

УДК 621.791:678.029.43

**М.В. Юрженко***Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАН України***АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОШАРОВИХ АРМОВАНИХ КОМПОЗИТНИХ ТРУБ НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПІЛЕНУ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ЗВАРЮВАННЯ (ОГЛЯД)**

*В роботі проведено аналіз різновидів поліпропілену та їх основних характеристик, а також полімерних композитних матеріалів на їх основі, які використовуються для виготовлення полімерних багатошарових труб, призначених для будівництва мереж гарячого водопостачання та опалення з використанням зварювання. Показано, що ustalений метод зварювання поліпропіленових труб, армованих алюмінієвою фольгою або базальтовим/скляним волокном, а саме зварювання нагрітим інструментом врозтруб, має багато недоліків, тому існує потреба у новітніх технологіях стикового зварювання таких багатошарових труб із збереженням їх шаруватості структури. У такому випадку структура зварного з'єднання буде ідентичною до структури композитної труби, таким чином міцність зварного з'єднання буде рівною міцності труби. Визначено найбільш перспективні для цього методи зварювання, а саме індукційне зварювання, ультразвукове зварювання, зварювання нагрітим інструментом з непрямим нагрівом і т.д.*

*Ключові слова:* поліпропілен, багатошарові композитні труби, зварювання

**М.В. Юрженко***Інститут електросварки ім.Е.О. Патона НАН України***АНАЛІЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПРОБЛЕМЫ ИХ СВАРКИ (ОБЗОР)**

*В работе проведено анализ разновидностей полипропилена и их основных характеристик, а также полимерных композитных материалов на их основе, которые используются для изготовления полимерных многослойных труб, предназначенных для строительства сетей горячего водоснабжения и отопления с использованием сварки. Показано, что устоявшийся метод сварки полипропиленовых труб, армированных алюминиевой фольгой или базальтовым/стеклянным волокном, а именно сварка нагретым инструментом врозтруб, имеет множество недостатков, поэтому существует необходимость в новейших технологиях стыковой сварки таких многослойных труб с сохранением и слоистой структуры. В таком случае структура сварного соединения будет идентичной структуре композитной трубы, таким образом, прочность сварного соединения будет равна прочности трубы. Определены наиболее перспективные для этого методы сварки, а именно индукционная сварка, ультразвуковая сварка, сварка нагретым инструментом непрямим нагревом и т.д.*

*Ключевые слова:* полипропилен, многослойные композитные трубы, сварка

**M.V. Iurzhenko***E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine***ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF FORMATION AND USE OF MULTILAYER REINFORCED COMPOSITE PIPES BASED ON POLYPROPYLENE AND PROBLEMS OF THEIR WELDING (REVIEW)**

*The paper analyzes the varieties of polypropylene and their main characteristics, as well as polymeric composite materials based on them, which are used for manufacturing multilayer polymeric pipes for the construction of hot water supply and heating networks using welding. It is shown that the established method of welding of polypropylene pipes reinforced with aluminum foil or basalt/glass fibers, mainly socket welding with the heated tool, has many limitations, so novel technologies for butt welding of such multilayer pipes with saving the their layered structure are required. In this case structure of the welded joints will be similar to structure of the composite pipe, thus the strength of the welded joint will be equal to the strength of the pipe. The most promising methods for that have been identified and they are: induction welding, ultrasonic welding, welding with the heated tool by indirect heating etc.*

*Keywords:* polypropylene, multilayer composite pipes, welding

Постановка проблеми та завдань. В Україні при будівництві трубопроводів гарячого водопостачання та опалення часто використовують багатошарові композитні труби на основі поліпропілену, армованого різними способами: алюмінієвою фольгою, базальтовим та скловолокном і т.д. При цьому важливим етапом монтажу таких трубопроводів є з'єднання цих труб, яке зазвичай виконують зварюванням. Тож метою роботи було проведення аналізу існуючих різновидів поліпропілену та особливостей формування полімерних композитів на їх основі, які використовуються для виробництва багатошарових композитних труб, а також способів їх зварювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поліпропілен є продуктом полімеризації пропілену, хімічна формула якого  $C_3H_6$ . На відміну від етилену, в цьому мономері один атом

водню заміщений метильною групою  $\text{CH}_3$ . Полімеризація поліпропілену відбувається при низькому або середньому тиску з використанням металоорганічних та металоценових каталізаторів, причому використання останніх дає можливість регулювати довжину полімерного ланцюга [1].

