

УДК 678.742.2 : 621.791.052

## Структурні особливості та теплофізичні характеристики зварних з'єднань технічних поліетиленів

А.М. Гальчун<sup>1</sup>, М.Г. Кораб<sup>1</sup>, В.Ю. Кондратенко<sup>1</sup>, В.Л. Демченко<sup>1,2</sup>, А.О. Шадрін<sup>1</sup>, В.В. Аністратенко<sup>1</sup>, М.В. Юрженко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України  
11, вул. Боженка, Київ 03680, Україна

<sup>2</sup>Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України  
48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна

*Методами ширококутового розсіювання рентгенівських променів, диференціальної сканувальної калориметрії та термомеханічного аналізу досліджено комплекс структурних і теплофізичних характеристик технічного поліетилену двох типів (ПЕ-80 і ПЕ-100) та їх зварного з'єднання, отриманого традиційним методом зварювання пластмас нагрітим інструментом встик. Встановлено, що в процесі зварювання двох різнотипних поліетиленів формується зварне з'єднання, структура якого характеризується рекристалізацією кристалічної фази. Показано, що міцність і термічна стабільність зварного з'єднання вищі порівняно з відповідними характеристиками індивідуальних полімерів, що пояснюється текстуризацією кристалічної структури різнотипних поліетиленів у зварному з'єднанні.*

**Ключові слова:** поліетилен, трубопровід, зварне з'єднання, структура, властивості.

### Вступ.

Однією з важливих галузей застосування полімерних матеріалів у світі та в Україні зокрема є будівництво технологічних трубопроводів різного призначення [1]. Поліетилен найбільш розповсюджений матеріал, з якого виготовляють труби [2], та який за співвідношенням ціни, механічних властивостей і здатності до зварювання має переваги перед багатьма іншими полімерами.

Для будівництва трубопроводів використовують труби з технічного поліетилену високої густини (ПЕВГ) різних марок, так званого трубного поліетилену [3]. Труби для перших технологічних поліетиленових трубопроводів в Україні виготовляли з сировини, що мала назву „поліетилен низького тиску”, і згодом була позначена як ПЕ-63. З часом були розроблені та знайшли широке застосування досконаліші типи поліетилену – ПЕ-80 і ПЕ-100 [4, 5]. Зараз в Україні виготовляють поліетиленові труби з полімерів усіх цих типів [6].

Основним методом з'єднання поліетиленових труб у технологічних трубопроводах є зварювання. Нині з технологічного погляду достатньо добре розроблені та використовуються на практиці три способи зварювання ПЕ-труб: нагрітим інструментом встик, нагрітим інструментом врозтруб і терморезисторним зварюванням [7, 8]. Два останні способи потребують спеціальних з'єднувальних деталей – розтрубних і терморезисторних муфт. Зварювання встик – найбільш простий та універсальний спосіб з'єднання і може застосовуватися

для більшості типорозмірів труб, за винятком тонкостінних.

Експлуатаційні властивості технологічних поліетиленових трубопроводів значною мірою залежать від якості зварних з'єднань труб. Термін експлуатації трубопроводу зазвичай декларують не меншим ніж 50 років. Фактори, які можуть спричинити руйнування труб чи їх з'єднань, постійно досліджують і шукають способи їх нейтралізації [9]. Якщо ж руйнування трубопроводу таки сталося, важливо виконати якісний ремонт [10]. Оскільки труби виготовляють із поліетилену різних типів, актуальні дослідження та розробка технології зварювання різнотипних поліетиленів.

Усі наведені способи зварювання поліетиленових труб мають свої технологічні особливості та характерні дефекти зварних швів [11]. Багато наукових досліджень виконано для вдосконалення способу зварювання нагрітим інструментом встик. Емпіричними методами дослідники намагаються оптимізувати основні параметри процесу стикового зварювання за тих чи інших технологічних умов [12, 13], а також вивчають особливості процесу зварювання поліетиленових труб різних типорозмірів [14]. Істотний вплив на перебіг процесу зварювання нагрітим інструментом встик мають механічні та теплофізичні властивості матеріалу труб [15, 16]. Це треба мати на увазі при зварюванні поліетиленів різних марок. Поліетилен ПЕ-63, ПЕ-80 і ПЕ-100 мають різні технологічні характеристики, зокрема

величину усадки при охолодженні [17], і показники текучості розплавів, отже для з'єднання їх між собою необхідна розробка спеціальних технологій та обладнання.

Незважаючи на широке застосування на практиці та різнобічну технологічну розробку способів зварювання полімерних труб, детальне вивчення природи зварювання поліолефінів загалом не здійснено, механізми формування зварних з'єднань досі остаточно не вивчені. Морфологічне дослідження, як правило, дає змогу визначити тільки макроструктуру матеріалу поліетиленових труб і зварних швів, геометрію лінії сплавлення і зони термічного впливу [18, 19]. У ряді робіт автори визначали вплив макромолекулярної структури поліетилену на його зварюваність [20], досліджували внутрішні деформації у зварних з'єднаннях поліетилену [21], однак механізми формування зварних з'єднань і структури [22, 23], які при цьому утворюються у зварних швах на макромолекулярному рівні, досі вивчено мало.

