

ЯКІСТЬ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ ІЗ РІЗНОТИПНИХ ПОЛІЕТИЛЕНІВ

М.О. Ковальчук, М.В. Юрженко, В.Л. Демченко, М.Г. Кораб, Р.В. Колісник

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: KovalchukMAwork@gmail.com

На початку будівництва трубопроводів із пластмас використовували так званий поліетилен низького тиску, нині відомий під маркою ПЕ-63. У подальшому було розроблено нові, більш досконалі види сировини, що являють собою кополімер поліетилену з гексеном. З цих поліетиленів типів ПЕ-80 та ПЕ-100, на сьогодні виготовляють майже усі напірні труби. Однак при ремонті та реконструкції трубопроводів з пластмас існує нагальна проблема з'єднання труб із ПЕ-63, які експлуатувалися довгий час, новими трубами, виготовленими з поліетиленів марок ПЕ-80 та ПЕ-100. В роботі проведено комплексні дослідження теплофізичних властивостей технічних поліетиленів та виявлено суттєві для процесу зварювання відмінності, які мають бути враховані при ремонті полімерних трубопроводів. Проведено експериментальні зварювання зразків труб як з однотипних, так і різнотипних поліетиленів. Проведено морфологічні та механічні дослідження зварних з'єднань поліетиленових труб марок ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100. За результатами досліджень визначено вплив їх теплофізичних властивостей та параметрів процесу зварювання на морфологічну структуру та якість зварних з'єднань різнотипних поліетиленів. Проведено математичне моделювання температурних полів при стиковому зварюванні. Розроблено та створено двозонний нагрівальний інструмент для зварювання нагрітим інструментом встик труб зовнішнім діаметром до 110 мм із різнотипних поліетиленів трубних марок ПЕ-63 та ПЕ-80, ПЕ-100. З метою випробування дослідного зразка двозонного нагрівального інструменту було проведено серію експериментальних робіт, які показали покращення міцнісних характеристик отриманих зварних з'єднань. Бібліогр. 8, табл. 4, рис. 10.

Ключові слова: поліетиленова сировина різних типів, поліетиленові труби, зварні з'єднання

Питання ремонту поліетиленових трубопроводів є важливим з точки зору їх безпеки та надійності експлуатації. Як відомо, старі трубопроводи будувалися з використанням поліетилену марки ПЕ-63, котра вже є технологічно неактуальною та більше не випускається, а повністю перекладати трубопровід замість заміни окремої ділянки не є доцільним. Тому, для забезпечення ремонту таких трубопроводів, виникає необхідність дослідження можливості зварювання поліетиленів різних марок. В роботі наведено результати комплексних теплофізичних та структурних досліджень поліетиленів ПЕ-60, ПЕ-80 та ПЕ-100. Встановлено основні відмінності матеріалів, котрі впливають на можливість отримання якісного зварного з'єднання. Розроблено технологічні підходи до зварювання різнотипних поліетиленів.

На початку будівництва пластмасових трубопроводів використовувалися труби з поліетилену марки ПЕ-63, однак з розвитком полімерної промисловості, у 2000-х роках, йому на зміну прийшли більш технологічні поліетилені марок ПЕ-80 та ПЕ-100. Це призвело до виникнення глобальної проблеми ремонту та реконструкції старих поліетиленових трубопроводів через необхідність зварювання матеріалів з різними теплофізичними властивостями та відсутність наявної інформації і досліджень якісних характеристик з'єднань різнотипних полі-

мерів навіть при короткотривалому використанні. Існуюча інформація про можливості зварювання труб та деталей з поліетиленових композитів різних типів, надійність та довговічність їх зварних з'єднань суттєво суперечлива та обмежена. Деякі нормативні документи дозволяють зварювати між собою різнотипні поліетилені, якщо вони мають близькі значення в'язкості розплаву, яка оцінюється за величиною ПТР. Однак задача оптимізації процесу зварювання гетерогенних поліетиленових труб є непростюю та потребує проведення додаткових досліджень та відповідної адаптації зварювального обладнання [1]. При виборі параметрів процесу зварювання поліетиленових труб необхідно враховувати особливості теплофізичних властивостей основного матеріалу, а також наявність та кількість домішок. Зокрема, матеріал труб, котрі вже перебували в експлуатації, може мати сторонні домішки, що з'явилися в результаті адсорбції з навколишнього середовища [2].