За структурою макромолекул поліпропілен поділяється на три типи:

- ізотактичний поліпропілен (рис. 1, а). Така молекулярна будова забезпечує матеріалу збільшену густину та міцність;
- синдіотактичний поліпропілен (рис. 1, б), в якому метильні групи розташовані симетрично з обох боків полімерного ланцюга. Такий поліпропілен менш міцний та піддається впливу ультрафіолетового випромінювання, але прозорий для видимого світла;
- атактичний поліпропілен (рис. 1, в) в якому метильні групи хаотично розташовані з обох боків полімерного ланцюга у випадковому порядку. Цей матеріал менш міцний та не дуже стійкий до зовнішніх впливів, але пластичний та гнучкий.

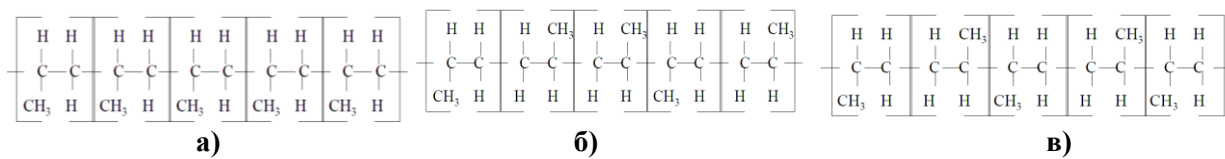


Рис. 1. Типи поліпропілену за будовою макромолекули

Саме ізотактичний поліпропілен, як найбільш щільний та міцний, та кополімери на його основі використовуються для виробництва труб для холодного та гарячого водопостачання. У свою чергу, ізотактичний поліпропілен також поділяється на 3 типи за хімічною структурою: гомополімер (PP-H, тип 1), блок-кополімер (PP-B, тип 2), рандом-кополімер (PP-R, тип 3) [2].

Гомополімер поліпропілену PP-H (PolyPropylene Homopolymer) являє собою власне ізотактичний поліпропілен, в макромолекули якого не входять будь які інші мономерні одиниці. Це досить жорсткий та міцний полімер з температурою плавлення біля  $140^\circ\text{C}$ , придатний для виробництва напірних труб та позначається як ПП 80 тип 1. Недоліки цього типу поліпропілену – погана стійкість до кліматичних факторів, зокрема ультрафіолетового випромінювання та низьких температур. Тому цей матеріал використовують тільки у мережах внутрішнього водопостачання.

Блок-кополімер поліпропілену PP-B (PolyPropylene Block copolymer) являє собою полімер, в макромолекулах якого послідовно чергуються блоки «чистого» поліпропілену та блоки кополімеру пропілену з етиленом:  $\text{C}_3\text{-(C}_3\text{)}_n\text{-C}_3\text{+C}_3\text{-(C}_3\text{-C}_2\text{-C}_2\text{-C}_3\text{-C}_3\text{-C}_2\text{-C}_2\text{-C}_2\text{-C}_3\text{-C}_2\text{-C}_3\text{)}_n\text{-C}_3$ . Чергування полімерних блоків є статистичним та досить важко піддається чисельній ідентифікації. Цей матеріал дещо міцніший за PP-H, більш еластичний та стійкий до низьких температур. При виготовленні труб має позначення ПП 80 тип 2.

Рандом-кополімер поліпропілену PP-R (PolyPropylene Random copolymer), або статистичний поліпропілен (від англ. random – випадковий) – полімер, у макромолекулах якого нерегулярним чином чергуються мономерні одиниці пропілену та етилену:  $\text{C}_3\text{-(C}_3\text{-C}_3\text{-C}_2\text{-C}_3\text{-C}_3\text{-C}_3\text{-C}_2\text{-C}_3\text{)}_n\text{-C}_3$ . Вміст етилену при цьому складає усього 2-4%, максимум до 8%. Така макромолекулярна будова забезпечує цьому полімеру підвищений рівень кристалічності та найбільшу міцність та термостійкість серед усіх 3-х типів ізотактичного поліпропілену. При виготовленні труб позначається ПП 80 тип 3.

