

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Ігор ОКІПНИЙ, Віктор СЕНЧИШИН

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

*навчальний посібник
для здобувачів освітнього ступеня „бакалавр”
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Інжиніринг технологій
машинобудування та зварювання»*

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Ігор ОКІПНИЙ, Віктор СЕНЧИШИН

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

навчальний посібник
для здобувачів освітнього ступеня „бакалавр”
спеціальності 131 «Прикладна механіка»”
освітньої програми «Інжиніринг технологій
машинобудування та зварювання»

Тернопіль

2025

Технології зварювання пластмас : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл. І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин : ФОП Паляниця В.А., 2025. 128 с.

ISBN 978-617-7875-92-4

Посібник розроблено відповідно до освітньої програми підготовки фахівців освітнього ступеня „бакалавр” за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Укладачі: к.т.н., доцент Окіпний І.Б.,
к.т.н., доцент Сенчишин В.С.

Рецензенти: д.т.н., проф. Стухляк П.Д.
к.т.н., доц. Біщак Р.Т.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Окіпний І.Б.

Посібник розглянуто та схвалено на засіданні кафедри "Інжинірингу машинобудівних технологій", протокол № 6 від "09" січня 2025 р.

Посібник рекомендовано до друку Вченою радою ТНТУ ім. І. Пулюя, протокол №2 від 19 лютого 2025 р.

ISBN 978-617-7875-92-4

© І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин, 2025
© ФОП Паляниця В.А., 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ.....	8
1.1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС.....	8
1.2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І СКЛАД ПЛАСТМАС.....	9
2 ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИДИ ПЛАСТМАС.....	12
3 СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС.....	20
4 ВИБІР СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ.....	25
5 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ ГАЗОМ.....	33
5.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	33
5.2 ЗВАРЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИСАДНОГО МАТЕРІАЛУ.....	35
5.3 ЗВАРЮВАННЯ БЕЗ ПРИСАДНОГО МАТЕРІАЛУ.....	46
6 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ ІНСТРУМЕНТОМ.....	49
6.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	49
6.2 ЗВАРЮВАННЯ ВСТИК.....	55
6.3 ЗВАРЮВАННЯ В РОЗТРУБ.....	59
6.4 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ КЛИНОМ.....	60
6.5 ЗВАРЮВАННЯ З ОДНОЧАСНИМ ФОРМУВАННЯМ ВИРОБІВ.....	61
6.6 ПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	63
6.7 ТЕРМОІМПУЛЬСНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	66
6.8 СТРІЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	67
6.9 РОЛИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	68
6.10 ЗВАРЮВАННЯ ЗАКЛАДНИМ ЕЛЕМЕНТОМ.....	69
7 ЗВАРЮВАННЯ РОЗПЛАВОМ.....	72

7.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	72
7.2 ЕКСТРУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	73
8 ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ.....	81
8.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	81
8.2 ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ ОБЕРТАННЯ.....	82
8.3 ЗВАРЮВАННЯ ВІБРОТЕРТЯМ.....	84
9 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	85
9.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	85
9.2 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	90
9.3 УЛЬТРАЗВУКОВЕ НЕПЕРЕРВНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	95
10 ВИСОКОЧАСТОТНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	96
10.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	96
10.2 ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ.....	97
11 ЗВАРЮВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯМ.....	101
11.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	101
11.2 ЗВАРЮВАННЯ СВІТЛОВИМ І ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ.....	103
11.3 ЛАЗЕРНЕ ЗВАРЮВАННЯ	106
12 ЗВАРЮВАННЯ РОЗЧИННИКАМИ.....	107
12.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	107
12.2 ВИБІР РОЗЧИННИКІВ.....	109
12.3 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ.....	110
13 ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	111
13.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	111
13.2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ РЕАКТОПЛАСТІВ.....	113
13.3 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОПЛАСТІВ.....	114
14 ЗВАРЮВАННЯ РІЗНОТИПНИХ ПОЛІМЕРІВ.....	115
14.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	115

14.2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ СУМІСНИХ І	
ЧАСТКОВО СУМІСНИХ ПОЛІМЕРІВ.....	116
15 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	118
15.1 ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	118
15.2 РУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.....	120
15.3 НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.....	121
16 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАСТМАС.....	123
16.1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ.....	123
16.2 ВИМОГИ ДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	
ПРИ РОБОТІ З РОЗЧИННИКАМИ.....	125
16.3 ВИМОГИ ДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	
ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ.....	126
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	128

ВСТУП

Щорічно збільшуються обсяги виробництва і застосування виробів із пластмас. Це обумовлено їхніми корисними властивостями, до яких відносяться велика корозійна стійкість і довговічність; технологічність у механічній обробці і зварюванні; легкість; діелектричні властивості, гнучкість, гладкість та ін. Застосування пластмас у порівнянні з металами дозволяє в 10-15 разів збільшити термін служби виробів, у 5-8 разів зменшити їхню масу і на 15...20% знизити транспортні витрати. Переробка пластмас виконується з меншими витратами енергії і праці, ніж переробка металевих матеріалів.

Заключним етапом при виготовленні виробів і конструкцій із пластмас є складання. Частка витрат на складання може бути від 30 до 70% загальної вартості виробництва виробів і зварних конструкцій. У зв'язку з цим розвиток різних способів з'єднання пластмас, серед яких найбільше застосування знайшло зварювання, має велике техніко-економічне значення.

В останні роки освоєне зварювання практично всіх термопластів, що застосовуються для виготовлення виробів і конструкцій різного призначення, при цьому особливе значення приділялося питанням механізації й автоматизації зварювальних процесів. Зварювання стало важливим і самостійним технологічним процесом, що визначає якість, надійність і довговічність зварних пластмасових виробів і конструкцій.

Найближчим часом передбачається зниження частки неекономічних і важкоавтоматизованих способів зварювання, наприклад, зварювання нагрітим газом, а також пошук нових технологічних схем і нових способів зварювання, що дозволять з високою точністю дозувати енергію, яка вводиться. Завдяки цьому повинні бути збільшені обсяги застосування сучасних високопродуктивних способів - зварювання нагрітим

інструментом в стик, зварювання екструдованою присадкою та особливо зварювання ультразвуком. Подальше підвищення продуктивності зварювальних процесів в основному буде здійснюватися за рахунок механізації і автоматизації допоміжних операцій.

1 ОСНОВНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ

1.1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Збільшення виробництва пластмас за обсягом і номенклатурою, розширення областей застосування цих матеріалів у галузях економіки стимулюють розвиток досліджень, розробку технологічних процесів і устаткування для виготовлення різних конструкцій із пластмас у машинобудуванні й інших галузях промисловості. Особливе місце серед цих процесів займає зварювання.

Зварювання термопластів — це з'єднання двох чи більше частин однакового матеріалу за рахунок впливу теплоти і тиску при повному або майже повному зникненні границі розділу між з'єднувальними поверхнями.

Промислове застосування зварювання пластмас почалося, коли його стали використовувати при виробництві корозійно-стійкої хімічної апаратури з непластифікованого полівінілхлориду (ПВХ). Для цих цілей застосовували ручне зварювання нагрітим газом із присаджувальним матеріалом.

Створення на основі ПВХ плівкових матеріалів призвело до розробки й освоєння процесу височастотного зварювання, що забезпечує швидке нагрівання зазначених матеріалів завдяки високому фактору їхніх діелектричних втрат.

Виробництво і застосування поліолефінів стимулювало розробку різних способів термоконтактного зварювання і створення устаткування для їхньої реалізації. Однак зазначені способи зварювання не дозволяли з'єднувати пластмасові матеріали з забрудненими поверхнями, наприклад, при упакованні в полімерну тару різних продуктів, а також одержувати якісні з'єднання орієнтованих термопластичних матеріалів і, зокрема, які з'явилися на початку 60-х років поліетилентерефталатні плівки. У результаті планомірних пошуків, спрямованих на рішення зазначених

задач, розроблений спосіб зварювання пластмас ультразвуком.

Широке застосування поліолефінів великої товщини для виробництва великогабаритних конструкцій складної конфігурації призвело до розробки екструзійного способу зварювання, який відрізняється великою продуктивністю, високою якістю зварних з'єднань.

Таким чином, у даний час практика має у своєму розпорядженні різні способи зварювання термопластів, застосування кожного з яких залежить від структури і властивостей зварювальних матеріалів, особливостей конструкцій, масовості їх виробництва.

Комплекс робіт в галузі зварювання термопластів, проведених головним чином за останні роки, дозволяє розглядати зварювання як самостійний технологічний процес переробки термопластів.

В останні роки розроблені нові способи зварювання, створені унікальні зразки зварювального устаткування, знайдена можливість зварювання важкозварюваних перспективних матеріалів.

1.2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І СКЛАД ПЛАСТМАС

Пластмасами називають такі матеріали, що містять як основний компонент полімер, при переробці у виробі виявляють пластичні властивості (знаходяться у в'язкотекучому чи вискоеластичному стані), а в звичайних умовах являють собою тверді чи пружні речовини (знаходяться в склоподібному чи кристалічному стані). Полімерами є речовини, молекули яких складаються з багаторазово повторюваних ланок однакового хімічного складу і будова яких представляє собою довгі ланцюги. Крім полімерів пластмаси містять інші важливі речовини, які називають допоміжними домішками - це стабілізатори, наповнювачі, пластифікатори, барвники і пігменти, змащувальні речовини, затверджуючі речовини, антистатики, пороутворювачі, каталізатори та ін.

Стабілізатори - речовини, що вводяться в полімери з метою підвищення їхньої стійкості до дії різних факторів (тепла, світла, кисню та ін.) в умовах переробки, зберігання та експлуатації. Наповнювачі (порошкоподібні, волокнисті, листовидні) додають пластмасам необхідні властивості - теплостійкість, підвищують твердість, збільшують довговічність, здешевлюють і т.д. Пластифікатори надають пластмасі пластичності. Барвники або пігменти надають пластичним масам визначений колір. Речовини, що змащують, запобігають прилипанню пластмас до прес-форм. Затверджуючі речовини додають у пластмаси для перетворення їх у неплавкий і нерозчинний стан у процесі пресування або лиття виробів. Каталізатори скорочують час твердіння пластмас.

Таким чином, пластмаси являють собою складні композиції різних речовин, найголовнішими з яких є полімери. Пластмаси можуть бути однофазними (гомогенними) чи багатфазними (гетерогенними, композиційними) матеріалами. У гомогенних пластмасах полімер є основним компонентом, який визначає властивості матеріалу, а інші компоненти розчинені в полімері. Тому в назві таких пластмас звичайно міститься найменування того полімеру, на основі якого виготовляється дана пластмаса, наприклад поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид і т.д. У гетерогенних пластмасах полімер виконує функцію зв'язуючого середовища стосовно диспергованих у ньому компонентів, які складають самостійні фази.

Полімери, які входять до складу пластмас бувають природними і синтетичними. Природні полімери (наприклад, целюлоза і її похідні, тваринні білки) знаходять обмежене застосування через невисоку атмосферо- і водостійкість. Синтетичні полімери поділяють на полімеризаційні і поліконденсаційні. Вони утворюються з низькомолекулярних речовин-мономерів, які одержують із природних і нафтових газів, вуглекислого газу, водню, аміаку і багатьох інших дешевих

речовин.

Взаємодія мономерів, при якому не виділяються побічні низькомолекулярні речовини, утворює полімеризаційні полімери (поліетилен, поліпропілен полістирол і ін.). Якщо при взаємодії мономерів виділяються низькомолекулярні речовини - утворюються поліконденсаційні полімери (поліуретани, лінійні поліаміди, фенолформальдегідні смоли, меламіноформальдегідні смоли та ін.)

Полімери, в залежності від властивостей при підвищених температурах, поділяються на термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти). Термопласти при нагріванні розм'якшуються і стають в'язкотекучими, при охолодженні вони твердіють, але не втрачають здатності надалі до розчинення і розм'якшення. Реактопласти при нагріванні або на холоді в процесі переробки у виробі перетворюються у тверді неплавкі і нерозчинні матеріали, що обумовлено хімічною реакцією утворення тривимірного полімеру - затвердінням. При цьому полімер незворотно втрачає здатність переходити у в'язкотекучий стан.

Полімери можуть знаходитися тільки у твердому чи рідкому агрегатному стані. Твердому агрегатному стані полімерів відповідають два фазових - кристалічне і аморфне. Рідкому фазовому стані відповідають два агрегатних - тверде (склоподібне) і рідке (розплави). Більшість розповсюджених промислових полімерів (полістирол, полівінілхлорид, поліметилметакрилат і ін.) знаходяться в рідкому фазовому стані. Це аморфні полімери, для яких розрізняють три фізичні стани - склоподібне, високоеластичне і в'язкотекуче. У кристалічних полімерах завжди присутня деяка кількість аморфної фази, тому однією з основних характеристик таких полімерів є вміст у них кристалічної фази (ступінь кристалічності).

Кожен фізичний стан полімеру характеризується визначеним комплексом деформаційних властивостей, знання яких дуже важливе як при переробці полімерів, так і за експлуатації виробів з них. З одного фізичного

стану в інший полімер переходить при зміні температури, яка впливає на запас теплової енергії макромолекул і викликає зміни в механічних властивостях полімерів.

При переході полімеру з аморфного в кристалічний стан підвищуються міцність на розрив і теплостійкість. Наявність аморфної фази зменшує твердість системи і робить її еластичною. У деяких технологічних процесах примусово збільшують вміст аморфної фази в кристалічних полімерах, завдяки чому готові вироби стають більш еластичними. Це досягається тим, що розплав полімеру швидко охолоджують і в такий спосіб утруднюють кристалізацію (повільне охолодження призводить до підвищеної кристалічності). Однак цей метод неприйнятний для товстостінних виробів, оскільки через погану теплопровідність полімеру середні шари охолоджуються повільно і, внаслідок підвищеної кристалічності, призводять до значної усадки. Тому між зовнішніми і внутрішніми шарами матеріалу виникають значні напруження, які можуть викликати розтріскування або короблення виробу.

2 ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИДИ ПЛАСТМАС

Важливою властивістю пластичних мас є їх невелика густина, яка в середньому у 2 рази менша ніж у алюмінію і у 5-8 разів менша ніж у сталі. Це дозволяє значно знижувати масу виробів і конструкцій.

За коефіцієнтом конструктивної якості матеріалу (одержаного як відношення міцності матеріалу до його об'ємної ваги) пластмаси займають перше місце, а шаруваті пластики дозволяють створювати міцні і легкі конструкції.

Пластмаси мають низьку теплопровідність, а коефіцієнт теплопровідності деяких пористих пластмас наближається до коефіцієнта

теплопровідності повітря.

Важливою властивістю пластичних мас є хімічна стійкість, обумовлена хімічною стійкістю полімерів і наповнювачів. Особливо стійкими до впливу кислот і розчинів солей є політетрафторетилен, поліетилен, поліізобутилен, полістирол, полівінілхлорид. Можливість одержувати пластмаси з різними кольорами дозволяє знизити експлуатаційні витрати, оскільки не потрібно фарбувати вироби.

Значний інтерес представляє така властивість пластмас, як низька зношуваність, що дозволяє широко застосовувати пластичні матеріали в конструкціях підлог.

Дуже важливою властивістю деяких пластичних мас без наповнювачів є прозорість і високі оптичні властивості, яка дає можливість, застосовувати ці пластмаси замість силікатного скла.

Найціннішою властивістю пластмас є легкість їхньої переробки й обробки - можливість надавати виробам із пластмас різноманітні, навіть самі складні форми. Пластмаси легко переробляються литтям, пресуванням і екструзією, їх можна зварювати різними способами, а також склеювати; пластмаси легко піддаються різним видам механічної обробки. Ці властивості дозволяють значно знижувати собівартість виробів.

До позитивних властивостей пластмас варто віднести також необмеженість сировинної бази, на якій базується промисловість полімерів.

До недоліків пластмас відносяться низька теплостійкість більшості з них (від 70 до 200 °C); мала поверхнева твердість (від 5 до 25 кг/мм²); високий коефіцієнт термічного розширення $(25-120) \times 10^{-6}$; підвищена повзучість; горючість; а для деяких пластмас і токсичність, що залежить від токсичності складників пластмаси - стабілізаторів, пластифікаторів, барвників. До недостатньо вивчених властивостей пластмас варто віднести їхню довговічність.

Полімери відзначаються простотою обробки: їх легко можна піддавати

токарній обробці, строганню, пресуванню, формуванню та зварюванню.

Більшість пластмас виробляється у формі дрібно подрібненого порошку, преспорошку чи гранул і переробляється за допомогою передових технологій, які не вимагають зняття стружки і забезпечують виготовлення продукції з гладкою та блискучою поверхнею. Основні методи переробки включають лиття у форми, пресування, лиття під тиском, центробіжне і автоклавне лиття та інші.

Що стосується недоліків, то значна частина пластмас характеризується низьким порогом міцності; схильністю до деформації під тривалим навантаженням; обмеженою термостійкістю; процесом старіння, який призводить до зниження механічних властивостей під час експлуатації.

Процес зварювання пластмас здійснюється шляхом утворення з'єднань через контакт поверхонь, які активізуються дією тепла.

Різноманітність послідовностей операцій включає: спочатку контакт, потім нагрівання; спочатку нагрівання, потім контакт; одночасний контакт і нагрівання.

Подача енергії для активації з'єднуваних поверхонь і прикладення необхідного тиску може відбуватися за допомогою одного або декількох інструментів. На етапі зварювання термопластів в зоні зварювання протікають наступні процеси:

- подача енергії та її трансформація для активації зварюваних поверхонь;
- взаємодія активованих поверхонь під час контакту;
- формування структури матеріалу у місці з'єднання.

Активація зварюваних поверхонь можлива через: контакт з нагрітими інструментами, газами чи додатковими матеріалами; абсорбцію та трансформацію енергії від високочастотних електричних коливань, енергії тертя, радіаційної енергії або високочастотних механічних коливань.

Основою активації, незалежно від методу, є нагрівання зварюваних

поверхонь, що сприяє збільшенню енергії теплового руху макромолекул.

Далі йде етап взаємодії активованих поверхонь при контакті. Цей етап критично важливий для якості утвореного зварного з'єднання, оскільки лише через взаємодію макромолекул полімера можна досягти з'єднання, властивості якого максимально наближені до вихідного матеріалу. Механізм утворення зварного з'єднання залежить не стільки від природи полімера, скільки від температури нагрівання зварюваних поверхонь, що визначає їх стан: високоеластичний або в'язкоплинний.

Під час зварювання при температурі, що є нижчою за температуру текучості (стадія високої еластичності), процес утворення з'єднання переважно визначається дифузією фрагментів макромолекул через межу поділу. Ефективне створення міцного з'єднання у такому діапазоні температур можливе тільки за умови тривалого контакту зварювальних поверхонь. Дифузійному процесу перешкоджають повітряні шари та різні особливості поверхневих шарів матеріалів, зумовлені методами їхнього виробництва та умовами зберігання. Більше того, коефіцієнт дифузії не є сталим і знижується по мірі того, як макромолекули проникають через межу поділу, що збільшує їх затримку. Таким чином, зварні шви зберігають видиму межу поділу і можуть деформуватися або розшаровуватися під час певних навантажень. Структура матеріалу в зоні з'єднання залишається незмінною порівняно з первісною, незалежно від швидкості охолодження.

Коли температура матеріалу перевищує температуру текучості і зварювальні поверхні перебувають у в'язкотекучому стані, процес зварювання термопластів відбувається дуже швидко, часто тривалість обмежується лише кількома секундами, особливо під час ультразвукового чи височастотного зварювання. Така швидкість зварювання не досягається за допомогою дифузії. У цьому випадку перед проявом міжмолекулярної взаємодії відбувається низка явищ.

Початково, під час контакту, напруга, що виникає через зусилля

стискання, ініціює переміщення шарів розплаву. Це переміщення спричиняє видалення повітряних прошарків та інших чужорідних включень з зони з'єднання, що проявляється у витісненні розплаву з цієї зони. Швидкість потоку в окремих зонах контакту може варіюватися через різну інтенсивність нагрівання та неоднорідність розподілу тиску. Це призводить до інтенсивного перемішування розплаву, що найімовірніше у випадку використання методів зварювання, які базуються на застосуванні високочастотних механічних або електричних коливань. Таким чином, створення зварних з'єднань при контакті розплавлених поверхонь в значній мірі залежить від перемішування макрооб'ємів розплаву на стадії формування фізичного контакту. Дифузійні процеси відбуваються одночасно та протікають уздовж цих макрооб'ємів. Межа поділу відсутня, і міцність шва дорівнює міцності зварювального матеріалу. У процесі зварювання певних видів термопластів на стадії взаємодії активованих поверхонь можуть відбуватися хімічні реакції на межі поділу. Зварювання термопластів у в'язкотекучому стані має значні переваги порівняно з дифузійним методом.

Останнім кроком у процесі утворення зварного з'єднання є формування надмолекулярної структури в області контакту, що істотно впливає на фізико-механічні характеристики та інші властивості матеріалу. Щоб забезпечити, що властивості шва максимально відповідають властивостям вихідного матеріалу, важливо в шві відтворити надмолекулярні структури, типові для оригінального матеріалу. Вплив на формування цих структур мають умови, за яких розплав охолоджується. Маніпулюючи цими умовами, можна досягти потрібної чи приблизної до бажаної надмолекулярної структури.

У зварюваних виробах і конструкціях найбільш широке застосування знаходять термопласти - полімери, одержувані методом ланцюгової полімеризації. При реакції полімеризації відбувається з'єднання однакових

або різних молекул (мономера), і полімер, що утворився, має молекулярну масу, яка дорівнює сумі молекулярних мас реагуючих молекул мономера. Фізичні властивості термопластів залежать від ступеня їхньої полімеризації. Основні фізико-механічні властивості найбільш застосовуваних термопластів приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Основні фізико-механічні властивості термопластів

Назва термопласта	Густина при 20 ⁰ С, г/см ³	Температура плавлення, ⁰ С	Міцність на розтяг, кгс/см ²	Відносне видовження, %
Поліетилен високого тиску	0,918-0,935	105-115	120-160	150-600
Поліетилен низького тиску	0,945-0,955	125-130	220-320	400-800
Поліетилен середнього тиску	0,960-0,970	130-135	250-300	200-800
Поліпропілен	0,89-0,91	160-170	290-400	150-600
Полівінілхлорид	1,35-1,43	150-160	400-600	5-100
Полістирол	1,05	140	350-500	1,2-2,0
Політетрафторетилен	2,15-2,24	327	140-350	250-500

Поліетилен.

Мономером поліетилену є етилен. У залежності від умов полімеризації розрізняють поліетилен низького тиску, поліетилен середнього тиску і поліетилен високого тиску. Поліетилен низького тиску має велику щільність, міцність, твердість і підвищену теплостійкість, а поліетилен високого тиску - більш м'який і еластичний. Поєднання таких властивостей, як хімічна стійкість, механічна міцність, морозостійкість і стійкість до радіоактивних випромінювань, високі електроізоляційні якості, надзвичайно низька газопроникність і водопоглинання, мала об'ємна вага роблять поліетилен у ряді випадків незамінним матеріалом. Поліетилен широко застосовують у виробництві труб різного призначення

(водопровідних, газових, каналізаційних і ін.), листів і плівок технічного і побутового призначення, предметів домашнього побуту, ємностей для збереження агресивних речовин, деталей різних хімічних апаратів і т.д.

Поліпропілен.

Одержують полімеризацією пропілену. У промисловості широке застосування знайшов ізотактичний поліпропілен. Поліпропілен - легкий матеріал, який має високу теплостійкість і добрі електроізоляційні властивості. Без навантаження його можна застосовувати при температурі до 150 °С. За хімічною стійкістю поліпропілен аналогічний поліетилену, але відрізняється значно більшою механічною міцністю, зносостійкістю і твердістю. З поліпропілену виготовляють труби, побутові вироби, деталі різної хімічної апаратури, ємності для рідин, облицювальні антикорозійні плитки, контейнери для перевезення і збереження сипучих вантажів, а також плівки, які відрізняються прозорістю, паро- та газонепроникністю.

Полівінілхлорид.

Одержують полімеризацією вінілхлориду. Полівінілхлорид має достатньо високу міцність і хімічну стійкість. З полівінілхлориду виготовляють водопровідні труби і жолоби, вентиляційні коробки, лінолеум для підлоги, плівки різного призначення, різні погонажні (плінтуса, поручні, карнизи і т.д.) і інші вироби.

Полістирол.

Одержують полімеризацією стиролу. Полістирол має майже абсолютну водостійкість, високу хімічну стійкість і прозорість, є гарним діелектриком, але характеризується великою крихкістю і невисокою атмосферостійкістю. Полістирол широко застосовують для виготовлення посуду, іграшок, освітлювальної арматури, тари для харчової і медичної промисловості, панелей приладів і т.д.

Поліакрилати.

При одержанні поліакрилатів мономерами є ефіри акрилової і

метакрилової кислот. Метакрилові полімери мають більш високу теплостійкість і хімічну стійкість, а акрилові - більш високу морозостійкість. Важливою технічною властивістю поліакрилатів є їх прозорість і безбарвність, що має особливе значення для застосування в якості прозорого будівельного матеріалу, наприклад, плівок, листів і труб.

Політетрафторетилен.

Одержують полімеризацією тетрафторетилену. Вироби з політетрафторетилену (фторлон-4, фторлон-4Д) можуть експлуатуватися в межах температур від -270 до +250 °С. Винятковою є хімічна стійкість політетрафторетилену, яка перевершує стійкість всіх інших синтетичних матеріалів, спеціальних сплавів, кераміки і навіть золота і платини. Політетрафторетилен нагрітий до температури термічного розкладання (+415 °С) має дуже високу в'язкість, що, поряд з нерозчинністю, утрудняє переробку цього полімеру у вироби. Процес переробки політетрафторетилену у вироби складається з підготовки порошку (вихідний полімер) до формування, холодного пресування заготовок, спікання заготовок, їх охолодження і обробки на механічних верстатах. Винятково високі діелектричні властивості політетрафторетилену, що практично не залежать від температури в межах від -60 до +200 °С, дозволяють широко використовувати його у високочастотних установках, а також для електроізоляції. Для потреб хімічної промисловості з фторопласта-4 виготовляють труби, прокладки, деталі насосів і ін. Недоліками політетрафторетилену, крім труднощів переробки його у вироби, є холоднотекучість і мала твердість.

3 СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Зварювання пластмас це технологічний процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей або елементів конструкції з пластмас, який базується на дифузійно-реологічних або хімічних процесах, які протікають у зоні з'єднувальних поверхонь за їхнього нагрівання або без нього та механічному впливі.

В результаті зварювання між поверхнями зникає початкова границя розділу, перетворюючись у міжфазний шар з однорідною або різнорідною хімічною структурою.

За механізмом процесу розрізняють дифузійно-реологічне і хімічне зварювання пластмас.

Дифузійно-реологічне зварювання пластмас здійснюється шляхом нагрівання поверхонь, або за допомогою розчинника, а зварювальне з'єднання утвориться переважно в результаті течіння пластмаси і дифузії макромолекул полімеру в зоні зварювання.

При **хімічному зварюванні** з'єднання утворюється в результаті утворення міжмакромолекулярних хімічних зв'язків полімеру в зоні зварювання. Хімічне зварювання може виконуватися із застосуванням присадного матеріалу або без нього. На відміну від склеювання при хімічному зварюванні не утворюється самостійна фаза.

В залежності від виду енергії і способу її передачі до з'єднувальних поверхонь розрізняють термічний, термомеханічний, механічний і електромеханічний класи зварювання пластмас (рис. 3.1).

Термічний клас зварювання включає в себе способи зварювання, при яких з'єднання утвориться в результаті зміни внутрішньої енергії матеріалів лише за рахунок конвективного теплообміну і випромінювання без передачі механічної енергії. До нього входять такі види зварювання: полум'ям, випромінюванням і плазмою.

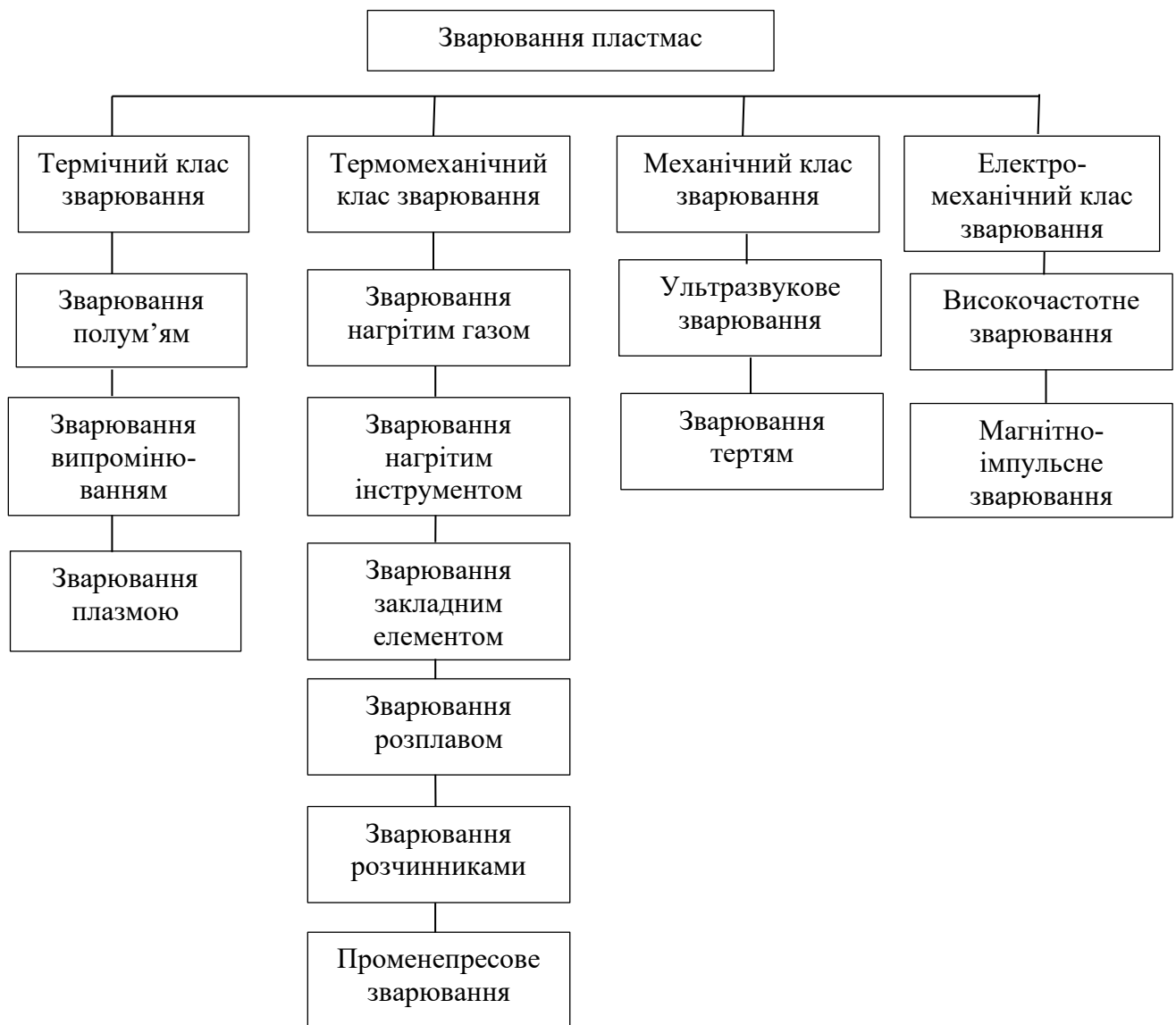


Рисунок 3.1 Класифікація і різновиди зварювання пластмас

Термомеханічний клас зварювання включає способи, при яких з'єднання утворюється в результаті зміни внутрішньої енергії матеріалів за рахунок конвективного теплообміну і випромінювання з використанням механічної енергії (додавання зусилля в зоні шва). До нього відносять зварювання нагрітим газом, нагрітим інструментом, закладним елементом, розплавом, розчинником.