Матеріали та методики досліджень. Для виконання зварювальних робіт використовували модельні об'єкти – полімерні труби із номінальним зовнішнім діаметром 63 мм та товщиною стінки 5,8 мм, виготовлені з трьох марок технічного HDPE з різною мінімальною тривалою міцністю MRS, а саме ПЕ-63 (густина 0,940 г/см³, MRS6,3 за ГОСТ 16338 [3], ГОСТ Р 50838 «Труби из полиэтилена

Ковальчук М.О. – <https://orcid.org/0000-0003-2161-643X>, Юрженко М.В. – <https://orcid.org/0000-0002-5535-731X>, Демченко В.Л. – <https://orcid.org/0000-0001-9146-8984>, Кораб М.Г. – <https://orcid.org/0000-0001-8030-1468>, Колісник Р.В. – <https://orcid.org/0000-0003-2161-643X>

© М.О. Ковальчук, М.В. Юрженко, В.Л. Демченко, М.Г. Кораб, Р.В. Колісник, 2020

для газопроводів» [4]), ПЕ-80 (густина 0,941 г/см³, MRS8 МПа) і ПЕ-100 (густина 0,954 г/см³, MRS10 МПа) [5, 6].

На першому етапі досліджували теплофізичні властивості полімерного матеріалу поліетиленових труб усіх трьох марок методами диференційної сканувальної калориметрії (ДСК) на калориметрі TA Instruments DSC Q2000 та термомеханічним аналізом (ТМА) на приладі TA Instruments TMA Q400 EM.

На другому етапі проводили дослідні зварювання полімерних труб, як однотипних, так і різних марок, нагрітим інструментом «встик» за традиційною технологічною картою (рис. 1.) Параметри режиму зварювання встановлювали згідно з вимогами нормативу [7] – температура нагрітого інструменту 210 °С, час прогріву 60 с, технологічна пауза 3 с, тиск осадження 0,2 МПа, час охолодження під тиском 6 хв.

На третьому етапі отримані зварні з'єднання однотипних та різнотипних полімерних труб у різних комбінаціях закладали у середовище, що імітує умови експлуатації – у ґрунт на глибину 10 см, та на поверхню, де вони знаходились під дією кліматичних факторів протягом 1 та 2 років.

На четвертому етапі проводили комплексні дослідження для вивчення тривалого впливу середовища на експериментальні зразки. Структурні особливості зразків досліджували за допомогою ширококутового розсіювання рентгенівських променів (ШКРРП на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-4–07) та оптичною мікроскопією на мікроскопі Versamet-2. Експлуатаційні характеристики

зварних швів полімерних труб оцінювали методами візуального контролю у відповідності до ДСТУ EN13100–1:2017 та механічних випробів на розтяг на розривній машині FP-10 у відповідності до ДСТУ EN12814–2:2018 та ДБН В.2.5–41.

Теплові процеси при зварюванні труб із різнотипних поліетиленів теоретично досліджували шляхом математичного моделювання з використанням методу скінченних елементів.

Результати теплофізичних досліджень. Термогравіметричний аналіз (ТГА) зразків технічних поліетиленів показав, що за характером ТГА кривих (рис. 2, а) поліетилені усіх трьох типів схожі, однак температура початку термоокислювальної деструкції поліетилену ПЕ-63 є меншою у порівнянні з ПЕ-80 та ПЕ-100 (табл. 1). Швидкість термоокислювальної деструкції поліетилену ПЕ-63 набагато вища (рис 2, б) з температурою максимуму інтенсивності $T_{д макс.} \approx 418$ °С в порівнянні з ПЕ-80 та ПЕ-100 з температурами максимумів інтенсивності $T_{д макс.} \approx 420$ та 450 °С, відповідно.

Методом ДСК отримували відповідні криві для зразків технічних поліетиленів ПЕ-60, ПЕ-80 та ПЕ-100 при першому (рис. 3, а) та другому (рис. 3, б) нагріві. При першому нагріві, на ділянці біля 250 °С на кривих видно екзотермічні процеси, які відсутні при другому нагріві, що може бути пов'язано з тепловою релаксацією напружень, які залишилися у полімері після формування труб, або з дополімеризацією поліетиленів. При другому нагріві спостерігається зміна характеру максимумів ендотермічних процесів в області температур 130...140 °С, отже плавлення поліетиленів, зсув їх

