

УДК 622.691.4

Шлапак Л. С., Панчук М. В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Полімерні матеріали є оптимальними для сучасних трубопровідних систем. Вони найкраще поєднують такі властивості: тривалий термін експлуатації; стійкість до тиску та температури; корозійну стійкість до зовнішнього та транспортованого середовища; високу еластичність та ударну міцність; низьку газопроникність; простоту та надійність з'єднання; технологічність та економічність у виготовленні як самих труб, так і з'єднувальних деталей до них; низьку трудомісткість монтажу. Тому на сьогоднішній день труби з полімерних матеріалів займають провідне місце в багатьох галузях промисловості та житлово-комунальному господарстві.

Поліетилен – оптимальний матеріал для газопровідних систем з тиском до 1,2 МПа. Інші полімерні матеріали за своїми технологічними, фізико-механічними та цінovими параметрами, поки що не можуть скласти конкуренції трубам з поліетилену.

Використання поліетилену для виробництва труб газу і водопостачання призвело до корінних змін індустрії будівництва трубопроводів у всьому світі. В більшості країн понад 90 % трубопровідних розподільних систем, що здаються в експлуатацію, виготовлені із поліетилену. І це – закономірний результат тих відомих та багаточисленних переваг, якими володіє поліетилен порівняно з традиційними матеріалами [1, 2].

Завдяки еластичності та здатності до деформації поліетиленові труби добре підходять для прокладання інженерних мереж на території, що характеризуються просадженням та рухливістю ґрунтів.

Яскравим прикладом високої надійності трубопроводів, внаслідок їх високої еластичності, може бути аналіз руйнувань газопроводів під час землетрусу, який трапився у 1995 р. в м. Кобі (Японія). За практично повного руйнування газопроводів із матеріалів, що характеризуються великою жорсткістю, поліетиленові газопроводи витримали значні зміщення землі без порушення цілісності і герметичності [3].

Метою даної роботи є аналіз та оптимізація технологічних процесів зварювання поліетиленових трубопроводів, виявлення переваг та недоліків в порівнянні з традиційними матеріалами.

Найнадійнішим методом з'єднання поліетиленових трубопроводів є зварювання. При прокладанні труб в ґрунті як правило використовується стиковий та терморезисторний способи зварювання.

Для безаварійної експлуатації газопроводів із полімеру важливе значення має якість зварних з'єднань, на яку впливає багато чинників. В першу чергу, це:

- якість зварювальних поверхонь (труб і з'єднувальних деталей);
- дотримування параметрів технологічного процесу;
- відповідна кваліфікація зварників.

До початку робіт на об'єкті необхідно уточнити технологічні параметри зварювального процесу на підставі зварювання, візуального контролю та механічних випробовувань не менше трьох контрольних зварних з'єднань у разі використання зварювання нагрітим інструментом встик та врозтруб, і одного з'єднання у випадку терморезисторного зварювання.

Для реалізації процесу зварювання стиковим методом необхідно нагріти зварювальні поверхні до стану розриву сил взаємодії між макромолекулами (вандерваальсових сил) за приведення матеріалу до в'язко-текучого стану. Після цього необхідно притиснути поверхні

одна до одної, в результаті чого пластичний матеріал в зоні контакту починає текти, видавлюючи забруднення та бульбашки повітря. Макромолекули зварювальних поверхонь змішуються, границя між зварюваними виробами зникає. Після охолодження полімеру тепловий рух молекул слабшає і вандерваальсові сили знову зв'язують їх у тверде тіло. Циклограма процесу зварювання поліетиленових труб наведена на рис. 1.