Механічний клас зварювання об'єднує способи зварювання, при яких з'єднання утворюється за рахунок перетворення енергії механічного руху і взаємодії деталей у теплоту (переважно кінетичної енергії

інструмента чи деталі), а щільність з'єднання поверхонь забезпечується створенням на них зусилля. В нього входять ультразвукове зварювання і зварювання тертям.

До **електромеханічного класу зварювання** відносять способи зварювання, при яких з'єднання утворюється в результаті перетворення в деталях електромагнітної енергії радіочастотного діапазону в теплоту, а щільність з'єднання поверхонь, забезпечується створенням на них додаткового зусилля. Сюди належить високочастотне і магнітно-імпульсне зварювання.

Види зварювання пластмас визначаються за видами джерела енергії, яка безпосередньо використовується для утворення зварного з'єднання.

При **зварюванні полум'ям** для нагрівання поверхонь деталей, використовують відкрите полум'я.

Зварювання випромінюванням базується на нагріванні поверхонь деталей в результаті перетворення в них енергії випромінювання в теплову енергію. Зварювання випромінюванням здійснюють без або з присадним матеріалом із застосуванням накладок за схемами прямого чи непрямого нагрівання. Залежно від джерела випромінювання поділяють на зварювання інфрачервоним випромінюванням, лазерне і світлове. При зварюванні інфрачервоним випромінюванням використовуються промені з довжиною хвилі 1,0—15,0 мкм, світлове - світлові промені з довжиною хвиль 0,2—1,0 мкм, лазерне - когерентний світловий промінь у видимому чи інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

При **зварюванні плазмою** нагрівання поверхонь деталей здійснюється низькотемпературною плазмою, яка утворюється при електричному розряді в газовому струмені.

Зварювання нагрітим газом проводиться за рахунок нагрівання поверхонь деталей нагрітим газом (переважно - повітрям). При цьому поверхні спочатку розігрівають струменем нагрітого газу, а потім стикують

одну з одною чи з нагрітим тим же газовим струменем присадним матеріалом.

Зварювання нагрітим інструментом виконується за рахунок нагрівання поверхонь деталей нагрівальним інструментом за схемами прямого чи непрямого нагрівання. Термоімпульсне зварювання здійснюється шляхом імпульсної подачі теплоти від малоінерційного опірного нагрівального інструмента, по якому пропускають електричний струм. Зварювання нагрітим клином виконується із застосуванням нагрівального інструмента у формі клина.

При зварюванні закладним елементом нагрівання поверхонь деталей здійснюється за допомогою закладного нагрівального елемента, який розміщується між поверхнями і залишається у зварному шві. До різновидів зварювання закладним елементом відносять індукційне і термоопірне зварювання. Індукційне зварювання виконується закладним елементом, який нагрівається в електромагнітному полі індуктора, а термоопірне зварювання — закладним елементом, який нагрівається при пропусканні по ньому електричного струму.

Зварювання розплавом виконується з нагріванням поверхонь деталей розплавленим присадним матеріалом. Розрізняють екструзійне зварювання і зварювання литтям під тиском, які можуть виконуватися як з попереднім підігріванням поверхонь так і без нього. При екструзійному зварюванні розплавлений присадний матеріал подається до поверхонь від зварювального екструдера, а при зварюванні литтям під тиском із сопла машини для лиття.

Зварювання розчинником базується на активації поверхонь деталей розчинником. Полягає в змочуванні розчинником поверхонь деталей, приведенні їх у контакт і витримуванні під тиском до моменту затвердіння матеріалу зварного шва. Зварювання чистим розчинником виконують за допомогою розчинника або суміші розчинників без утримуючого полімеру.

При зварюванні висихаючою композицією, у якості присадного матеріалу використовують розчин полімеру в розчиннику, а при зварюванні з полімеризуючою композицією використовують - розчин полімеру в мономері.

Променепресове зварювання здійснюється за рахунок нагрівання поверхонь енергією випромінювання, а утворення зварного з'єднання забезпечується прикладанням зусилля.

При **ультразвуковому зварюванні** з'єднання формується в результаті перетворення в деталях енергії механічних коливань у теплоту. Застосовують багато різновидів ультразвукового зварювання, які відрізняються способом підведення ультразвукової енергії, її передачі до поверхонь, створенням статичного зварювального тиску, дозуванням енергії і т.д.

При **зварюванні тертям** нагрівання поверхонь відбувається за рахунок роботи сил тертя, які виникають при взаємному переміщенні стиснутих деталей. Залежно від того, яким чином створюється тертя, розрізняють ротаційне зварювання тертям, зварювання вібротертям і віброобертанням без або із застосуванням проміжної вставки. При ротаційному зварюванні тертям переміщення деталей однієї відносно іншої відбувається в результаті обертання навколо осі, яка співпадає з напрямком сили тиску. Зварювання вібротертям базується на переміщенні деталей однієї відносно іншої в результаті коливань обох деталей, коливань однієї з деталей чи коливань проміжної вставки між ними в площині перпендикулярній напрямку сили тиску. При зварюванні віброобертанням одна з деталей чи проміжна вставка між ними робить круговий плоскопаралельний рух у площині, перпендикулярній до напрямку сили тиску.

Високочастотне зварювання базується на діелектричному нагріванні пластмас в електромагнітному полі.

При **магнітно-імпульсному зварюванні** з'єднання утворюється шляхом створення тиску на деталі металевим інструментом, який пластично деформується в імпульсному магнітному полі електричного індуктора.

Деякі види зварювання залежно від використовуваного устаткування поділяються на зварювання пресове, роликове і стрічкове. При пресовому зварюванні для створення стиску деталей використовують пресове устаткування. Роликове зварювання виконують інструментом у вигляді ролика, який використовується як для підведення енергії до поверхонь так і для створення стиску деталей. При стрічковому зварюванні для підведення енергії до поверхонь і створення стиску використовують інструмент у вигляді бескінечної стрічки, яка переміщується разом з зварювальним матеріалом.

4 ВИБІР СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ

При визначенні методу зварювання важливо проаналізувати ефективність кожного методу та його техніко-економічну обґрунтованість, залежно від характеристик зварюваного пластику та конструкції. Не всі типи термопластів підходять для зварювання за допомогою одного і того ж методу.

Деякі з них погано зварюються або взагалі не підлягають зварюванню високочастотними струмами через низьке значення тангенса діелектричних втрат (як-от поліетилен чи поліпропілен). Інші складно зварювати ультразвуком через значне затухання ультразвуку при проходженні крізь деталі. Це так звані «м'які» пластмаси з низьким модулем еластичності. Ще інші не можуть зварюватися за допомогою світла через високу світлопроникність та слабе поглинання радіаційної енергії.

Структурні та хімічні зміни, які відбуваються в поверхневих шарах пластмаси, суттєво впливають на зварюваність. Ці зміни зумовлені властивостями полімерних матеріалів та методами їх обробки.

З зміною часу у верхніх шарах полімеру спостерігається поступове падіння молекулярної маси, що є результатом деструкції та старіння. Вплив сонячної радіації спричиняє хімічні зміни у поверхневому шарі.

Під час виробництва пластмасових виробів на поверхні наносяться технологічні змазки, які в подальшому осідають на виробі. Згодом ці субстанції окислюються, перетворюючись у нерозчинні складові. Також з внутрішніх шарів пластмаси на поверхню продуктів дифундує пластифікатор.

В результаті поверхня виробів перетворюється на складний шар з певним складом і структурою. Здатність макромолекул поверхні до активної взаємодії з часом знижується, утворюється бар'єрний шар, який ускладнює або навіть унеможлиблює контакт активних макромолекул. Хімічне видалення таких поверхневих шарів вкрай складне, а механічне видалення бар'єрного шару часто є неможливим, особливо з поверхні плівок.

Для його ліквідації під час зварювання потрібно застосовувати тиск, який забезпечить рух в'язкої маси, руйнування та витіснення фрагментів шару. Хоча це явище характерне для різних пластмас у різній мірі, зрозуміло, що розвиток зсувних деформацій у зоні контакту є критичним для створення з'єднання.

Також перехід полімеру в в'язкотекучий стан не має супроводжуватися розкладанням матеріалу (термодеструкцією), що змінює хімічну природу ланцюгових молекул, інакше шов матиме знижені порівняно з основним матеріалом міцнісні, деформаційні та інші властивості. Температурний діапазон в'язкотекучого стану полімеру має бути достатньо широким, адже інакше неминучі відхилення від ідеального режиму зварювання у реальних

умовах виробництва можуть призвести до дефектів, таких як недопал при недостатньому нагріванні або деструкція при перегріванні.

Окрім того, розплав, який формується під час перетворення полімеру в в'язкотекучий стан, має мати таку в'язкість, яка дозволила б під впливом зсувних напружень забезпечити його переміщення та інтенсивне перемішування.

Ці твердження достатні для оцінки зварюваності полімерів. Аналізуючи два умовних полімери (1 та 2) і порівнюючи їх реологічні характеристики (рис.4.1), можна визначити, що полімерний матеріал із ширшим температурним діапазоном в'язкотекучого стану ΔT ($T_T - T_P$), нижчою в'язкістю η у цьому діапазоні та вищим градієнтом зниження в'язкості $d\eta/dT$, демонструє кращі показники зварюваності. Водночас, параметри в'язкості ΔT_1 , η_{1MIN} , $d\eta_1/dT_1$ (крива 1) свідчать про меншу зварюваність даного полімеру.

Зварюваність характеризує здатність пластмас утворювати зварювальне з'єднання при оптимальних режимах процесу зварювання. Зварюваність оцінюють шляхом зіставлення характеристик зварюваного з'єднання з аналогічними характеристиками основного матеріалу або з їх заданими значеннями.

Дифузійно-реологічний процес зварювання можливий тільки при переході у в'язкотекучий стан матеріалу поверхонь деталей коли макромолекули мають максимальну рухливість і найменшу щільність пакування. Температурний інтервал в'язкотекучого стану полімеру має бути досить широким, в іншому випадку незначні відхилення від оптимального режиму зварювання можуть призвести до дефектів зварювання в результаті непроварів або термодеструкції. Розплав полімеру повинен мати таку в'язкість, при якій досягається необхідна швидкість його течіння. Ступінь і швидкість дифузії залежать від молекулярної маси полімерів і полярності ланок макромолекул (з їх зменшенням швидкість

дифузії зростає).

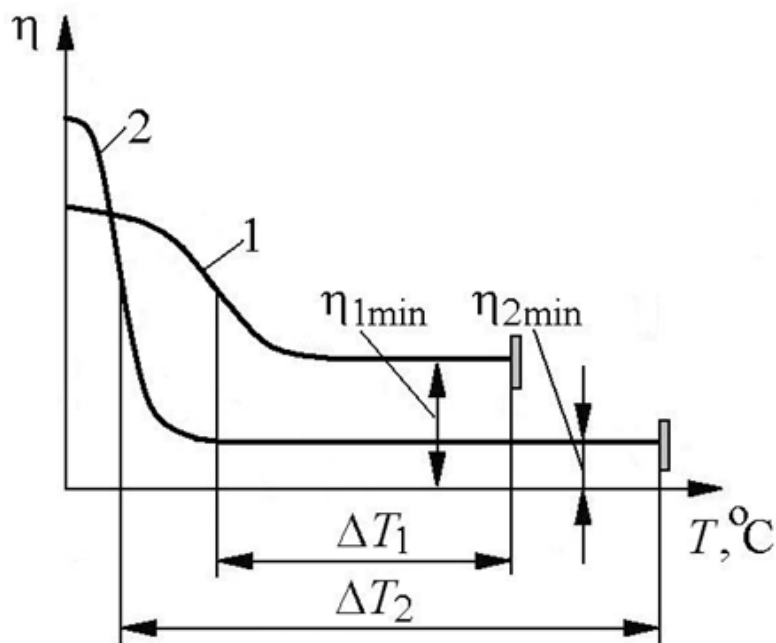


Рисунок 4.1. Зміна параметрів в'язкості розплаву полімеру в температурному інтервалі в'язкотекучого стану: ΔT — температурний інтервал в'язкотекучого стану (від T_T до T_P), $^\circ\text{C}$ η — в'язкість у цьому інтервалі (Па·с) $d\eta/dT$ — градієнт зниження в'язкості.

Термопласти значно відрізняються за температурним інтервалом в'язкотекучого стану, тобто інтервалу між температурою деструкції полімеру і температурою його течіння. Термопласти з широким температурним інтервалом в'язкотекучого стану зварюються значно краще ніж з вузьким.

Термопласти за їхньою здатністю до зварювання розділяються на три групи.

Добра зварюваність. Група об'єднує термопласти, зварювання яких можливе за допомогою різних способів у широкому інтервалі температур (від температури течіння до температури деструкції). Це неорієнтовані термопласти з енергією активації в'язкого течіння значно меншою, ніж

енергія руйнування хімічного зв'язку, з широким температурним інтервалом в'язкотекучого стану і низькою в'язкістю розплаву. При зварюванні цих термопластів небезпека термічної деструкції практично відсутня.

Обмежена зварюваність. Група об'єднує термопласти, які можуть зварюватися тільки при деяких обов'язкових умовах. Це термопласти з енергією активації в'язкого течіння близькою до енергії руйнування хімічного зв'язку (існує небезпека деструкції при нагріванні до в'язкотекучого стану), вузьким температурним інтервалом в'язкотекучого стану (можуть розкладатися при незначному перегріванні), порівняно високою в'язкістю розплаву (важко забезпечити достатню швидкість течіння), орієнтовані термопласти (неминуче порушення орієнтованої структури, яка забезпечує міцність матеріалу). При зварюванні термопластів цієї групи застосовують спеціальні технологічні прийоми або підбирають найбільш оптимальний спосіб зварювання.

Незварюються — група об'єднує термопласти, які практично не можливо перевести у в'язкотекучий стан, в результаті чого їхнє зварювання практично неможливе. Це термопласти, енергія активації в'язкого течіння яких перевищує енергію хімічного зв'язку, або які мають дуже високу в'язкість розплаву.

Багато термопластів значно змінюють зварюваність в результаті введення домішок (наповнювачів), а також впливу різних зовнішніх факторів на стан поверхонь — забруднення, високої температури, ультрафіолетового випромінювання, води. Наприклад, збільшення вмісту сажі в поліетилені понад 2% погіршує зварюваність (підвищується температура плавлення), що обумовлено здатністю сажі взаємодіяти з поліетиленом з утворенням як фізичних, так і хімічних зв'язків, які перешкоджають переходу полімеру у в'язкотекучий стан при властивій для нього температурі. У той же час введення в поліетилен парафіну знижує

температуру його плавлення.

Прискорення процесу охолодження зварних швів, що допускається для аморфних полімерів, викликає розпушення структури шва, тому зварні шви полімерів, які кристалізуються, повинні охолоджуватися природним шляхом, що забезпечує одержання структури зварних швів, близької до основного матеріалу.

Оптимальні режими зварювання добре зварюваних термопластів підбираються залежно від способу зварювання і зварювального устаткування, однак чим нижча температура зварювання тим більший тиск необхідний для забезпечення заданої міцності з'єднань. У випадку, якщо тиск теплоносія на розплав практично відсутній, наприклад при зварюванні полум'ям, необхідно забезпечити максимально можливу швидкість течіння розплаву, яка досягається за рахунок підвищення його температури, максимальне значення якої обмежується температурою деструкції полімеру.

Хімічне зварювання застосовується для з'єднання пластмас, які не піддаються дифузійному зварюванню і здійснюється шляхом хімічної взаємодії функціональних груп у зоні стику деталей. Підвищення хімічної активності ланок макромолекул може здійснюватися попередньою обробкою поверхонь хімічним реагентом, який сприяє збільшенню пластичності поверхневих шарів або за допомогою присадного матеріалу.

Зварювання використовується тоді, коли, порівняно з іншими методами з'єднання, воно забезпечує досягнення високих технічних та економічних результатів при виготовленні та експлуатації виробів і конструкцій.

Зварюванню надають перевагу, коли з'єднувальні деталі виготовлені з однорідних матеріалів, використання кріпильних елементів і клеїв є недоцільним, потрібно створити конструкцію з мінімальною масою, а також у випадках, коли важливі високі показники продуктивності праці,

механізації та автоматизації процесу, герметичність тощо.

Методи зварювання пластмасових виробів відрізняються за технологічними параметрами, конструкцією обладнання та оснащення, мають специфічні сфери використання, умовами праці і техніко-економічними характеристиками (продуктивністю, вартістю зварювального устаткування, енергетичними, матеріальними і трудовими витратами, площею, яку займає устаткування і т.д.).

При виборі способів зварювання необхідно враховувати такі параметри, як теплопровідність матеріалу, діапазон між температурами течіння та деструкції, температурний інтервал плавлення, діелектричні характеристики тощо. Наприклад, при зварюванні труб із твердого полівінілхлориду в монтажних умовах рекомендується застосовувати зварювання нагрітим інструментом із підведенням тепла до поверхонь за допомогою профільованого інструменту. Це збільшує площу зварювання порівняно з плоскими інструментами та підвищує міцність з'єднання за розтягу на 30%.

Такий підхід обумовлений тим, що полівінілхлорид має дуже вузький інтервал оптимальних температур зварювання, дотримання якого можливе лише при автоматизованому зварюванні в стаціонарних умовах. Використання профільованого інструменту дозволяє розширити цей температурний інтервал, покращуючи якість з'єднання.

Зварювання розплавом застосовують для пластмас з відносно низькою температурою розм'якшення, які здатні витримувати значне перегрівання без видимої деструкції.

Зварювання тертям рекомендується для термопластів, у яких в'язкість вище температури плавлення змінюється поступово (наприклад, поліолефіни, твердий полівінілхлорид). Високочастотне зварювання не підходить для поліетилену, поліпропілену та інших неполярних пластмас.

Серед конструктивних факторів при виборі способу зварювання слід

враховувати товщину виробів, ширину та довжину шва, а також можливість доступу до з'єднання з обох сторін.

До технологічних факторів належать обсяг підготовчих і завершальних робіт, необхідність використання індивідуального оснащення, можливість механізації процесів, трудомісткість і тривалість виконання робіт, технологічні параметри, умови навколишнього середовища, а також можливість застосування обраного способу зварювання та забезпечення необхідних технологічних параметрів у процесі виготовлення з'єднання.

Якщо спосіб зварювання викликає короблення виробів, деструкцію полімеру і втрату форми виробу, доцільно застосовувати зварювання за допомогою розчинників, яке ефективно використовують, наприклад, для з'єднання листів з поліметилметакрилату або труб з полівінілхлориду.

Серед технічних параметрів різних способів зварювання є їх продуктивність, енергетичні і матеріальні затрати, необхідні для здійснення зварювального процесу; масштаби виробництва, вимоги до кваліфікації робочого персоналу.

Серед експлуатаційних параметрів, які впливають на вибір способу зварювання, найбільш важливими є навантаження на з'єднання під час виготовлення та експлуатації конструкцій. Вибір способу зварювання здійснюється з урахуванням здатності готового з'єднання оптимально сприймати ці навантаження.

Тут необхідно передбачити можливість появи залишкових деформацій і напружень у зварній конструкції, що впливає на працездатність з'єднань. Змінюючи спосіб зварювання, можна змінити і залишкові напруження, значення яких залежать не тільки від характеристик полімеру і конструкції, а також і від величини погонної енергії при зварюванні, від перерізу шва, від схеми зварювання, які різні для різних способів зварювання.

До економічних показників способів зварювання відноситься технологічна собівартість продукції. Її розмір визначають виходячи з

величини витрат на основні і допоміжні матеріали, основній і додатковій заробітній платі зварників, відрахувань на соціальне страхування, електроенергію для технологічних цілей на виконання процесу зварювання, амортизацію, утримання і експлуатацію устаткування, виробничих площ та ін.

5 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ ГАЗОМ

5.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Зварювання нагрітим газом полягає в підведенні тепла за допомогою газу - теплоносія безпосередньо до з'єднувальних поверхонь послідовно від однієї ділянки шва до іншої. Поряд з послідовним зварюванням можливе також зварювання по всій поверхні шва за один прийом. Зварювання нагрітим газом можна здійснювати застосовуючи присадний матеріал (дротик) різного перерізу (рис. 5.1), і без присадного матеріалу.

Даний спосіб зварювання є універсальним, оскільки може бути застосований для зварювання всіх типів з'єднань (стикових, напусткових, кутових і таврових) матеріалів різної товщини і розмірів, дозволяє зварювання протяжних швів складної конфігурації при різному положенні в просторі, не вимагає складного зварювального устаткування. Даним способом можна зварювати вироби з більшості відомих термопластів (полівінілхлоридів, поліетилену, поліметилметакрилату, полістиролу, пентапласту, полікарбонату, поліформальдегіду) і інших матеріалів.

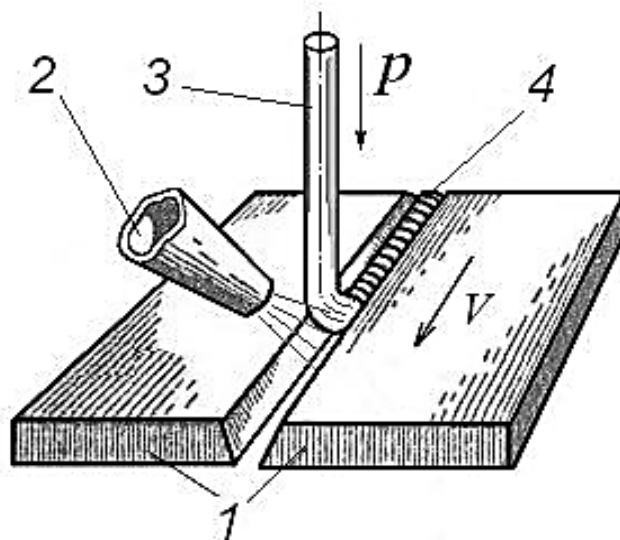


Рисунок 5.1 Схема зварювання нагрітим газом з використанням присадного матеріалу: 1- виріб; 2 - наконечник; 3 - присадний матеріал; 4 - зварний шов.

При зварюванні у спеціальних нагрівальних пристроях (нагрівачах) газ-теплоносій нагрівають за допомогою електричного елемента або газового полум'я. Газом-теплоносієм найчастіше є повітря, а при зварюванні термопластів, які піддаються термоокисній деструкції - інертні гази (азот).

Застосовуючи до наконечника нагрівального пристрою спеціальні насадки, забезпечують одночасне підігрівання зварювальних кромок і прутка.

Зварювання без присадного матеріалу виконують з підведенням тепла безпосередньо до зварювальних поверхонь (пряме нагрівання) або з підведенням тепла до зовнішньої поверхні деталей (непряме нагрівання).

Недоліками зварювання нагрітим газом є низька продуктивність, висока вартість робіт, складність підтримання постійних режимів зварювання і стабільності якості з'єднань.

5.2 ЗВАРЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИСАДНОГО МАТЕРІАЛУ

Основні типи, конструктивні елементи швів зварних з'єднань листів з полівінілхлориду, поліетилену і поліпропілену товщиною 2—20 мм (рис. 5.2), їхні розміри, граничні відхилення повинні відповідати ДСТУ 2099—92. Вибір типу шва обумовлений як правило товщиною і властивостями зварювальних матеріалів, особливостями конструкцій і умовами навантаження в процесі експлуатації.

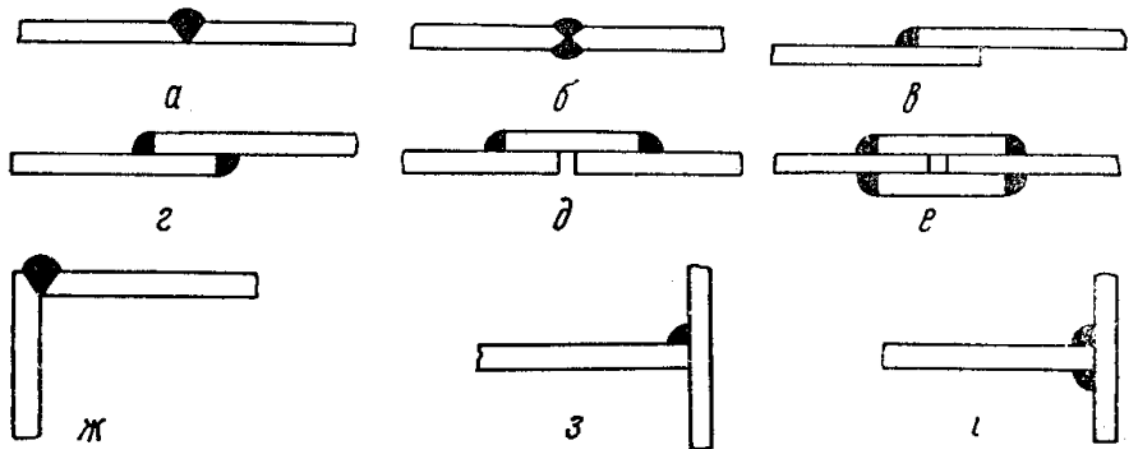


Рисунок 5.2 Основні типи зварних з'єднань: а – стикове з одностороннім скосом кромки; б – стикове з двостороннім скосом кромки; в – напусткове з одним швом; г – напусткове з двома швами; д – стикове з накладкою; е – стикове з двома накладками; ж – кутове; з – таврове з одним швом; и – таврове з двома швами.

Якість зварних з'єднань істотно залежить від типу зварного шва, підготовки виробів, положення нагрівача в процесі зварювання, кута нахилу прутка при подачі в шов, температури, витрати і тиску газу-теплоносія, швидкості і порядку укладання прутка в шов, відстані від наконечника нагрівача до зварювальних поверхонь, зусилля вдавнення

розм'якшеного прутка, діаметрів присадного прутка та отвору наконечника нагрівача, а також від дотримання зварником технологічних прийомів і режимів зварювального процесу.

Додавальний матеріал зазвичай представлений у формі стрижня, діаметр якого, залежно від товщини зварюваних пластин та виду обробки країв, варіюється від 2 до 6 мм. Виробляється він із того ж матеріалу, що і основний зварюваний виріб. Для зниження температури пом'якшення та підвищення пластичності цього додавального матеріалу, у нього вводять пластифікатори. Наприклад, для зварювання поліетилену використовують додавальний матеріал, який складається з поліетилену з додаванням від 5 до 10% поліізобутилену; для зварювання полівінілхлориду використовують спеціальний стрижень з пластифікованого полівінілхлориду, який містить приблизно 10% пластифікатора.

Вибір газу для нагрівання зварюваного виробу залежить від характеристик пластмаси. Так, для зварювання полівінілхлориду можна застосовувати повітря, азот, вуглекислий газ чи кисень, однак найкращу міцність зварного з'єднання досягають, використовуючи кисень і повітря. Для зварювання поліетилену та інших пластмас, чутливих до дії кисню, в якості газу-теплоносія застосовують азот. Найекономічнішим газом-теплоносієм є повітря.

Під час зварювання з використанням додаткового матеріалу спочатку здійснюють нагрівання поверхонь деталей потоком нагрітого газу, а далі встановлюють контакт з аналогічно нагрітим додатковим матеріалом (див. рис. 5.3). Додатковий матеріал у формі прута вводять у зону зварювання, злегка натискаючи на нього рукою з силою від 10 до 30 Н (а, б). У випадках, коли пластифікований прут не може витримати осьове навантаження, його обробляють за допомогою прокатки роликом (в, г).

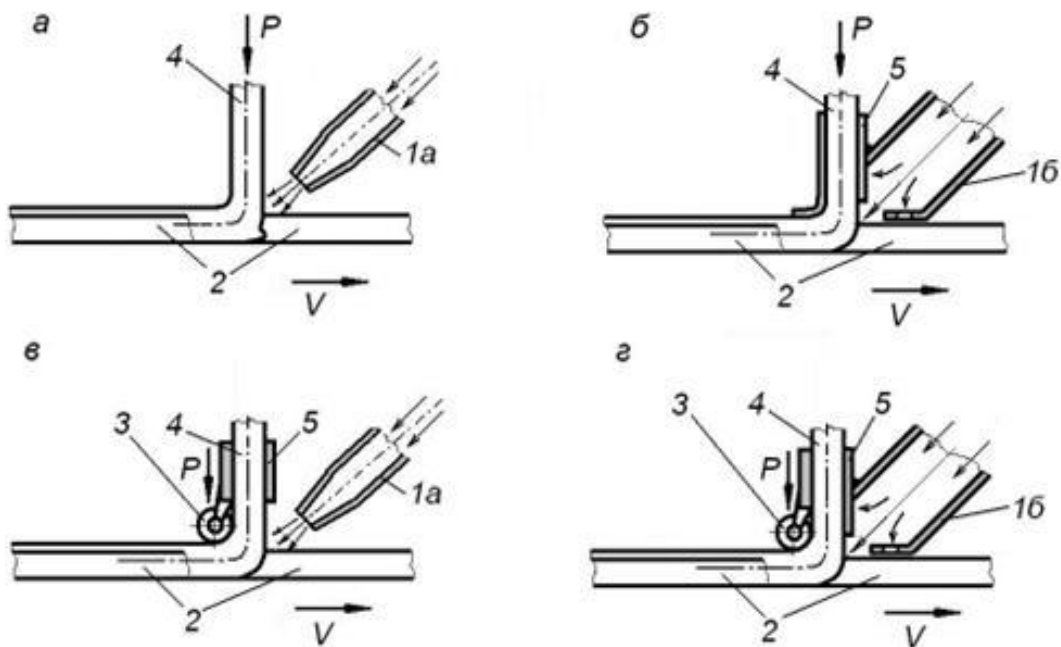


Рисунок 5.3 Схеми зварювання з присадним прутком: а – ручне зварювання пальником зі стандартним соплом для твердих термопластів; б - ручне зварювання пальником з продуктивним соплом для твердих термопластів; в – ручне зварювання стандартним соплом для м'яких термопластів; г – механізоване зварювання твердих та м'яких термопластів; 1а – стандартне сопло; 1б - продуктивне сопло; 2 – основний матеріал; 3 – притискний ролик; 4 - присадковий пруток; 5 – напрямний канал; Р – напрямок тиску на присадочний матеріал; V- напрямок зварювання.

Застосування спеціалізованих сопел, які дозволяють попередньо підігрівати основний та додатковий матеріали, може підвищити швидкість зварювання більше ніж у чотири рази (див. рис. 5.3, б, г). Ці пристрої ефективно здійснюють нагрівання основного матеріалу через щілини у базі сопла та додаткового матеріалу у напрямному каналі одночасно з обробкою зони зварювання.