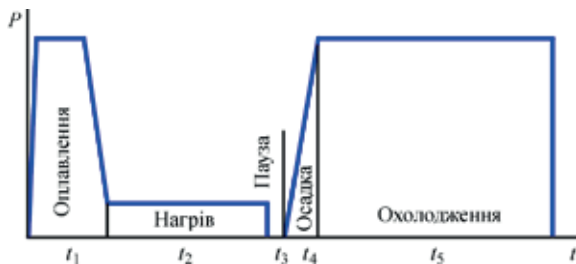


Рис. 1. Технологічна карта традиційного процесу зварювання нагрітим інструментом встик

Таблиця 1. Характеристичні температури термоокислювальної деструкції зразків технічних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100

Зразок	$T_{д}$, °С	$T_{д макс.}$, °С
ПЕ-63	252	418
ПЕ-80	264	420
ПЕ-100	274	450

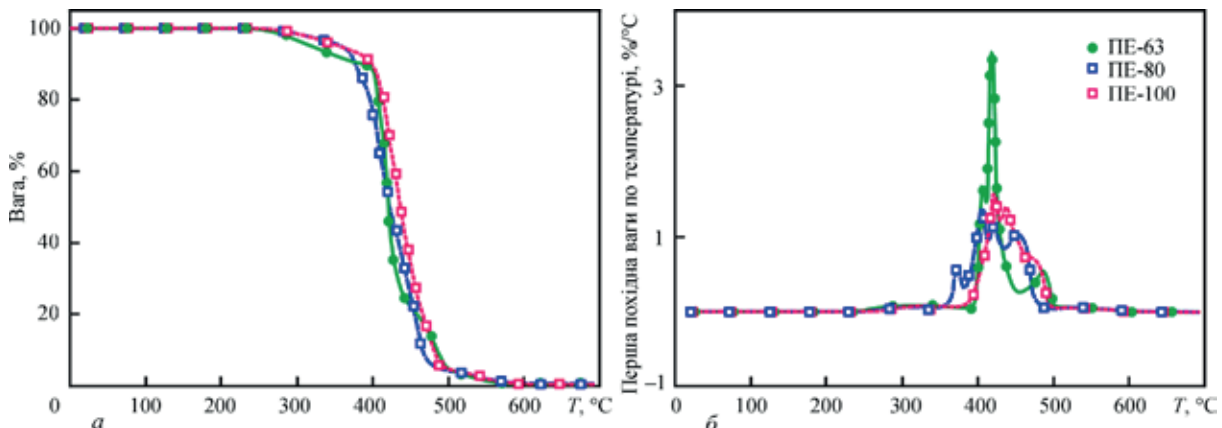


Рис. 2. ТГА криві зразків технічних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100

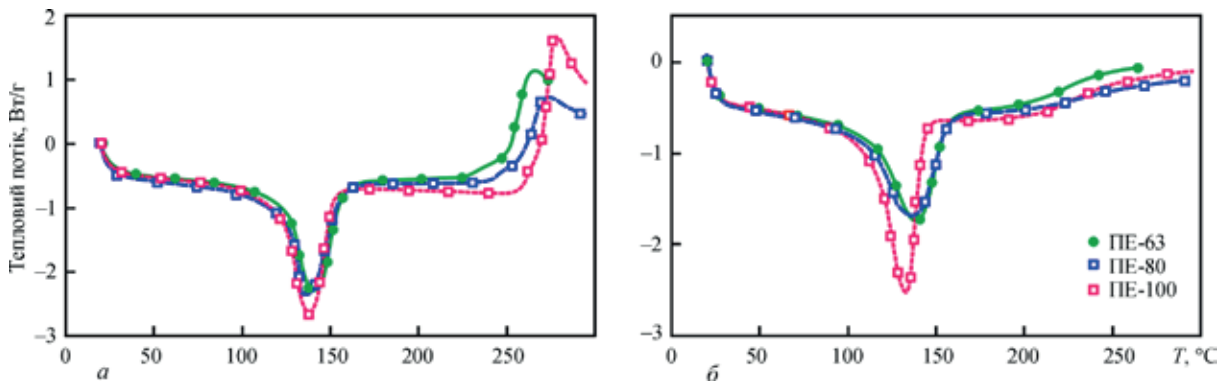


Рис. 3. ДСК криві зразків трубних марок поліетилену ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100 при першому (а) та другому (б) нагріві

температур та зменшення ентальпії відбувається при першому нагріві.

Порівняння кривих теплопровідності (рис. 4) показує, що цей параметр для усіх трьох марок поліетиленів як за ізотермічними значеннями, так і зі зміною температур можуть відрізнятися у декілька разів, що не може не впливати на процеси плавлення при їх зварюванні.