Зі збільшенням частки етилену в кополімері PP-R покращуються ущільнюючі властивості, розширюється температурний інтервал плавлення, зменшується температура склування, підвищується ударна в'язкість, зменшуються кристалічність та жорсткість [3]. Цей полімер може випускатись у двох різновидах – прозорий та непрозорий. Перший з них використовується для виготовлення пакувальних матеріалів, плівок та листів. Непрозорий поліпропілен 3-го типу використовують для виготовлення труб та фітінгів систем гарячого або холодного водопостачання. Як і усі ізотактичні поліпропілени, PP-R формує надмолекулярні утворення у вигляді спіралі, де 3 мономерні одиниці утворюють один оберт. Цей матеріал зазвичай формує класичну кристалічну форми – моноклінну ( $\alpha$ ), але може утворювати гексагональну ( $\beta$ ) та триклинну ( $\gamma$ ), відому, також, як загартована, форма [4]. В даний час для виробництва труб почали все більше застосовувати новий різновид PP-R, що відрізняється своєю кристалічною будовою

PPR-CT. Це – термостабілізований рандом-кополімер поліпропілену, який іноді називають поліпропіленом 4 типу.

Звичайний рандом-кополімер PP-R має переважно моноклінну кристалічну решітку, де монокліни з'єднуються між собою у випадковому порядку. Завдяки особливому методу охолодження матеріалу при отриманні PPR-CT полімер утворює більш упорядковану гексагональну структуру, формуються більш дрібні та чисельні кристали, ніж у PP-R. Тому PPR-CT має більшу в'язкість та стійкість до температури, що дозволяє виготовляти з цього матеріалу більш легкі та стійкі труби. Порівняння фізичних параметри двох основних кополімерів на основі пропілену приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Деякі характеристики окремих кополімерів на основі пропілену

Параметр	Одиниця виміру	Гомополімер PP-H	Рандом-кополімер PP-R
Густина	г/см <sup>3</sup>	0,9-0,91	0,9-0,91
Міцність на розтяг (23 °С)	н/мм <sup>2</sup>	31	25
Модуль пружності (23 °С)	н/мм <sup>2</sup>	1300	900
Ударна в'язкість (23 °С)	кДж/м <sup>2</sup>	85	30,9
Ударна в'язкість (0 °С)	кДж/м <sup>2</sup>	4,8	3,4
Температура плавлення	°С	145-150	150-167
Теплопровідність (23 °С)	Вт/м К	0,23	0,23
Абсорбція води (23 °С)	%	0,1	0,1

Поліпропілен є одним із термопластичних полімерів, який широко застосовують для виробництва напірних труб та будівництва полімерних трубопроводів як у світі, так і в Україні [5]. Цей матеріал знаходиться на третьому місці у світовому об'ємі виробництва труб після ПВХ та поліетилену. Більш широкому розповсюдженню поліпропілену у трубній галузі заважає його висока вартість у порівнянні із матеріалами – лідерами ринку. За фізичними властивостями поліпропілен подібний до поліетилену, однак термостійкість його вище, що зумовлює використання цього матеріалу у трубопроводах для подачі гарячої води [6]. Основними недоліками труб з однорідного поліпропілену були висока дифузія кисню крізь цей матеріал та великий коефіцієнт лінійного розширення труб, що призводило до значних змін їх розмірів при коливаннях температури. Тому на певному етапі розвитку технології виготовлення поліпропіленових труб почали застосовувати їх армування алюмінієвою фольгою та рубленим скловолокном. В даний час близько 10% загального об'єму світового ринку виробництва полімерних композитних матеріалів використовується для виготовлення напірних труб. Це полімерні труби, армовані металами та синтетичними нитками, склопластикові труби та труби, армовані короткими волокнами, як правило, скловолокном [7]. Слід зазначити, що у світі постійно розширюється сфера застосування багат шарових труб з полімерних композитних матеріалів, які виготовляються за допомогою спеціальних співекструїційних технологій, через зростаючу потребу у них різних галузей промисловості. Це пояснюється можливістю варіювання їхніх властивостей за рахунок вибору складу композитного матеріалу, встановлення порядку чергування шарів, вибору оптимальної технології та обладнання для отримання конкретного матеріалу [8, 9].