Отже, повного уявлення про формування та особливості будови зварного з'єднання поліетилену та інших поліолефінів наразі немає. Ще менше вивчено процеси зварювання полімерів складнішої за поліетилен хімічної будови.

З огляду на сказане вище у цій роботі ставилося за мету здійснити комплексне дослідження структури та властивостей зварних з'єднань технічних поліетиленів різних марок методами диференціальної сканувальної калориметрії, термогравіметричного та термомеханічного аналізу, а також ширококутового розсіювання рентгенівських променів.

#### Експериментальна частина.

Для виконання зварювальних робіт і дослідження структури, теплофізичних та експлуатаційних властивостей зварних з'єднань використовували поліетиленові труби, виготовлені з технічного поліетилену високої густини (ПЕВГ) двох типів з різною мінімальною довготривалою міцністю за 50 років за  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$  (МДМ), а саме ПЕ-80 ( $M_{\text{BM}} = 300000\text{ г/моль}$ , густина  $0,953\text{ г/см}^3$ , МДМ = 8 МПа) і ПЕ-100 ( $M_{\text{BM}} = 300000\text{ г/моль}$ , густина  $0,960\text{ г/см}^3$ , МДМ = 10 МПа), згідно з ДСТУ Б В.2.7-73.

Експериментальне зварювання труб із зовнішнім діаметром 63 мм та товщиною стінки 6 мм здійснювали традиційним способом «встик» за допомогою нагрітого до температури  $200\text{ }^\circ\text{C}$  інструменту за тиску осадження  $0,2\text{ МПа}$  протягом 60 с. Технологічна пауза 3 с. Час охолодження під тиском становив 6 хв. Для зварювання нагрітим інструментом встик використовували промислову установку САТ-1 виробництва дослідного заводу зварювального обладнання Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Після зварювання з'єднання охолоджувалося неконтрольовано до температури навколишнього середовища. На рис. 1 наведено фотографію зварного з'єднання труб, виготовлених із ПЕ-80 і ПЕ-100.

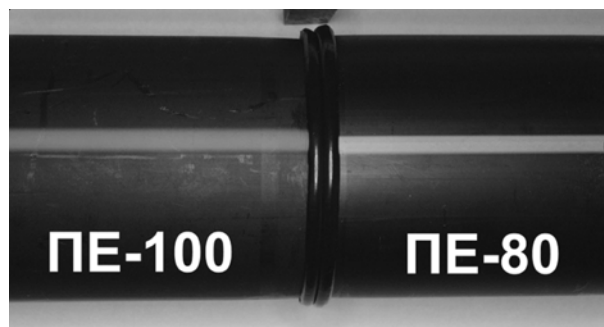


Рис. 1. Зварне з'єднання поліетиленових труб із різнотипних поліетиленів ПЕ-80 і ПЕ-100

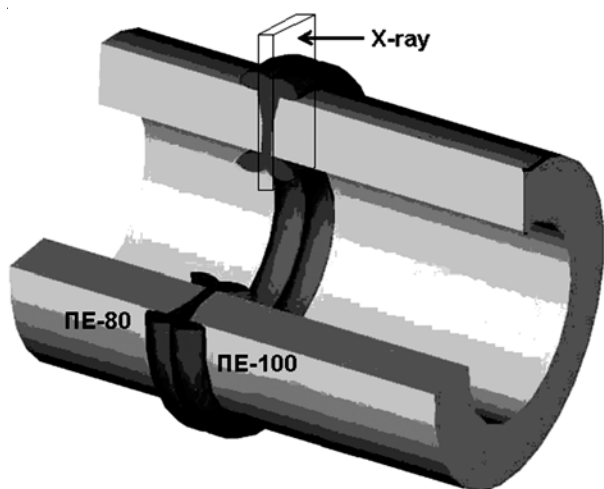


Рис. 2. Модель зварного з'єднання поліетиленових труб із різнотипних поліетиленів ПЕ-80 і ПЕ-100

Структуру поліетиленів ПЕ-80 і ПЕ-100 та зварного з'єднання на їх основі ПЕ-80/ПЕ-100 (рис. 2) досліджували методом ширококутового розсіювання рентгенівських променів (ШКРРП) за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-4-07, рентгенооптична схема якого виконана за методом Дебая–Шеррера на проходження первинного пучка через досліджуваний зразок, з використанням  $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання ( $\lambda = 0,154\text{ нм}$ ), монохроматизованого Ni-фільтром. Як джерело характеристичного рентгенівського випромінювання використовували рентгенівську трубку БСВ27Cu, яка працювала в режимі  $U = 30\text{ кВ}$ ,  $I = 30\text{ мА}$ . Дослідження виконували методом автоматичного покрокового сканування в інтервалі кутів розсіювання ( $2\theta$ ) від  $2,6$  до  $40^\circ$ , час експозиції 5 с. Температура проведення досліджень становила  $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Зразок із зварного з'єднання для дослідження його структури вирізали таким чином, як показано на рис. 2 модельного об'єкта. Структурну організацію вихідних поліетиленів ПЕ-80 і ПЕ-100 досліджували у різних напрямках, при цьому були отримані ідентичні дифрактограми.

