

6.4.3 Обладнання та матеріали.

6.4.4 Порядок виконання роботи.

6.4.5 Експериментальні результати.

6.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

## **6.5 Питання для самоконтролю**

6.5.1 Сутність процесу зварювання пластмас розчинниками.

6.5.2 Випадки, коли застосовується зварювання пластмас розчинниками.

6.5.3 Основні параметри режиму зварювання пластмас розчинниками.

6.5.4 Підготовка поверхонь до зварювання.

6.5.5 Нанесення розчинника.

## **7 Лабораторна робота №7**

### **СКЛЕЮВАННЯ МЕТАЛІВ І ПЛАСТМАС**

**Мета роботи** – вивчити техніку та технологію склеювання металів і пластмас

#### **7.1 Інформація для самостійної підготовки**

Склеювання є складним процесом, обумовленим здатністю деяких речовин або суміші речовин органічного або неорганічного походження – клеїв – при твердінні в контакті з поверхнями твердих тіл міцно з'єднувати ці тіла. Речовини, що володіють зазначеною здатністю, називаються клеями.

Міцність клейового з'єднання залежить від сил зчеплення речовини, що клеїть, з поверхнями матеріалів, що склеюють, і від міцності самого клейового прошарку після його твердіння. Зчеплення, що виникає між клеями та поверхнями, що склеюються, прийнято називати адгезією.

Технологічний процес склеювання включає в себе наступні операції: підготовка поверхонь, приготування клею, нанесення клею, монтаж з'єднання, твердіння клею.

Попередня підготовка поверхні обов'язкова. Відомі і використовуються у виробництві наступні методи підготовки поверхонь під склеювання: знежирення, механічна обробка, фізичне або хімічне активування.

Механічна обробка виконується з метою утворення більш розвинутої поверхні, видалення слабозв'язаного поверхневого шару і оголення глибинних шарів, що володіють більш високою адгезією.

Знежирення здійснюється за допомогою органічних розчинників або миючих засобів (водяні розчини лугів або поверхнево-активні речовини). Лужне знежирення, яке використовують для сталі і алюмінієвих чи титанових сплавів, найбільш ефективно. Потрібно бути обережним з використанням розчинників при знежиренні поверхонь пластмас, оскільки вони можуть розчинити в собі останні.

Для отримання клейових з'єднань пластмас, до яких висуваються вимоги високої міцності і довговічності, обов'язкове проведення додаткових операцій по активуванню поверхонь, що склеюються.

В результаті методів підготовки поверхонь пластмас (гліючий розряд, травлення) відбувається їхнє окислення, зшивання і деструкція макромолекул поверхневого шару, що призводить до підвищення полярності, в свою чергу, до збільшення адгезійних зв'язків. В результаті деструкції виникає розвинутий мікрорельєф поверхні, що сприяє підсиленню зчеплення поверхні з клеєм завдяки підвищенню площі склеювання та проникненню клею в мікронерівності.

При травленні металевих поверхонь усуваються залишки жирів, які могли б залишитись на поверхні, шари оксидів, утворюються активні центри з полярними групами, досягається дуже тонка та рівномірна шорсткість поверхні під дією травильного розчину. Травильні розчини можуть бути лужними або кислотними.



Підготовка однокомпонентних клеїв до склеювання полягає в їхньому ретельному перемішуванні. Підготовка багатокомпонентних клеїв полягає в змішуванні окремих компонентів в певній послідовності і при точному дотриманні рецептури.

Спосіб нанесення клею вибирається в залежності від фізико-хімічних властивостей клейової композиції, форми та розмірів поверхонь, що склеюються, масовості виробництва і можливості використання існуючого виробничого обладнання.

Для нанесення клеїв використовуються наступні способи: промазка (нанесення за допомогою щіток), занурення в ванну з клеєм, видавлювання клею із сопла, накатка (за допомогою валиків, роликів), спікання (занурення попередньо нагрітих деталей в суміш порошку з повітрям), розпилення, розсіювання (необхідний попередній підігрів заготовок), плавлення (необхідний попередній нагрів заготовки чи клею), накладення порізаної фольги, яка володіє липкістю, з наступним прикатуванням валиком.