Армування труб алюмінієм утворило на її зовнішній поверхні антидифузійний бар'єр та значно зменшило термічне лінійне розширення труби. Це дозволило суттєво підвищити температуру теплоносія, що транспортується, та застосовувати такі труби у мережах опалення. Труба, армована алюмінієвою фольгою, зазвичай має п'ятишарову структуру. Внутрішній основний шар поліпропілену формує основне тіло труби, зовнішній тонкий поліпропіленовий шар має захисні та декоративні функції. Між цими поліпропіленовими шарами знаходиться тонкий шар алюмінію товщиною 0,1 – 0,5 мм, який з'єднується з ними двома шарами адгезиву (полімерного клею). При розтрубному зварюванні таких труб необхідно видаляти усі зовнішні шари труби, оголюючи внутрішній основний шар поліпропілену.

Інший, більш простий спосіб армування поліпропіленових труб - використання шару полімеру, наповненого базальтовим або скловолокном. Вміст волокон у полімері становить від 15

до 50% маси полімеру. Такі труби мають тришарову структуру, причому середній шар складається з суміші поліпропілену та рубленого базальтового або скловолокна (рис. 2, а). Оскільки усі три шари труби мають в основі однаковий матеріал, немає потреби використовувати будь-які міжшарові адгезиви, виготовляються такі труби методом одночасної коекструзії. Коефіцієнт лінійного розширення армованих базальтовим або скловолокном труб дещо збільшений у порівнянні з алюмо-полімерними, але все одно значно менший у порівнянні з монолітними поліпропіленовими трубами [10]. Коефіцієнт лінійного розширення армованої труби залежить від товщини армованого шару та процентного вмісту волокна у ньому [11]. Оптимальний відсотковий склад армуючого волокна у середньому шарі труби обирається виробником. Суміш полімеру та наповнювача повинна забезпечувати необхідне значення коефіцієнту лінійного температурного розширення, добре проходити крізь екструдер та з'єднуватись із неармованими шарами труби. Надалі в роботі розглядаються композитні труби з поліпропілену, армовані скловолокном, оскільки вклад природи волокон у загальну картину є незначним.



**Рис. 2. Переріз тришарової поліпропіленової труби, армованої скловолокном та її розтрубного зварного з'єднання [12]: 1 – внутрішня поверхня; 2 – внутрішній шар монолітного поліпропілену; 3 – шар поліпропілену, наповненого скловолокном; 4 – зовнішній шар монолітного поліпропілену; 5 – зовнішня поверхня**

Промислове використання скловолокна має в основі досить неочікуваний феномен зміни фізичних властивостей скла, яке у великих об'ємах являє собою дуже крихкий матеріал, а у вигляді надтонких волокон стає досить гнучким. Скляні нитки та волокна формують із розплаву скляної маси – діоксиду кремнію з домішками оксидів різних металів. Для виробництва більшої частини скловолокон використовують надміцне алюмоборосилікатне скло марок Е та S. Рублені скляні волокна зазвичай мають круглу форму поперечного перерізу, хоча застосовують, також волокна трикутної, прямокутної та шестикутної форм. Такі волокна корисні при необхідності забезпечення високого ступеню наповнення полімерного композитного матеріалу. З іншого боку, для отримання полімерних композитів малої густини, можливо виготовлення пустотілих скляних волокон. Окрім волокон, для наповнення композитних матеріалів використовують, також, скляні порошки з монолітними та пустотілими гранулами [13, 14].

Переваги, які мають армовані скловолокном поліпропіленові труби дають можливість без обмежень використовувати їх для постачання гарячої води та у системах низькотемпературного опалення. Армований шар забезпечує підвищену жорсткість такої труби, а теплопровідність її аналогічна звичайній трубі з монолітного поліпропілену. Відсутність у таких труб антидифузійного шару не дозволяє використовувати їх у системах транспортування води з надвисокою температурою, за усіма іншими параметрами вони знаходяться на рівні армованих алюмінієм, так званих «стабільних» труб [15].

Тришарова структура поліпропіленових труб, армованих скловолокном була обрана не випадково. Оскільки скло, навіть у вигляді тонких волокон, залишається досить крихким матеріалом, труби, виготовлені із суцільного композитного матеріалу були б досить міцними, але з суттєво підвищеною крихкістю. Внутрішній шар з чистого поліпропілену контактує з водою, що транспортується та захищає її від проникнення дрібних уламків скляних волокон з армованого

шару. Зовнішній поліпропіленовий шар формує поверхню труби та використовується для її монтажу.

