

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ НА МЕХАНІЧНУ ПОВЕДІНКУ ТРУБ З ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОЇ ГУСТИНИ*

Ібрагім Рамадан, Марія Танасе,

Petroleum-Gas University of Ploiești, Romania

Дана публікація пропонує експериментальне дослідження, проведене із застосуванням технології зварювання нагрітим інструментом встик для пластикових труб для водопостачання, виготовлених з поліетилену високої густини (HDPE). Використовували відрізки водопровідних труб з PE 100 (SDR17, PN10) довжиною від 200 до 300 мм. Зварювання проводилося при різних параметрах зварювального процесу. Проаналізовано вплив параметрів зварювання на стійкість труб шляхом візуального обстеження та експериментальних випробувань, таких як: випробування на розтяг, вигин та стиск.

1. Вступ

Поліетилен (ПЕ) – один із найвідоміших та найбільш широко використовуваних полімерних матеріалів. Поліетилен високої густини (ПЕВГ, HDPE) широко використовується в якості сировини для виробництва водопровідних та газових труб. Основними перевагами використання труб з ПЕВГ є корозійна та хімічна стійкість, проста технологія монтажу, хороша зварюваність (навіть при температурі до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$), низька вартість монтажу та обслуговування, тривалий термін експлуатації – очікуваний термін служби становить до 100 років [1, 2].

На практиці, щоб побудувати трубопровідні мережі великої довжини, важливо з'єднати відрізки труби, використовуючи різні методи зварювання, зокрема, зварювання нагрітим інструментом встик (стикове зварювання), терморезисторне зварювання та екструзійне зварювання [3]. Внаслідок відносно низької вартості та простоти процедури, найбільш уживаним способом зварювання ПЕ труб є стикове зварювання [3].

Зварювання нагрітим інструментом встик передбачає одночасне нагрівання кінців двох труб/фітингів, що зварюються, доки на кожній контактній поверхні полімер не перейде у розплавлений стан.

Потім дві поверхні з'єднують з контрольованим тиском протягом певного часу охолодження та утворюється однорідне зварне з'єднання (стик). Отримане з'єднання повністю стійке до експлуатаційних навантажень і рівноцінне за міцністю до самої труби.

Нагрівна плита використовується для нагрівання кінців труби до температури, необхідної для плавлення.

Під час процесу зварювання утворюються внутрішні та зовнішні валики – «зварні ґрати». Існують оптимізовані технологічні карти зварювального процесу для мінімізації розміру зварних ґратів, однак, оскільки вони нічого не додають до загальної міцності зварного шва, їх можна безпеч-

но видалити, якщо потрібно. Знятий зварний ґрат можна використати для оцінки якості зварного з'єднання [4].

Якість зварного з'єднання оцінюється як за допомогою неруйнівного (візуальний огляд та геометричні розміри ґрату), так і руйнівного контролю (випробування на розтяг і вигин з'єднань).

2. Матеріали та методи

Для визначення впливу параметрів зварювального процесу на міцність зварного з'єднання поліетиленових труб було використано 5 м водопровідної труби PE 100 (SDR 17, PN10, $OD = 90$ мм). Труби було розрізано (рис. 1) і відторцьовано на кінцях, щоб зварювати труби, використовуючи різні параметри зварювання (рис 2).

Параметри зварювання вибирали, дотримуючись вказівок виробників пластмас [5]. Оскільки робоча машина не допускала зміни температури нагрівної



Рис. 1. Труби, що використовувалися для експериментального дослідження

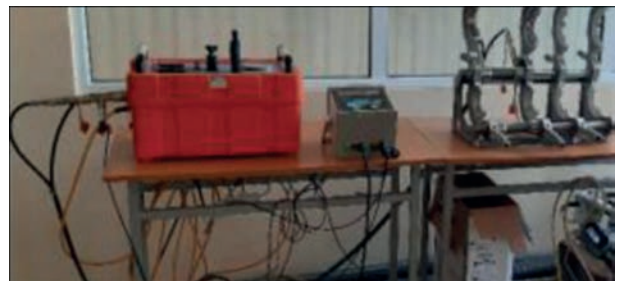


Рис. 2. Робочий пристрій для зварювання труб

* Опублікована в журналі «Полімерні труби» №1, 2021 р. Друкується з дозволу редакції.