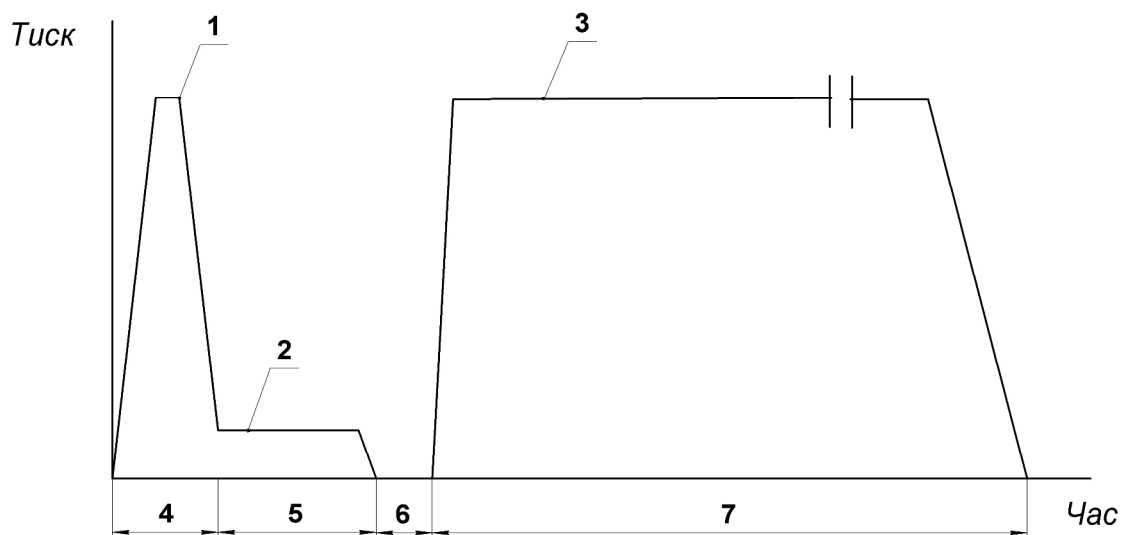


Рис. 1. Циклограма зварювання поліетиленових труб нагрівальним інструментом встик:

1 – тиск оплавлення; 2 – тиск прогрівання; 3 – тиск осадження; 4 – час оплавлення; 5 – час прогрівання; 6 – час технологічної паузи; 7 – час осадження і охолодження

За температури зварювального дзеркала близько $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і температури навколишнього середовища $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ швидкість прогрівання матеріалу можна розрахувати. Так, для поліетилену низького тиску він приблизно дорівнює 1 мм за 10 с . Ця швидкість визначає рекомендований час нагрівання в залежності від товщини стінки труби.

Дослідженнями німецьких вчених встановлено відсутність негативного впливу температури нагрівального елемента в діапазоні $190\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ на міцнісні показники у ході тривалої експлуатації поліетиленових виробів. Коливання величини тиску у процесі зварювання від $0,15\text{ МПа}$ до $0,45\text{ МПа}$ також забезпечувало позитивні результати [4].

З моменту повторного контактування зварювальних поверхонь у міру остигання матеріалу зусилля притискання поверхонь необхідно плавно збільшувати до рекомендованого тиску охолодження. У випадку збільшення тиску розплавлений матеріал частково видавлюється із зони шва і тече у напрямку зовнішнього і внутрішнього грату, при цьому тонкий шар матеріалу, що окислився і охолодився під час технологічної паузи, змішується з більш глибокими шарами, що не впливає негативно на якість шва.

Під час охолодження завершується формування зони зварного з'єднання. Основна ідея цього процесу полягає в тому, щоб товщина стінки труби в зонах, що прилягають до зварного шва, збільшилась. Причому це збільшення повинно бути тим більше, чим більше був нагрітий матеріал в даній точці. Рекомендовані режими нагрівання та осаджування підібрані так, щоб оптимальним для охолодження було зусилля притискання, яке відповідає зусиллю при попередньому нагріванні.

Для оптимізації процесу стикового зварювання пластмасових трубопроводів розроблена технологія, яка враховує контроль фази охолодження у відповідності з температурою навколишнього середовища. Чим нижча температура навколишнього середовища, тим швидше охолоджується зварювальний шов, тим менша довжина відрізка 7 на циклограмі.

Час охолодження зварювальних поверхонь розраховується в залежності від температури нагрівального елемента, геометричних розмірів труби та температури навколишнього середовища.

Перевага використання даної технології – підвищення якості зварних швів та більш економічний процес зварювання за рахунок скорочення часу охолодження.

Особливістю терморезисторного зварювання є те, що з'єднувальні поверхні: труба і внутрішня стінка муфти зварюються за допомогою терморезисторної спіралі, закладеної в тілі муфти. При подачі електричного струму терморезистор нагрівається, оплавляє контактні поверхні, забезпечуючи таким чином їхнє надійне зварне з'єднання.

Згідно статистичних даних фірми Georg Fischer до 40 % дефектів під час зварювання виникає через те, що зварники ігнорують необхідність зняття оксидного шару і ще 22 % – внаслідок неправильного (недостатнього, нерівномірного, надлишкового) зняття шару поліетилену. Тобто 60 % браку безпосередньо зв'язано з неякісним зняттям оксидного шару [5].

Другорядними причинами виникнення дефектів є:

- погане закріплення труб;
- наявність обезжирювача, який не встиг випаруватися на момент зварювання з поверхні труби;
- несправність зварювального апарата;
- переривання циклу зварювання оператором.

Крім цього, інфрачервоний аналіз дефектних поверхонь показав в багатьох випадках наявність гідроксильних груп (ОН) та вуглецевих альдегідів ($-C=O$). Це зв'язано з окисленням поверхні і, можливо, із забрудненням жиром.

Зазвичай поверхня поліетиленової труби після зняття оксидного шару очищується з допомогою спирту або подібної речовини. При багатократному використанні протирочних тканин, на них залишається шкіряний та інший жири. Тобто використання таких тканин швидше забруднює поверхню труби ніж її очищує. Жирний наліт залишається на поверхні та стає причиною крихкого руйнування під час випробовування на віддир.