Клейовий шов повинен бути рівномірним, суцільним і тонким.

Для отримання якісних з'єднань на клейових композиціях у вигляді розчинів або на композиціях, що включають в себе розчинники, необхідна проміжна технологічна операція – відкрита витримка. В процесі відкритої витримки відбувається заповнення клеєм нерівностей на поверхні, витіснення повітря із пор та видалення розчинників, підвищення в'язкості клею в клейовому шарі. Тривалість витримки залежить від швидкості вказаних процесів. Підігрів інтенсифікує процеси змочування клеєм поверхні і видалення розчинника із шару клею.

Важливим технологічним параметром є тиск склеювання, який визначається типом клею, конструкцією та розміром з'єднань, якістю їхньої підгонки. Тиск створюється для фіксації деталей під час твердіння клею, забезпечення повноти контакту між поверхнями та клеєм, покращення розтікання і змочування поверхонь клеями-розплавами в процесі нагрівання та твердіння.

Існують різноманітні способи і пристосування для забезпечення потрібного тиску при твердінні клейового прошарку і взаємної фіксації деталей, що склеюються. Це нерухомі вантажі, пружинні, гідравлічні, електромагнітні затискачі, преси і т.п.

Тривалість витримки деталей, що склеюються, під тиском визначається, головним чином, швидкістю твердіння клейового прошарку. Основним фактором, що впливає на процес твердіння клеїв з отверджувачами та без них, є температура.

## **7.2 Обладнання та матеріали**

7.2.1 Лабораторна установка.

7.2.2 Пластинчаті деталі з металів та пластмас.

7.2.3 Травильні розчини, розчинники, миючі засоби, клеї.

7.2.4 Інструмент слюсарний, абразивний папір, пристрої для нанесення клеїв, секундомір, штангенциркуль, серветки.

### **7.3 Порядок виконання роботи**

7.3.1 Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.

7.3.2 Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.

7.3.3 Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.

7.3.4 Дослідити вплив величини напуску на міцність клейових з'єднань при інших постійних параметрах. Зачистити та знежирити місця з'єднання зразків. Нанести на зразки клей. Дати зразкам відкриту витримку відповідно до інструкції на клей. З'єднати поверхні зразків внапусток і встановити на нагрівальний столик лабораторної установки. Стиснути зразки гвинтовим пресом, слідкуючи щоб не порушити їхнє взаємне розміщення. Величину тиску проконтролювати по манометру. Після розпресовки зразків провести необхідні виміри та механічні випробування. Провести необхідні розрахунки. Всі отримані результати занести до таблиці. Побудувати графіки.

7.3.5 Дослідити вплив температури нагріву зразків при витримці з'єднань під тиском при інших постійних параметрах.

7.3.6 Провести аналіз результатів проведеної роботи та зробити висновки.

### **7.4 Зміст звіту**

7.4.1 Назва роботи і її мета.

7.4.2 Необхідні теоретичні дані.

7.4.3 Обладнання та матеріали.

7.4.4 Порядок виконання роботи.

7.4.5 Експериментальні результати.

7.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

### **7.5 Питання для самоконтролю**

7.5.1 Сутність процесу склеювання.

7.5.2 Основні операції технологічного процесу склеювання.

7.5.3 Способи нанесення клеїв.

7.5.4 Вплив параметрів процесу склеювання на міцність клейових з'єднань.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев А.Д., Здор В.Ф., Каплан В.І. Порошкові полімерні матеріали і покриття на їх основі. Л.: Хімія, 1979. - 254 с.
2. Klein R. Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications Wiley-VCH, 2011. - 256 p.
3. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с.
4. Зворикін К. О., Зворикін Л. О. Зварювання пластмас : навч. посіб. Київ : Видво «КММ», 2013. 184 с.
5. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с.
6. Вознюк В. Т., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 142 с.