Порівнювали також криві повзучості та релаксації напруження зразків поліетиленів трьох марок при різних температурах (рис. 5). Якщо при температурах набагато нижчих за температуру плавлення індивідуальних поліетиленів ізотермічні криві деформації поліетиленів при повзучості та релаксації напруження схожі, то з наближенням до температури плавлення їх поведінка відрізняється суттєво. Для зразка поліетилену ПЕ-63 значення деформації є найменшими, що, вірогідно, пов'язано з його високою в'язкістю, а зразок ПЕ-100 деформується як вже низьков'язкий розплав.

Таблиця 2. Характеристичні теплофізичні параметри плавлення зразків трубних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100

Зразок	$T_{пл}$, °C		ΔH , Дж/г		
	1-й нагрів				
ПЕ-63	141,3		112		
ПЕ-80	136,9		116,1		
ПЕ-100	137,6		120,9		
Зразок	2-й нагрів		ΔH , Дж/г		
	ПЕ-63	138,9		93,5	
	ПЕ-80	137,5		95,6	
	ПЕ-100	133		112,3	

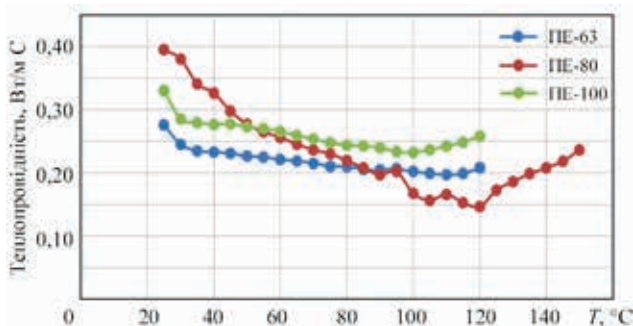


Рис. 4. Теплопровідність технічних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100

Таким чином, проведені дослідження показали суттєві відмінності теплофізичних характеристик технічних поліетиленів, особливо між поліетиленом марки ПЕ-63 та поліетиленами марок ПЕ-80 та ПЕ-100. Ці відмінності, безумовно, потрібно враховувати при зварювання труб з різних марок поліетилену, однак технологічна карта традиційного способу зварювання полімерних труб нагрітим інструментом встик ці особливості не враховує.

Результати досліджень експериментальних зварних швів. Через 1 рік після закладання у експериментальне середовище проведено дослідження морфології та механічних характеристик експериментальних зварних з'єднань. Шліфи зварних швів труб з однотипних та різнотипних поліетиленів представлено на рис. 6.

Виявлено значну різницю у формі та об'ємі зварного ґрату у зварних з'єднаннях зі сторін різнотипних поліетиленів (рис. 6, в, з) у порівнянні зі зварними з'єднаннями однотипних поліетиленів (рис. 6, а, б). Важливо зазначити, що згідно діючих норм [7] ґрат подібної форми є характерним для неякісних зварних з'єднань, а саме зварне з'єднання вважається непридатним для використання. Згідно діючих норм у якісного зварного шва валики ґрату з обох сторін площини зварювання повинні мати однакову форму та об'єм, як це видно у зварних з'єднань труб з однотипних поліетиленів. Різниця форми та об'єму ґрату для різнотипних зварних

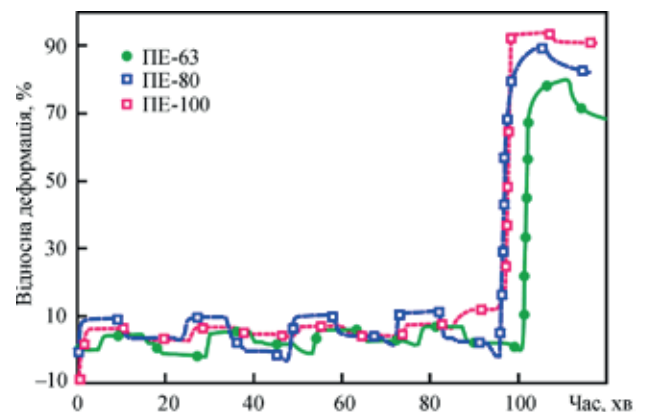


Рис. 5. Деформаційна поведінка технічних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100