Зварювання за допомогою нагрітого газу і додавання можливе як вручну, так і за допомогою механізованого методу.

Ручний метод зварювання є трудомістким і не гарантує високу якість швів, оскільки важко досягти рівномірності подачі додаткового матеріалу та однакового нагрівання зварювальних поверхонь. Це призводить до значного розкиду показників міцності вздовж шва. Крім того, якість зварювання значно залежить від кваліфікації зварника, але зварювання можливе у всіх просторових положеннях.

Механізований метод зварювання дозволяє збільшити швидкість процесу, використовувати товстіші стрижні та досягати вищої якості зварних швів з меншими відхиленнями показників міцності. Механізоване зварювання здійснюється на автоматизованих зварювальних установках.

Стикове зварювання пластмас можливе з застосуванням стрічкового додаткового матеріалу. Процес може бути здійснений як вручну, так і за допомогою механізованого обладнання. Детальну схему цього типу зварювання представлено на рис. 5.4.

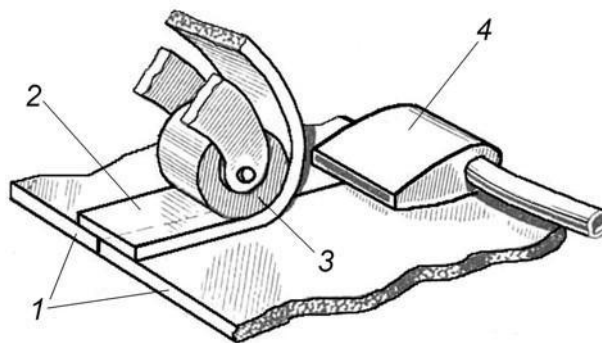


Рисунок 5.4 Стикове зварювання пальником із щілинним соплом із застосуванням присадки у вигляді стрічки: 1 – основний матеріал; 2 – присадка у вигляді стрічки; 3 – притискний ролик; 4 – пальник із щілинним соплом.

Зварювання за допомогою нагрітого газу використовується для створення більшості видів зварних з'єднань, включаючи стикові, кутові та таврові.

Стикові з'єднання без додаткової обробки країв (рис. 5.5, а) переважно використовуються при зварюванні тонких листів або трубок з товщиною матеріалу до 4 мм. Щоб оптимально заповнити шов додатковим матеріалом і забезпечити рівномірний провар усієї висоти шва, між деталями залишають зазор 1-1,5 мм. Зварювання листів товщиною до 2 мм зазвичай проводять без зазору, щоб уникнути деформації. Для зварювання тонших листів використовують текстолітові прокладки, фіксуючи листи за допомогою струбцин або спеціальних утримувачів для запобігання коробленню.

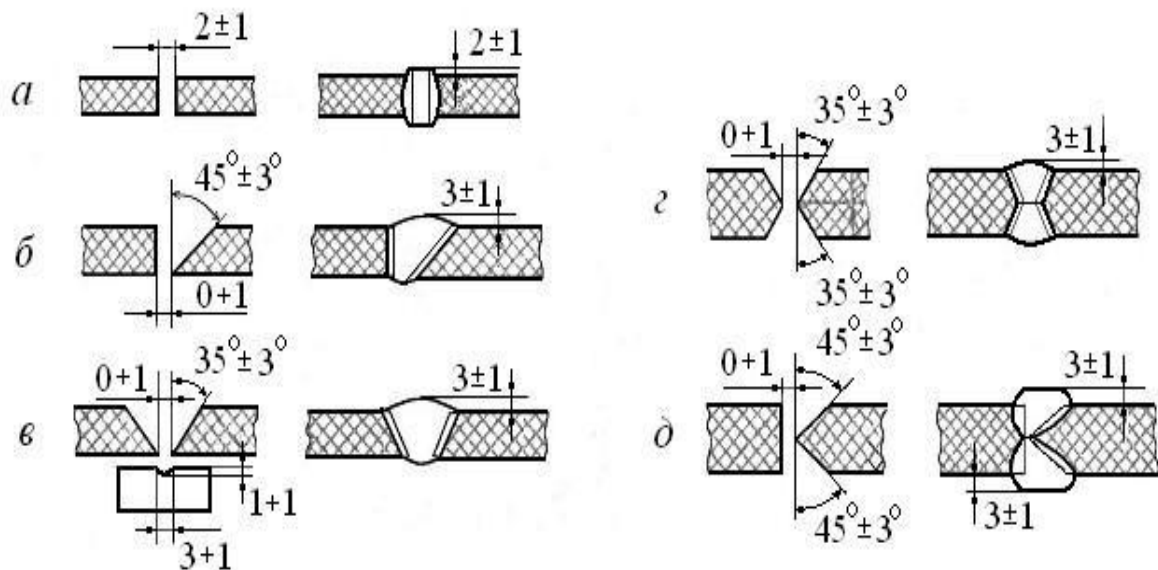


Рисунок 5.5 Конструкції зварних стикових з'єднань.

Зварювання без обробки кромки ефективніше здійснювати із застосуванням двостороннього нашарування швів, яке гарантує ретельне проварювання у всьому перерізі.

Стикові з'єднання з обробленими кромками (рис. 5.5, б - д) використовуються для деталей товщиною від 4 до 20 мм. Обробку кромки здійснюють методами фрезерування, строгання або пилкування. Застосовують односторонню (рис. 5.5, б) чи двосторонню (рис. 5.5, в) V-

подібну, а також Х-подібну обробку (рис. 5.5, г, д) без заокруглення країв. Оптимальний кут розкриття кромки змінюється в межах від 50 до 90 градусів, в залежності від товщини та типу матеріалу листів. Для листів товщиною 4-10 мм цей кут становить 70 градусів, тоді як для листів більше 12 мм він знижується до 60 градусів або менше. Вибір кута також визначається зварювальним матеріалом.

Великі кути розкриття забезпечують зручність під час роботи та знижують ймовірність непроварів, але також збільшують обсяг матеріалу, необхідний для заповнення шва, що може вплинути на продуктивність і збільшити деформацію.

Х-подібна обробка кромки вважається більш ефективною порівняно з V-подібною, оскільки дозволяє знизити споживання додаткового матеріалу в 1,6-1,7 рази та мінімізувати зварні деформації.

Для вертикальних елементів з товщиною менше 4 мм таврові з'єднання виконуються без обробки кромки, а для елементів з товщиною від 4 до 20 мм — із застосуванням односторонньої чи двосторонньої обробки.

Кутові з'єднання, які використовують для зварювання днищ, кришок та фланців, завжди виконують з обробкою кромки для запобігання непровару в кутах шва.

Основні технологічні параметри процесу зварювання охоплюють: температуру та витрату газу; матеріал, діаметр і форму перетину додаткового прутка; кут нахилу прутка при розміщенні в зварювальному шві; тиск, який застосовується до прутка; кут нахилу нагрівального пристрою відносно площини зварюваного матеріалу; швидкість зварювання.

Температура газу на виході з сопла пальника зазвичай на 50-100 °С перевищує температуру в'язкотекучого стану термопластичних матеріалів, які зварюються. Таке підвищення температури є критичним для врівноваження теплових втрат у газовому потоці, який переміщується від

сопла до поверхні зварного шва, із збереженням відстані між ними від 5 до 8 мм.

Розхід нагрітого газу зазвичай налаштовують на рівні 1-2 м³/год для горілок з непрямым нагріванням і електронагріванням, а для горілок з прямим нагріванням — 1-3,5 м³/год. Занижений розхід може призвести до зниження продуктивності та ризику непроварів.

Для додавання у зварювання зазвичай використовують матеріал, ідентичний основному зварюваному матеріалу. Поширене використання прутків із домішками пластифікаторів для зниження в'язкості, проте такі прутки не рекомендується застосовувати для зварювання виробів, які експлуатуються в агресивних умовах або при високих температурах, оскільки можливе їх поступове руйнування та витікання пластифікатора.

У певних ситуаціях, наприклад при зварюванні поліметилметакрилату, де інтервал в'язкотекучого стану надзвичайно малий і існує високий ризик деструкції, використовують зварювальні прутки з іншого матеріалу. Наприклад, застосовують прутки з пластифікованих прозорих композицій полівінілхлориду.

Для зварювання нагрітим газом виготовляють прутки діаметром від 2 до 6 мм, а також спарені прутки у вигляді стрічок розміром 2х3 мм. Рекомендується зварювати, використовуючи меншу кількість більших за діаметром прутків, що дозволяє зменшити кількість проходів за рахунок застосування профільних прутків, розміри яких відповідають параметрам розрізу. Перед зварюванням прутки ретельно очищають наждачним папером або шліфуючи, що сприяє підвищенню міцності з'єднання.

Положення зварювального прутка та сопла горілки відносно поверхні шва істотно впливає на якість і міцність зварного шва.

При куті нахилу додаткового прутка понад 90° зусилля тиску на прутки розділяється на дві складові, що призводить до його подовження в процесі зварювання. Після охолодження це може спричинити тріщини або

руйнування прутка. Таким методом зварюють полівініліденхлорид та поліпропілен.

Якщо кут нахилу прутка становить менше ніж 90° (рис. 5.6, в), він прогрівається швидше, ніж основний матеріал, і на більшій відстані. Це спричиняє збільшення витрати прутка через його осідання під час вкладання в шов. У результаті виникають внутрішні напруження, зумовлені поздовжнім стисканням, що призводить до вигину прутка та формування хвилеподібної нерівності на його поверхні. Внаслідок цього погіршується зчеплення прутка з краями шва, що підвищує ризик його відшарування. Окрім цього, при такому положенні прутка спостерігається зменшення швидкості зварювання.

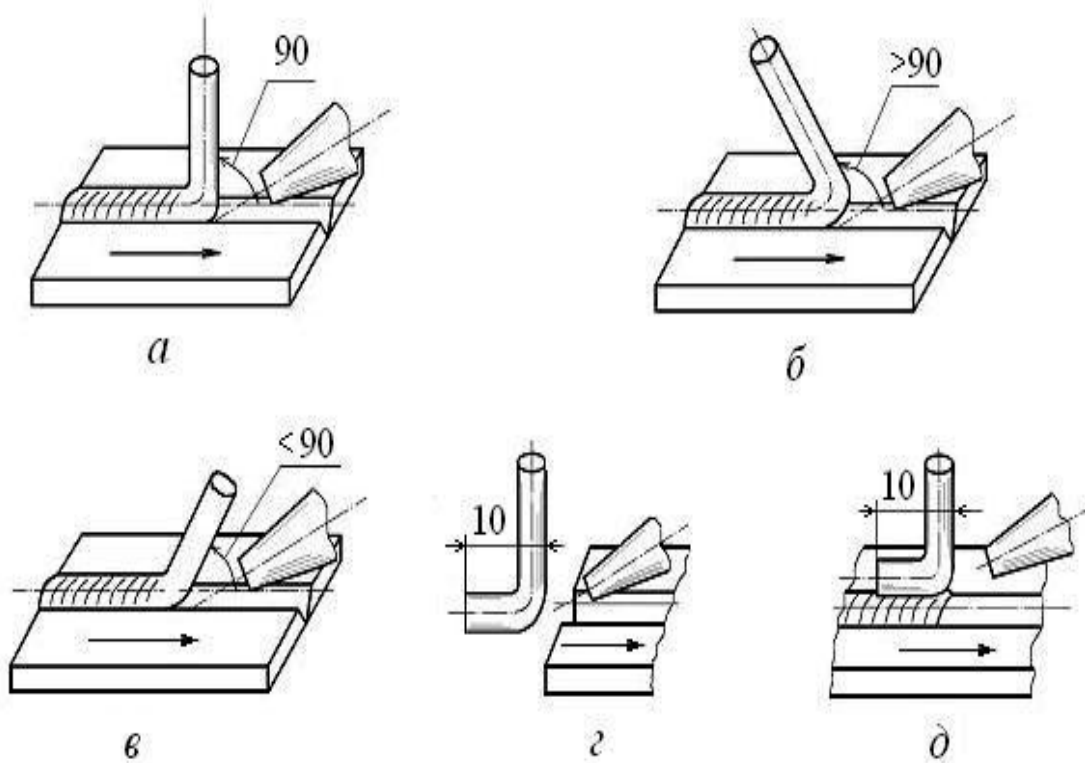


Рисунок 5.6 Положення присадного прутка та пальника при зварюванні.

Для зварювання поліетилену низької щільності, пластифікованого полівінілхлориду та поліізобутилену оптимальним є нахил прутка в межах 45–50°.

Зварювання матеріалів, таких як неластифікований полівінілхлорид, поліметилметакрилат, поліетилен високої щільності та подібних полімерів, здійснюють при вертикальному положенні прутка (рис. 5.6, а).

Перед початком процесу зварювання прутки попередньо нагрівають, згинають під прямим кутом і охолоджують на відкритому повітрі. Далі його встановлюють на відстані 10-15 мм від початку шва (рис. 5.6, г). У разі заміни прутка зігнутий кінець нового прутка вкладають на завершення попереднього шва з перекриттям 10 мм (рис. 5.6, д).

На початковому етапі зварювання мундштук горілки має бути нахилений відносно поверхні виробу під кутом 55-65°, а в ході роботи цей кут поступово зменшують до 45°. При цьому газовий потік повинен довше награвати основний матеріал, оскільки його маса значно перевищує масу додаткового матеріалу. Під час виконання зварювання оператор змінює напрямок подачі газового потоку, періодично прогріваючи то основний, то додатковий матеріал.

Зусилля, які прикладається до додаткового прутка, встановлюють відповідно до його діаметра та матеріалу, який використовується як присадковий. Під час зварювального процесу тиск має залишатися постійним, не перевищуючи допустимих значень для запобігання надмірному видовженню прутка.

Швидкість виконання зварного шва визначається такими факторами, як товщина та властивості матеріалу, температура нагрівання основного та додаткового матеріалів. Як правило, вона знаходиться в межах 4-15 м/год. Для підвищення продуктивності рекомендовано застосовувати попереднє нагрівання як основного, так і додаткового матеріалу.

Метод укладання прутків під час зварювання залежить від товщини матеріалу та способу підготовки його кромки.

Якщо товщина матеріалу не перевищує 1-2 мм, зварювання проводять за один прохід. Однак при товщині понад 2 мм отримати якісний шов за один прохід неможливо. У такому випадку шви накладають у кілька етапів, приділяючи особливу увагу першому валику у кореневій зоні шва. Для цього використовують прутки меншого діаметра, ніж для наступних шарів.

На рис. 5.7 зображено послідовність заповнення розрізу (вкладання швів) для V- та X-подібних з'єднань. Для першого шару зазвичай застосовують прутки діаметром 2-3 мм, а для наступних проходів використовують прутки з діаметром понад 3 мм.

Застосування такої технології дозволяє уникнути утворення тріщин у швах під час зварювання масивних виробів або вузлів із високою жорсткістю.

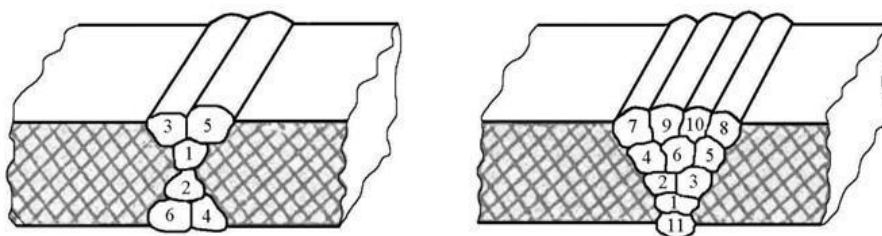


Рисунок 5.7 Послідовність укладання прутка при зварюванні.

При виконанні швів зі скосами двох кромки оптимальним є кут розкриття кромки 40—60°. X- подібні шви міцніші ніж V- подібний, тому що завдяки їхній симетричній будові при розтягу і згині у них не виникають додаткові згинальні моменти, крім того, вони вимагають у 1,6—1,7 рази менше витрат присадного матеріалу, отже, можуть бути виконані за менше число проходів. Корінь шва X- подібних швів знаходиться в нейтральному перетині, що є менш небезпечним у випадку непровару кореня шва. При

зварюванні напусткових і стикових з'єднань з накладкою кромки не скошують. Скіс кромок здійснюють механічним шляхом — фрезеруванням, струганням, обпилюванням.

Температура газу на виході з наконечника нагрівача повинна бути на 50—100 °С вища, ніж температура течіння полімеру, тому що на ділянці між наконечником і зварювальною поверхнею теплоносій охолоджується. Тиск газу має бути в межах 0,01—0,1 МПа. Більшість термопластів характеризується широким температурним інтервалом в'язкотекучого стану, тому їхнє якісне зварювання можливе у визначеному діапазоні температур.

Підвищенню продуктивності процесу в 3—4 рази сприяє попереднє підігрівання основного і присадного матеріалів. Таке зварювання називається швидкісним і застосовується здебільшого для з'єднання плоских і циліндричних виробів, які мають шви великої довжини. При швидкісному зварюванні можливий притиск прутка роликом чи насадкою, закріпленою на нагрівачі.

Зусилля укладання прутка в шов залежить від властивостей присадного матеріалу. Для поліетилену низького тиску, поліпропілену, неластифікованого полівінілхлориду і пентапласту на 1 мм² площі перерізу прутка складає (3 ± 1) Н, а для поліетилену високого тиску — (2 ± 1) Н. Для м'яких присадних дротиків, які не витримують осьового тиску, застосовують спеціальні ролики.

Діаметр прутка підбирається залежно від товщини зварювального матеріалу, геометрії зварювального шва, швидкості зварювання і необхідної міцності з'єднання. Зі збільшенням діаметра прутка скорочується час, необхідний для заповнення шва, і збільшується міцність зварного з'єднання. Однак застосування дротиків діаметром більше 4—5 мм небажано, тому що забезпечити їхній рівномірне прогрівання при зварюванні неможливо. Корінь шва заповнюють дротиком діаметром 2 мм,

а сам шов при товщині матеріалу менше 4 мм заповнюють дротиком діаметром 3 мм, а при товщині матеріалу більш 4 мм дротиком діаметром 4 мм. Перед зварюванням присадний дротик, а також кромки деталей необхідно очищати від бруду, масел і інших речовин.

Зварювальні деталі необхідно фіксувати за допомогою струбцин, затискачів та інших пристосувань для забезпечення точного зазору між деталями, оскільки в процесі зварювання деталі можуть зміщатися.

5.3 ЗВАРЮВАННЯ БЕЗ ПРИСАДНОГО МАТЕРІАЛУ

Зварювання нагрітим газом без присадного матеріалу переважно застосовуються для з'єднання плоских виробів прямолінійним швом. Міцність з'єднань, одержаних без застосування присадного матеріалу вища, ніж з його застосуванням і досягає 80—90 % міцності основного матеріалу, при цьому питома ударна в'язкість матеріалу майже не знижується. Температура зварювання така ж, як і з присадним матеріалом, а швидкість зварювання може бути підвищена в 10—15 разів.

Зварювання листових термопластів здійснюється переважно з'єднанням «на вус» (рис. 5.8), для чого кромки листів перед зварюванням скошують під кутом 20—25° (при такій підготовці зварний виріб має однакову товщину у всіх перетинах).

При цьому ширина напустку залежить від товщини зварюваних листів і кута скосу кромки, але для забезпечення високої якості зварного з'єднання має бути не менше 16—18 мм. Нагрівач встановлюють так, щоб газовий струмінь попадав в кут, утворений зварювальними листами і направлявся на скошені кромки шва. Тиск зварювання здійснюється двома послідовно розташованими парами роликів, за допомогою яких забезпечується рівномірне переміщення листів.

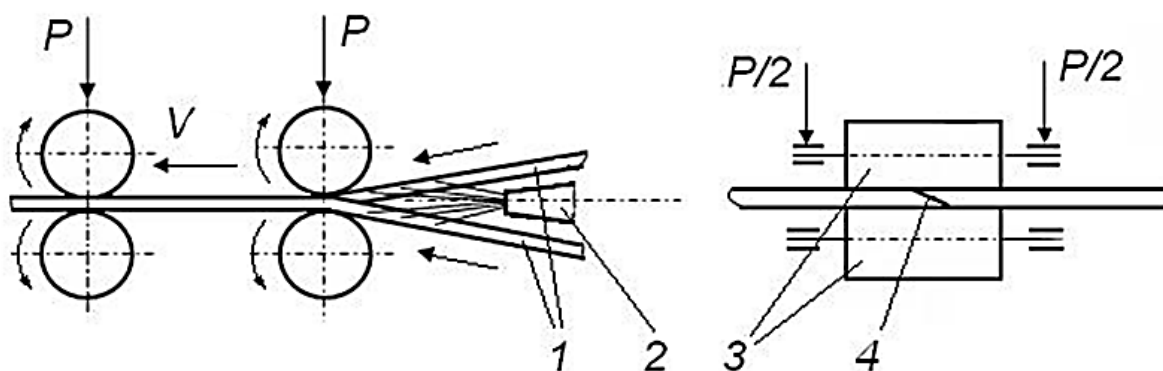


Рисунок 5.8 Схема зварювання нагрітим газом без присадного матеріалу: 1 - зварювальні листи; 2- сопло пальника; 3-притискні ролики; 4-зварний шов.

Існує три способи зварювання плівкових термопластів: нагріванням поверхонь з'єднувальних плівок (пряме нагрівання) однобічним нагріванням зовнішньої поверхні плівок по місцю шва (непряме нагрівання) і оплавленням плівок по місцю з'єднання.

У випадку прямого нагрівання нагрітий газ подається безпосередньо між зварювальними плівками і після нагрівання поверхонь плівки притискаються одна до одної спеціальними роликами.

При непрямому нагріванні поверхонь плівок (рис. 5.9) тиск, необхідний для їхнього зварювання, створюється пружною підкладкою, а зона розігріву обмежується двома натягнутими на роликах нескінченними сталевими стрічками, відстань між якими визначає ширину зварного шва. Найбільше доцільно даним способом зварювати плівки з ПЕВД товщиною 20—200 мкм.

При зварюванні плівок оплавленням (рис. 5.10), їх накладають одну на іншу і затискають двома обмежувальними губками (плівки зварюються по оплавлених кромках), або двома парами губок (плівки зварюються двома швами з одночасним поділом по лінії їхнього оплавлення між губками). Цей

спосіб застосовують для з'єднання плівок з матеріалів, які при нагріванні стають досить текучими і сплавляються без додавання тиску (плівки з поліаміду, поліетилентерефталату, поліетилену високого тиску та ін.).

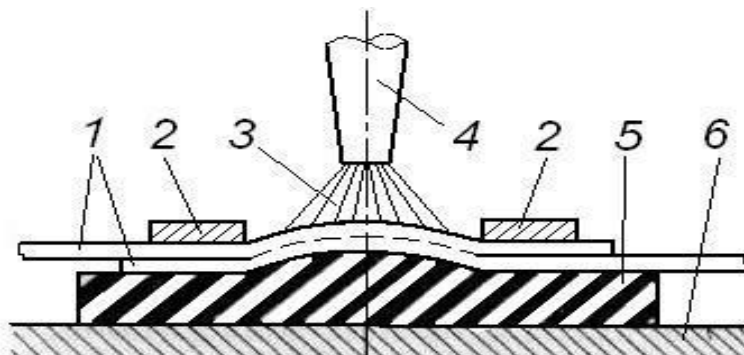


Рисунок 5.9. Схема зварювання нагрітим газом плівок: 1-плівки; 2-обмежувачі стрічки; 3-потік газу; 4-наконечник нагрівача; 5-пружна підкладка; 6-жорстка основа.

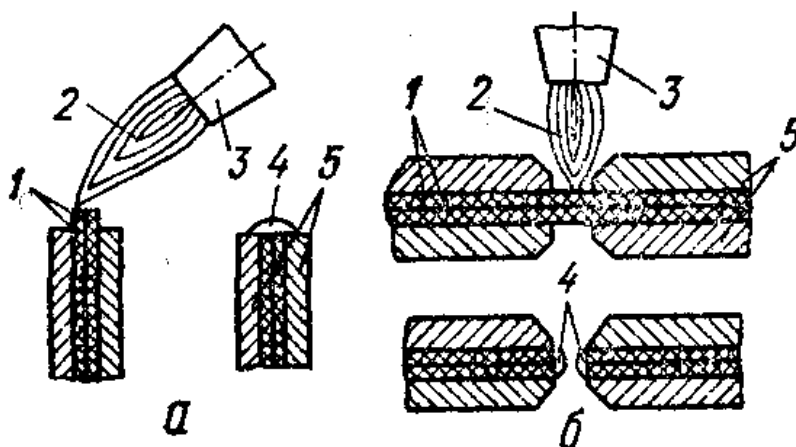


Рисунок 5.10 Схема зварювання плівок оплавленням (а - з підготовкою кромки, б - без підготовки кромки): 1-плівки; 2-струмінь газу; 3-наконечник нагрівача; 4-шов; 5-затискачі.

6 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ ІНСТРУМЕНТОМ

6.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Зварювання нагрітим інструментом є найбільш універсальним для з'єднання різних виробів з термопластів (плівок, листів, труб, стрічок, профілів і ін.). При зварюванні цим способом присадний матеріал не застосовується. Для нагрівання з'єднувальних поверхонь використовуються металеві інструменти різної форми, а нагрівання здійснюють шляхом безпосереднього контакту з поверхнями (пряме нагрівання застосовується в основному для зварювання товстостінних виробів) або підведенням тепла з зовнішньої сторони через всю товщину деталі (непряме нагрівання використовується для зварювання плівок і тонких листів). Після нагрівання зварювальних поверхонь до необхідної температури деталі з'єднують під тиском, а потім охолоджують.

При підведенні тепла з зовнішньої сторони виробів нагрівальні інструменти одночасно служать і для створення тиску в зоні зварювання. Нагрівання виробів може бути одностороннім або двостороннім. Двостороннє нагрівання застосовується тільки тоді, коли конструкція зварювального виробу дозволяє підводити нагрівачі з обох сторін.

Під час процесу зварювання взаємодія нагрітого інструмента з деталями може відбуватися двома основними способами: безпосередньо через поверхні, що підлягають з'єднанню, або ж через зовнішні поверхні деталей.

У першому випадку (рис. 6.1) нагрівання зварюваних поверхонь до необхідної температури відбувається завдяки теплопередачі від розігрітого інструмента, який щільно контактує з матеріалом. Такий метод отримав назву зварювання прямим нагріванням, а також відомий як зварювання оплавленням.

У другому випадку (рис. 6.2) нагрівання зварюваних поверхонь

здійснюється завдяки теплопровідності проміжного шару термопласту, розташованого між контактуючими поверхнями деталей і нагрітим інструментом. Ця технологія відома як зварювання непрямим нагрівом або зварювання методом проплавлення.

Вибір конкретного способу залежить від характеристик матеріалу, геометричних параметрів деталей, а також вимог до якості кінцевого зварного з'єднання.

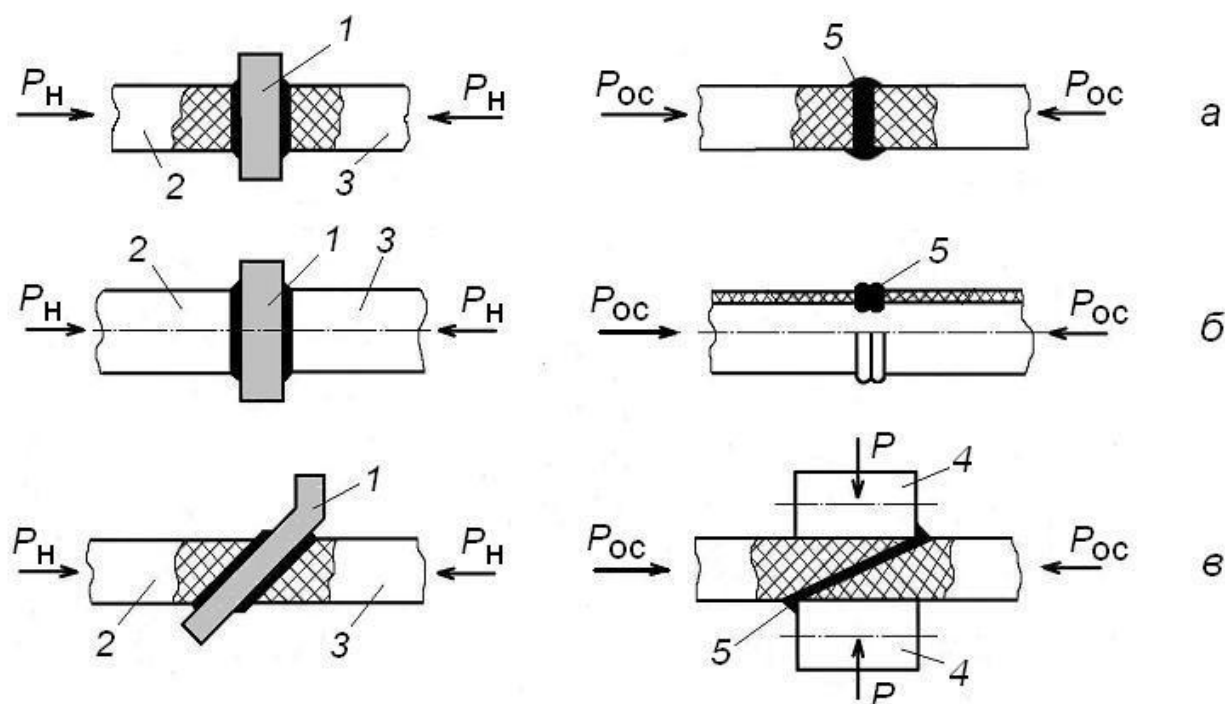


Рисунок 6.1. Схеми зварювання прямим нагріванням нагрітим інструментом: а - зварювання стрижнів встик; б - зварювання труб встик; в – зварювання з'єднання «на вус»: 1 – нагрітий інструмент; 2, 3 - зварювальні деталі; 4 – притискні ролики; 5 – зварний шов; ліворуч – нагрівання; справа – усадка; P_H - тиск при нагріванні; P_{OC} - тиск при усадці.

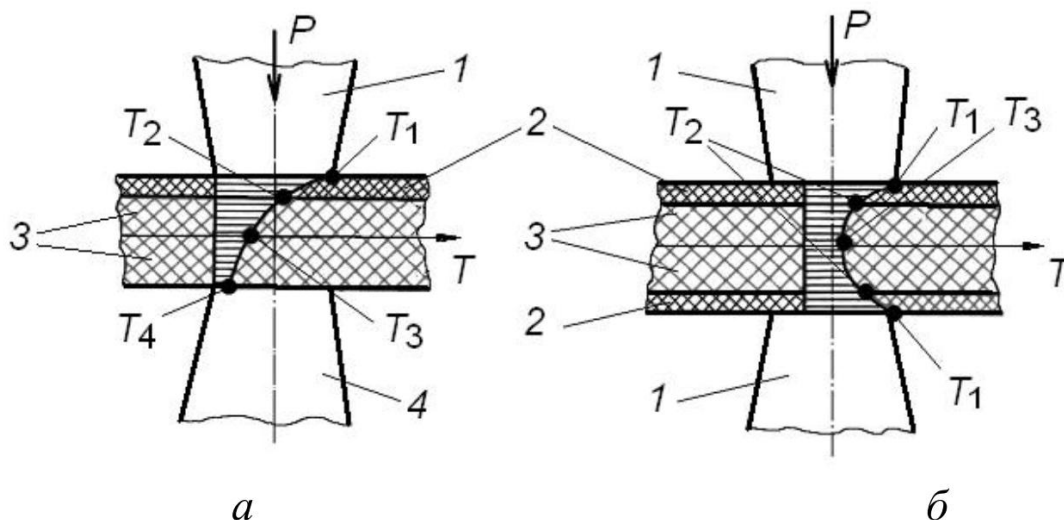


Рисунок 6.2. Схеми зварювання нагрітим інструментом непрямим нагріванням при односторонньому (а) та двосторонньому (б) підведенні теплової енергії: 1 – нагрітий інструмент; 2 – прокладка; 3 - деталі, що зварюються; 4 – холодний інструмент; T_1 – T_4 – розподіл температур по товщині деталей; P – зусилля стискування.