Таблиця 1. Параметри зварювального процесу при випробуванні зразків

Зразок	Температура нагрівної плити t [°C]	Час прогріву торців труб τ [с]	Тиск охолодження P [бар]	Умови охолодження
45	220	45	15	Повільне охолодження на повітрі
60		60		Повільне охолодження на повітрі
60R		60		Швидке охолодження в льоді
90		90		Повільне охолодження на повітрі

плити (220 °C), варіативною складовою дослідження зварювання було обрано час (45, 60 та 90 с).

Додатково було проведено дослідження для холодної ПЕВГ труби. Два зразки швидко охолоджувались льодом і потім зберігалися в холодильній камері при температурі -15 °C протягом приблизно 20 днів (табл. 1, зразок 60 R).

Було зроблено по двоє зразків кожного виду (зварених в однакових умовах): один для розтягання, згинання та візуального обстеження і один для тестів на тиск (рис. 3).

Для перевірки якості зварних з'єднань технічний припис РТ CR 9-2013 «Затвердження процедур зварювання сталі, алюмінію, алюмінієвих сплавів та поліетилену високої густини (PEHD)» рекомендує візуальний огляд і випробування на розтяг. У рамках експериментальної програми для кращої оцінки якості зварних з'єднань була проведена серія додаткових випробувань (випробування на вигин та випробування на тиск).



Рис. 3. Зварні з'єднання, що використовувалися для візуального огляду

3. Результати та обговорення

А. Візуальний огляд

У літературі рекомендується кілька критеріїв прийняття або відхилення зварного шва при візуальному огляді [5, 6]. Розглянемо основні неприпустимі дефекти, пов'язані з невідповідністю або з порушеннями при зварюванні.

Неспіввісність труб є головним фактором, що призводить до серйозних дефектів зварювання. Хоча труби розташовуються співвісно, у тому числі в польових умовах, за допомогою затискачів центратора, існує можливість незначно підкорегувати співвісність та овальність. Також, особливо у випадку стикового зварювання труб з довгомірних бухт (до 200 м) після зняття затискачів центратора труби, як правило, відновлюють свою овальну форму, що призводить до появи дефектів зварювання. Особлива увага приділяється нерівномірності зварного шва навколо труби та різній висоті валиків зварного шва.

Надмірне зусилля при зварюванні, перегрів та інші аспекти, які залежать виключно від оператора або роботи обладнання також призводять до неправильного формування зварних швів (рис. 4).

При візуальному огляді виявлено недоліки, пов'язані з неспіввісністю труб і надмірним зусиллям при формуванні грату (рис. 5).

Первинний візуальний огляд є недостатнім, оскільки для оцінки потрібні додаткові критерії якості зварних швів.

Для подальшої оцінки якості зварних з'єднань було використано спосіб, розроблений Інститутом пластикових труб (Plastic Pipe Institute, PPI). Та-