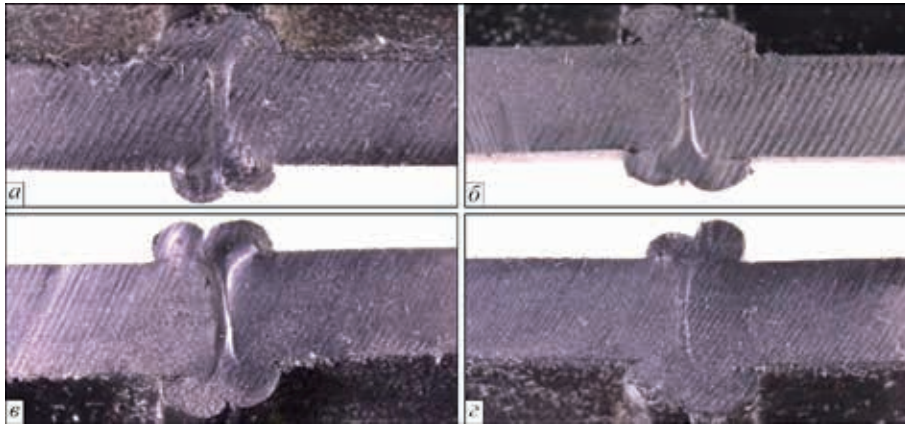


Рис. 6. Морфологія зварних з'єднань полімерних труб з різнотипних та однотипних поліетиленів: а – ПЕ-63/ПЕ-63; б – ПЕ-100/ПЕ-100; в – ПЕ-100/ПЕ-63; г – ПЕ-63/ПЕ-80

з'єднань обумовлена різницею їх теплофізичних характеристик, яка була показана вище.

Аналіз ширококутових рентгенівських дифрактограм зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100, показав, що всі вони мають аморфно-кристалічну структуру, на що вказує присутність дифракційних максимумів при $2\theta_{\max} = 21,2$ та $23,6$ на фоні уявного аморфного гало з вершиною при $2\theta_{\max} \approx 21,0^\circ$ (рис. 7).

Примітно, що для зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100, які знаходились на повітрі під дією ультрафіолетового випромінювання має місце зміна інтенсивності дифракційних максимумів в площинах (110) та (200), що вказує на суттєві зміни структури матеріалу зварного з'єднання. При аналізі ширококутових рентгенівських дифрактограм зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-63 та ПЕ-63/ПЕ-80, які знаходились на повітрі та у землі, суттєвих змін в їх структурній організації не виявлено.

На рис. 8 приведені криві модульованої зміни розміру зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100, відповідно, які перебували під дією факторів робочого середовища, від температури.

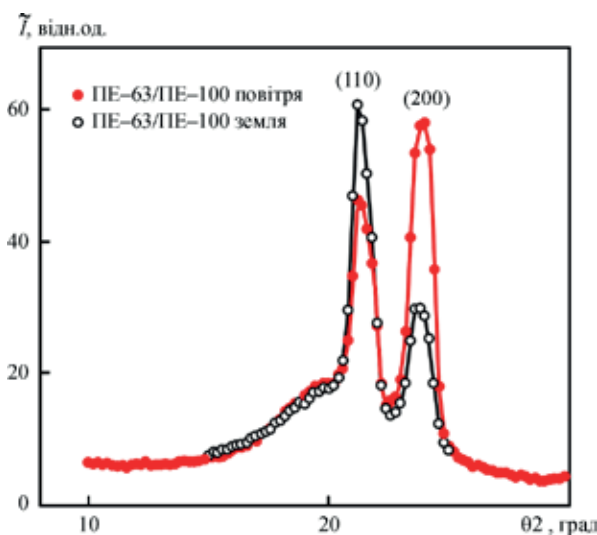


Рис. 7. Ширококутові рентгенівські дифрактограми зварних з'єднань поліетиленів ПЕ-63/ПЕ-100, які знаходились на повітрі та у землі

За виключенням зростання величини термічного розширення до плавлення кристалічної фази поліетиленів у зразка зварного з'єднання ПЕ-63/ПЕ-80, який перебував на поверхні, та дещо різкого процесу плавлення зразка зварного з'єднання ПЕ-63/ПЕ-80, який перебував у землі, суттєвої різниці між поведінкою термомеханічних кривих обох зразків не спостерігається. Найімовірніше це пояснюється відсутністю суттєвих змін у структурі обох зварних швів. Зовсім інша ситуація спостерігається для зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100. Криві модульованої зміни розміру зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100, від температури мають суттєву різницю в області плавлення кристалічної фази поліетиленів. Це безумовно може бути пояснено зміною у структурі кристалічної фази поліетиленів в зварному шві, що підтверджується результатами рентгеноструктурних досліджень, які приведені на рис. 9.