Виробники поліпропіленових труб рекомендують застосовувати експлуатаційні параметри та розраховувати строк служби водопроводів та трубопроводів опалення, виконаних із тришарових труб, армованих скловолокном так само, як це робиться для труб з одношаровими суцільними стінками. Насправді такий підхід є некоректним, оскільки окремі шари армованої труби мають різні фізичні характеристики та по різному сприймають навантаження, особливо довготривале. В процесі коекструзії таких труб внутрішній композитний шар поліпропіленової труби зварюється з шарами суцільного поліпропілену, формуючи два циліндричні зварні з'єднання, які, фактично, можна вважати проміжними шарами всередині труби. Саме в цих нових шарах виникають найбільші термічні напруження через обмеження поздовжньої деформації різномодульних матеріалів у суміжних шарах стінок армованої труби [11]. Дослідження напруження на розтяг різних шарів навантаженої армованої труби показали, що в композитному шарі такі напруження у 2-3 рази більші у порівнянні з напруженнями монолітних шарів. Таким чином, під дією довготривалих навантажень старіння шарів з монолітного поліпропілену та композитного шару буде відбуватись відмінно. З великою вірогідністю можна припустити, що в процесі старіння матеріалу, модуль пружності композитного шару труби буде зменшуватись швидше, ніж у полімеру зовнішнього та внутрішнього шарів. Відповідно будуть перерозподілятися долі навантаження, які припадають на кожен шар до зрівняння напружень в усіх шарах. Точно визначити, яким чином прогнозований довготривалий строк експлуатації технологічних трубопроводів з армованих скловолокном поліпропіленових труб буде відрізнятись від рекомендованих до використання кривих регресії для труб з суцільного поліпропілену неможливо без проведення спеціальних гідравлічних випробувань [16].

Для з'єднання звичайних та армованих поліпропіленових труб традиційно рекомендують використовувати зварювання нагрітим інструментом врозтруб [17] (рис. 2,б). Ця технологія сама по собі має цілий ряд суттєвих недоліків. Використання при зварюванні спеціальних фітингів – литих муфт або інших деталей із суцільного поліпропілену ускладнює та здорожує процес виконання з'єднання. Для кожного стику фактично необхідно виконати два зварювання, під'єднавши трубу з обох боків фітингу.

При зварюванні врозтруб прогривається внутрішня циліндрична поверхня муфти та відповідна зовнішня ділянка труби. Для цього на пластині нагрівального інструменту закріплюють дорн та гільзу потрібного типорозміру (рис. 3, а). Технологія зварювання вимагає, щоб в процесі осадження прогріта труба з деяким натягом входила у відповідний отвір фітингу. Для формування якісного з'єднання необхідно, щоб величина натягу була однаковою по всій орбіті стику. Враховуючи високу вірогідність значної овальності труб, на деяких ділянках може утворюватись послаблення взаємного тиску труби і муфти, що призводить до утворення непроварів. Слід відзначити, що для забезпечення необхідного натягу деталей при зварюванні врозтруб труба та муфта повинні зберегти кільцеву жорсткість після прогрівання, не переходити у пластичний стан.