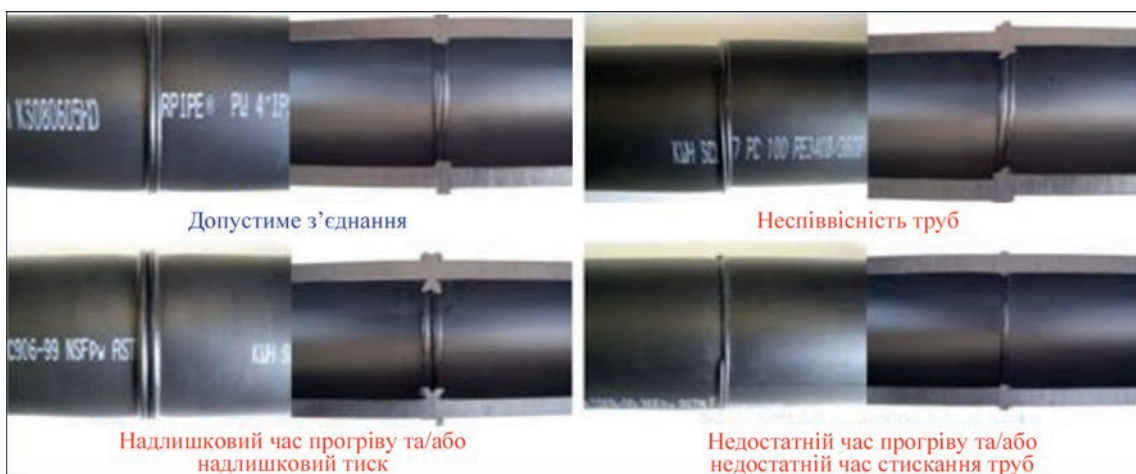


Рис. 4. Відповідні/невідповідні з'єднання ПЕВГ труб [6]



Рис. 5. Вигляд зварних з'єднань, отриманих в експериментах

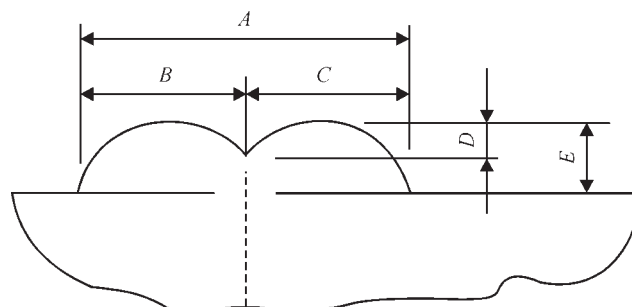


Рис. 6. Пропонований метод вимірювання геометричних параметрів зварного шва.

кож було виміряно геометричні параметри зварних швів, використовуючи позначення на рис. 6.

Вимірювання геометричних характеристик зварних швів показує значні відхилення від параметрів оптимального зварного шва (табл. 2).

В. Випробування на розтяг

Випробування на розтяг проводили відповідно до ISO 527:2012 «Пластмаси. Визначен-

Таблиця 2. Геометричні параметри зварних з'єднань

Зразок	A	B	C	D	E
	мм				
45	5,2	2,64	2,61	1,13	2,74
60	7,87	3,80	4,07	1,98	3,96
60R	6,31	2,15	3,25	1,86	3,78
90	8,88	4,18	4,69	2,12	4,28
Коректно проведене зварювання*	8	4	4	2	4

*Згідно з даними Інституту пластикових труб.

ня властивостей на розтяг» [7]. З кожної звареної труби брали по два зразки та визначали механічні характеристики за допомогою машини Lloyd-LRX plus (рис. 7).

Різні параметри зварювання визначають різні механічні характеристики кожного зварного з'єднання. Також варто відзначити підвищену крихкість зварного з'єднання, підданого прискореному охолодженню, тому рекомендується враховувати цей важливий аспект при практичній роботі, щоб мінімізувати можливі дефекти, які можуть виникнути після зварювання (табл. 3).

С. Випробування на згин

Випробування проводили відповідно до ISO 178: 2019 «Пластмаси. Випробування властивостей на згин» [8]. Було обрано 3-х точковий метод випробування на згин, при якому зразок ви-



Рис. 7. Визначення механічних властивостей випробуванням на розтяг: а – експериментальна установка для випробувань на розтяг; б – вигляд зразків перед випробуванням на розтяг; с – порівняння вигляду деяких зразків після проведення випробування на розтяг