Основні схеми технологічних операцій терморезисторного зварювання зображені на рис. 2.

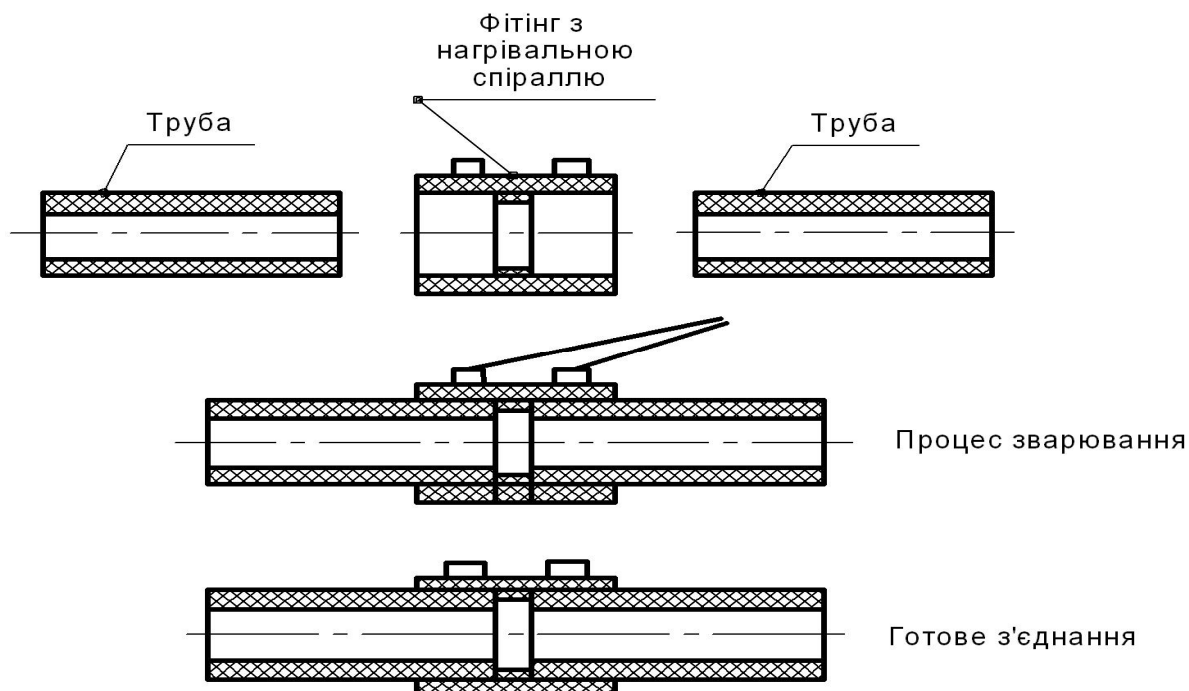


Рис. 2. Технологічні операції терморезисторного зварювання

Ввід параметрів терморезисторного зварювання в апарат залежить від конструкції обладнання та з'єднувальної деталі і можливий декількома способами:

- ручним, з встановленням основних параметрів вручну;
- автоматичним, шляхом зчитування необхідної інформації (з допомогою спеціального олівця або сканера) з штрих коду муфти чи магнітної карти, що поставляється виробником індивідуально з кожним виробом.

Схема штрих коду стандартизована та дає можливість не тільки визначити параметри зварювання, але і фіксувати такі дані, як температурна компенсація та інформація про виробника. Зварювальний апарат коректує енергію, необхідну для даного процесу зварювання, завжди індивідуально в залежності від температури навколишнього середовища. Записаний в штрих код час зварювання для температури навколишнього середовища 20° автоматично збільшується при низькій температурі та зменшується при високій.

При допомозі технології штрих коду та конструювання універсальних зварювальних апаратів стало можливим оптимізування параметрів зварювального процесу. Діючі міжнародні та національні стандарти дозволяють в даний час використовувати діапазон малих напруг до 48, що дає можливість покращити оптимальні параметри: температурний діапазон та товщину стінки, щоб досягнути найкращої якості з'єднання [6].

У процесі терморезисторного зварювання спочатку підвищується температура на витках терморезисторного елемента, а потім відбувається прогрівання труби і з'єднуваної деталі одночасно. Під дією тепла труба і терморезисторна деталь розширюються. У зоні зварювання збільшується тиск пластифікованого поліетилену, який починає текти в «холодну зону». Простір між трубою і з'єднувальною деталлю заповнюється розплавленим поліетиленом. В «холодних зонах», де температура така ж, як і в зовнішньому середовищі, починається кристалізація поліетилену, а простір між трубою та з'єднувальною деталлю закривається. Цей процес запобігає видавлюванню розплавленого поліетилену із зони зварювання як на зовнішню поверхню труби, так і всередину деталі, а також призводить до підвищення тиску в зоні розплаву. Під дією тиску в розплавленій зоні під час молекулярної дифузії ланцюги поліетилену з'єднуваної деталі вільно переміщуються і змішуються з ланцюгом поліетилену розплавленого поверхневого шару труби.