Внаслідок низької теплопровідності термопластів температура по товщині деталей при непрямому нагріванні розподілена нерівномірно. Лише через певний проміжок часу після контакту матеріалів з нагрітим інструментом поверхні з'єднувальних виробів досягають необхідної температури для зварювання. Спочатку найнижча температура встановлюється в місці зварювання, а найвища — на поверхні матеріалу. По мірі збільшення тривалості нагрівання перепад температур поступово зменшується. Оскільки необхідно, щоб матеріал у місці з'єднання розігрівся до певної температури, то температура нагрівача повинна бути вище температури зварювання, тому при непрямому нагріванні завжди має місце перегрівання верхнього шару матеріалу, особливо при односторонньому нагріванні. Двостороннє нагрівання дозволяє за більш короткий час розігріти матеріал до заданої температури. Неармовані плівки товщиною до 150 мкм рекомендується зварювати при односторонньому нагріванні, а

плівки товщиною понад 150 мкм - при двосторонньому.

Зменшення часу зварювання за рахунок підвищення температури інструмента збільшує небезпеку термодеструкції термопласту і може призвести до небажаної деформації розм'якшеного матеріалу в зоні шва. Деформацію матеріалу можна зменшити, якщо тиск прикладати не тільки в місці зварювання, але й у прилеглій зоні. Для цього ширину інструмента збільшують за рахунок бічних холодних зон.

Щоб виключити прилипання оплавленого матеріалу до нагрівача зварювання здійснюють через прокладки з фторопласта-4, армованого скляною тканиною, поліетилентерефталату, целофану, кремнійорганічної гуми та ін.

Поверхні перед зварюванням ретельно очищають від забруднень, а при можливості поверхневий шар знімають механічним шляхом (наприклад, при зварюванні встик труб, листів і т.д.).

Зварювання методом прямого нагрівання отримало широке застосування завдяки простоті реалізації технологічного процесу, невисоким вимогам до обладнання та відсутності потреби у високій кваліфікації оператора. Це робить даний метод економічно вигідним для серійного та великогабаритного виробництва.

Його активно застосовують у виробництві пластмасових трубопроводів для різних сфер використання, резервуарів із формованих полімерних елементів, конструктивних деталей машин, а також рамних конструкцій із профільованих заготовок. Найбільш простими для реалізації є стикові зварні з'єднання стрижнів, труб, плит та профілів із поліетилену, поліпропілену і полівінілхлориду завтовшки 2–20 мм. Також цей метод широко використовується для формування кутових з'єднань під час виготовлення зєднувальних елементів пластмасових трубопроводів, зокрема відводів, трійників, хрестовин тощо, з труб діаметром 63–110 мм

Процес зварювання методом прямого нагрівання має циклічний

характер і складається з трьох основних етапів:

Нагрівання (оплавлення) зварюваних поверхонь – здійснюється шляхом щільного контакту матеріалу з розігрітим інструментом до моменту досягнення в'язкотекучого стану.

Технологічна пауза – короткочасне відведення нагрітого інструмента для рівномірного розподілу температури перед безпосереднім з'єднанням деталей.

З'єднання деталей під тиском (усадка) – пресування зварюваних елементів із витримкою під тиском до стабілізації температури, яка забезпечує якісне формування міцного зварного шва.

Завдяки високій продуктивності, надійності та можливості точного контролю технологічних параметрів, зварювання прямим нагріванням широко використовується у виробництві полімерних конструкцій, зокрема автомобільних деталей, трубопровідних систем, а також інших інженерних виробів, які вимагають довговічних та герметичних з'єднань.

Процес зварювання методом прямого нагрівання залежить від низки ключових параметрів, які впливають на якість з'єднання та експлуатаційні характеристики матеріалу. До основних технологічних параметрів належать:

- температура нагрівального елемента – визначає рівень теплового впливу на зварювальні поверхні;

- тривалість нагрівання – час, необхідний для досягнення оптимальної температури оплавлення;

- сила притискання інструмента до матеріалу (тиск у фазі оплавлення) – забезпечує якісний контакт між нагрівальним елементом і поверхнею деталі;

- тиск усадки – необхідний для формування міцного з'єднання під час стискання деталей;

- час витримки під тиском після завершення зварювання – визначає умови охолодження та стабілізації структури зварного шва.

У деяких випадках також враховують:

- швидкість оплавлення – характеризує інтенсивність розплавлення матеріалу;

- швидкість усадки – впливає на рівномірність розподілу матеріалу в зоні зварювання;

- величину усадки – визначає зміну геометрії з'єднання внаслідок термічної обробки.

Для процесу зварювання плівок, які виконують із застосуванням методу оплавлення, визначальними технологічними параметрами є:

- температура нагрітого клина – рівень нагріву інструмента, що контактує з плівковим матеріалом;

- швидкість переміщення клина, яка відповідає швидкості зварювання та впливає на рівномірність розподілу тепла в зоні шва;

- зусилля притискання роликів з'єднання – визначає якість формування контакту між зварюваними шарами матеріалу.

Оптимальний підбір технологічних параметрів має важливе значення, оскільки він визначає кінетику теплових та реологічних процесів, специфіку структурних перетворень у зоні зварного шва та прилеглих зонах, а також безпосередньо впливає на виникнення і розподіл залишкових внутрішніх напружень у матеріалі та їхню подальшу релаксацію.

Зварювання непрямым нагріванням або ж зварювання проплавленням, широко застосовується у виробництві оболонкових конструкцій з плівкових матеріалів. Ця технологія ефективна як для армованих, так і для неармованих плівок, якщо їхня товщина не перевищує 2,5 мм.

Плівкові матеріали товщиною від 0,5 до 2,5 мм зазвичай зварюють у пресах методом поступового ущільнення. Якщо ж товщина плівки становить менше 1 мм, можливе безперервне зварювання за допомогою

нагрітого ролика або спеціальних стрічкових зварювальних машин. У разі використання ручного методу зварювання застосовується крокова технологія, що передбачає використання нагрітого інструмента для формування шва. Зварювання непрямым нагріванням підрозділяється на пресове та термоімпульсне.

Залежно від схем і методів підведення тепла, типу інструменту, технологічних прийомів виконання операцій розрізняють наступні види зварювання нагрітим інструментом: встик, врозтруб, нагрітим клином, з одночасним формуванням виробів, пресове, термоімпульсне, стрічкове, роликове і заставним елементом (термоопірне і індукційне).

6.2 ЗВАРЮВАННЯ ВСТИК

Зварювання встик нагрітим інструментом широко застосовують для з'єднання труб, профілів, листів і інших напівфабрикатів із твердих пластмас. Виконується в наступному порядку: підготовка торців виробів до зварювання, введення нагрітого інструменту між зварювальними деталями, торцювання деталей, оплавлення торців деталей при визначеному зусиллі стиску, розведення деталей і відвід інструменту (так звана «технологічна пауза»), приведення деталей у стискання і їхня осадка, витримка деталей під зусиллям стиску до охолодження зварного шва (рис. 6.3).

При оплавленні згладжуються нерівності з'єднувальних поверхонь і забезпечується їх щільне прилягання до нагрівального інструмента. Оплавлення вважається завершеним, коли по периметру кромek оплавлених поверхонь утворюється валик. У результаті прогріву матеріал деталей після оплавлення нагрівається до температури зварювання на необхідну глибину. У процесі плавлення і прогрівання деталі коротшають, оскільки розплавлений матеріал під тиском нагрівального інструмента

випливає із зони контакту з інструментом.

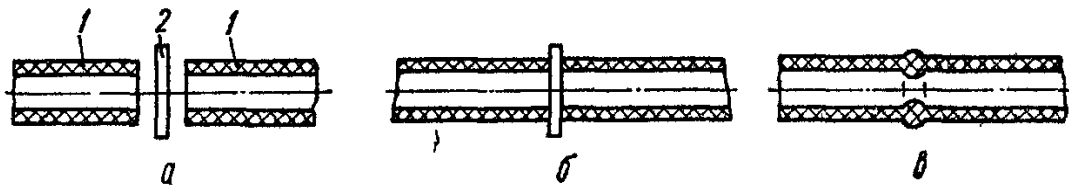


Рисунок 6.3 Послідовність зварювання встик нагрітим інструментом: а-початкове положення; б-оплавлення поверхонь; в-готовий виріб. 1-труби, 2-нагрівний інструмент.

Осадку здійснюють під певним тиском, який забезпечує міжмолекулярну взаємодію поверхонь деталей, при цьому з зони зварювання видаляються неорганічні включення, гази, окислений і деструктований матеріал.

Основний тип з'єднання «зварюванні встик нагрітим інструментом» коли площина кромek перпендикулярна до поверхні заготовок. Іноді застосовується з'єднання на «вус». Листи і плити на необхідну довжину зварюють за один цикл.

Температура нагрівального інструмента залежить від типу пластмаси, типу і товщини антиадгезійного покриття, температури навколишнього середовища. Тривалість оплавлення залежить від властивостей матеріалу деталей, температури робочої поверхні нагрівального інструмента, температури навколишнього середовища, притиску деталей до інструмента, якості підготовки поверхонь. З появою валика оплавленого матеріалу рекомендується поступове зниження тиску до нуля, тому що тиск при прогріванні повинен забезпечувати лише щільний контакт інструмента з поверхнею, що необхідно для теплопередачі за рахунок теплопровідності.

Тривалість прогрівання залежить від кількості теплової енергії, яку необхідно надати матеріалу. Густина теплового потоку повинна складати

близько $0,75 \text{ Вт/см}^2$. Чим вище температура нагрівального інструмента, тим вище швидкість переміщення границі розплавленого матеріалу. Однак максимальні температури інструмента обмежуються температурою розкладання полімеру. У той же час при тривалому прогріванні можливе виділення летючих складових і при більш низьких температурах.

Тривалість технологічної паузи (час між закінченням прогрівання і з'єднанням деталей) повинна бути по можливості мінімальною, щоб зварювальні поверхні не встигли окислитися або охолонути. Збільшення технологічної паузи призводить до різкого зниження міцності шва.

При осадці деталей необхідно створити такий тиск, при якому зі шва можна було б витиснути бульбашки повітря (не видавлюючи цілком розм'якшений матеріал) і щільно стиснути оплавлені поверхні. Течіння розплаву при осадці — процес, який відбувається практично упродовж секунди або навіть долі секунди. Після осадки тиск скидають не відразу, а роблять витримку, за час якої у шві відбуваються складні процеси утворення надмолекулярних структур.

Тривалість охолодження зварного з'єднання визначається часом, необхідним для рекристалізації полімеру в зоні шва. При охолодженні зварного з'єднання під тиском не допускається зсув деталей одна відносно іншої, а також зміна тиску тому, що внаслідок місцевої деформації деталей можливе їх розшарування і короблення.

Особливістю зварювання встик є необхідність точної підгонки торців деталей (максимальна величина зсуву кромки не повинна перевищувати 10 % номінальної товщини стінки деталі, причому абсолютне значення не повинне бути більш 1,2 мм; зазор між кромками не повинен бути більше 0,5—1,0 мм). На практиці при проведенні зварювальних робіт часто застосовують різні способи, які дозволяють зменшити величину валика, запобігти його появі або цілком видалити (зняття фаски на торцях деталей, видалення ґрата з поверхні стику механічною обробкою й ін.). Найбільш

ефективним методом ліквідації валика є зняття його механічним способом після зварювання.

Зварювання встик нагрітим інструментом рекомендуються для з'єднання деталей з товщиною стінки більш 4 мм. Мінімально допустима товщина залежить від твердості матеріалу і конфігурації деталей.

При будівництві напірних пластмасових трубопроводів крім з'єднувальних деталей, виготовлених методом лиття під тиском, застосовуються такі ж деталі, виготовлені з трубних обрізків за допомогою зварювання встик нагрітим інструментом (рис. 6.4). Типи і конструктивні розміри зварних з'єднувальних деталей поліетиленових і поліпропіленових трубопроводів регламентовані ДБН В.2.5-41:2009 та іншою нормативною документацією.

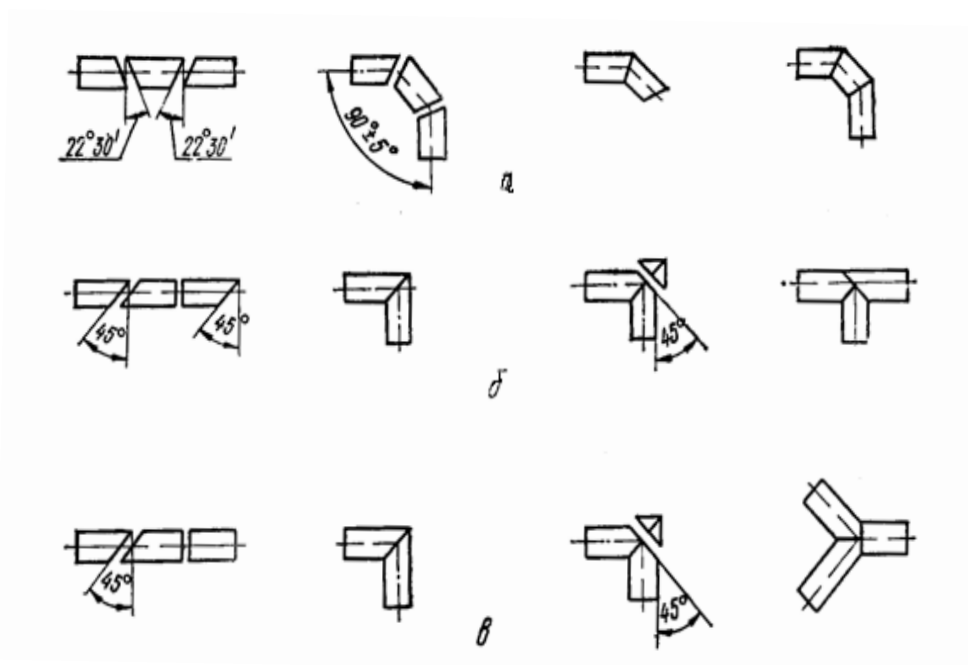


Рисунок 6.4 Схема виготовлення деталей трубопроводів: а-односекторні відводи; б-прямі трійники; в- косі трійники.

6.3 ЗВАРЮВАННЯ В РОЗТРУБ

Зварювання врозтруб нагрітим інструментом найбільше використовують для з'єднання труб з поліолефінів. Послідовність процесів зварювання труб врозтруб (рис. 6.5) аналогічна зварюванню встик, однак при цьому використовують інструмент, який складається з гільзи для оплавлення зовнішньої поверхні труби і дорна для оплавлення внутрішньої поверхні розтруба.

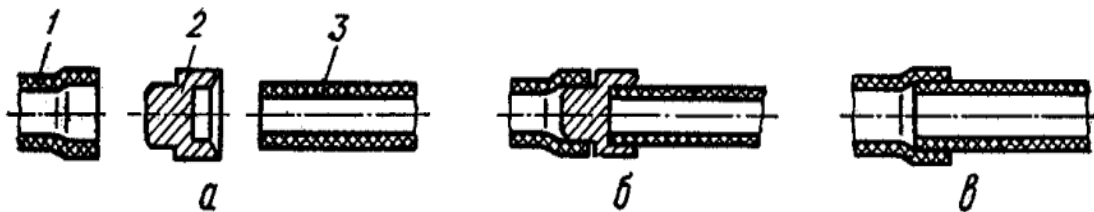


Рисунок 6.5 Зварювання врозтруб: а-початкове положення; б-оплавлення; в-готовий виріб. 1,3-труби; 2-нагрівний інструмент.

Розміри інструмента залежать від геометричних параметрів труб. Необхідно, щоб внутрішній діаметр гільзи дорівнював зовнішньому діаметру труби, зовнішній діаметр дорна на 0,3—0,5 мм був менше внутрішнього діаметра гільзи. Для зварювання труб різних типорозмірів застосовується оригінальний інструмент. Зварювання врозтруб можливе з застосуванням литих з'єднувальних деталей, формованих розтрубних муфт, а також за допомогою розтруба, відформованого на одній із з'єднувальних труб.

Зварювання врозтруб рекомендується для з'єднання труб зовнішнім діаметром до 160 мм при будь-яких значеннях товщини стінки. У порівнянні зі зварюванням встик нагрітим інструментом зварювання врозтруб не вимагає високої кваліфікації зварника, крім того значно більша площа зварювання дозволяє збільшити міцність з'єднання.

6.4 ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ КЛИНОМ

Зварювання нагрітим клином застосовується переважно для одержання напусткових з'єднань плівок з термопластів, а також стикових з'єднань з накладкою. При цьому способі поверхні плівок розігріваються до температури вязкотекучего стану за допомогою клиноподібного нагрівного інструмента, який знаходиться між двома плівками, після чого плівки стискаються по місцях зварювання за допомогою роликів, які одночасно переміщують вироби і охолоджують зварний шов (рис. 6.6).

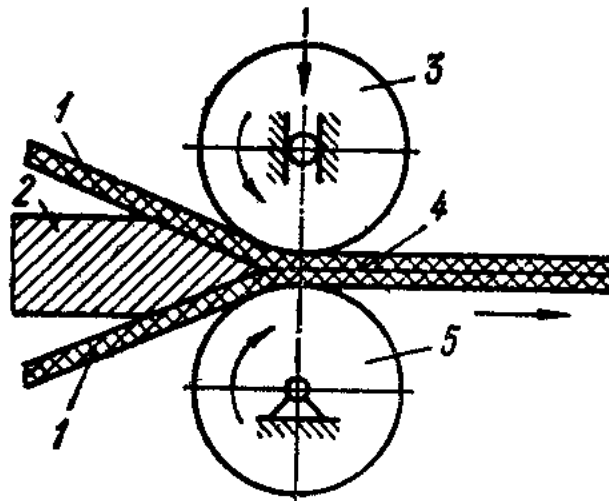


Рисунок 6.6 Схема зварювання нагрітим клином: 1-плівки; 2-клиноподібний нагрівний інструмент; 3,5-ролики; 4-зварний шов.

Застосування роликів дозволяє не тільки створити необхідний тиск зварювання, але й значно зменшити усадку шва, що поліпшує його зовнішній вигляд і підвищує працездатність. Процес зварювання може здійснюватися за двома схемами: нагрівальний інструмент (клин) переміщують уздовж деталей, або деталі, переміщуються по нагрівальному інструменті, закріпленому нерухомо. Інструмент (зварювальні деталі)

переміщається вручну або за допомогою спеціальних установок, які дозволяють у широкому діапазоні регулювати тиск і швидкість зварювання.

Товщина плівки повинна бути не менше 150 мкм. Тонші плівки не зварюються, тому що при ковзанні по нагрівачу вони розм'якшуються по всій товщині, втрачають форму і прилипають до інструмента. Максимальна товщина еластичних плівок практично не обмежується, оскільки швидкість нагрівання з'єднувальних поверхонь не залежить від товщини матеріалу.

Швидкість зварювання і міцність з'єднання в повній мірі визначаються температурою на поверхнях деталей. Застосування інструментів, виготовлених з матеріалів, які виключають налипання на них оплавленого матеріалу зварювальних поверхонь дає можливість підвищити швидкість зварювання.

Оптимальними для зварювання напусткових з'єднань плівок товщиною 0,1—2 мм із найбільш широко розповсюджених термопластів (ПНД, ПВД, ПП, ПВХ) є наступні параметри: температура інструмента — 300—600 °С; тиск роликом — 30—60 Н/см; швидкість зварювання — 0,04—0,3 м/с.

Перевага даного виду зварювання полягає в його простоті, можливості одержувати шви в різних просторових положеннях (при ручному зварюванні), а також з різною швидкістю зварювання (при механізованому зварюванні), можливості зварювати як неармовані, так і армовані плівки.

6.5 ЗВАРЮВАННЯ З ОДНОЧАСНИМ ФОРМУВАННЯМ ВИРОБІВ

Для одержання профільних виробів з листових термопластів застосовується зварювання з одночасним формуванням: зварювання з перегином або зварювання в паз.

Зварювання з перегином (рис. 6.7) здійснюють за допомогою інструмента, робоча кромка якого скошена під кутом, приблизно рівним 75° . V-подібний паз у листі по місцю майбутнього перегину створюють вдавлюванням нагрітого інструмента і розм'якшенням матеріалу на глибину від $2/3$ до $3/4$ товщини, при цьому для запобігання утворення тріщин під час перегину листа доцільно підігрівати одночасно його тильну сторону.

Зварюванням у паз виконують таврові з'єднання (рис. 6.8). Для одержання зварного шва 5 торець листа 1 нагрівається на плоскому інструменті 2, а паз у листі 4 створюється вдавлюванням торця нагрітого інструмента 3, згодом після нагрівання заготовок до необхідної температури заготовку, розігріту з торця, впресовують у паз іншої заготовки і витримують під тиском до охолодження зварного шва.

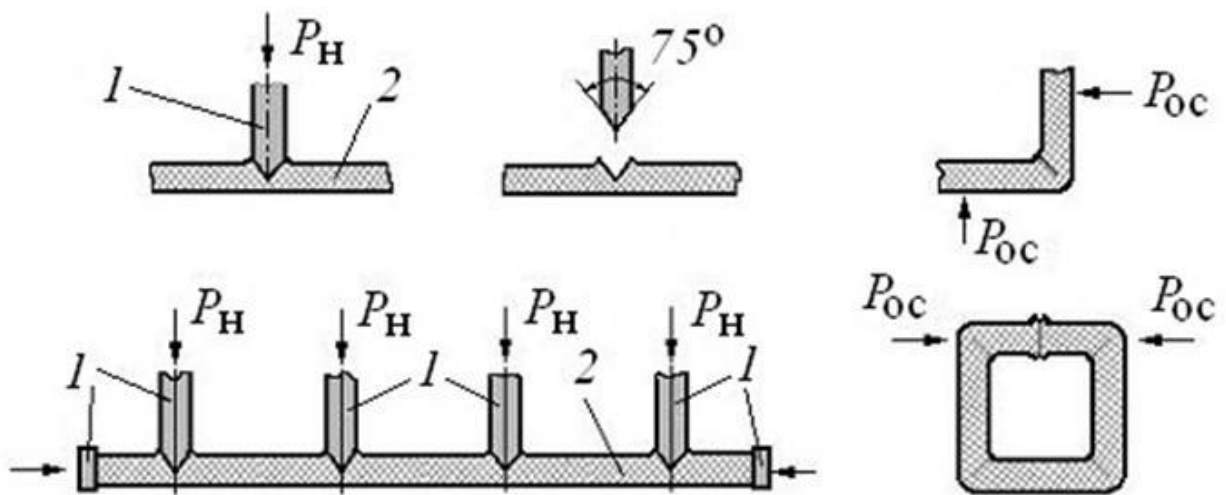


Рисунок 6.7 Схема зварювання з перегином: 1 - нагрівальний інструмент; 2- лист термопласта.

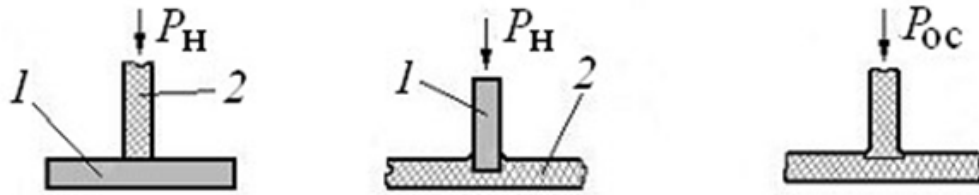


Рисунок 6.8 Схема зварювання в паз.

6.6 ПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

При пресовому зварюванні використовують нагрітий інструмент з великою теплоємністю а зварювання здійснюється кроковим способом на спеціальних пресах, які дозволяють створювати необхідний зварювальний тиск.

Розвиток пресового зварювання пов'язаний зі збільшенням застосування армованих полімерних плівок, при зварюванні яких армування гальмує протікання реологічних процесів у зоні контакту деталей.

Тому способи і режими, які застосовують для зварювання звичайних плівок, не дають позитивних результатів.

При зварюванні армованих плівок необхідно застосовувати підвищений тиск і тривалу витримку при підвищеній температурі. При цьому зварювальне устаткування повинно допускати деформації матеріалу з'єднувальних плівок у зоні шва, але обмежувати їх в біляшовній зоні (рис. 6.9), тому що в ній утворюються складки армування, яке при експлуатації конструкції призводить до концентрації напружень і руйнування зварного з'єднання.

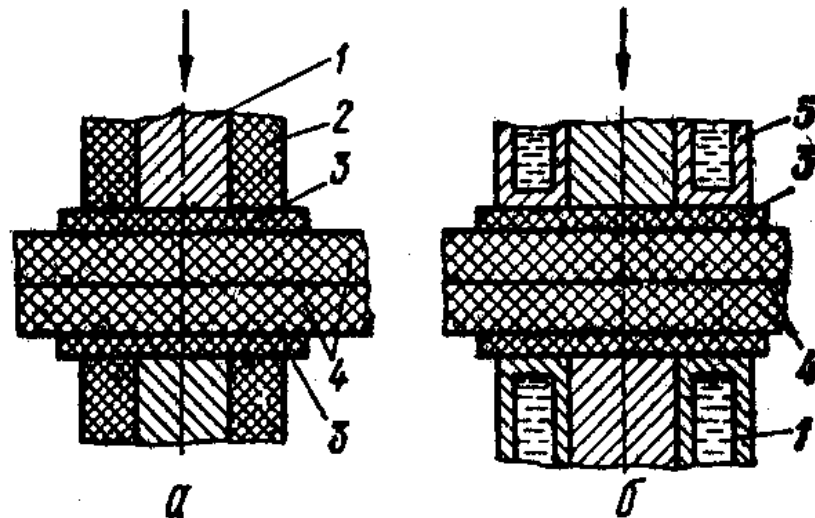


Рисунок 6.9 Схема пресового зварювання (а-без охолодження; б-з охолодженням): 1-нагрівник; 2-теплоізоляційна пластина; 3-прокладка; 4-виріб; 5-охолоджувач.

Основне з'єднання плівок — напусткове. Можливі й інші методи з'єднань, які застосовують в основному для армованих плівок (рис. 6.10). Іноді для поліпшення умов протікання процесу зварювання між з'єднувальними плівками у місці їхнього перекриття необхідно закладати присадний матеріал із плівки того ж складу, що і плівка, яка покриває армування. Змінюючи величину перекриття плівок, можна одержувати з'єднання, які витримують руйнівні навантаження в досить широких межах. Оптимальне значення величини перекриття знаходять експериментально.

Типи швів і розміри конструктивних елементів визначаються виходячи з товщини матеріалу, типу армування, типу і товщини полімерного покриття, величини міжшарової міцності полімерного покриття і армуючої основи, технічних вимог до з'єднань.

Процес пресового зварювання складається з наступних операцій: складання зварних виробів; зведення нагрівачів; нагрівання матеріалу в зоні шва до температури зварювання; створення заданого тиску; витримка; охолодження і зняття зусилля. Деталі залежно від їхніх розмірів можна з'єднувати за один цикл одночасно по всій довжині шва або послідовно за

кілька циклів.

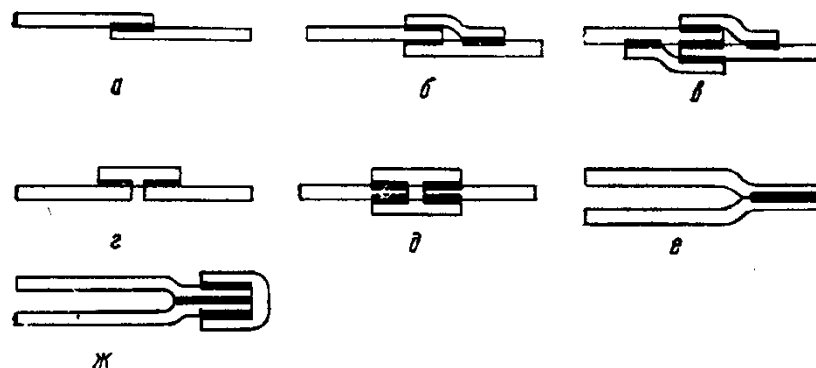


Рисунок 6.10 Основні типи з'єднання плівок при пресовому зварюванні: а-напусткове; б-напусткове з 1 накладкою; в-напусткове з 2 накладками; г-стикове з 1 накладкою; д-стикове з 2 накладками; е-рантове; ж-рантове з накладкою.

При виборі режиму зварювання (температури інструмента, тиску, тривалості) необхідно враховувати тип і товщину матеріалу, його термомеханічні властивості і термостійкість, спосіб нагрівання, а також конструкцію виробу і вид зварювального устаткування.

Наприклад, оптимальні режими зварювання плівок з поліолефінів можуть бути в наступних межах: температура нагрівального інструмента— 180—240 °С при односторонньому нагріванні, 160— 200 °С при двосторонньому нагріванні; тиск при зварюванні — 0,05—0,2 МПа при односторонньому нагріванні неармованих плівок, 0,08—0,09 МПа при двосторонньому нагріванні неармованих плівок і 0,5—0,8 МПа при двосторонньому нагріванні армованих плівок; тривалість зварювання — 0,5—2 сек. при односторонньому нагріванні неармованих плівок, 2—3 сек. при двосторонньому нагріванні неармованих плівок, 50—300 сек. при двосторонньому нагріванні армованих плівок.

6.7 ТЕРМОІМПУЛЬСНЕ ЗВАРЮВАННЯ

При термоімпульсному зварюванні використовують малоінерційний нагрівач з підвищеним електричним опором, який нагрівається імпульсом електричного струму, розігріває матеріал за долю секунди. Тиск, необхідний для зварювання, створюється додатковим пристосуванням. Після відключення електроживлення зварний шов швидко охолоджується знаходячись під тиском, що виключає налипання матеріалу на нагрівач і короблення плівки. Найбільш розповсюджена схема термоімпульсного зварювання, (рис. 6.11), застосовується для з'єднання поліолефінових плівок товщиною 20—250 мкм (при товщині більш 200 мкм необхідно застосовувати двостороннє нагрівання).