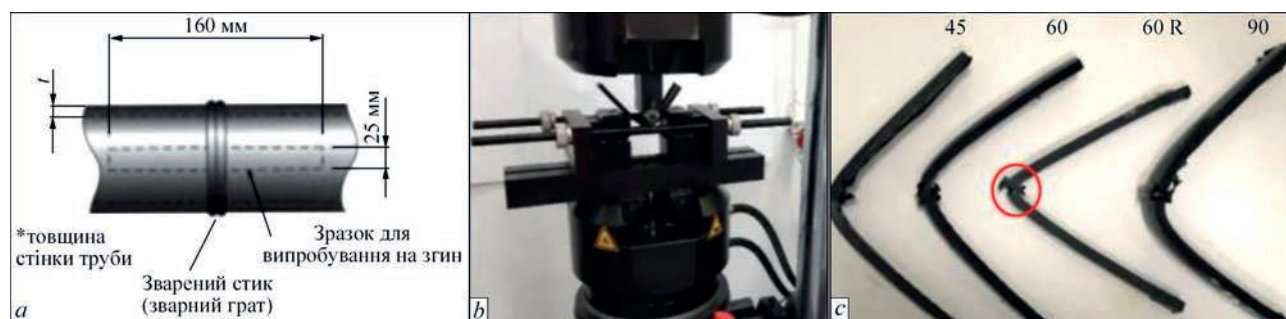


Рис. 8. Випробування на згин: а – схема підготовки зразків до випробування; б – процес випробування зразків; с – результати випробувань зразків

Таблиця 3. Результати тесту на розтяг

Зразок	L_p , мм	L_p , мм	A , %	R_m , МПа	Зразок	L_p , мм	L_p , мм	A , %	R_m , МПа
45a	370	80	362,5	32,50	60R a	200	80	150	17,87
45b	364	80	355	32,78	60R b	207	80	158,75	18,14
60a	378	80	372,5	31,62	90 a	312	80	290	26,75
60b	354	80	342,5	33,04	90 b	320	80	300	26,02



Рис. 9. Гідравлічні випробування: а – зразок труби із заглушками для гідравлічних випробувань; б – покази тиску на манометрі

різається із звареної труби так, щоб зварний шов розміщувався посередині (рис. 8, а та б).

Випробування на згин зразків (60 R, рис. 8, с) виявляє такі аспекти:

- у труб, зварні з'єднання яких швидко охолоджувалися, зварювальний шов був жорстким, що призвело до крихкого руйнування, це підтверджує висновки, зроблені в результаті випробувань на розтяг;

- у всіх інших з'єднаннях (при повільному охолодженні) спостерігалася пластична поведінка шва, що згинався без розриву під кутами, значення яких перевищували мінімальні значення, допустимі в стандарті для відповідного тесту.

Д. Гідравлічні випробування

Для цього дослідження було використано експериментальний вузол, що складається з компресора, насоса, робочої труби та ущільнювальних ковпачків. Тиск реєстрували за допомогою манометра (рис. 9).

Результати гідравлічних випробувань показують, що зразки 45'', 60'', 90'' проходять тест, витримуючи тиск 40 бар (рис. 9, б) без втрат тиску, що дозволяє визнати результат зварювання задовільним, незважаючи на недоліки, виявлені під час візуального огляду. Зразок 60 R був єдиним, що не пройшов випробування, хоча візуальний огляд не вказував на проблеми.

4. Висновки

Після проведення тестів можна зробити такі висновки:

- труби, зварні з'єднання яких швидко охолоджувалися, стали крихкими, зварний шов жорстким, що призвело до його руйнування, це підтверджується висновками, зробленими з випробування на розтяг;

- у всіх інших з'єднаннях (при повільному охолодженні) спостерігалася пластична поведінка

шва, що згинався без розриву під кутами, значення яких перевищували мінімальні значення, допустимі в стандарті для відповідного тесту;

- якщо роботи проводяться в умовах, які можуть призвести до прискореного охолодження зварних швів, необхідно вживати додаткові заходи для запобігання проблем, які можуть виникнути в таких випадках;

- під час зварювання рекомендується забезпечувати співвісне положення труб та дотримуватися рекомендованого часу прогріву торців труб для отримання зварних з'єднань належної якості;

- результати, отримані при випробуваннях на розтяг для зразків, що мали завищений час зварювання, піднімають деякі питання, тому в цьому напрямку будуть проводитися подальші дослідження.