Експлуатаційні характеристики зварних з'єднань вивчали шляхом механічних випробувань у режимі одновісного розтягування (табл. 3). Видно, що найбільш суттєві погіршення механічних властивостей мають зварні з'єднання ПЕ-63/ПЕ-80 в незалежності від середовища перебування. Однак треба відмітити, що більших змін у механічній міцності

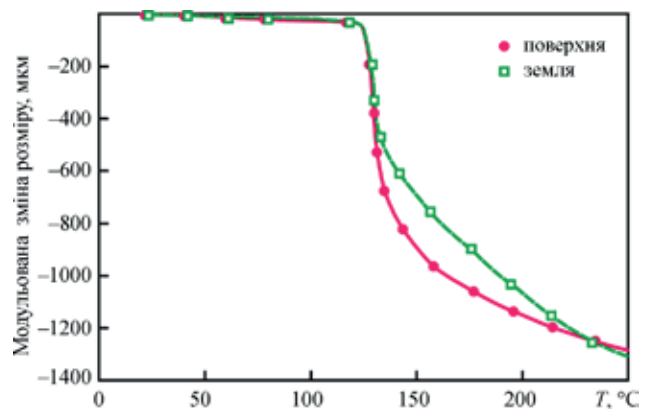


Рис. 8. Модульована зміна розміру зразків зварних з'єднань ПЕ-63/ПЕ-100, які перебували під дією факторів робочого середовища, від температури

заявили зразки, що перебували у ґрунті. Ймовірно це пов'язано з відсутністю дії ультрафіолетового випромінювання, яке, як відомо, в перший час приводить до зшивання поліетилену, що супроводжується збільшенням його міцності, на фоні його старіння, що в тій чи іншій мірі, як видно, з таблиці, характерне для усіх зразків.

Результати математичного моделювання температурних полів. З метою оцінки впливу різниці теплофізичних характеристик матеріалу на процес зварювання різнотипних поліетиленів було проведено математичне моделювання температурних полів в ході процесу зварювання.

На рис. 9 показані ізолінії температурного поля в три моменти процесу стикового зварювання: *a* – на початку технологічної паузи 75 с; *b* – в момент з'єднання торців та початку стискання труб при осадженні; *в* – приблизно в середині тривалості охолодження. Через відмінності у теплофізичних властивостях поліетиленів по різні боки стику труб формуються нерівномірні теплові поля. На рис. 10

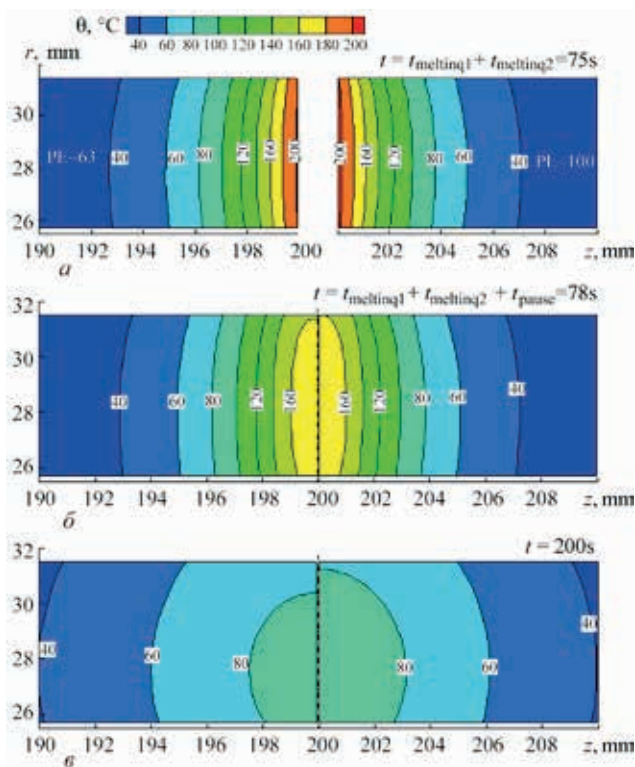


Рис. 9. Ізолінії температурного поля у різні часові моменти при стиковому зварюванні труб ПЕ-63/ПЕ-100 (опис *a–в* див. у тексті)

Таблиця 3. Зміна механічної міцності зразків зварних з'єднань з часом

Зразок	ПЕ-63 1 рік/2 роки	ПЕ-80 1 рік/2 роки	ПЕ-100 1 рік/2 роки
ґрунт			
ПЕ-63	19,38/19,68	18,76/18,03	19,69/18,79
Повітря			
ПЕ-63	19,23/19,48	17,84/16,5	19,53/19,55

видно поступове вирівнювання температури в середній боковій поверхні труби.