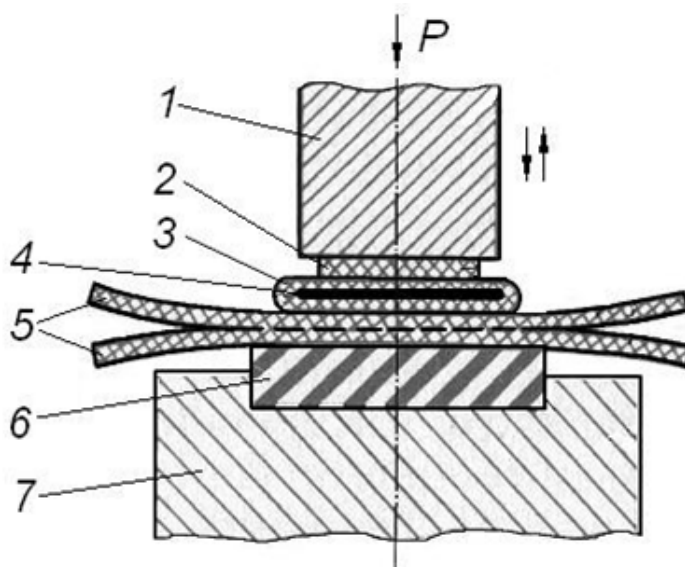


Рисунок 6.11 Схема термоімпульсного зварювання: 1 – рухома притискна губка; 2 – теплоізоляційна прокладка; 3 – розділова антиадгезійна плівка; 4 – нагрівальна стрічка; 5 - плівки, що зварюються; 6 – еластична теплоізоляція; 7 – нерухома губка.

Найчастіше при термоімпульсному зварюванні шов виконують за один цикл, при цьому довжина зварного шва дорівнює довжині нагрівача, який

має обмеження через теплове розширення. Термоімпульсне зварювання довгих швів (довжиною більш 1,5 м) виконують шляхом крокового переміщення матеріалу.

Оптимальну температуру зварювання встановлюють експериментально зміною величини і тривалості імпульсу електричного струму. Залежно від типу матеріалу і його товщини тривалість нагрівання складає від десятих секунди до декількох секунд, тиск від 0,01 до 0,2—0,3 МПа.

6.8 СТРІЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Застосування нагрівального інструмента у формі стрічок дає можливість охолоджувати виріб у процесі зварювання перед зняттям тиску, для цього остання ділянка, через яку проходить матеріал, має пристрій охолодження (рис. 6.12).

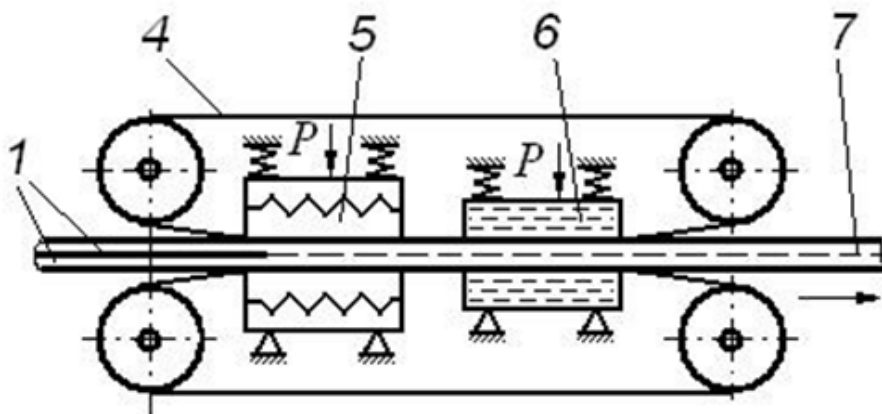


Рисунок 6.12 Схема стрічкового зварювання: 1 - зварювальний матеріал; 2 - притискний ролик; 3 – нагрітий ролик; 4 – сталева стрічка; 5 – нагрівальні губи; 6 – охолоджувальні губи; 7 – зварний шов.

Оптимальні режими зварювання підбираються експериментально з

врахуванням типу матеріалу плівок і їхньої товщини.

Залежно від конструкції виробів і умов виробництва при зварюванні плівкових виробів може бути використане як ручне, так і механізоване стрічкове зварювання. Як правило застосовують інструмент у вигляді стрічкових пристроїв.

6.9 РОЛИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

При з'єднанні полімерних плівок для одержання неперервного шва значної довжини застосовується роликове зварювання (рис. 6.13).

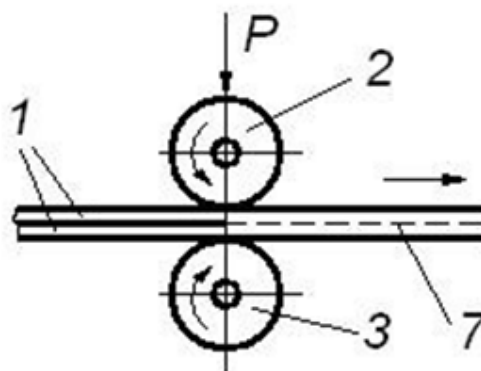


Рисунок 6.13 Схема роликового зварювання: 1 - матеріал, що зварюється; 2 - притискний ролик; 3 – нагрітий ролик; 4 – сталева стрічка; 5 – нагрівальні губи; 6 – охолодні губки; 7 – зварний шов.

Для механізованого роликового зварювання поліетиленових плівок розроблено достатньо багато устаткування. Характерною їх рисою є механізм протягування плівок, який складається з рухомої стрічки, що охоплює нижній нагрітий ролик, натяжного ролика, електродвигуна, редуктора і клинопасової передачі. Кромки плівок подаються в зазор між

верхнім роликом і сталеною стрічкою, що охоплює нижній ролик. При обраній швидкості руху стрічки режим зварювання визначається температурою її нагрівання від нижнього ролика і величиною зусилля притискання верхнього ролика. Температура нижнього ролика підтримується автоматично.

Роликовим зварюванням можна зварювати поліолефінові, поліамідні і полівінілхлоридні плівки товщиною до 200 мкм зі швидкістю 1,2—3 м/хв. Для попередження прилипання плівки до ролика використовується целофан товщиною 15—20 мкм. Для одержання якісних швів велике значення має підкладка, на якій ведеться зварювання. Дуже м'яка підкладка призводить до утворення підрізів у шві, а тверда до утворенню непроварів.

До недоліків роликового зварювання відноситься неможливість охолодження зварного шва до зняття зварювального тиску, що погіршує якість і міцність зварних з'єднань.

6.10 ЗВАРЮВАННЯ ЗАКЛАДНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Процес з'єднання виробів полягає в тому, що металевий елемент розміщується між нагрівальними поверхнями і залишається в зварному шві, стаючи частиною виробу, при цьому він виявляється цілком закритим матеріалом полімеру.

Процес нагрівання поверхонь, що безпосередньо зварюються, не зв'язаний ні з теплопровідністю матеріалу, ні з його товщиною, який забезпечує більш економічну витрату енергії порівнянно з іншими методами зварювання нагрітим інструментом.

Основною перевагою цього виду зварювання є можливість швидкого з'єднання деталей у важкодоступних місцях та деталей складної

конфігурації.

Залежно від методу нагрівання металевих елементів розрізняють зварювання **термоопірне** і **індукційне**.

Термоопірне зварювання полягає в нагріванні закладного елемента у вигляді дроту, або сітки з металу з високим електричним опором при проходженні по ньому електричного струму. Цей різновид зварювання найбільш ретельно розроблений і застосовується для з'єднання монтажних стиків труб з поліолефінів.

Технологічний процес отримання зварного з'єднання складається з підготовки деталей; складання з'єднання і підключенням спіралі до джерела живлення; нагріванням і оплавленням поверхонь внаслідок протікання електричного струму по спіралі; відключенням спіралі від джерела живлення та охолодженням зварного з'єднання.

Зварювання пластмасових труб із використанням литих з'єднувальних деталей із закладним нагрівальним елементом значно спрощує монтажні роботи на трубопроводах, тому що труби встановлюють відразу в проектне положення, а в процесі зварювання не вимагаються спеціальні інструменти (рис. 6.14).

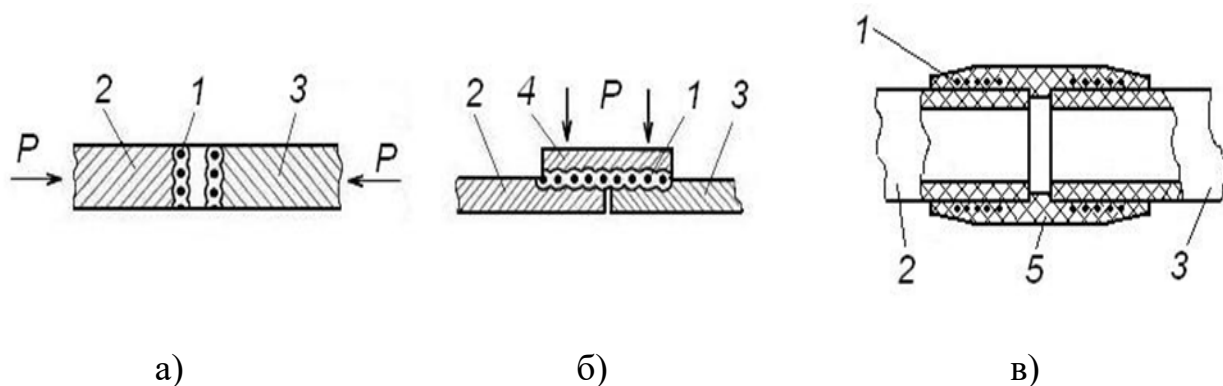


Рисунок 6.14 З'єднання труб закладним елементом: а - стикове з'єднання; б - з'єднання з накладкою; в – стикове з'єднання труб із фітінгом.

Індукційне зварювання полягає в нагріванні закладного елемента в електромагнітному високочастотному полі з використанням індуктора (рис. 6.15), підключеного до генератора високої частоти (одиниці або десятки кілогерц).

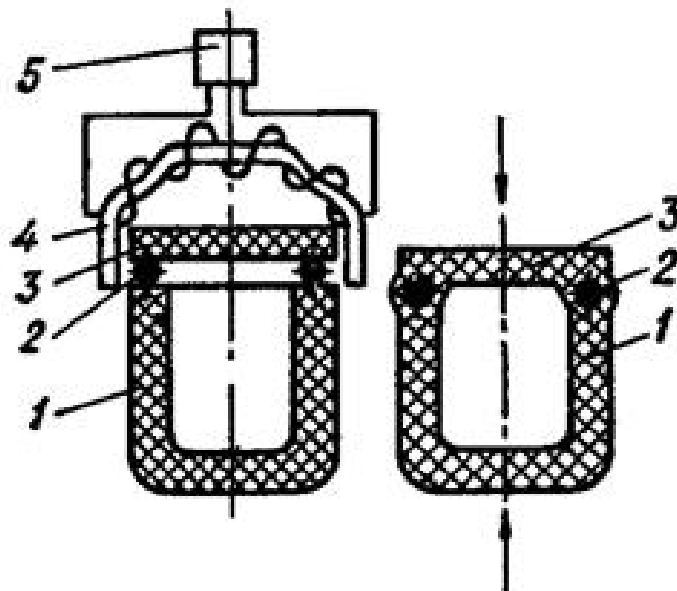


Рисунок 6.15 Індукційне зварювання: 1,3-деталі; 2-закладний елемент; 4-індуктор; 5-генератор ВЧ.

В якості закладних нагрівальних елементів застосовують металеві вставки зі сталі, нікелю, кобальту. Застосовують також дрібномелений порошок окису заліза з частинками розміром до 20 мкм, які наносять на поверхню, вводять в поверхневі шари або включають у склад адгезивів на основі зварювального термопласту, у вигляді дроту або стрічки. При нагріванні в індукторі адгезив плавиться утворюючи міцний зв'язок з матеріалом з'єднувальних деталей.

Цей спосіб зварювання використовується як правило для з'єднання виробів з поліетилену, поліпропілену та інших термопластів товщиною не менше 0,6 мм.

7 ЗВАРЮВАННЯ РОЗПЛАВОМ

7.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Зварювання розплавом широко поширене завдяки простоті, високій продуктивності, широким технологічним можливостям і високій якості зварних з'єднань. Зварювання розплавом доцільно здійснювати при високих швидкостях подачі розплаву в шов і максимальній його масі, оскільки в цьому випадку присадний матеріал втрачає менше теплоти і нагрівати його можна до нижчих температур.

Зварювання розплавом доцільно виконувати з попереднім підігрівом поверхонь нагрітим газом або нагрітим наконечником зварювального пристрою (наконечник стикається з кромками деталей). Останній спосіб дає можливість використовувати тиск розплаву, який утворюється в нагрівальному пристрої, для створення необхідного зварювального тиску (для забезпечення щільного контакту розплавленого присадного матеріалу з кромками деталей). У випадку, якщо наконечник зварювального пристрою знаходиться на деякій відстані від поверхонь деталей, для створення необхідного зварювального тиску рекомендується застосовувати спеціальні притискні пристрої. За продуктивністю процесу і міцності з'єднань зварювання розплавом з підігрівом поверхонь практично не відрізняється від зварювання без підігріву поверхонь, однак має більш високу стабільність якості, дозволяє на 20—30 % знизити температуру присадного матеріалу і рекомендується для зварювання деталей товщиною більше 3 мм.

Для забезпечення процесу зварювання присадний матеріал повинен мати температуру на 40—80 °С вище температури течіння полімеру, тому зварювання розплавом використовують тільки для з'єднання таких полімерів, які характеризуються широким інтервалом в'язкотекучого стану. До таких полімерів відносяться поліетилен високого і низького тиску,

поліпропілен, співполімер етилену з пропіленом.

Якість зварних швів залежить від таких факторів: складу, температури, швидкості подачі і форми присадного матеріалу; тиску на присадний матеріал; складу і температури матеріалу, а також характеру підготовки кромek деталей.

Для зварювання застосовують присадний матеріал, який за складом аналогічний тому, що зварюється. При зварюванні композиційних матеріалів, які складаються з декількох різних полімерів, у якості присадного необхідно використовувати полімер, який входить у композицію і має найбільш високу температуру течіння.

Зварювання розплавом застосовується для з'єднання полімерних плівкових і листових матеріалів, а також для виготовлення великогабаритних фасонних виробів з товстостінних напівфабрикатів і деталей (ємностей, ванн, корпусів, сполучних деталей трубопроводів великих діаметрів та ін.).

Зварювання розплавом може здійснюватися по неперервній (екструзійне зварювання) або перервній (зварювання литтям під тиском) схемам. Зварювання литтям під тиском (для одержання розплаву застосовуються машини для лиття) використовується для з'єднання виробів у важкодоступних місцях, по поверхнях складної конфігурації, коли зварювання іншими методами неможливе або нераціональне.

7.2 ЕКСТРУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Екструзійне зварювання можна виконувати із застосуванням присадного полімерного матеріалу у виді гранул або дроту. Якщо в якості присадного матеріалу використовують гранульований матеріал, то розплав неперервно подається в зону зварювання за допомогою екструдера (рис. 7.1). Якщо застосовують дріт, то розплав одержують шляхом нагрівання

дроту в пристроях, звідки розплав неперервно виштовхується ще не нагрітим присадним дротом, який розмотується з бухти і подається у нагрівальний пристрій за допомогою роликів.

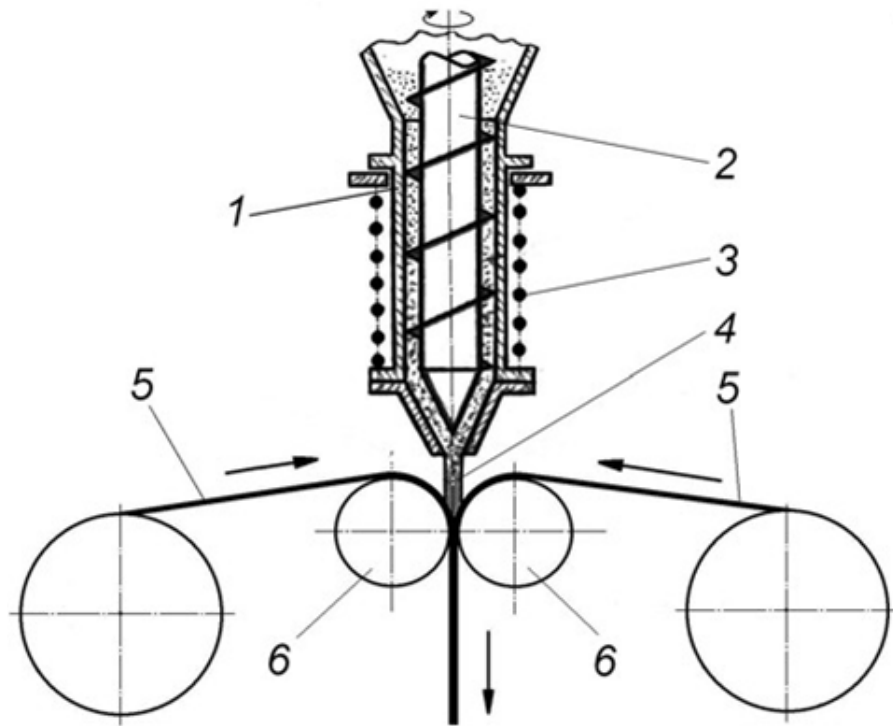


Рисунок 7.1 Екструзійне зварювання: 1-екструдер; 2 – шнек;
3 – нагрівач; 4 - присадка з екструдера; 5 - зварювальні плівки; 6 –
притискні ролики.

Метод безконтактного екструзійного зварювання є ефективним для з'єднання матеріалів малої товщини (до 3 мм), що охоплює одно- та багатошарові плівкові матеріали, а також армовані полімерні плівки. Технологія цього типу зварювання передбачає безперервну подачу розплавленого матеріалу в зазор між з'єднувальними поверхнями, після чого отримана структура проходить через притискні ролики, які забезпечують формування рівномірного шва.

Однією з ключових переваг даної технології зварювання є запобігання зменшенню товщини матеріалу в зоні формування шва, яке нерідко виникає при використанні інших методів зварювання.

Швидкість процесу зварювання плівкових матеріалів визначається продуктивністю екструдера, а також товщиною плівки, і може змінюватися в межах 0,5–3 м/с.

Тонкошарові поліетиленові та поліпропіленові плівки товщиною до 60 мкм можна з'єднувати шляхом нанесення додаткового матеріалу зверху двох накладених шарів плівки. Для одношарових та армованих плівкових матеріалів товщина додаткового шару підбирається відповідно до товщини основного матеріалу, а ширина перекривання становить 3–4 мм (за товщини плівки до 400 мкм).

Метод зварювання екструдованим розплавленим матеріалом використовується для створення стикових, кутових, таврових з'єднань. Основні типи з'єднань та параметри конструктивних елементів регламентуються нормативними документами, при цьому їх вибір визначається не лише товщиною матеріалу, але й рівнем навантажень, які діють на зварну конструкцію, а також умовами доступу до зони зварювання.

Екструзійне зварювання листових полімерних матеріалів завтовшки до 3 мм здійснюється без попередньої обробки кромки, використовуючи контактний метод. У цьому випадку необхідний розріз формується безпосередньо в процесі переміщення мундштука під час виконання зварного шва. Для матеріалів, що мають більшу товщину, доцільним є застосування V- або X-подібної обробки кромки для забезпечення якісного з'єднання.

Правильний вибір кута обробки кромки є визначальним фактором, який безпосередньо впливає на міцність отриманого з'єднання. Для деталей із V-подібною підготовкою кромки оптимальним є кут розкриття до 100°, тоді як для X-подібної обробки він не повинен перевищувати 80°. Зі

збільшенням кута розкриття спостерігається підвищення міцності шва, яка поступово досягає характеристик основного матеріалу. Проте надмірне розширення кутового розкриття спричиняє збільшене споживання додаткового матеріалу, що, у свою чергу, підвищує кількість проходів і негативно впливає на швидкість зварювального процесу.

Для забезпечення герметичності та довговічності зварного з'єднання рекомендовано залишати зазор у межах 1,5–2,5 мм. При виконанні зварювання вручну, навіть за наявності такого зазору, складно досягти рівномірного проплавлення кореня шва по всій його довжині. У таких випадках застосовують додаткове підварювання кореня з тильної сторони. Якщо доступ до зворотної сторони конструкції обмежений, використовують спеціальні підкладки, які можуть бути як знімними, так і постійними. Оптимально, щоб підкладкові матеріали мали низьку теплопровідність, до них належать керамічні пластини, металеві основи з полімерним покриттям або полімерні підкладки.

У стикових з'єднаннях зварюваних матеріалів допустима різниця в товщині не повинна перевищувати 1 мм. У разі, якщо цей показник перевищує зазначене значення, необхідно виконати скіс на листах більшої товщини S_1 під кутом $15 \pm 5^\circ$, що може здійснюватися з одного або обох боків до товщини, яка відповідає параметрам тоншого листа S (рис. 7.2).

Процес підготовки кромки до зварювання може бути реалізований як ручним способом за допомогою різаків, так і механізованим методом із використанням фрезерного чи токарного обладнання.

Під час виконання зварювальних робіт стикових і кутових з'єднань кількість проходів визначається товщиною матеріалу та продуктивністю екструдера. Якщо товщина матеріалу не перевищує 6 мм, процес зварювання можна здійснити за один прохід. У разі товщини понад 6 мм для забезпечення якісного з'єднання застосовується багатошарове накладання швів у кілька проходів.

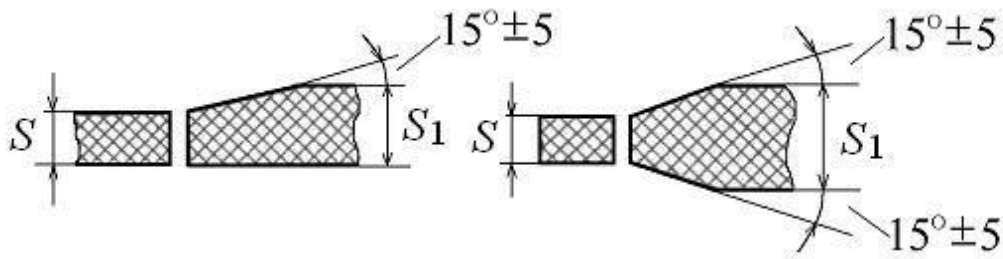


Рисунок 7.2 Підготовка кромки при зварюванні різновисинних матеріалів.

Основними технологічними параметрами екструзійного зварювання є: температура додаткового матеріалу; швидкість проведення зварювального процесу; тиск, який прикладається до розплавленого матеріалу.

Оптимальні показники швидкості зварювання знаходяться в діапазоні 5-300 м/год, а допустимий рівень тиску на розплавлений полімер становить 0,05-0,6 МПа. При збільшенні температури матеріалу на виході з екструдера тиск у зоні зварювання знижується, водночас швидкість формування зварного шва зростає.

Дотримання оптимальних технологічних параметрів забезпечує отримання зварного з'єднання, міцність якого наближається до міцності основного матеріалу. Важливо зазначити, що ці параметри залишаються сталими незалежно від товщини матеріалу. Найвищої якості зварного шва можна досягти при використанні додаткового матеріалу, який повністю відповідає складу основного полімеру.

Зварювання розігрітим прутком є ефективною технологією, що найчастіше використовується в монтажних умовах, коли необхідно застосовувати портативні ручні пристрої.

У цьому методі подача розплавленого матеріалу здійснюється шляхом безперервного введення зварювального прутка в нагрівальний циліндр пристрою. Процес нагрівання прутка реалізується за допомогою гарячого повітря або електричного нагрівального елемента. У деяких випадках цей метод комбінують із попереднім підігріванням основного матеріалу

потокот теплого повітря. Для забезпечення якісного формування шва рекомендовано використовувати присадкові прутки діаметром 2,5–6 мм.

Одним із варіантів зварювання термопластів із використанням екструдованого матеріалу є зварювання методом лиття під тиском. У цій технології розплавлений матеріал подається в зону з'єднання періодичними порціями з машини лиття (рис. 7.3).

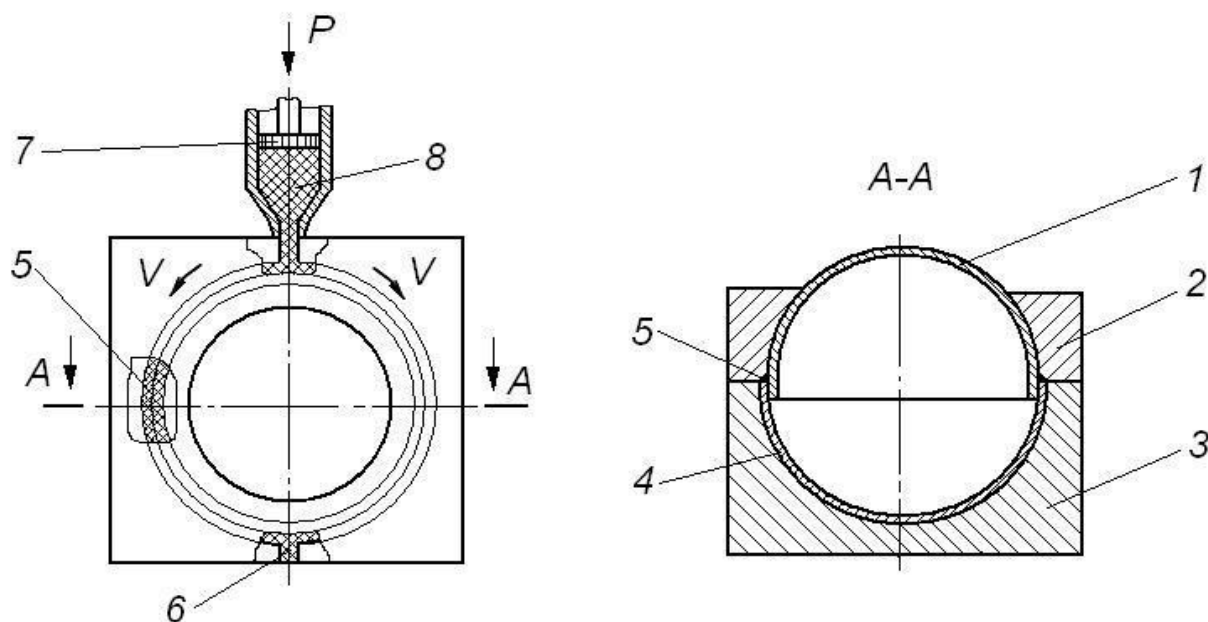


Рисунок 7.3 Схема зварювання шляхом лиття під тиском сферичної конструкції: 1 – верхня півсфера; 2, 3 – частини прессформи; 4 – нижня півсфера; 5 – зварний шов; 6 – контрольний отвір; 7 – машина литва; 8 – присадочний матеріал; V – напрямок руху розплавленого матеріалу.

Цей метод застосовують для з'єднання попередньо виготовлених штампованих деталей. Процес відбувається в спеціальній формі, яка містить канали, розташовані по лінії роз'єму. Розплавлений матеріал під тиском проходить через ці канали, передаючи тепло кромкам зварювальних деталей, сприяючи їх розплавленню та утворенню суцільного з'єднання вздовж лінії контакту.

Завдяки високій продуктивності цей метод широко застосовується для зварювання виробів у важкодоступних місцях або на складних поверхнях, коли інші методи зварювання є технічно складними або неможливими для реалізації.

Екструзійний присадний матеріал переважно має круглий переріз, а розміри цього перерізу визначають теплоємність присадного матеріалу.

Температура присадного матеріалу, при якій забезпечується максимальна міцність з'єднання, залежить від величини зварювального тиску (зі зниженням зварювального тиску температура присадного матеріалу повинна підвищуватися, однак для кожного полімеру характерний визначений інтервал температур присадного матеріалу, за межами якого забезпечити максимальну міцність з'єднань неможливо).

Зварювання стикових швів можливе без підготовки кромки та з одностороннім (V-подібним) і з двостороннім скосом кромки (X-подібним). Зварювання стикових швів без скосу кромки доцільно застосовувати при товщині до 3 мм і виконувати з підігрівом. При товщині понад 3 мм варто застосовувати X чи V- подібну обробку.

Кутові і таврові з'єднання можна виконувати без попередньої підготовки кромки, хоча міцність швів при цьому трохи знижується.

Для одержання міцних і герметичних стиків, таврових і кутових з'єднань у корені шва між кромками необхідно залишати зазор 1,5—2,5 мм. Зварювання без зазору через високу в'язкість розплаву може призвести до непроплавлення кореня шва і утворенню раковин.

При ручному зварюванні доцільно виконувати підварювання кореня шва зі зворотної сторони, що дозволяє забезпечити стабільне проплавлення кореня шва по всій його довжині. Якщо зворотна сторона недоступна, застосовують знімні або такі, що залишаються підкладки, які забезпечують формування зварного шва. Підкладки виготовляють з матеріалів з малою теплопровідністю, наприклад, з кераміки і полімерів.

Для утримування розплаву в зоні шва при зварюванні вертикальних швів зварювальний апарат переміщають зверху вниз, при цьому температура розплаву повинна бути мінімальною, а швидкість зварювання вибирається з розрахунком, щоб розплав не затікав перед наконечником зварювального апарата.

Основні типи конструктивних елементів швів при зварюванні розплавом листових поліолефінів регламентовані нормативними документами. Конструкція швів плівкових матеріалів залежить від товщини та вимог до зварних з'єднань конструкцій. При зварюванні полімерних плівок, у тому числі армованих, присадний матеріал необхідно подавати між поверхнями (плівки товщиною до 0,06 мм можна зварювати шляхом подачі присадного матеріалу поверх двох шарів плівок). Оптимальна товщина присадного матеріалу при зварюванні плівок приблизно дорівнює їхній товщині.

При зварюванні без підігрівання поверхонь відстань від сопла екструдера до шва не повинна перевищувати подвійного діаметра дроту, оскільки при збільшенні відстані можливі значні втрати тепла. Поданий у шов присадний матеріал необхідно ущільнювати за допомогою ролика або повзуна, який розташовують безпосередньо за екструдером.

Зміна швидкості зварювання в інтервалі 0,1—3 м/хв не має істотного впливу на якість з'єднань, особливо при високих температурах зварювання. Збільшення числа проходів при зварюванні матеріалів великої товщини на міцність зварних з'єднань практично не впливає. Відносна міцність зварних з'єднань, отриманих екструзійним зварюванням на оптимальних режимах, складає 90—100 % міцності матеріалу.

Для зварювання екструзійною присадкою розроблені різні, напівавтомати і машини, які мають залежно від присадного матеріалу і від призначення різну конструкцію і продуктивність. Устаткування може включати додаткові пристосування для нагріву газу-теплоносія, який

використовують для попереднього підігріву поверхонь. До зварювального устаткування входять також змінні мундштуки, що мають зовнішню форму, яка відповідає формі поперечного перерізу оброблених кромek деталей.

8 ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

8.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Відмінними рисами зварювання тертям є короткий час зварювання (кілька секунд), локальне виділення теплоти, висока міцність зварного шва, можливість зварювання поверхонь без їх попереднього очищення, у тому числі поверхонь, які мають окисну плівку і різні сторонні включення.

Зварюванням тертям добре з'єднуються поліетилен, поліпропілен, поліоксиметилен, полівінілхлорид, поліаміди, поліметилметакрилат, полістирол і ряд інших. Зварюванням тертям можуть з'єднуватися не тільки однорідні, але і різнорідні пластмаси.