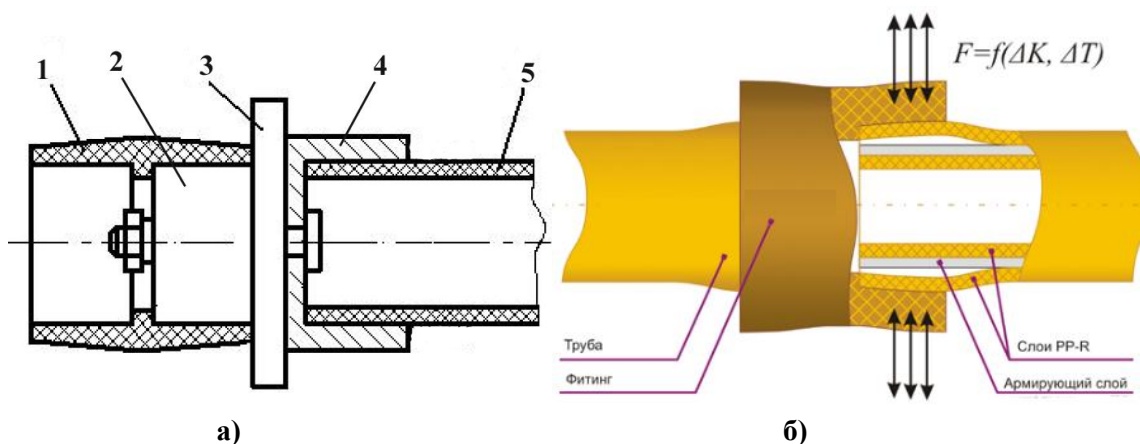


Рис. 3. Схеми зварювання композитних труб нагрітим інструментом врозтруб (а) [18] та руйнування розтрубного зварного з'єднання (б) [19]: 1 – муфта; 2 – дорн; 3 – пластина нагрівального інструменту; 4 – гільза; 5 – труба

Цього буває нелегко досягти, особливо при з'єднанні тонкостінних труб. Для запобігання перегріву деталей при зварюванні намагаються розплавити тільки тонкий шар полімеру на поверхнях, що зварюються. Тому зазвичай встановлюють підвищену температуру нагрівального інструменту у 260 – 270°C.

Висока температура нагрівача при зварюванні врозтруб зумовлює погіршення макромолекулярної структури полімеру, особливо на межі переходу між муфтою та трубою. Ця ділянка є зоною високої концентрації напружень при переході від великої товщини стінки (муфта та труба) до малої (труба). За рахунок перегріву матеріалу на рівні початку термодеструкції на межі переходу виникає зниження міцності труби приблизно на 20%. При несприятливому поєднанні згинаючого та розтягуючого навантажень в ослабленій зоні відбувається руйнування стику.

Оскільки при зварюванні врозтруб прогриваються досить значні площі деталей, виникає небезпека значних усадок розплавленого матеріалу муфти та труби. По поверхні сплавлення можуть утворюватися пори та більш великі порожнини, які при об'єднанні формують наскрізні несплавлення, що порушують герметичність стику [20].

Специфічні дефекти можуть виникати, також, при розтрубному зварюванні армованих поліпропіленових труб. Такі труби мають коефіцієнт теплового розширення на порядок менший у порівнянні з монолітним поліпропіленом, що вважається великою перевагою, оскільки відпадає потреба встановлення на трубопроводах спеціальних теплових компенсаторів. Однак, аналогічне зменшення теплового розширення відбувається і у радіальному напрямку, що може призвести до виникнення небезпечних дефектів у розтрубних зварних стиках армованих труб.

У розтрубних зварних з'єднаннях монолітних поліпропіленових труб труба та фітинг мають однакові коефіцієнти теплового розширення, тому деформуються однаково при коливаннях температури. Якщо врозтруб зварюється тришарова армована поліпропіленова труба, то фітинг з'єднується з тонким зовнішнім шаром ненаповненого поліпропілену. В результаті утворюється масивна монолітна система з високим коефіцієнтом теплового розширення, а під нею шар армованого поліпропілену, теплове розширення якого значно менше. При циклічних змінах температури в трубопроводі на фітинг діє сила, направлена на відрив його від шарів труби (рис. 3,б) [19]. Ця сила пропорційна різниці температурних коефіцієнтів та перепаду температур, її довготривала дія може призвести до руйнування середнього армованого шару з наступним руйнуванням усієї труби. Радіальні сили теплового розширення можуть призвести, також, до руйнування самого фітингу. Відомо, що поліпропілен PP-R є матеріалом з високим ступенем кристалічності, отже може мати підвищену крихкість. Навіть короткотривале велике радіальне зусилля при різкому скачку температури теплоносія всередині трубопроводу може призвести до утворення тріщин та розколюванню муфти зварного розтрубного з'єднання.

Альтернативою ненадійному розтрубному способу зварювання тришарових поліпропіленових труб може бути застосування зварювання встик. Оскільки йдеться про з'єднання багатошарової полімерної структури, для збереження у зварному з'єднанні усіх властивостей основного матеріалу технологія зварювання повинна забезпечити незмінне чергування у шві полімерних шарів. Найбільшу складність в цьому випадку являє собою зварювання центрального шару труби з полімерного композитного матеріалу.