Розробка та випробування двозонного нагрівального інструмента. Наведені вище дослідження різниці властивостей технічних поліетиленів ПЕ-63, ПЕ-80 та ПЕ-100 показали, що використання традиційної схеми зварювання однозонним нагрітим інструментом встик труб із різнотипних поліетиленів призводить до некоректного з технологічної точки зору формування зварного шва, який за характером процесу зварювання та зовнішнім виглядом зварного грату не відповідає діючим будівельним нормам, а тому виникла необхідність створення спеціального устаткування для забезпечення якісного зварного з'єднання при зварюванні нагрітим інструментом встик. Для вирішення задачі підвищення ефективності ремонту та подовження ресурсу трубопроводів з пластмас в ході роботи розроблено та створено двозонний нагрівальний інструмент для зварювання нагрітим інструментом встик труб зовнішнім діаметром до 110 мм із різнотипних поліетиленів трубних марок ПЕ-63 та ПЕ-80, ПЕ-100.

При регульованому прогріві з різною температурою на поверхнях двозонного нагрівача на торцях труб з обох боків утворюється однакова кількість розплаву, при осадженні формується симетричний шов з однаковими розмірами валиків грату по усій орбіті стику.

Висновок про механічну міцність зварного шва різнотипних поліетиленових труб, отриманого за допомогою двозонного нагрівального інструменту, дають руйнівні випробування зразків на розтяг згідно вимог введеного в дію в Україні нормативу ДСТУ EN12814-2:2018 [8].

Руйнування зразків мало однаковий пластичний характер. «Шийка» при пластичній деформації зразка утворювалась в області лінії сплавлення та розповсюджувалась у бік менш міцного полімерного матеріалу. Максимальне навантаження при розтягу для зразка ПЕ-80/ПЕ-63 (№ 1), звареного за традиційною технологією, становило 710 Н, а для зразка ПЕ-80/ПЕ-63 (№ 2), звареного за допомогою двозонного нагрітого інструменту, 880 Н. Після відповідних розрахунків було отримано значення межі

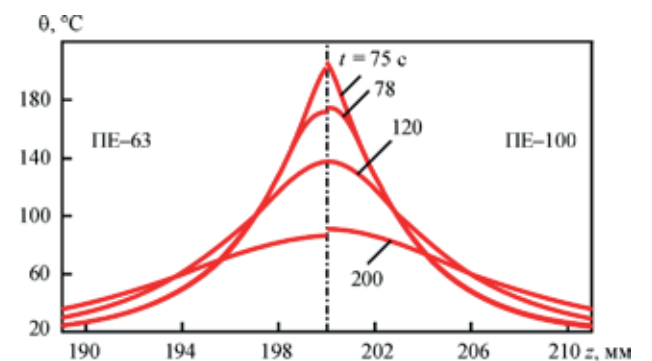


Рис. 10. Розподіл температури по вздовж середньої лінії для різних часових моментів при стиковому зварюванні труб ПЕ-63/ПЕ-100

Таблиця 4. Рекомендована температура робочих поверхонь двозонного нагрівача при зварюванні різнотипних поліетиленів

Температура навколишнього повітря °С	Тип поліетилену					
	ПЕ-63	ПЕ-80	ПЕ-63	ПЕ-100	ПЕ-80	ПЕ-100
-10...0	230	220	220	230	220	230
0...20	220	210	210	220	210	220
20...45	210	200	200	210	200	210

плинності полімерного матеріалу – 25, 8 МПа для зразка № 1 та 29,4 МПа для зразка № 2. Отже, міцність зварного з’єднання різнотипних поліетиленових труб, зварених за новою технологією, виявляється на 15 % більшою. Оскільки випробувались зразки зі звуженою робочою частиною, в цьому випадку визначалась міцність саме матеріалу зварного шва. За результатами експериментальних досліджень було визначено рекомендовані значення температури на поверхнях двозонного нагрівального інструменту в різних умовах навколишнього середовища (табл. 4).