Зварювання тертям широко використовують для з'єднання деталей, які мають форму тіл обертання, а також деталей будь-якої форми, поверхні яких знаходяться в одній площині, наприклад, труб малих і середніх діаметрів, водопровідної арматури, виробів сантехніки, фільтрів, резервуарів, каністр, крильчаток насосів і ін.

Зварювання тертям може виконуватися прямим методом, коли має місце відносне переміщення безпосереднє деталей або непрямим — коли для цього використовується проміжна вставка, яка може залишатися в місці з'єднання деталей і бути елементом зварної конструкції або видалятися в процесі зварювального циклу. При зварюванні тертям прямим методом розплав захищений від впливу атмосфери, що практично виключає можливість термоокисної деструкції полімерних матеріалів у зоні зварного шва.

При зварюванні пластмас тертям розрізняють наступні стадії процесу: нагрівання деталей в зоні контакту при терті; осадка; остигання стику під тиском.

Розрізняють зварювання тертям обертання і зварювання вібротертям.

8.2 ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ ОБЕРТАННЯ

Можливі схеми зварювання тертям обертання приведені на рис. 8.1. Із зазначених схем зварювання найбільше практичне застосування має схема з використанням обертання однієї деталі.

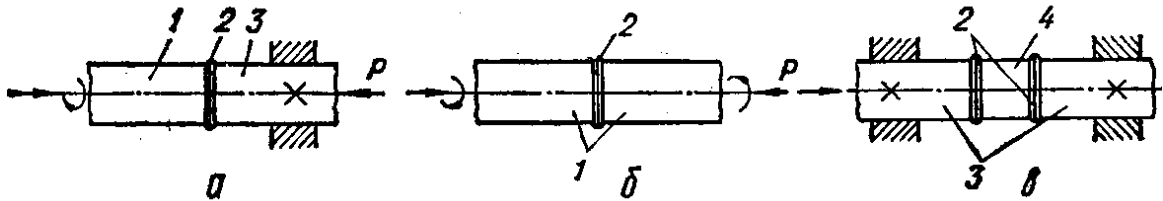


Рисунок 8.1 Схеми зварювання тертям з використанням обертання : а-1 деталі; б-2-х деталей; в-вставки. 1-деталь, яка обертається; 2-шов; 3-нерухома деталь; 4-вставка.

Основними параметрами режиму зварювання тертям обертання є лінійна швидкість відносного переміщення поверхонь V_n , тиск при нагріванні P_n , тиск при усадці P_{oc} , час зварювання $t_{зв}$, що включає час нагрівання t_n і час усадки t_{oc} . Вибір параметрів режиму залежить від теплофізичних властивостей матеріалів і геометричних розмірів деталей. Залежно від обраного зварювального циклу тиск може змінюватись різним чином.

На рис.8.2 приведена одна з можливих циклограм, яка характерна також і для зварювання вібротертям.

При досягненні температури зварювання $T_{зв}$ відносно обертання деталей швидко зменшують до нуля і охолоджують їх при P_{oc} . Тиск при

нагріванні й осадці повинні наростати поступово, що пов'язано з необхідністю усунення небажаних вібрацій деталей. У випадку зварювання тертям обертання прямим методом тиск P_n повинний бути меншим, чим тиск P_{oc} . При використанні проміжної вставки тиск осадки і лінійна швидкість обертання деталей завжди вибирають більшими, ніж без її. Час осадки визначається часом охолодження деталей і складає не менше декількох хвилин.

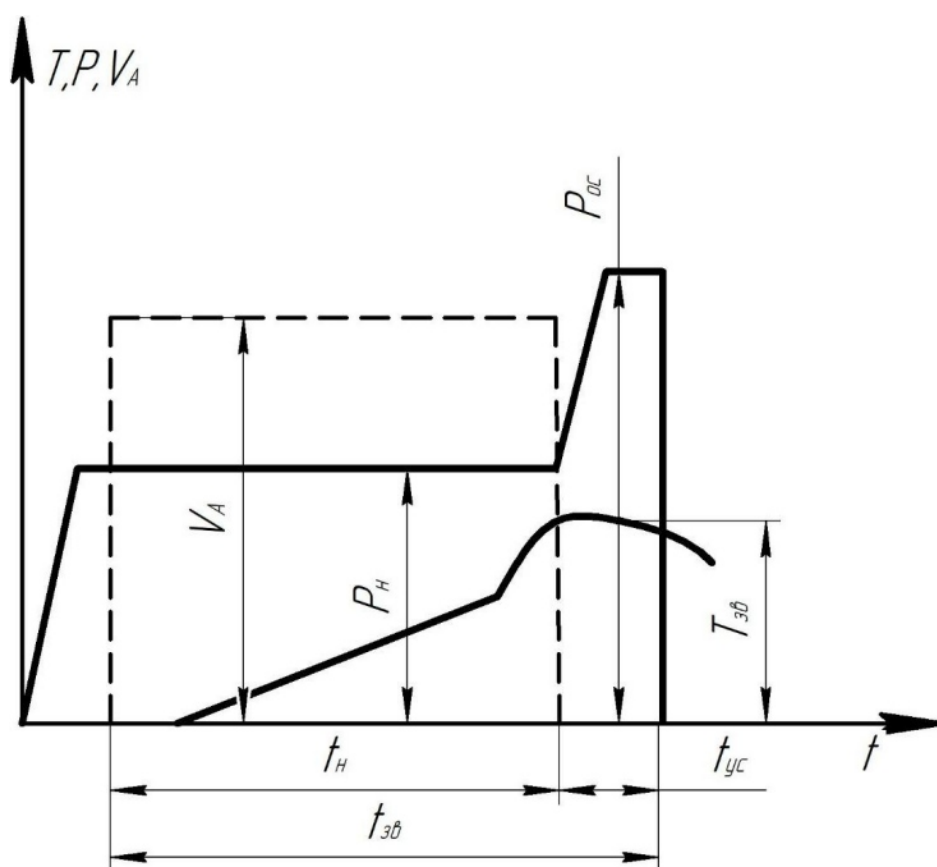


Рисунок 8.2 Циклограма зміни параметрів зварювання тертям.

У процесі нагрівання деталей вони притираються по площинах їх розділу, що супроводжується руйнуванням нерівностей у зоні контакту з незначним виділенням теплоти. Згодом відбувається руйнування поверхневих плівок з одночасним збільшенням теплоти, після чого настає сталий процес нагрівання, пов'язаний з адгезійною взаємодією поверхонь, що труться.

Обертанням однієї з деталей зварюють між собою циліндричні деталі невеликої довжини і циліндричні деталі з плоскими або фасонними деталями. Зварюванням із застосуванням проміжної вставки з'єднують великі і громіздкі деталі, обертання і гальмування яких утруднено.

Щоб уникнути зсуву кромок і забезпечити центрування деталей по периметру при зварюванні тертям обертання трубчастих деталей із плоскими торцями необхідно застосовувати спеціальну підготовку поверхонь.

8.3 ЗВАРЮВАННЯ ВІБРОТЕРТЯМ

При зварюванні вібротертям деталі виконують відносні зворотно-поступальні переміщення (лінійне зварювання вібротертям) або коливально-обертальні переміщення (кутове зварювання вібротертям), які призводить до розігріву дотичних поверхонь і їх з'єднанню під тиском осадки після зняття вібрацій.

Для одержання необхідних значень лінійних швидкостей відносного переміщення поверхонь, які труться, використовують коливання частотою 50—150 гц і амплітудою 1—5 мм.

Вібротертям зварюють несиметричні деталі розміром від 30х30 до 300х300 мм з відношенням довжини до ширини 1:5. При зварюванні вібротертям полістиролу і полівінілхлориду необхідно враховувати вплив підвищеного тиску притиску та виникнення негативних явищ. Для полістиролу — можлива поява поверхневих тріщин, які погіршують його оптичні властивості, а для полівінілхлориду — можливість перегрівання зварювальної зони, що погіршує міцність зварного шва.

Вібротертям можуть зварюватися фторопласти і ряд полімерів, які не зварюються або погано зварюються іншими способами.

Зварювання пластмас тертям обертання здійснюється на різних

металообробних верстатах — токарних, свердлильних, фрезерних, а також спеціалізованих зварювальних машинах.

Установки для зварювання пластмас тертям обертання складаються з приводу обертання, вузлів затиску заготовок, механізму гальмування, вузла осадки та апаратури керування. Вузли затиску заготовок обладнані кулачковими патронами або самозатискними цангами. Для того щоб двигун не відключався при зупинці обертання шпинделя, застосовується фрикційний механізм. Механізм вузла осадки для створення осьового зусилля виконують пружинним, пневматичним або гідравлічним.

9 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

9.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Характерними рисами ультразвукового зварювання пластмас є короткий час зварювання (не більш декількох секунд); висока якість зварного з'єднання і стабільність процесу; локальне тепловиділення в зоні зварювання, що унеможливорює перегрівання пластмас; можливість зварювання по забруднених поверхнях; можливість зварювання ряду пластмас на великій відстані від місця введення коливань та ін.

Ультразвук широко використовується для зварювання більшості полімерних плівок, синтетичних тканин і штучних шкір, формованих деталей з поліолефінів, полістиролу, поліаміду і ряду інших пластмас. Особливо доцільне застосування зварювання ультразвуком в умовах масового виробництва.

Ультразвукове зварювання полягає в наступному: електричні коливання ультразвукової частоти (18—50 кгц), створені генератором, перетворюються електроакустичним перетворювачем (магнітострикційним або п'єзоелектричним) у механічні ультразвукові коливання

амплітудою 3—5 мкм, потім підсилюються хвилепровідною системою, яка складається з трансформатора пружних коливань і інструмента-хвилеводу до 20—60 мкм, і вводяться в матеріали, який розміщений на опорі (рис. 9.1). З метою інтенсифікації процесу зварювання застосовують двостороннє підведення ультразвукових коливань до поверхонь. У цьому випадку використання другого перетворювача дозволяє збільшити енергію, яка виділяється в зоні зварювання, у чотири рази.

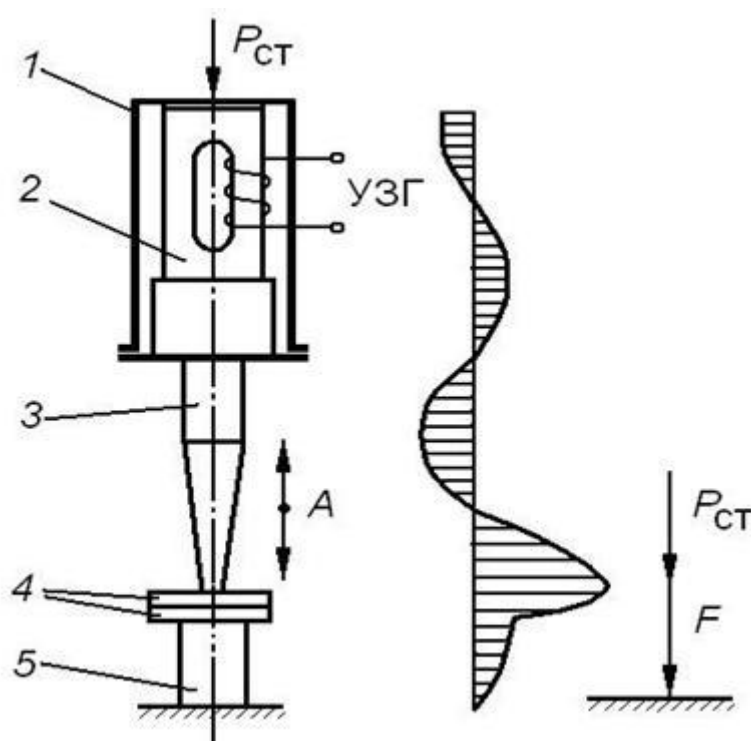


Рисунок 9.1 Схема ультразвукового зварювання пластмас: 1 – корпус перетворювача; 2 – перетворювач; 3 – трансформатор – хвилевід; 4 - деталі, що зварюються; 5 – опора.

Для створення акустичного контакту між поверхнями, необхідного для введення в матеріал механічних ультразвукових коливань, до поверхні матеріалу з боку інструмента-хвилеводу прикладається статичне зусилля притиску $P_{ст}$ (зварювальне зусилля). У коливальному режимі на матеріали з

боку інструмента-хвилеводу впливає також динамічне зусилля P_d , що призводить до вібраційного нагрівання матеріалів.

Для ультразвукового зварювання специфічним є характер протікання в зоні зварювання деяких фізико-хімічних процесів. Під дією ультразвуку значно зростає швидкість дифузії макромолекул, відбувається інтенсивне перемішування розплаву полімеру, може мати місце часткова деструкція макромолекул і ін. Ці фактори прискорюють процес зварювання і дозволяють проводити його при більш низьких температурах у порівнянні з іншими способами зварювання.

Залежно від переміщення інструмента-хвилеводу відносно матеріалу розрізняють пресове і неперервне зварювання ультразвуком. Пресове зварювання виконується за один робочий рух хвилеводу. Неперервне зварювання здійснюється переміщенням інструмента-хвилеводу відносно покладених на гладку тверду поверхню матеріалів, (ручне зварювання ковзним інструментом) або переміщенням матеріалів відносно закріплених на стаціонарній установці інструмента-хвилеводу й опори.

Нагрівання матеріалів обумовлене поглинанням енергії механічних коливань в об'ємі матеріалу і у місці контакту поверхонь. Причини, які призводять до нагрівання матеріалів: втрата енергії механічних коливань на внутрішнє і зовнішнє тертя; втрати, пов'язані з розсіюванням енергії на окремих несучільностях матеріалу, втрати через наявність мікронерівностей на границях розділу, які ведуть до значних динамічних напружень, та ін.

Кількість тепла, яка виділяється в зоні поверхонь визначається кількістю підведеної енергії ультразвукових коливань і здатністю матеріалу перетворювати її в цій зоні в теплову енергію.

Залежно від характеру передачі енергії ультразвукових коливань поверхням розрізняють ультразвукове зварювання в ближньому і у дальньому полі (рис. 9.2, 9.3).

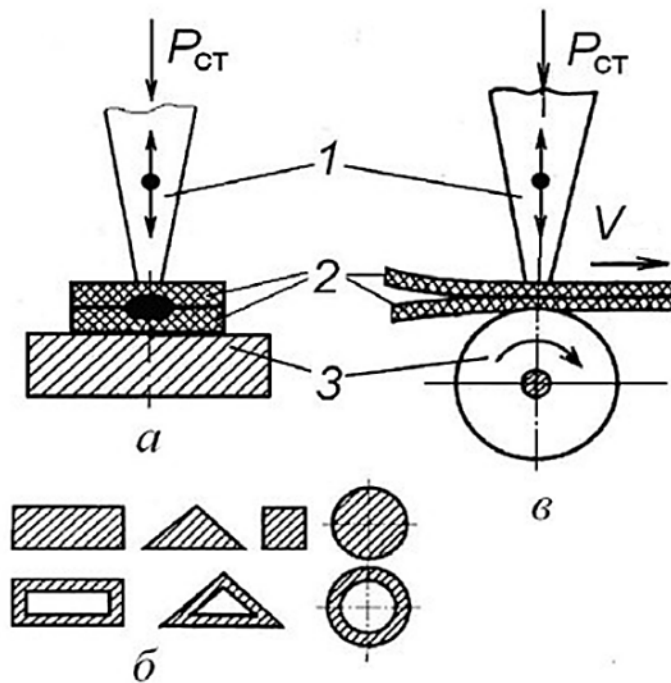


Рисунок 9.2 Схеми ультразвукового зварювання в ближньому полі: а – пресове; б - можлива форма робочого торця хвилеводу при пресовому зварюванні; в – шовна; 1 – хвилевід; 2 - зварювальні деталі; 3 – опора.

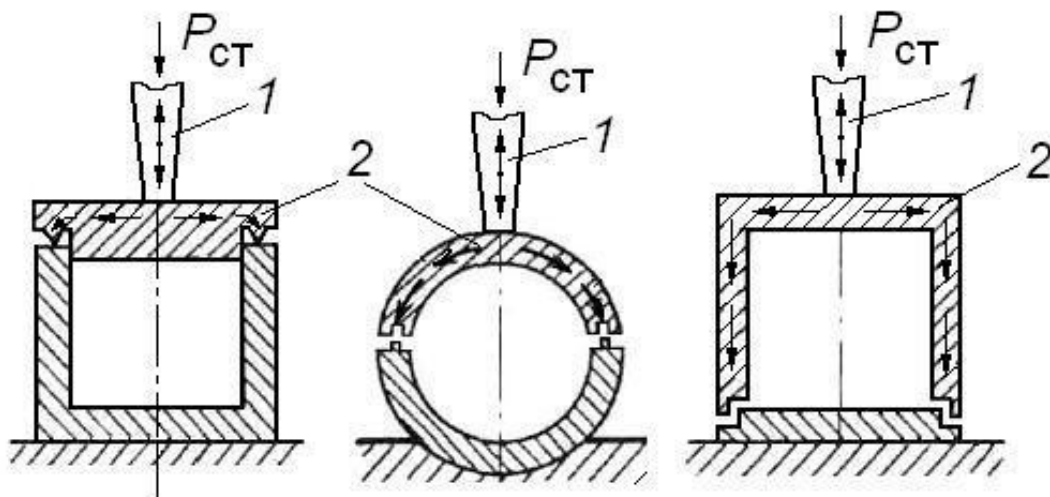


Рисунок 9.3 Схеми ультразвукового зварювання в дальньому полі:
1 — хвилевід; 2 — виріб; 3-опора.

Перша дозволяє зварювати поверхні на відстанях до 5 мм від місця

введення в матеріал ультразвукових коливань, друга — до 250 мм. При зварюванні в ближньому полі контури зварного шва і робочого торця інструмента-хвилеводу ідентичні, у той час як при зварюванні в дальньому полі вони не взаємозалежні. При зварюванні в дальньому полі введення коливань, як правило, здійснюється на невеликій ділянці верхньої деталі.

Пластмаси за їхньою здатністю передавати ультразвукові коливання поділяють на три групи:

- тверді пластмаси, які добре проводять ультразвук (полістирол, сополімери стиролу, капролон, поліметилметакрилат);
- напівтверді пластмаси, які задовільно проводять ультразвук (поліпропілен, полікарбонат, поліетилентерефталат);
- м'які пластмаси, які погано проводять ультразвук (поліетилен, пластифікований полівінілхлорид).

За принципом дозування енергії ультразвукових коливань розрізняють зварювання з фіксованим часом дії ультразвуку, з фіксованою величиною енергії, яка вводиться, а також зварювання з дозуванням енергії за деформаційним критерієм.

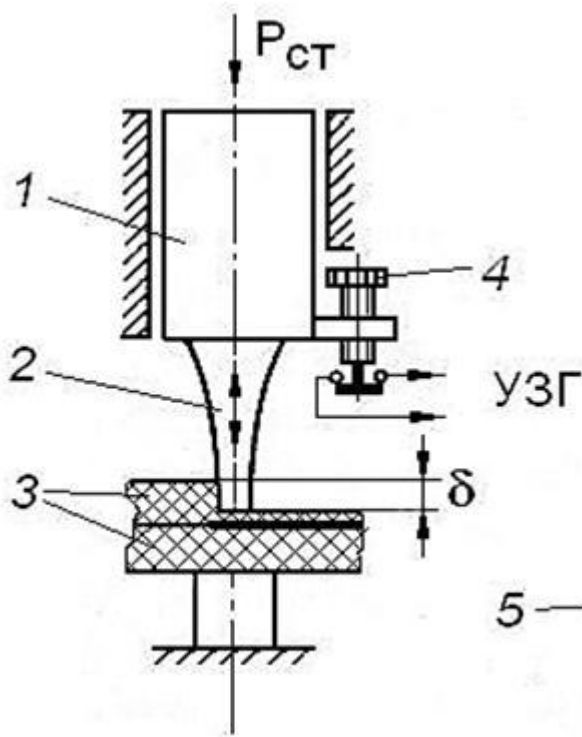
Ультразвукове зварювання з фіксованим часом не забезпечує стабільності якості з'єднань. Ультразвукове зварювання з фіксованою величиною енергії і за деформаційним критерієм позбавлені цих недоліків. При зварюванні з фіксованою величиною енергії, яка вводиться, ультразвук включений доти, поки в матеріал не буде передана заздалегідь встановлена емпіричним шляхом величина енергії.

При ультразвуковому зварюванні за деформаційним критерієм розрізняють зварювання з фіксованою осадкою і фіксованим зазором.

При ультразвуковому зварюванні з фіксованою осадкою задається глибина вдавнення δ інструмента-хвилеводу в матеріали під дією статичного і динамічного тисків (рис. 9.4).

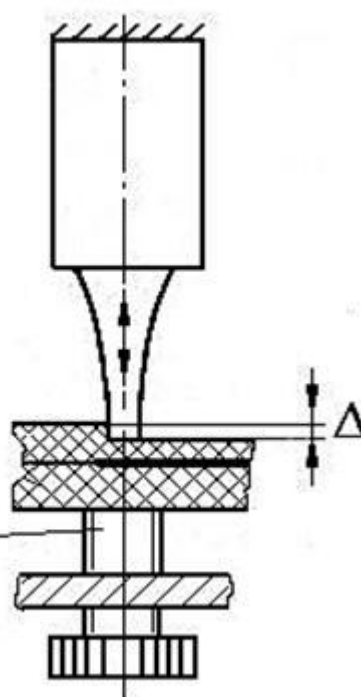
При ультразвуковому зварюванні з фіксованим зазором статичний

тиск відсутній і глибина вдавнення δ інструмента-хвилеводу в матеріалі тобто деформація матеріалу визначається тільки динамічним тиском (рис. 9.5).



а)

Рисунок 9.4 Ультразвукове зварювання з фіксованою величиною енергії:



б)

Рисунок 9.5 Ультразвукове зварювання по деформаційному критерію:

1 – перетворювач; 2 – хвилевід; 3 – зварювальний матеріал; 4 – пристрій відключення ультразвуку; 5 – регулювальний гвинт-опора.

9.2 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ПРЕСОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Основними параметрами пресового ультразвукового зварювання є амплітуда коливань робочого торця хвилеводу A_0 , частота коливань f , тривалість ультразвукового імпульсу t , і зварювальний тиск $P_{ст}$. Необхідно

враховувати при зварюванні додаткові фактори, такі як розмір і форма опори і хвилеводу, властивості матеріалу, з якого вони виготовлені, товщину і матеріал теплоізоляційних прокладок, характеристики зварювальних виробів (форма, товщина, фізико-хімічні властивості матеріалу). Тому в кожному конкретному випадку оптимальні параметри режиму зварювання визначають експериментально, проводячи оцінку за міцністю зварного шва.

Зварювання твердих пластмас.

При зварюванні твердих пластмас таких, як полістирол, капролон, поліметилметакрилат і інші, які мають малий коефіцієнт поглинання ультразвуку, утворення зварного з'єднання визначається можливістю концентрації енергії ультразвукових коливань на поверхнях, і можливістю створення в цій зоні високих статичних і динамічних напружень, які ведуть до зниження температури переходу полімеру у в'язкотекучий стан.

Застосовують різноманітні форми і розміри стиків деталей, які забезпечують одержання штучних концентраторів напруження і енергії. Найбільш розповсюджений спосіб підготовки кромки, коли одна з поверхонь має V-подібний виступ. Можливі способи підготовки кромки приведені на рис. 9.6.

З метою підвищення тепловиділення в зоні зварювання застосовують додаткове підігрівання зони. Підвищення температури сприяє прискореному розігріванню зони зварювання при введенні ультразвукових коливань і збільшенню продуктивності процесу зварювання. Оптимальна температура підігрівання визначається матеріалом і складає приблизно 50-100 °С.

Приклад обробки кромки деталі прямокутного перерізу, які приварюється до тонкостінної камери, і пакета, який зварюється з декількох пластин (рис. 9.7). У першому випадку розмір деталі вибирається таким чином, щоб після зварювання він дорівнював вихідному внутрішньому

розміру камери. Зварювання верхнього і нижнього виступу деталі зі стінками камери виконується одночасно. В другому випадку з метою рівномірного розподілу енергії в зонах контакту пластин змінюється площа контакту і величина кута при вершині V-подібного виступу.

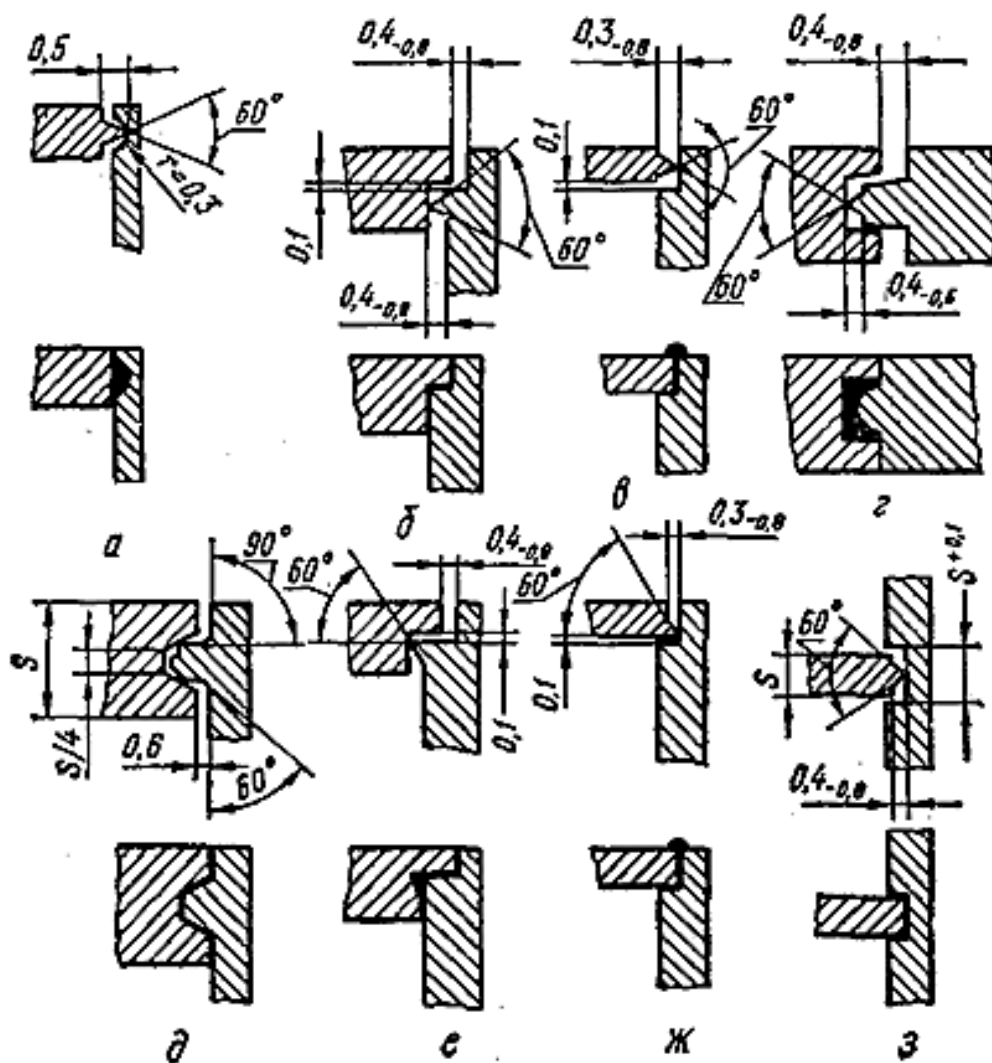


Рисунок 9.6 Можливі способи підготовки кромки.

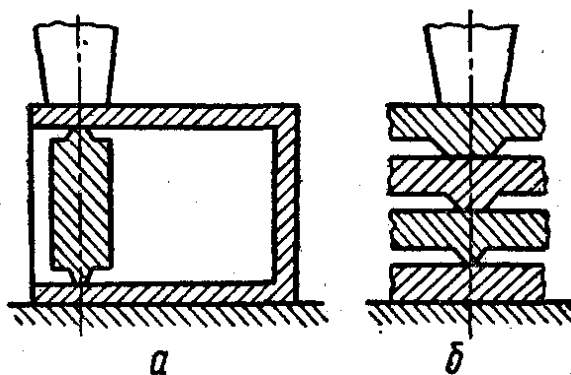


Рисунок 9.7 Приклад обробки кромки деталі прямокутного перерізу, що приварюється до тонкостінної камери, і зварювального пакета з декількох пластин.

У залежності від форми виробів застосовують хвилеводи з плоскою чи фігурною робочою поверхнею. В останньому випадку з метою одержання герметичного шва робоча поверхня хвилеводу повинна добре з'єднуватися з поверхнею зварювальних деталей.

У процесі зварювання важливим є не допустити зсув однієї частини виробу щодо іншої і хвилеводу. Це досягається за рахунок спеціальної форми опор, конструкція яких визначається формою і матеріалом виробу (рис. 9.8).

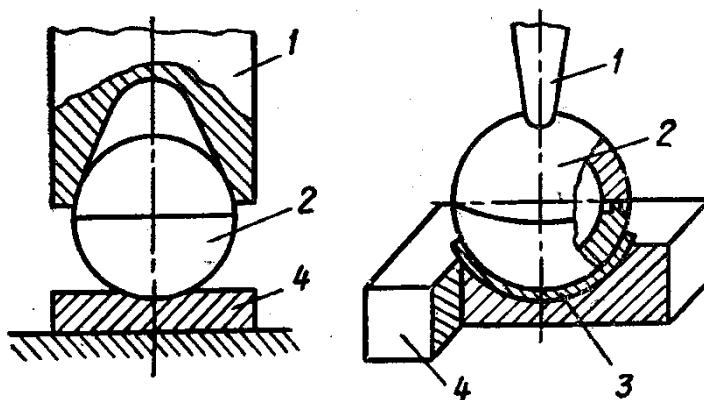


Рисунок 9.8 Опори для зварювання об'ємних деталей: 1-хвилевід; 2-виріб; 3-гумова прокладка; 4-опора.

Гніздо опори повинно бути таким, щоб забезпечити установку нижньої частини виробу в опору без зазору. Для цього використовують гумові прокладок, які укладають в гніздо опори.

Гніздоподібні опори можуть бути оснащені додатковими притискними пристроями у вигляді пружин, важелів, клинів, притискних рейок і т.д. залежно від форми деталей.

Зварювання м'яких пластмас.

При ультразвуковому зварюванні пластмас, які мають низький модуль пружності (поліетилен, пластифікований полівінілхлорид), застосовується в основному зварювання в ближньому полі. При цьому значне тепловиділення на границі розділу матеріалів, і в об'ємі, що прилягає до місця введення коливача, як правило, веде до небажаного проникнення хвилеводу в деталь з витисканням розплавленого матеріалу з зони зварювання за зовнішній контур хвилеводу. Цей фактор обмежує застосування ультразвуку для зварювання виробів, до яких пред'являються високі естетичні вимоги.

Оскільки ультразвук широко застосовується для зварювання ємностей, контейнерів і труб, виготовлених з поліетилену для збереження різних сипучих і рідких речовин, при виборі технологічного процесу необхідно враховувати вплив цих речовин на зварюваність.