Зварювання термопластичних композитних матеріалів зазвичай здійснюється тими самими способами, що застосовуються для зварювання звичайних термопластів. Однак для них усталені технології зварювання потребують суттєвої адаптації з метою виконання спеціальних вимог. В першу чергу, в процесі зварювання повинні бути збережені фізичні властивості композитного матеріалу. У випадку зварювання композитів, армованих скловолокном, не повинно відбуватись руйнування волокон, їх просторова орієнтація у зварному з'єднанні не повинна суттєво відрізнятись від основного матеріалу. Найбільш придатними для зварювання полімерних композитних матеріалів вважаються термоконтатне зварювання, та способи зварювання індукційним нагрівом, ультразвуком, інфрачервоним випромінюванням та вібротертям [21, 22].

Найбільш розповсюджений спосіб зварювання нагрітим інструментом встик, пов'язаний з оплавленням поверхонь, що зварюються, в даному випадку застосовувати не можна через змішування матеріалів різних шарів композитної труби при оплавленні та наступному осадженні. Були проведені спроби зварювати полімерні композитні труби встик із застосуванням зовнішнього інфрачервоного трансмісійного нагріву [23].

Більш успішним може бути застосування способу, який у літературі називають контактним тепловим зварюванням проплавленням [24], або пресовим зварюванням нагрітим інструментом з

непрямим нагрівом [25]. При даному способі зварювання нагрітий інструмент не контактує безпосередньо з поверхнями, що зварюються, а нагрів зварного з'єднання відбувається за рахунок контакту нагрітого інструменту із зовнішньою поверхнею деталей, що зварюються (так званий непрямий нагрів) з наступним розплавленням зони зварювання на усю її глибину (так зване зварювання проплавленням [18]). Зварювання проплавленням традиційно використовується для виконання напускних з'єднань листових полімерних матеріалів. Поступове прогрівання товщі з'єднання зовні та відсутність значної течії розплаву при осадженні сприятимуть збереженню неушкодженої структури багатшарового матеріалу в зварному шві.

**Висновки.** В роботі проведено аналіз різновидів поліпропілену та їх основних характеристик, а також полімерних композитних матеріалів на їх основі, які використовуються для виготовлення полімерних багатшарових труб, призначених для будівництва мереж гарячого водопостачання та опалення. Показано, що при будівництві трубопроводів з полімерних монолітних та багатшарових труб застосовують зварювання нагрітим інструментом врозтруб. Однак, як було показано в багатьох роботах, таке зварне з'єднання є недостатньо ефективним і надійним, тож актуальним є розробка альтернативних технологічних підходів до зварювання полімерних багатшарових труб встик, наприклад, на основі способів зварювання індукційним нагрівом, ультразвуком, нагрітим інструментом з непрямим нагрівом і т.д. зі збереженням неушкодженою пошарову структуру основного матеріалу композитної труби.