Після завершення процесу зварювання тиск та температура в зоні зварювання понижуються. У зоні розплавлення починається процес кристалізації поліетилену. Експлуатаційну надійність зварного з'єднання значною мірою визначають температурні параметри і час зварювання.

Важлива не тільки загальна кількість енергії Q , яка подається на терморезисторний елемент деталі в процесі зварювання [7]:

$$Q = \int_0^{t_f} \frac{U \cdot I}{2 \cdot p \cdot D_f \cdot l_f} dt, \quad (1)$$

але кількість енергії, яка потрапляє на терморезисторну деталь Q^l :

$$Q^l = \int_0^{t_f} \frac{U \cdot I}{2 \cdot p \cdot D_f \cdot l_f \cdot t_f} dt, \quad (2)$$

де U – напруга зварювання;

I – сила струму;

D_f – внутрішній діаметр зони зварювання;

l_f – довжина зони зварювання;

t_f – час зварювання.

Недостатнє прогрівання з'єднувальних елементів зменшує ступінь дифузії, ускладнює процес формування зони з'єднання і тим самим впливає на зниження надійності зварного з'єднання. На погіршення якості зварювання впливає також перегрівання розплаву, який викликає термічну деструкцію поліетилену, котра проявляється в деформації поверхні труб або з'єднувальних деталей.

Охолодження зварного з'єднання повинно відбуватися природнім шляхом, як і у процесі зварювання нагрітим елементом встик. Після охолодження зварне з'єднання звільняють від фіксаторів.

Стабільна якість виробів забезпечується використанням для їх виробництва високоякісної сировини, що має відповідні сертифікати.

Терморезисторні з'єднання економічно більш затратні, ніж стикові. Проте в умовах нестачі площі, коли неможливо розташувати габаритне обладнання стикового зварювання терморезисторне зварювання стає незамінним. З'єднання, виконані з використанням електромуйфту, часто використовуються для монтажу трубопроводів невеликого діаметру із труб, що поставляються у бухтах. Електромуйфти такого діаметру мають доступну ціну і, враховуючи їх використання у невеликих кількостях, роблять терморезисторне зварювання економічно співмірним зі стиковим.

ВИСНОВКИ

Півстолітній досвід експлуатації поліетиленових трубопроводів підтвердив їхню високу надійність та економічність. При повному дотриманні технологічних параметрів кожен з наведених способів зварювання забезпечує якісне з'єднання, а тому повинен користуватися правами на використання. Вибір того чи іншого способу зварювання повинен бути мотивований розрахунками технічної та економічної доцільності, завданнями та умовами конкретного будівництва. Оптимальне визначення параметрів зварювального процесу гарантує високу якість та надійність зварних конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шлапак Л. С. Шляхи підвищення ефективності ремонту газопровідних систем / Л. С. Шлапак, М. В. Панчук, І. Д. Пушкедра, О. М. Матвієнків // *Нафтогазова енергетика*. – 2008. – № 4. – С. 31–34.
2. Глухова О. В. Эффективность применения трубопроводов из полиэтиленовых труб [Электронный ресурс] / О. В. Глухова, М. М. Фатпяхов // *Нефтегазовое дело*. – 2006. – Режим доступа : <http://www.ogbus.ru/authors/glukhova/Glukhova-2.pdf>.
3. Ковринга В. Полиэтиленовые трубы выдерживают землетрясения / В. Ковринга // *Полимерные трубы*. – 2007. – № 5. – С. 58–59.
4. Дж. Хеззел Сварка полимерных труб больших диаметров : характеристики и сроки эксплуатации / Дж. Хеззел, А. Лугеймер, М. Цупаган // *Инженерные сети из полимерных материалов*. – 2006. – № 4. – С. 24–27.
5. Круп'як І. М. Інженерні мережі з полімерів : посібник / І. М. Круп'як. – Львів : ЕКО інформ, 2008. – 372 с.
6. Роберт Еккор Соединительные детали для полиэтиленовых труб. Конструкция фитингов с закладной электронагревательной спиралью и ее влияние на качество сварного соединения / Роберт Еккор // *Полимерные трубы*. – 2008 – № 4. – С. 47–52.
7. Ежи Ян Чопек Терморезисторные соединительные детали неизвестного происхождения и безопасность эксплуатации газораспределительных сетей / Ежи Ян Чопек // *Инженерные сети из полимерных материалов*. – 2006. – № 3. – С. 16–18.