Для ультразвукового зварювання м'яких пластмас також може бути рекомендована схема зварювання витиснутим розплавом (рис. 9.9). З'єднання в цьому випадку утвориться за рахунок розплаву, який видавлюється з зони зварювання, у спеціальну замкнуту порожнину до її заповнення. Ця схема зварювання рекомендована для одно- чи багатошарового зварювання стикових і довгомірних швів різної конфігурації.

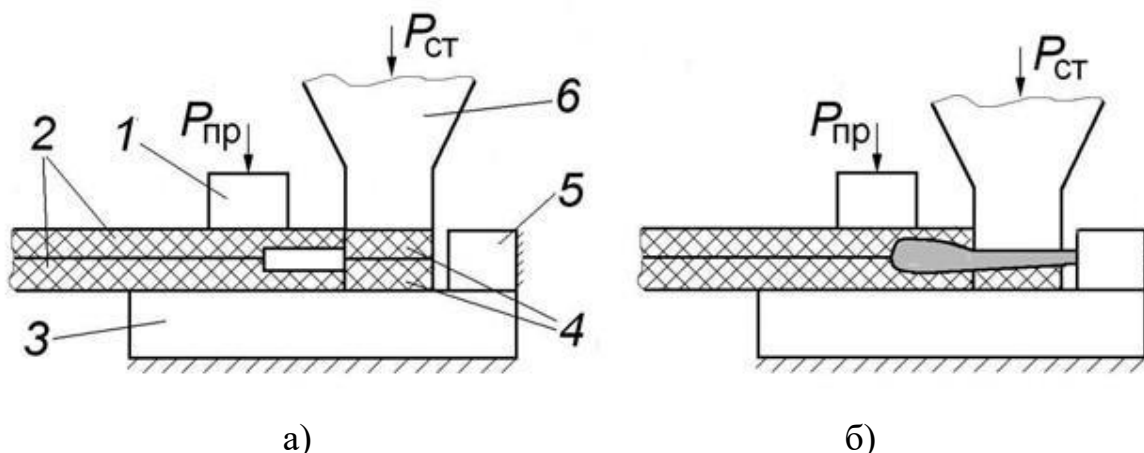


Рисунок 9.9 Схема зварювання витиснутим розплавом: а-початок зварювання; б-закінчення зварювання. 1-прижим; 2-деталі; 3-опора; 4-технологічні частини деталей; 5-упор; 6-хвилевід. $P_{пр}$ - зусилля притиску; $P_{ст}$ - статичне зварювальне зусилля. δ -товщина, b -ширина технологічного зазору.

Увага при ультразвуковому зварюванні м'яких пластмас варто приділяти усуненню факторів, які впливають на утворення підрізів, непроварів і свищів.

9.3 УЛЬТРАЗВУКОВЕ НЕПЕРЕРВНЕ ЗВАРЮВАННЯ

При неперервному ультразвуковому зварюванні пластмас основними технологічними параметрами процесу є амплітуда коливань робочого торця хвилеводу A_0 , частота коливань f , швидкість зварювання V і зварювальне зусилля $P_{ст}$. Зварювання може виконуватися за схемою з фіксованим зазором або з постійним тиском. Матеріали, що мають малу різнотовщинність, добре з'єднуються зварюванням з фіксованим зазором, при великій різнотовщинності — зварюванням при постійному тиску. В останньому випадку основною особливістю процесу зварювання є деформація матеріалу під дією інструмента хвилеводу, обумовлена

термоповзучістю і видавлюванням розплаву з зони зварювання, і яка незалежно від вихідної товщини матеріалів веде до стабілізації товщини зварного шва.

При неперервному зварюванні плівок за схемою з постійним тиском найбільш істотними параметрами процесу є амплітуда коливань і швидкість зварювання, які у більшій мірі впливають на результат зварювання, ніж зварювальний тиск. Амплітуда коливань вибирається в залежності від товщини плівок. Плівкам товщиною 12—40 мкм відповідають амплітуди коливань 20—30 мкм. Оптимальна швидкість зварювання при цьому складає $(2,5...3,3) \cdot 10^{-2}$ м/с. Максимальна міцність зварних з'єднань тонких плівок при ультразвуковому зварюванні при постійному тиску досягається при зусиллях притиску від 4 до 15 Н. Невеликі зусилля притиску хвилеводу викликані тим, що робоча частина інструмента хвилеводу в процесі зварювання контактує з матеріалом на дуже малій площі.

Ультразвукове зварювання плівок при постійному тиску характеризується великими значеннями питомої потужності механічних коливань, великим тиском інструменту і значною деформацією матеріалу. Підвищення товщини плівок вимагає збільшення амплітуди коливань і зварювального тиску.

10 ВИСОКОЧАСТОТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

10.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Відмінними рисами високочастотного зварювання пластмас є: одночасне рівномірне нагрівання по товщині матеріалів, яке унеможливорює перегрівання зовнішніх поверхонь; висока швидкість нагрівання, яке дозволяє обмежувати час зварювального циклу декількома секундами; можливість виготовлення за одну операцію виробів зі складною

конфігурацією зварного шва; широке використання для з'єднання плівкових полімерних матеріалів, синтетичних матеріалів.

Електричні характеристики полімерних матеріалів залежать від температури і частоти електричного поля і можуть сильно відрізнятися для різних полімерів. Здатність полімерних матеріалів нагріватися в змінному електричному полі характеризується коефіцієнтом діелектричних втрат. Питома потужність, Вт/см³, одиниці об'єму полімеру в змінному електричному полі, залежить від електричних характеристик полімеру, параметрів електричного поля і визначається за залежністю:

$$P_n = 0,555 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot f \cdot E^2 10^{-12}$$

де ε і $\operatorname{tg} \delta$ — відповідно відносна діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат полімерних матеріалів; f — частота електричного поля, Гц; E — напруженість поля в матеріалах, В/см.

При енергетичній оцінці процесу високочастотного зварювання пластмас варто враховувати, що коефіцієнт діелектричних втрат як правило збільшується з збільшенням температури.

Максимально допустиме напруження на електродах визначається напругою пробою матеріалів і не повинно перевищувати (0,5-0,7) його значення.

10.2 ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ

При високочастотному зварюванні пластмас застосовується переважно пресове зварювання. Схема високочастотного пресового зварювання приведена на рис. 10.1. Зварювальні матеріали 3 поміщають в електричне поле, яке створюється між робочими плитами преса 1 і 4, які утворюють електричний конденсатор. Останній підключений до генератора високої частоти 5 паралельно з конденсатором, який утворений нижньою плитою

преса 4 і додатковим електродом 2, призначеним для формування зварного шва заданої конфігурації.

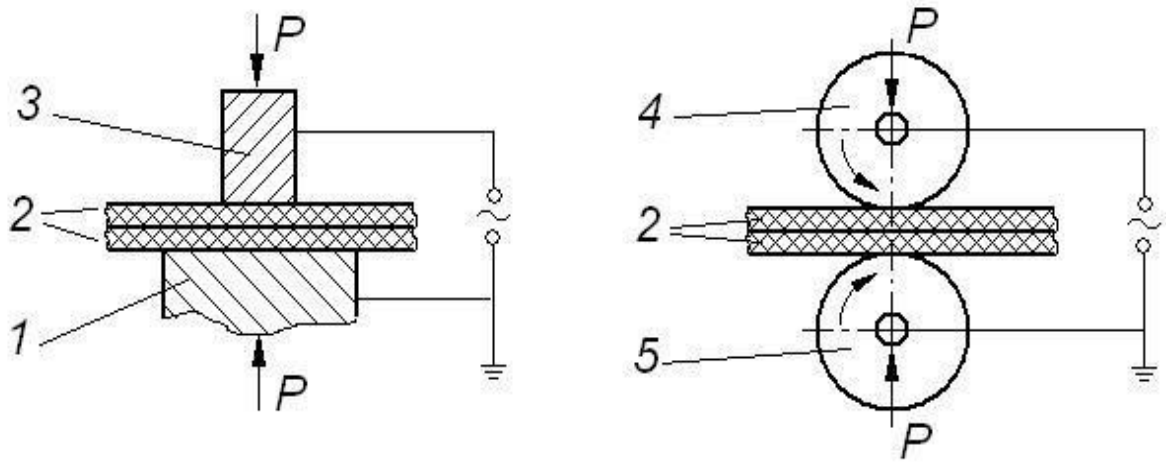


Рисунок 10.1 Схема пресового та роликового високочастотного зварювання пластмас: 1 – заземлене обкладання конденсатора; 2 – зварювальний матеріал; 3 – високопотенційний електрод; 4 – високопотенційний ролик; 5 – низькопотенційний ролик.

До основних параметрів пресового високочастотного зварювання відносяться напруженість E і частота f електричного поля, зварювальне зусилля P , час попереднього стиску t_1 , час нагрівання матеріалу в електричному полі t_2 і час дії зварювального зусилля після зняття електричного поля t_3 (рис. 10.2).

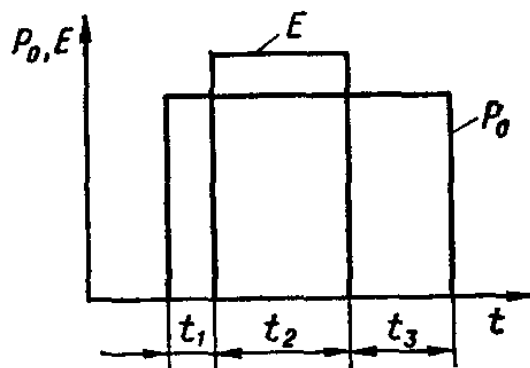


Рисунок 10.2 Робочий цикл при високочастотному зварюванні.

При високочастотному зварюванні швидкість нагрівання полімерних матеріалів практично не залежить від їхньої теплопровідності, яка визначає тільки втрати теплоти в біляшовну зону матеріалу і електроди. Наявність електродів, які знаходяться в тепловому контакті з зварювальними матеріалами, призводять до того, що в процесі високочастотного нагрівання температурне поле не залишається однорідним. Тепловий потік від матеріалів спрямований до електродів, які мають температуру навколишнього середовища. Це дозволяє одержувати при зварюванні тонких плівок, змінюючи швидкість нагрівання, такий розподіл температури, коли при практично холодних зовнішніх поверхнях плівок, які контактують з електродами, з'єднувальні поверхні будуть нагріватися до необхідної максимальної температури (рис. 10.3). Можливість локалізувати зону нагрівання на з'єднувальних поверхнях дозволяє істотно зменшити деформацію матеріалів в біляшовній зоні і цим поліпшити якість зварювання.

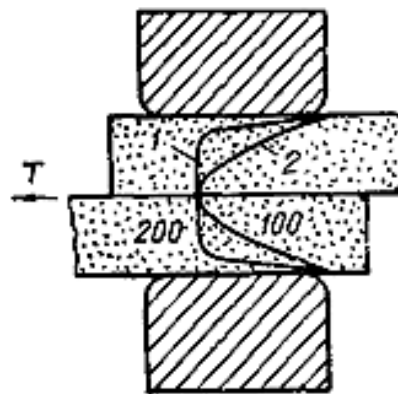


Рисунок 10.3 Розподіл температури: 1-швидке нагрівання; 2-повільне нагрівання.

Вимоги до конструкції електродів для пресового зварювання в значній мірі визначаються видом зварного з'єднання, а також розмірами і

конфігурацією виробу. На рис. 10.4 подані приклади взаємного розташування виробів, види зварного з'єднання, а також можливі способи розміщення зварювальних електродів.

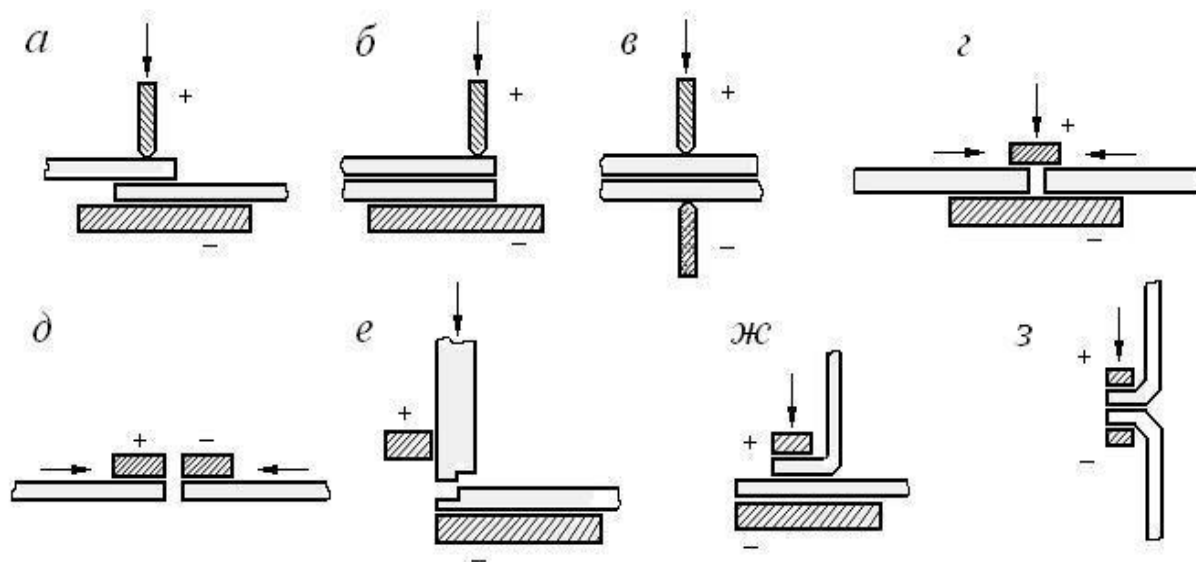


Рисунок 10.4 Види зварних з'єднань та схеми розміщення електродів при зварюванні: а, б, в – внапустку; г, д, - встик; е – кутове; ж, з - з відборткування кромки; (+) - Високовольтний електрод; (-) – заземлений електрод.

При зварюванні товщина матеріалу має істотне значення: чим тонший матеріал і чим менший час нагрівання, тим більшою повинна бути потужність. При зварюванні тонких плівок (менш 100—150 мкм) споживана потужність значна, а коефіцієнт корисної дії нагрівання електродів малий, що зв'язано з великим тепловідводом в електроди. Для зменшення тепловідводу тонкі плівки рекомендується зварювати через діелектричні прокладки. Застосування неоднакових по товщині і фізичних властивостях прокладок з двох боків дозволяє зміщати максимальну температуру на задану відстань по товщині матеріалів. З метою зменшення тепловідводу з зони зварювання застосовують попереднє підігрівання електродів. Для ряду полімерів, які погано з'єднуються високочастотним

зварюванням внаслідок малого коефіцієнту діелектричних втрат, попереднє підігрівання електродів дозволяє досягти необхідної зварюваності.

Для одержання зварних швів різної конфігурацією широке поширення знаходять електроди, представлені на рис. 10.5. При роботі з зазначеними електродами з метою уникнення електричного пробоя електрод, з'єднаний з нижньою плитою зварювального преса, рекомендується покривати листом матеріалу, наприклад гетинаксом.

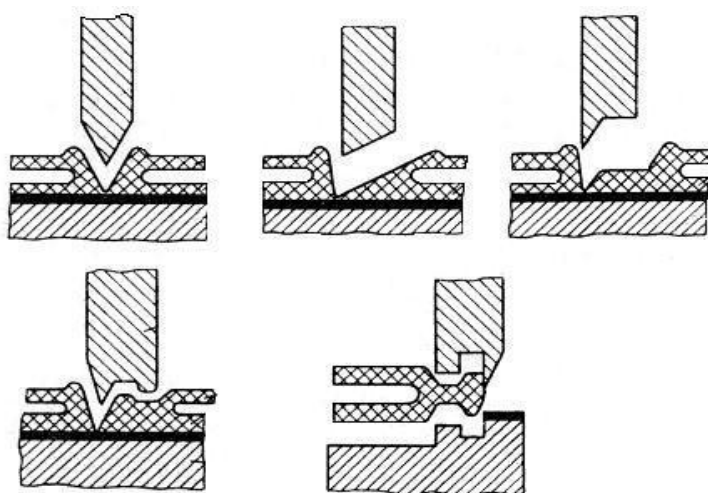


Рисунок 10.5 Електроди для високочастотного зварювання з одночасним вирізанням виробів.

11 ЗВАРЮВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

11.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Зварювання випромінюванням поділяється на зварювання інфрачервоним випромінюванням, світловими променями і лазерним випромінюванням.

Відмінними рисами зварювання випромінюванням є відсутність при нагріванні прямого контакту між поверхнею випромінювача і поверхнею, яка нагрівається; можливість у широких межах керувати режимами нагрівання, змінюючи потужність випромінювання (температуру

нагрівання випромінювача) і відстань до матеріалів.

При зварюванні випромінюванням (рис. 11.1) можуть безпосередньо нагріватися поверхні (зварювання прямим нагріванням) або поверхні, що є зовнішніми до зварювальної зони (зварювання непрямым нагріванням).

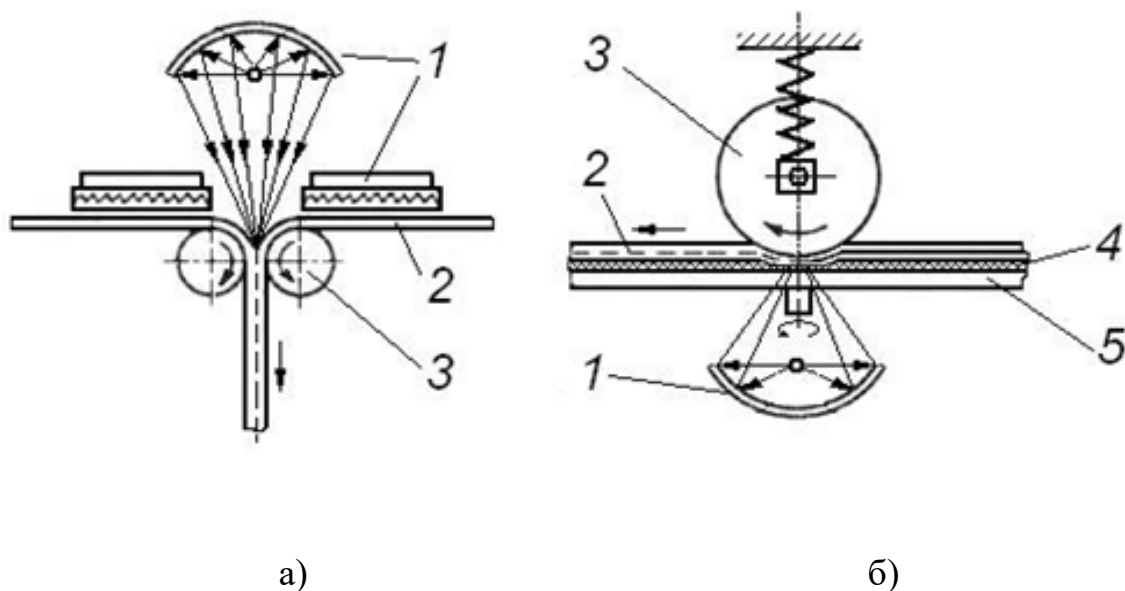
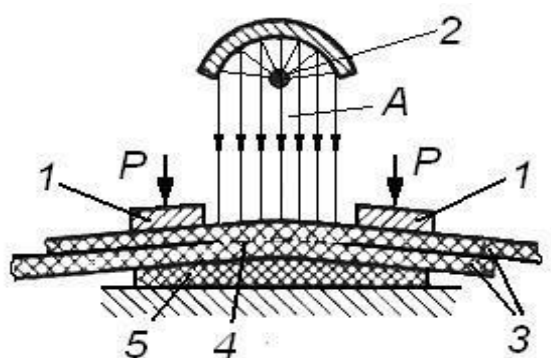


Рисунок 11.1 Способи зварювання випромінюванням: а-зварювання непрямым нагріванням; б-зварювання прямим нагріванням. 1-джерело випромінювання; 2-матеріал; 3-прижимний ролик; 4-підкладка; 5-прозора опора.

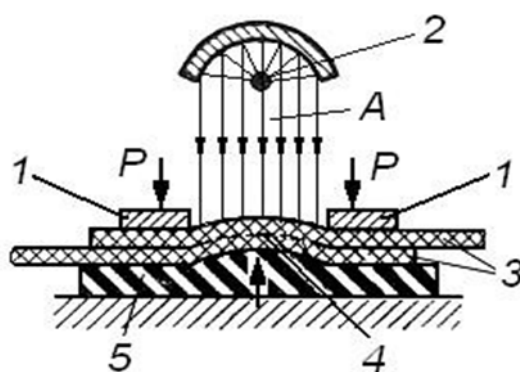
Зварювання випромінюванням знаходить застосування для одержання напусткових і Т-подібних з'єднань полімерних плівок і синтетичних тканин, для одержання стикових з'єднань труб, листів і профільних виробів головним чином з поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду. Зварювання можна виконувати із застосуванням присадного матеріалу.

11.2 ЗВАРЮВАННЯ СВІТЛОВИМ І ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Світлове і ІЧ- випромінювання займає межі спектра електромагнітних коливань від 0,4 до 1000 мкм. При опроміненні матеріалів світлові і ІЧ-промені частково можуть відбиватися, поглинатися і пропускатися. Енергія випромінювання, поглинена матеріалом, перетворюється в теплову енергію, нагріваючи матеріал до необхідної температури. Ступінь поглинання випромінювання залежить від хімічної природи полімеру, наявності різних домішок (барвників, стабілізаторів, наповнювачів та ін.).



а



б

Рисунок 6.1 Зварювання ІЧ-випромінюванням: а - на твердій підкладці; б – на пружній підкладці; 1 - губки, що обмежують зону опромінення; 2 – нагрівач; 3 - зварювальні плівки; 4 – зварний шов; 5 – підкладка; А - ІЧ-промінь; Р – зусилля стиску.

Здатність до нагрівання матеріалів, які опромінюються, характеризується їхніми спектральними коефіцієнтами поглинання або пропускання τ_λ . У довідковій літературі приводять значення спектральних коефіцієнтів пропускання τ_λ . За ступенем зменшення величини пропускання випромінювання полімери розташовуються в наступному порядку: фторопласти (фторопласт-4, фторопласт-3, фторолон); поліолефіни; поліетилен; поліпропілен; полівінілхлорид; поліетилентерефталат; поліаміди; пентапласт.

При виборі матеріалу-випромінювача необхідно брати до уваги спектральні характеристики полімерних з'єднувальних матеріалів, які визначають їх поглинаючу здатність до випромінювання. При зварюванні ІЧ- випромінюванням варто враховувати те що в більшості випадків полімери досить добре поглинають випромінювання при довжинах хвиль 2,5—3,0 мкм. Тому бажано, щоб максимум випромінювання ІЧ- випромінювача був розташований саме в цій межі спектра, що відповідає температурам випромінювання нижче 700 °С. При таких температурах щільність випромінювання ІЧ- випромінювача є недостатньою для діапазону довжин хвиль, що відповідає максимальним значенням спектральних коефіцієнтів поглинання полімерних матеріалів. Тому користуються широкосмуговими випромінювачами і при розрахунках враховують ступінь поглинання ІЧ- випромінювання за рахунок додаткових факторів таких, як різні домішки (барвники, наповнювачі, стабілізатори, пластифікатори та ін.). При зварюванні тонких полімерних матеріалів, які пропускають значну частину ІЧ- променів, необхідно приймати до уваги поглинаючу здатність технологічної підкладки.

Вибір матеріалу підкладки і її геометрія визначають спосіб створення необхідного зварювального тиску. При зварюванні плівкових пластмас непрямым нагріванням необхідний зварювальний тиск може бути створено

застосовуючи як підкладку чорну мікропористу гуму або чорний еластичний пінополіуретан. Матеріал підкладки впливає на швидкість збільшення температури і розподіл температур по перерізу зразків. Найбільш ефективна в цьому відношенні сажа, далі чорний папір, мікропориста сажонаповнена гума. За рахунок теплового потоку від нагрітої підкладки, підвищення температури тонких матеріалів можливе по всій товщині. При збільшенні товщини матеріалів нагрівання може не забезпечувати підвищення температури у всьому об'ємі матеріалу. Змінюючи умови і режим ІЧ- випромінювання одержують заданий розподіл температури по товщині матеріалів.

Час зварювання і гранична товщина матеріалів визначаються умовами ІЧ- випромінювання. Так, при використанні джерела ІЧ- випромінювання у вигляді силитового стержня, нагрітого до температури 1200°C, який знаходиться на відстані 14 мм від матеріалів (як підкладку використовували чорну мікропористу гуму), при зварюванні непрямым нагріванням час зварювання для пакета плівок з поліетилену високого тиску товщиною близько 200 мкм складає 2-4 сек.; товщиною близько 2 мм— 15-20 сек., для полівінілхлориду товщиною близько 200 мкм — 5-7 сек..

Для добре поглинаючих випромінювання полімерних плівок товщиною понад 500 мкм зварювання необхідно вести прямим нагріванням. Після нагрівання плівок до в'язкотекучого стану здійснюється притискання зони шва роликом з антиадгезійним покриттям. Тиск повинен бути таким, щоб забезпечити течіння розплаву в зоні шва і не викликати витягування плівки для уникнення утворення поперечної гофри по зварному шві.

Неперервне зварювання полімерних плівок може здійснюватися як точковим так і лінійним джерелом випромінювання. В останньому випадку швидкість зварювання може досягати великих значень (понад 5-10 м/хв). При зварюванні ІЧ- випромінюванням труб, листів і профільних виробів джерело випромінювання, як правило, розміщують між кромками. Після

нагрівання кромки ІЧ- випромінювач видаляють із зони зварювання, потім нагріті до температури течіння кромки стискають, прикладаючи тиск осадки і витримують під тиском до остигання до температури 40-50 °С.

11.3 ЛАЗЕРНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Зварювання лазерним випромінюванням, на відміну від зварювання світловим і ІЧ- випромінюванням, дозволяє одержувати дуже високі ступені концентрації енергії в зоні зварювання. При цьому зварювання пластмас може виконуватися як у неперервному так і в імпульсному режимах випромінювання. У випадку неперервного випромінювання використовують переважно газові CO₂ лазери з довжиною хвилі 10,5 мкм і потужністю до сотень ват.

Випромінювання з такою довжиною хвилі добре поглинається більшістю пластмас. Так, плівка з поліетилену високого тиску товщиною 0,2 мм поглинає 22% енергії випромінювання CO₂ лазера. Неперервне зварювання полімерних плівок можна здійснювати також і в імпульсному режимі випромінювання.

Зварювання лазерним випромінюванням особливо ефективно для з'єднання плівкових полімерних матеріалів, що дозволяють досягати високих швидкостей зварювання. На рис. 11.3 приведена одна з можливих схем зварювання плівок лазерним випромінюванням.

Застосування CO₂ лазера в неперервному режимі дозволяє зварювати внапустку плівки з поліолефінів товщиною 50—2000 мкм зі швидкістю 3,3—4 м/с.

На відміну від плівок з поліолефінів, полівінілхлоридні плівки погано зварюються лазерним випромінюванням, що пов'язано з помітною деструкцією матеріалу в процесі нагрівання. CO₂ лазери знаходять також досить широке застосування для різання термопластів, розкрою

синтетичних тканин, штучних шкір і т.п.

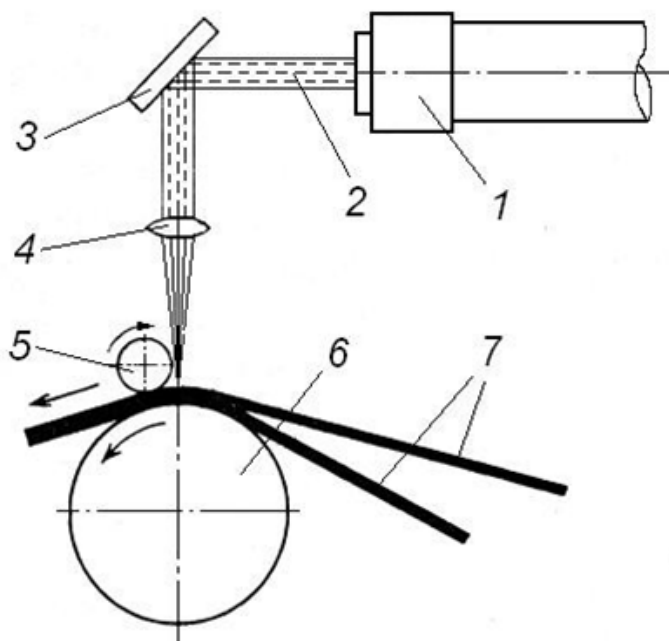


Рисунок 11.3 Схема зварювання плівок лазерним випромінюванням: 1 – лазер; 2 – промінь; 3 – дзеркало; 4 – фокусуюча лінза; 5, 6 – ролики; 7 – зварювальні плівки.

12 ЗВАРЮВАННЯ РОЗЧИННИКАМИ

12.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

З'єднання за допомогою розчинників і механізмом утворення шва можна віднести до дифузійного зварювання, а за технологічними ознаками — до склеювання.

Зварювання розчинниками в звичайних умовах застосовуються для з'єднання аморфних термопластичних полімерів, а в деяких випадках і полімерів, які кристалізуються при температурі, близькій до температури плавлення кристалічної фази.

Спосіб застосовують для з'єднання деталей, виготовлених з поліефірів метакрилової кислоти, полістиролу, полівінілхлориду, поліаміду,

полікарбонатів, практично непридатний для поліетилену, політетрафторетилену і поліпропілену внаслідок їхнього малого набрякання в розчинниках.

Оскільки швидкість дифузії макромолекул у поверхневому шарі полімеру при змочуванні розчинником значно нижча, ніж швидкість дифузії при температурі його течіння, то зварювання розчинником вимагає значно більшого часу для утворення міцного з'єднання в порівняно зі зварюванням нагріванням.

Основними видами з'єднань при зварюванні розчинником листових і плівкових термопластів є напусткові з'єднання «на вус» і стикові з одnobічною накладкою. Для товстостінних виробів і стержнів застосовуються стикові з'єднання без накладок, для труб — розтрубні з'єднання. Вибір того чи іншого виду з'єднання визначається умовами роботи конструкції.

При зварюванні листових термопластів довжина перекриття в напусткових з'єднаннях, з'єднаннях на «вус» і накладки в стиковому з'єднанні повинні бути не менше відповідно чотирьох-, п'яти- і восьмикратної товщини листа.

Зварювання розчинниками застосовується у тих випадках, коли методи теплового зварювання не забезпечують надійного з'єднання або нераціональні (порушується форма і розміри деталей), а також для з'єднання прозорих термопластів — поліакрилатів, полікарбонату, полістиролу, зварні шви яких повинні мати не тільки досить високу міцність, але і якісний зовнішній вигляд, повинні бути прозорими.

Поєднання зварювання розчинниками з іншими способами зварювання дозволяє ефективно з'єднувати деталі з важкозварюваних матеріалів, а також деяких типів різнорідних термопластів.

Основними перевагами зварювання розчинниками є невеликі витрати, тому що зварювання може здійснюватися за допомогою простих

пристосувань; низький рівень витрат на теплову енергію; можливість локалізації впливу на матеріал тільки в зоні з'єднувальних поверхонь; придатність до застосування в різних умовах виробництва.