Висновки

В роботі досліджено вплив різнорідності поліетиленів на процес формування їх зварного з’єднання. Приведено рішення проблеми зварювання труб із різнотипних поліетиленів за допомогою створеного в рамках даної роботи двозонного нагрівального інструменту для зварювання нагрітим інструментом встик. Розроблені технологічні підходи, що дають можливість отримати якісне зварне з’єднання різнотипних поліетиленів.

Робота виконана у рамках комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу та безпечної експлуатації конструкцій, споруд і машин» у 2016–2020 рр.

Список літератури

1. Кимельблат В.И., Волков И.В., Глухов В.В. (2010) Оптимизация технологии контактной сварки встык. Учет свойств полимеров. *Полимерные трубы*, 2, 28, 32–36.

2. Комаров Г.В. (2015) Состав и свойства полимерных материалов, влияющие на их свариваемость. *Полимерные материалы*, 9, 44–48.
 3. ГОСТ 16338–85. *Полиэтилен низкого давления. Технические условия*.
 4. ГОСТ Р 50838–95. *Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия*.
 5. ДСТУ Б В.2.7–73–98. *Труби поліетиленові для подачі горючих газів. Технічні умови*.
 6. ДСТУ Б В.2.7–151:2008. *Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови*.
 7. ДБН В.2.5–41:2009. *Газопроводи з поліетиленових труб. Проектування, будівництво*.
 8. ДСТУ EN12814–2:2018 *Випробування зварних з’єднань напівфабрикатів з термопластів. Ч. 2. Випробування на розтяг*.

References

1. Kimelblat, V.I., Volkov, I.V., Glukhov, V.V. (2020) Optimization of resistance butt welding. Accounting for the properties of polymers. *Polimernye Truby*, 2, 28, 32–36 [in Russian].
 2. Komarov, G.V. (2015) Composition and properties of polymer materials affecting their weldability. *Polimernye Materialy*, 9, 44–48 [in Russian].
 3. GOST 16338-85: *Low-pressure polyethylene. Specifications* [in Russian].
 4. GOST R 50838–95: *Polyethylene pipes for gas pipelines. Specifications* [in Russian].
 5. DSTU B V. 2.7-73-98: *Polyethylene pipes for the supply of gaseous fuel. Specifications* [in Ukrainian].
 6. DSTU B V.2.7-151:2008: *Polyethylene pipes for the supply of cold water. Specifications* [in Ukrainian].
 7. DBN V. 2.5–41:2009: *Gas pipelines from polyethylene pipes. Design. Construction* [in Ukrainian].
 8. DSTU EN12814–2:2018: *Testing of welded joints of thermoplastics semi-finished products. Pt 2: Tensile test* [in Ukrainian].

THE QUALITY AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF WELDED JOINTS OF PIPES FROM DIFFERENT TYPES OF POLYETHYLENE

M.O. Kovalchuk, M.V. Iurzhenko, V.L. Demchenko, M.G. Korab, R.V. Kolisnyk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

At the beginning of construction of plastic pipelines, so-called «low pressure polyethylene», now known as PE-63 was used. Subsequently, new, more advanced types of raw materials, which are a copolymer of polyethylene with hexane, were developed. Today, almost all pressure pipes are made from PE-80 and PE-100 types of polyethylenes. However, during the repair and reconstruction of plastic pipelines, there is an urgent problem of joining pipes from PE-63, which have been used for a long time, with new pipes made of polyethylenes of PE-80 and PE-100 types. In this work, complex researches of thermophysical properties of technical polyethylenes were carried out and significant differences were revealed which must be taken into account when repairing polymer pipelines. Experimental welding of pipe samples from both the same and different types of polyethylenes was carried out. Morphological and mechanical studies of welded joints of polyethylene pipes of PE-63, PE-80, and PE-100 types, were performed. According to the research results, the influence of their thermophysical properties and parameters of the welding process on the morphological structure and quality of welded joints of different types of polyethylenes was determined. Mathematical modeling of temperature fields during butt welding was carried out. A two-zone heating tool was developed and created for heated tool butt welding of pipes with an outer diameter of up to 110 mm from different pipe polyethylenes of PE-63 and PE-80, PE-100 types. In order to test a prototype of a two-zone heating tool, a series of experiments were carried out, which showed an improvement in the strength characteristics of the obtained welded joints. 8 Ref., 4 Tabl., 10 Fig.

Keywords: polyethylene raw materials of different types, polyethylene pipes, welded joints

Надійшла до редакції 13.10.2020