Література/References

1. Alanaaf A., Mohamed D. *The Effect of Thickness and Temperature on the Burst Pressure of HDPE Pipes*. – Materials Science, 2017.
2. Popescu M., Argesanu V., Jula M. Problems Associated with PEHD Welding. *Mater. Plast.* 43(4), 2006, p. 324-329.
3. Pokharel P., Yoonsang K., Sunwoong C. Microstructure and Mechanical Properties of the Butt Joint in High Density Polyethylene Pipe. – *International Journal of Polymer Science*, 2016.
4. <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/model/Construction/methods/What-is-butt-fusion-hdpe-welding-i290.html>
5. Technical Letter Report Preliminary Assessment of NDE Methods on Inspection of HDPE Butt Fusion Piping Joints for Lack of Fusion JCN N6398, Task 2D S. L. Crawford S. E. Cumblidge S. R. Doctor T. E. Hall M. T. Anderson. – May, 2008. – Prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission under U.S. Department of Energy Contract DE-AC05-76RL01830.
6. UPONOR TECHNICAL BULLETIN. – Butt Fusion, *Joining Procedure and Qualification Guide*, Canada, 2016.
7. ISO 527: 2012 – *Plastics. Determination of tensile properties*.
8. ISO 178:2019 – *Plastics. Determination of flexural properties*.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF WELDING PROCESS PARAMETERS ON MECHANICAL BEHAVIOUR OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE PIPES

Ibrahim Ramadan, Maria Tanase

Petroleum-Gas University of Ploiești, Romania

This publication offers an experimental study carried out with the use of heated tool technology for welding plastic pipes for water supply manufactured of a high-density polyethylene (HDPE). The sections of water pipes from PE 100 (SDR17, PN10) with a length from 200 to 300 mm were used. Welding was carried out at different parameters of the welding process. The influence of welding parameters on the stability of pipes by visual examination and experimental tests, such as: tensile, bend and compression tests, was analyzed.

Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

III МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ та МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

12–16 вересня 2022

Одеса, Аркадія, готель «Аркадія»

Контрольні дати

Надання заявок на участь та тез доповідей до 19.08.2022 р.
Розсилка другого інформаційного повідомлення та підтвердження участі до 05.09.2022 р.
Оплата реєстраційного внеску до 12.09.2022 р.

ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
вул. Казимира Малевича 11, м. Київ, 03150
тел. +38 (044) 200-82-77, (050) 352-73-50
journal@paton.kiev.ua
posypaiko.yurii@gmail.com
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2022>

VI Міжнародна конференція

ТИТАН 2022: ВИРОБНИЦТВО ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

30 травня – 1 червня 2022 р.

Голова програмного комітету
академік С.В. Ахонін



Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Тематика конференції

- Технології та обладнання для отримання губки, злитків та відливок з титану та його сплавів
- Адитивні технології в виробництві виробів з титанових сплавів
- Деформаційна обробка титану
- Виробництво та використання порошоків титану
- Структура та властивості титанових сплавів
- Нові сплави на основі титану та інтерметалідів титану
- Інженерія поверхні титанових сплавів
- Технології зварювання та пайки титанових сплавів
- Застосування виробів та конструкцій з титану та сплавів на його основі в промисловості

Контрольні дати

Надання заявок на участь в конференції та тез доповідей до 12.05.2022 р.
Розсилка другого інформаційного повідомлення та підтвердження участі до 19.05.2022 р.
Оплата реєстраційного внеску до 30.05.2022 р.

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
вул. Казимира Малевича, 11,
м. Київ, 03150, Україна
Тел./факс: (38044) 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.pwi-scientists.com/ukr/titan2022

Інформаційна підтримка:
«Сучасна електрометалургія»
«Автоматичне зварювання»
«Biuletyn Instytutu Spawalnictwa»