До недоліків цього виду зварювання відносять токсичність розчинників, погану розчинність ряду термопластів (у ряді випадків здійснюється тільки при нагріванні), велику тривалість циклу зварювання (через велику тривалість затвердіння матеріалу в зоні шва, що може скоротитися тільки при додатковому нагріванні зони шва), велику трудомісткість.

12.2 ВИБІР РОЗЧИННИКІВ

У виробничій практиці застосовують розчинники і суміші розчинників. Використання суміші розчинників дозволяє регулювати швидкість розм'якшення полімеру і попереджувати випаровування розчинника з поверхні під час набрякання. З метою прискорення процесу і підвищення міцності з'єднання застосовують розчини полімеру у розчиннику (лакові композиції) або в мономері (полімеризуючі композиції). Останні забезпечують найкращу якість з'єднання і найбільш широко застосовуються для зварювання деталей з поліакрилатів і полістиролу. Підвищення якості обумовлене тим, що в першому випадку розчинник тривалий час виконує функцію пластифікатора в біляшовній зоні, підвищуючи в ній еластичність полімеру, знижуючи температуру склування і міцність матеріалу. У випадку застосування розчину в мономері після закінчення дифузії макромолекул з розчину в поверхневі шари деталей відбувається полімеризація мономера. Перетворення мономера-розчинника в полімер усуває недоліки зварного з'єднання, пластифікованого рідким компонентом.

Переважно в розчинник вводять до 15 % полімеру, що забезпечує

необхідну в'язкість і знижує швидкість випаровування розчинника. Введення полімеру, крім того, дозволяє заповнити зазори між деталями і відповідно поліпшити якість шва.

12.3 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Основними операціями технологічного процесу зварювання розчинниками є підготовка поверхонь до зварювання, змочування поверхонь рівномірним шаром розчинника відповідного складу, витримка поверхонь (період часу від нанесення розчинника до з'єднання деталей); з'єднання деталей; додавання тиску і витримка деталей під тиском до моменту затвердіння шва.

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

Кількість нанесеного на поверхні розчинника повинна бути достатньою для набрякання полімеру, надлишок веде до зниження міцності з'єднання і подовження технологічного циклу. Нанесення розчинника здійснюють зануренням, пульверизацією, роликом, кистю та іншими способами доки поверхні не набудуть липкості, характерну для сильно набряклого полімеру. У приміщенні, де наносять розчинник, який має низьку температуру кипіння, необхідно підтримувати мінімальну температуру. Поверхні, що не підлягають з'єднанню, доцільно захищати від дії пар розчинника папером, клейкою або захисною плівкою.

Технологічні режими зварювання (відкрита витримка, витримка

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

Деталі під тиском витримують у пресах, який забезпечує сталість тиску упродовж усього часу запресовування у пневматичних, гідравлічних чи гвинтових пресах, а також струбцинами. При запресовуванні необхідно стежити, щоб не було перекосів і зрушень деталей (для чого рекомендується встановлювати шпильки або упори), щоб у зоні шва не утворювалися пухирці повітря. Зняття тиску допускається тільки після затвердіння шва, а механічна обробка та експлуатація зварних виробів через 24 год.

13 ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

13.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Хімічне зварювання базується на утворенні хімічних зв'язків між макромолекулами полімеру на з'єднувальних поверхнях або на цих поверхнях і поверхнях введеного в зону зварювання присадного матеріалу (хімічне зварювання може здійснюватися за двома схемами: без присадного матеріалу, або з присадним матеріалом, який вводиться в зону зварювання).

Хімічним зварюванням з'єднують:

- полімерні матеріали, які не піддаються дифузійному зварюванню (реактопласти, деякі різнотипні полімерні матеріали);
- здатні з'єднуватися дифузійним зварюванням окремі види

термопластів з кристалічною й орієнтованою структурою у випадку, коли необхідно максимально можливо запобігти порушенню структури матеріалу деталей;

- при зварюванні орієнтованих плівок термопластів, зварні шви яких повинні зберігати фізико-механічні властивості матеріалу.

Технологічний процес хімічного зварювання полімерних матеріалів складається з наступних операцій:

- підготовка поверхонь, (механічне очищення);
- нанесення присадного матеріалу (при необхідності);
- з'єднання поверхонь;
- прогрівання або опромінення зони зварювання під тиском, при умові, що забезпечуються еластичні і пластичні деформації поверхонь, з наступною хімічною реакцією утворення зв'язків між макромолекулами полімеру.

Тепло, необхідне для хімічного зварювання, найбільш доцільно генерувати високочастотним полем або ультразвуком.

Технологічні режими хімічного зварювання повинні підбиратися експериментально залежно від полімеру, присадного матеріалу та інших факторів. Вирішальним фактором є хімічна структура полімерного матеріалу деталей, що визначає механізм його хімічних реакцій у зоні зварювання.

На відміну від склеювання за хімічного зварювання проміжні шари чи присадні реагенти не утворюють самостійної фази, яка за своїми властивостями істотно відрізнялася б від властивостей з'єднувальних матеріалів. У порівнянні зі склеюванням хімічне зварювання є більш продуктивним процесом; легко піддається механізації й автоматизації; з'єднання можна навантажувати відразу ж після його виготовлення; параметри навколишнього середовища не мають істотного впливу на якість виготовлення з'єднання.

До основних недоліків хімічного зварювання у порівнянні з іншими способами можна віднести необхідність застосування індивідуального спеціального оснащення, відсутність можливості візуального контролю процесу зварювання, складність застосування в монтажних умовах.

13.2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ РЕАКТОПЛАСТІВ

При хімічному зварюванні реактопластів використовується здатність поверхневих шарів твердого пластика до еластичних і пластичних деформацій та до хімічної реакції подальшого твердіння. Технологічні параметри процесу хімічного зварювання твердих реактопластів залежать від природи функціональних груп полімеру, механізму і ступеня затвердіння матеріалу. Реактопласти, які твердіють за механізмом реакції поліконденсації, необхідно зварювати при більш високому тиску (не менш 5 МПа), що необхідно для подолання тиску летючих речовин, які виділяються при доотвердженні. Ступінь затвердіння впливає на концентрацію функціональних груп і пластичність матеріалу і може бути критерієм здатності реактопластів до зварювання.

При малій товщині поверхневої смоляної плівки на пластику і високому ступені його затвердіння (більш 85 %) рекомендується застосовувати хімічне зварювання з індивідуально підібраною присадкою. У якості такою присадки використовується одно- чи двокомпонентна речовина, здатна реагувати з функціональними групами пластику і сприяти їх максимальній хімічній активності при затвердінню. Кількість присадки, яку наносять на поверхні, повинна бути мінімальною але достатньою для заповнення простору мікрорельєфу поверхні деталі. У практиці в якості присадного матеріалу часто застосовують плівку на основі реактопласту, аналогічного зварювального матеріалу але з меншим ступенем затвердіння.

Процес хімічного зварювання можна регулювати, регулюючи ступінь

затвердіння на стадії формування деталей, здійснюючи підготовку поверхонь, змінюючи режим нагрівання.

Механічна обробка поверхонь при хімічному зварюванні пластмас небажана, тому що вона призводить до зменшення товщини поверхневої смоляної плівки (чи до її повного видалення та оголення наповнювача), що утрудняє здійснення хімічного зварювання. Тому при формуванні деталей з реактопластів для захисту поверхонь рекомендується застосовувати захисні плівки, які видаляються безпосередньо перед зварюванням.

Як правило, для забезпечення процесу зварювання з'єднання витримують від десятків секунд до декількох хвилин при нагріванні до 180—220 °C і тиску 2—6 МПа. Збільшення температури нагрівання шва, тиску і часу зварювання розширює можливі межі проведення хімічного зварювання, тому з збільшенням ступеня затвердіння пластику необхідно підвищувати тиск і температуру зварювання, збільшувати тривалість процесу.

Нагрівання зони з'єднання при зварюванні реактопластів здійснюється пресовим чи роликовим високочастотним і ультразвуковим нагріванням, а при зварюванні тонкостінних деталей (товщиною до 1 мм) за допомогою нагрівальних інструментів.

13.3 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОПЛАСТІВ

Хімічне зварювання термопластів здійснюється за допомогою присадних матеріалів, здатних утворити перехідний шар, структура якого аналогічна структурі матеріалу деталей. Для нанесення на поверхні, присадні матеріали розчиняють у необхідному розчиннику.

Залежно від типу полімерного матеріалу виробів і присадного матеріалу необхідно визначити витрату присадного матеріалу на одиницю поверхні шва, визначити температуру і тривалість нагрівання, а також

зусилля притиску виробів по поверхнях зварювання. Міцність з'єднання мало залежить від способу введення присадного матеріалу в зону шва. Якщо поверхні не забруднені, то ніякої попередньої підготовки для них не потрібно. Витрату присадного матеріалу на одиницю поверхні шва регулюють: зміною концентрації розчину, кількістю подачі розчину за один прийом, а також кількістю нанесених шарів. Зі збільшенням тривалості зварювання при постійній температурі міцність з'єднання зростає. З підвищенням температури (до певної межі) у зоні з'єднання максимальні показники міцності досягаються за більш короткий період нагрівання, однак шви при цьому мають нестабільні показники міцності. Зі збільшенням товщини виробів зусилля притиску збільшується.

Хімічне зварювання термопластів з використанням присадних матеріалів можливе при наступних умовах: швидкість взаємодії присадки з термопластом повинна бути більша швидкості дифузійних процесів; пластичне течіння аморфної фази матеріалу повинно забезпечуватися тільки в з'єднувальних шарах; розчинник для присадки повинен викликати набрякання полімеру і швидко випаровуватися з його поверхні.

Хімічне зварювання термопластів без застосування присадних матеріалів може бути виконане при дії на матеріал у зоні шва нейтронного чи рентгенівського випромінювання достатньої потужності.

14 ЗВАРЮВАННЯ РІЗНОТИПНИХ ПОЛІМЕРІВ

14.1 ХАРАКТЕРИСТИКА І СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Постійний ріст обсягів виробництва і застосування полімерних матеріалів вимагає рішення проблеми зварювання виробів, виготовлених з різнотипних пластмас, що дозволяє вирішити ряд важливих технічних задач, зокрема, створити багат шарові матеріали з принципово новими

властивостями, а також різко підвищити експлуатаційні характеристики існуючих багатошарових матеріалів на основі різнотипних полімерів.

Зварюваність різнотипних полімерних матеріалів визначається їхньою сумісністю, що може оцінюватися густиною і в'язкістю розплавів, наявністю в складі молярної частки співполімерів більш 50 % ідентичних ланок. На цьому побудовані способи зварювання різнотипних матеріалів, які полягають у виборі режимів нагрівання, при яких кожний з матеріалів має оптимальну текучість у зоні шва; введенні низькомолекулярних домішок у зону зварювання полімерів; введення до однієї з поверхонь співполімера, частково сумісного з кожним з матеріалів; використанні прошарків із співполімерів, які мають у своєму складі мономерні ланки обох полімерів.

14.2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ СУМІСНИХ І ЧАСТКОВО СУМІСНИХ ПОЛІМЕРІВ

Для матеріалів, здатних забезпечувати досить щільне упакування макромолекулярних утворень при їхньому з'єднанні у в'язкотекучому стані, ефективний спосіб є зварювання з нагріванням поверхонь.

Нагрівання матеріалів, які мають різні температури плавлення, можна здійснювати за допомогою нагрівачів з регульованою температурою на кожній з його поверхонь. Глибина проплавлення при цьому регулюється часом нагрівання матеріалів.

Зварювання різнотипних полімерів із застосуванням проміжного шару з одного чи декількох співполімерів використовується для з'єднання полімерів, які мають переважно неполярні або слабо полярні ланки. При цьому ланки, властиві макромолекулам одного з полімерів, поступово замінюються в співполімері ланками макромолекул іншого полімеру. У результаті на кожній границі можна забезпечити щільне молекулярне

з'єднання однотипних ланок і міцність, порівнянню з міцністю з'єднаних полімерів.

Шляхом зміни складу макромолекул за рахунок використання співполімерів з послідовною зміною процентного співвідношення молекулярних ланок можна забезпечити зварюваність різнотипних матеріалів на рівні межі міцності менш міцного з матеріалів.

Найефективніший спосіб створення щепленого шару другого полімеру на поверхні виробу забезпечує утворення фізичних зв'язків на межі з'єднання завдяки полярним групам цього шару. Щеплення мономера відбувається за рахунок його проникання в аморфні ділянки основного полімеру.

Вибір температури зварювання різнотипних полімерів варто вибирати за оптимальними режимами зварювання більш низькоплавкого з них. Для погано зварюваних за дифузійним механізмом різнотипних полімерів можливе ефективне використання способу хімічного зварювання шляхом введення в зону зварювання ді-, три-, тетрамінів або діізоціонатів.

Хімічне зварювання передбачає введення в зону зварювання поліфункціональної речовини, здатної одночасно вступати в хімічну реакцію взаємодії з макромолекулами обох полімерів.

На вибір реагенту впливають типи функціональних груп полімерів, які здатні до реакції з'єднання в процесі зварювання. Необхідними умовами здійснення реакції взаємодії є правильний вибір присадного реагенту, достатньо активного до функціональних груп полімерних матеріалів, зближення компонентів на відстань, яка достатня для протікання реакції, визначення інтервалу температур, при якій полімери найбільш активні до реакції взаємодії з присадним реагентом.

Хімічне зварювання краще, коли потрібно зменшити температурні деформації зварного шва, забезпечити стійкість з'єднань до дії тепла або розчинників.

Хімічне зварювання і метод з'єднання за допомогою прошарків із співполімерів забезпечують майже однакову міцність з'єднань, яка більша, ніж при способі з'єднання по щепленому співполімері.

15 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

15.1 ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Дефект з'єднання — це невідповідність його якості встановленим нормам або вимогам характерним для заданих умов експлуатації. Дефекти зварних з'єднань поділяються на зовнішні, які виявляються поверхневим оглядом, і внутрішні, які виявляються тільки спеціальними методами контролю. Обидва види дефектів можуть бути різних геометричних розмірів, відрізнятися за формою (плоскі, об'ємні) і масовістю (одиничні, групові). Основними дефектами в зварних швах термопластів є невідповідність шва геометричним розмірам, тріщини, пори, непровари, усадкові раковини і ділянки матеріалу, піддані термоокисній деструкції.

Невідповідність шва необхідним геометричним розмірам є в основному результатом порушення зварником технологічних параметрів зварювального процесу (нерівномірне стикування поверхонь, розбіжність кромek деталей, нерівномірний зазор, нерівномірне оплавлення поверхонь шва).

При зменшенні розмірів шва знижуються характеристики міцності з'єднання а збільшення цих розмірів економічно нераціональне.

Тріщини — найбільш небезпечний вид зовнішніх і внутрішніх дефектів у зварному шві і у прилягаючих до нього зонах. Тріщини у швах бувають поздовжніми і поперечними. Шви, у яких можливе утворення тріщин, необхідно ретельно оглядати, а виявлені тріщини вирізати і заварювати. Утворення тріщин, як правило, пов'язане з нерівномірністю і

підвищеною швидкістю охолодження зварного шва, що супроводжується підвищеними значеннями усадочних напружень. Тріщини можуть також утворюватися в процесі експлуатації виробу. Попередити утворення тріщини можна дотриманням технологічних режимів зварювання і термічної обробки зварних швів.

Пористість — внутрішній дефект зварного шва (пора — заповнена газом порожнина округлої форми). Основна причина пористості при зварюванні нагрітим інструментом - тривала витримка на повітрі оплавлених поверхонь перед їхнім з'єднанням (надмірна технологічна пауза) і недостатній тиск осадки, який нездатний видавити пори на поверхню стику. Утворення пор можливо і при деструкції полімерного матеріалу за значного перевищення оптимальної температури зварювання.

Непровар — дефект у вигляді відсутності зварювання в шві. Це найпоширеніші і небезпечні дефекти зварних швів, які послабляють міцність зварного з'єднання. Небезпека непроварів полягає в тому, що по зовнішньому вигляді шва не можна встановити цей дефект, оскільки він може знаходитися в будь-якому місці шва. Причини непровару — неякісне складання і неправильна обробка кромок (нещільне зіткнення поверхонь, перевищення допустимих зазорів); порушення технологічного режиму зварювання (надмірна технологічна пауза, малий тиск і недостатня тривалість осадки); незадовільне очищення присадного матеріалу і зварювальних кромок від бруду, жиру, окисної плівки. Непроварені ділянки цілком вирізують і заварюють.

Усадочна раковина — дефект у вигляді порожнини або западини, що утворюється в матеріалі зварного шва при його усадці. Ці дефекти викликаються усадочними напруженнями, які виникають внаслідок недостатнього тиску, малої витримки під тиском осадки і нерівномірним охолодженням шва при його охолодженні.

Термоокисна деструкція — руйнування макромолекул полімеру, яке

відбувається при одночасному нагріванні до підвищених температур і впливі кисню повітря. Термоокисна деструкція починається при більш низькій температурі, ніж термічна деструкція. Наявність у зоні зварного шва ділянки матеріалу, підданого термоокисній деструкції, значно погіршує його характеристики міцності.

Більшість дефектів зварних з'єднань викликані низькою якістю матеріалів, неправильною підготовкою поверхонь, порушенням встановлених технологічних режимів зварювання; недостатньою кваліфікацією робочого персоналу або виходом з ладу зварювального устаткування.

15.2 РУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Руйнівними методам контролю якості зварних з'єднань визначається механічна міцність при розтягу, зсуві, рівномірному і нерівномірному відриві, відшаруванні, напруженому і ударному згині.

Для всіх видів випробувань зразки необхідно вирізати з контрольованого зварного з'єднання фрезеруванням, якщо товщина матеріалу більша 1 мм, а плівкові матеріали - спеціальним пристосуванням. Матеріал зразка (за властивостями, виду, марці, товщині), технологічний режим і умови зварювання, а також тип і конструкція шва зварного з'єднання повинні бути такими ж, як і при виготовленні контрольованого виробу. Для всіх видів досліджень шов зварного з'єднання повинен бути розташований в середині зразка перпендикулярно до площини його вирізки.

Зразки усіх видів випробувань вирізують через 24 год. після зварювання. Випробування допускається проводити через 16 год. після вирізки зразків.

Випробування необхідно проводити на розривній машині, яка при

розтязі зразка дозволяє вимірювати навантаження з точністю не більш 1 % від вимірюваної величини. Затискачі машини повинні забезпечувати надійне кріплення зразків і співпадання поздовжньої осі зразка з напрямком розтягу і не викликати руйнувань зразків у місці кріплення.

15.3 НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

До неруйнівних методів контролю якості зварних з'єднань виробів із пластмас відносяться: зовнішній огляд і обмір, випробування на герметичність; ультразвукова, оптична і капілярна дефектоскопія а також рентгенографічний, електростатичний, електроіскровий, електролітний, радіотехнічний і тепловий контроль.

Ефективність зовнішнього огляду й обмірювання обумовлена тим, що геометричні характеристики і зовнішній вигляд з'єднання зв'язані з технологічними параметрами процесу виготовлення з'єднання. При зовнішньому огляді, включаючи контроль зовнішнього вигляду по еталоні, виявляються тріщини, непровари, зсув кромek, зовнішні газові пори, неправильність геометричної форми зварного шва, невідповідність розмірів зварного шва, а також неприпустимі поверхневі дефекти, які виникають у результаті механічних пошкоджень (наприклад, подряпини, проколи). Як правило, зовнішньому огляду й обмірюванню піддають всі зварні з'єднання.

Випробування на герметичність проводять такими способами: обдувом, хімічними індикаторами, повітряним або гідравлічним тиском, наливом води. Спосіб випробувань вибирають залежно від конструкції виробу, його габаритних розмірів і умов експлуатації. Контроль герметичності виконують після зовнішнього огляду й очищення виробу від забруднення.

Рентгенографічний контроль відноситься до радіаційних методів контролю. Радіаційні методи контролю базуються на впливі рентгенівських

або гама променів, що пройшли через контрольований виріб на фотоплівку. Ступінь почорніння плівки залежить від інтенсивності падаючого на неї випромінювання. За контрастністю різних ділянок плівки можна знайти дефект у виробі.

Контроль зварних з'єднань із пластмас методами ультразвукової дефектоскопії виконують тіньовим методом (при двосторонньому доступі до зварного шва) і імпульсним методом (при односторонньому доступі до зварного шва). При тіньовому методі від дефекту, який зустрічається на шляху ультразвукових хвиль, падає тінь на протилежну сторону виробу. Більш широко розповсюджений імпульсний метод, який заснований на здатності ультразвуку відбиватися від границі розділу двох середовищ з різними акустичними опорами. Відбита від дефекту ультразвукова хвиля реєструється прийомною голівкою раніше, ніж хвиля відбита від протилежної поверхні виробу.

Капілярні методи дефектоскопії засновані на здатності рідини проникати в поверхневі дефекти виробу і виявляти всі типи поверхневих тріщин, розшарувань у зварних з'єднаннях пластмасових виробів.

Електростатичний метод заснований на ефекті виникнення електростатичного поля за рахунок тертя. Він дозволяє виявити поверхневі дефекти в зварних з'єднаннях пластмас.

Електроіскровий метод контролю заснований на електроізоляційних властивостях пластмас, які відносяться до матеріалів з високими діелектричними показниками. Якщо помістити виріб із пластмаси в простір між електродами, до яких прикладена велика різниця потенціалів (15-20 кВ), то в межах дефекту в зварному з'єднанні відбувається пробій, який фіксується сигнальною системою іскрових дефектоскопів.

Електролітний метод також заснований на електроізоляційних властивостях полімерних матеріалів. Виріб з контрольованим з'єднанням занурюють в електроліт (звичайно 3—4%-й розчин повареної солі), або

електроліт заливають у зварну конструкцію. Один електрод поміщають в електроліт, а іншим електродом-щупом перевіряють шви. Наявність порушення суцільності шва фіксується відхиленням стрілки гальванометра.

Оптичні методи дефектоскопії засновані на реєстрації світлового випромінювання, яке проникло через виріб.

Тепловий метод контролю заснований на зміні розподілу теплового випромінювання з досліджуваного виробу, при наявності в ньому дефекту. Для проведення теплового методу контролю з однієї сторони виробу розміщують джерело нагрівання, а з іншого боку — прийомну апаратуру. Тепловий метод дозволяє визначити форму, розміри і місце розташування великих дефектів типу порушення суцільності.

16 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАСТМАС

16.1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

У процесі виконання робіт по зварюванню пластмас необхідно дотримуватись правил техніки безпеки та охорони праці, встановлених ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення» (НПАОП 45.2-7.02-12), ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», а також спеціальними інструкціями з експлуатації зварювального устаткування і інструмента.

Нещасні випадки при зварюванні пластмас можуть бути викликані наступними причинами: ураження електричним струмом, дією аерозолів і шкідливих газів, утворенням і загорянням вибухонебезпечних сумішей, опіками, тепловими впливами і іншими факторами.

До робіт по зварюванню пластмас допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли попередній і періодичний медичний огляди, спеціальне

навчання, вступний інструктаж з техніки і пожежної безпеки, інструктаж безпосередньо на робочому місці, а також здали іспит спеціальній комісії і мають посвідчення на право виконання зварювальних робіт.

Роботи зі зварювання пластмас необхідно виконувати на відкритому повітрі або в призначених для цього приміщеннях, які відповідають санітарним і протипожежним нормам підприємств хімічної промисловості. Освітленість робочого місця повинна складати не менш 20—30 люкс.

При зварюванні пластмас виділяються шкідливі гази і пари. Концентрація шкідливих парів, газів і пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати гранично допустимої, установлені вимогами ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

При зварюванні в закритих приміщеннях робочі місця зварників обладнають місцевими витяжками для видалення шкідливих газів, парів і пилу. Для захисту органів дихання від дії шкідливих газів, парів і пилу в необхідних випадках застосовують респіратори або протигази.

Напруга струму переносних електрифікованих інструментів при роботі в сухих приміщеннях з підвищеною небезпекою, а також поза приміщеннями повинна бути не вище 36 В, а в вологих умовах - не більше 12 В. В приміщеннях без підвищеної небезпеки допускається напруга 127 і 220 В з обов'язковим застосуванням діелектричних рукавичок, калош і ковриків.

Технологічне, електричне, монтажне устаткування і електроінструменти, які працюють при напрузі понад 36 В, необхідно надійно заземлювати.

Зварники і допоміжний персонал, які обслуговують зварювальне устаткування, повинні в обов'язковому порядку застосовувати засоби індивідуального захисту.

Для індивідуального захисту від ураження електричним струмом

використовують ізолюючі штанги і кліщі, ізолюючий інструмент, діелектричні рукавички і рукавиці, діелектричні боти і калоші, діелектричні килимки, мати, підставки.

Рукоятки зварювальних інструментів, які нагріваються, повинні бути виконані з теплоізоляційного матеріалу і не повинні нагріватися вище температури 40 С. Зварювальний інструмент повинен мати спеціальні підставки і футляри з захисним азбестовим покриттям.

Поруч з місцями складування заготовок і виробів із пластмас забороняється використовувати вогонь, проводити електро- та газозварювальні роботи і зберігати легкозаймисті речовини. Місця складування повинні бути обладнані засобами пожежегасіння.

16.2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З РОЗЧИННИКАМИ

Порушення правил роботи з розчинниками, які застосовують для очищення поверхонь, може призвести до ураження організму працюючих, пожежі і вибуху. Роботи з розчинниками проводять у місцях, забезпечених місцевою витяжною вентиляцією.

Концентрація парів розчинника в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію згідно санітарних норм.

При ураженні організму уайт-спіритом можливі шкірні захворювання, а при високих концентраціях парів уайт-спіріту настає втрата свідомості. У випадку тривалого впливу парів етилового спирту розвиваються захворювання нервової системи, печінки, серця.

Ацетон викликає подразнення слизових оболонок ока, носа і горла, всмоктується через шкіру і при тривалому впливі уражає центральну нервову систему.

Щоб уникнути пожеж і вибухів забороняється паління і розведення відкритого вогню на робочих місцях і в місцях зберігання розчинників. Необхідно уникати розбризкування розчинників, змочені ними ганчірки після використання негайно видаляти з приміщення.

При роботі з розчинниками шкіру рук захищають гумовими рукавичками. Для захисту органів дихання використовують респіратори, протигази.

16.3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ

При зварюванні нагрітим газом з використанням газових і електричних нагрівачів, редукторів і балонів необхідно дотримуватись «Правил техніки безпеки і гігієни праці при зварювальних роботах і термічному різанні металів в будівництві», а також правил техніки безпеки праці при роботі зі стисненим повітрям і іншими газами (азот, аргон і т.д.).

Необхідно пам'ятати, що пальні гази в суміші з повітрям утворюють вибухові суміші. У випадку роботи зі зрідженими газами (пропан-бутанова суміш) необхідно мати на увазі, що вони важчі повітря і при витоку, накопичуються у ямах, підвалах і різних заглибленнях, створюючи джерело вибуху. Суміші зріджених газів з повітрям вибухонебезпечні при вмісті в повітрі 1,5—9,5 % легкозаймистого газу. При використанні в якості теплоносія азоту або аргону зазначені гази погіршують склад повітря (знижують процентний вміст кисню), який вдихують зварники.

Балони з газами повинні піддаватися періодичному огляду на заводах або станціях-наповнювачах не рідше, ніж один раз у п'ять років. Балони, у яких минув термін періодичного огляду, експлуатувати забороняється.

При зварюванні нагрітим інструментом з використанням анти-адгезійного покриття з фторопласту, який запобігає налипанню

оплавленого матеріалу на робочі поверхні зварювальних електронагрівальних інструментів, необхідно стежити за тим, щоб температура інструмента не перевищувала 250 °С, тому що при більш високих температурах фторопласт починає розкладатися, виділяючи токсичні гази.

У випадку зварювання розплавом забороняється направляти сопло екструдера в бік людей, заглядати в канал сопла, тому що при порушенні теплового режиму екструдера можливий викид розплавленої маси.

У випадку експлуатації ультразвукових зварювальних установок забороняється робота при відкритих дверцятах кожуха установки, торкатись руками хвилеводу і деталей, які зварюються, замінювати акустичний пристрій без вимикання установки і відключення від мережі стиснутого повітря, включення генератора без акустичного пристрою.

При експлуатації високочастотних зварювальних установок забороняється: робити зварювання при знятих бічних кришках генератора; знімати фільтри для чищення при включеній установці; відкривати дверцята генератора, не відключаючи напругу; торкатись руками струмоведучих частин і кінцевиків преса. Високочастотні установки необхідно тримати в чистоті, не допускаючи появи на них пилу і вологи.

Необхідно регулярно не рідше двох разів на тиждень оглядати і чистити високовольтні контакти та електроди установок; не рідше одного разу на тиждень продувати установку сухим стисненим повітрям.

У випадку зварювання випромінюванням повинні бути забезпечені засоби для захисту обличчя та очей щитками, або окулярами з захисними скляними світлофільтрами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Baur E., Osswald T.a., Rudolph N. - *Plastics Handbook - The Resource For Plastics Engineers*-Carl Hanser Verlag, 2019. – 696 p.
2. Grewell, D., et al.: *Plastic and Composite Welding Handbook*, Hanser Publishers, Munich, 2003. – 407 p.
3. Klein R. *Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications* Wiley-VCH, 2011. – 256 p.
4. Демченко В.Л., Юрженко М.В. “Вплив магнітного поля на структуру та властивості полімерних матеріалів”, Університетська книга : Суми, Україна, 2017. – 85 с.
5. ДСТУ EN 13067:2016 (EN 13067:2012, IDT) Персонал, який виконує зварювання пластмас. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварні термопластичні конструкції.
6. ДСТУ EN ISO 6259-1:2019 (EN ISO 6259-1:2015, IDT; ISO 6259-1:2015, IDT) Труби з термопластів. Визначення властивостей під час розтягування. Частина 1. Загальний метод випробування.
7. ДСТУ ISO 12176-1:2019 (ISO 12176-1:2017, IDT) Пластмасові труби та з'єднувальні деталі. Устаткування для зварювання поліетиленових систем. Частина 1. Зварювання встик.
8. ДСТУ ISO 12176-2:2019 (ISO 12176-2:2008, IDT) Труби та з'єднувальні деталі пластмасові. Устаткування для зварювання поліетиленових систем. Частина 2. Терморезисторне зварювання.
9. Зворикін К. О., Зворикін Л. О. *Зварювання пластмас : навч. посіб.* Київ : Вид-во «КММ», 2013. – 184 с.
10. Юрженко М.В., Кораб М.Г. “Зварювання високотехнологічних пластмас”, Університетська книга : Суми, Україна, 2016. – 316 с.
11. Юрженко М.В., Шестопап А.М., Гохфельд В.Л. та інші, під ред. академіка Патона Б.Є. “Словник-довідник зі зварювання та склеювання пластмас”, Київ : Наукова думка, 2018. – 368 с.

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

Ігор ОКІПНИЙ, Віктор СЕНЧИШИН

ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

ISBN 978-617-7875-92-4

Підписано до друку 10.02.2025. Формат 60×90, 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman.
Умовно-друк. арк. 4,5. Наклад – 100 прим.
Замовлення № 1-10022025

Друк ФОП Паляниця В. А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б. Хмельницького, 9а, оф.38. тел.
(0352) 528-777.