### Список використаних джерел:

1. Уайт Дж. Л. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины [Текст]/ Дж. Л. Уайт, Д. Д. Чой М.С. - С.Пб.: Изд-во «Профессия», 2006. - 256 с.
2. Капранчик В. П. Свойства полипропилена и особенности его использования [Текст]/ В. П. Капранчик //Московская международная конференция «Полипропилен 2004», июнь 2004.
3. Papageorgiou D. G. Effect of crystalline structure of polypropylene random copolymers on mechanical properties and thermal degradation kinetics [Text]/ D. G. Papageorgiou, D. N. Bikiaris, K. Chrissafis // Thermochimica Acta. – 2012. – Vol. 543. – iss. 10. - p. 288 – 294.
4. Razavi-Nouri M. Thermal and Dynamic Mechanical Properties of a Polypropylene Random Copolymer [Text]/ M. Razavi-Nouri// Iranian Polymer Journal. – 2005. – vol.14/ - iss. 5. – p.p. 485 – 493.
5. Бухин В.Е. Полимерные материалы, используемые при строительстве трубопроводов [Текст]/ В.Е. Бухин, М.М. Фаттахов// Инженерные сети из полимерных материалов. – 2008. - № 25. - с.20-26.
6. ДСТУ Б В.2.7-144:2007 Труби для мереж холодного та гарячого водопостачання із поліпропілену. Технічні умови [Текст].
7. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты [Текст]/ К. Е. Перепелкин. – М.: Издательство «НОТ», 2009. - 400 с.
8. Комаров Г.В. Композиционные материалы: производство, применение, тенденции рынка [Текст]/ Г.В. Комаров // Полимерные материалы. – 2013. - №2. - с. 6 – 14.
9. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы [Текст]/ Ю.А.Михайлин. - СПб.: Изд. «Научные основы и технологии», 2-е издание. - 2013. - 822 с.
10. Армированные трубы в «доспехах»: в чем их успех? Полипропиленовые армированные трубы – область применения и особенности монтажа [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.arhiterm.by/information/thermplus/-lr>
11. Козлов О. В. Особенности конструкции полипропиленовых (PPR) труб, армированных стекловолокном для систем водоснабжения [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.vashdom.ru/articles/alterplast\\_1.htm](http://www.vashdom.ru/articles/alterplast_1.htm)
12. Полипропиленовые трубы для отопления [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://otoplenie-guide.ru/oborudovanie/trubi/polipropilenovie-trubi-dlya-otopleniya>
13. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб.пособие [Текст]/ под ред. А.А Берлина.- СПб.: ЦОП «Профессия», 3-е испр. изд., 2011.- 560с.
14. Европейский рынок пластиков, армированных стекловолокном в 2014 году. Продолжение тенденции роста [Текст] / Статья AVK (Немецкая профессиональная ассоциация волоконных композиционных пластиков и композитов)// Приложение к журналу МАКАПЛАС (Macplas Intrnational), декабрь 2014 – январь 2015, с. 12 – 14.
15. Диффузия кислорода в полимерных трубах [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.meto.ru/analiz/publ\\_17/dif\\_o2.pdf](http://www.meto.ru/analiz/publ_17/dif_o2.pdf)
16. Шалапин С.В., Гвоздев И.В., Симонов-Емельянов И.Д. Расчет и прогнозирование прочности многослойных полимерных армированных труб [Текст]/ С.В Шалапин., И.В. Гвоздев, И.Д. Симонов-Емельянов //Вестник МИТХТ. – 2012 .- т. 7. - №4. - с. 112 – 116.
17. Водоснабжение и отопление. Инструкция по монтажу [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ekoplastik.ua/downloads/instrukcia\\_ppr\\_2016.pdf](https://ekoplastik.ua/downloads/instrukcia_ppr_2016.pdf)

18. Словник-довідник зі зварювання та склеювання пластмас / За ред. Б.Є.Патона. – Київ : Наукова думка, 2018. – 368 с. ISBN 978-966-00-1669-9.
19. Попов М., Крокотин В. Внимание! Сварка многослойных полипропиленовых труб. Статья. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.meto.ru/analiz/publ\\_20.htm](http://www.meto.ru/analiz/publ_20.htm)
20. Кораб Н.Г., Минеев Э.А Критические замечания по способам сварки труб из термопластичных полимерных материалов [Текст]/ Н.Г. Кораб, Э.А. Минеев// Полимерные трубы Украина. – 2007. - №1. – с. 53 – 55.
21. Гончаренко В.А. Свариваемость термопластичных композиционных материалов и математическое моделирование процессов сварки [Текст]/ В.А. Гончаренко// Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. д.т.н. «МАТИ» - РГТУ им.К.Э.Циолковского. Москва. 2000 г.
22. Мацюк Л. Н., Меркулов Н.А., Смирнова И. И., Бейдер Э.Я., Бугров К. В. Сварка армированных термопластичных материалов. ВИАМ, 1990 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://viam.ru/public/files/1990/1990-200641.pdf>.
23. Dong Hun No. A study of the combined socket and butt welding of plastic pipes using through transmission infrared welding. Dissertation. The Ohio State University. 2005 [Text].
24. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов [Текст]/ С.С. Волков. - М.: Химия, 2001.- 376 с.
25. Шестопад А.Н. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс [Текст]/ А.Н. Шестопад, Ю.С. Васильев, О.В.Тарасенко, В.П. Тарногородский /Под общ.ред. А.Н.Шестопада, Г.Н.Кораба. – К.: Техника, 1990. – 199 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2019