Теплофізичні характеристики поліетиленів обох типів та їх зварних з'єднань досліджували з використанням

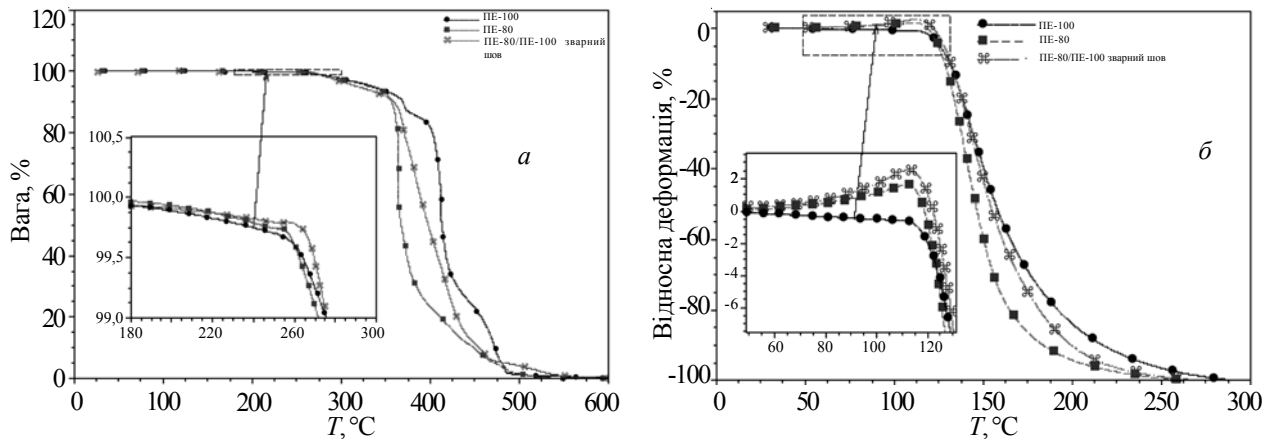


Рис. 3. Результати термогравіметричного (а) та термомеханічного (б) дослідження чистих ПЕ-80, ПЕ-100 та їх зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100

диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК) на приладі DSC Q2000 виробництва компанії TA Instruments (США), сертифікованому згідно з міжнародним стандартом ISO 9001:2000, в інертній атмосфері (азот газоподібний підвищеної чистоти ГОСТ 9293-74 за сертифікатом якості № 23 від 09.04.2012) у температурному діапазоні від 40 до 200 °С з лінійною швидкістю нагрівання 20 °С/хв. Використовували зразки вагою 6–10 мг. Для обчислення теплофізичних характеристик досліджуваних систем зразки зважували на електронних вагах ANG50C з точністю до 0,0001 г. Точність вимірювання температури становила  $\pm 0,01$  °С, теплового потоку  $\pm 0,01$  Дж/г.

Термічну стабільність і термоокиснювальну деструкцію поліетиленів обох типів та їх зварних з'єднань вивчали за допомогою приладу TGA Q50 виробництва компанії TA Instruments (США), сертифікованого згідно з міжнародним стандартом ISO 9001:2000, в атмосфері сухого повітря в температурному діапазоні від 30 до 700 °С з лінійною швидкістю нагрівання 20 °С/хв. Використовували зразки вагою 6–12 мг. Точність вимірювань температури становила  $\pm 0,01$  °С, втрати ваги  $\pm 0,0001$  мг.

Термомеханічну поведінку та деформаційні характеристики поліетиленів обох типів та їх зварних з'єднань визначали за допомогою приладу TMA Q400 EM виробництва компанії TA Instruments (США), сертифікованого згідно з міжнародним стандартом ISO 9001:2000, в атмосфері сухого повітря в режимі температурної модуляції 5 °С зі швидкістю нагрівання 10 °С/хв у температурному діапазоні від 30 до 250 °С. Вимірювання проводили у режимі термічного розширення. Використовували індентор циліндричної форми з плавленого кварцу діаметром  $2,8 \pm 0,01$  мм. Встановлене навантаження індентора на зразок ( $10^{-1}$  МПа) було сталим і підтримувалося автоматично. Точність вимірювання температури становила  $\pm 0,01$  °С, деформації  $\pm 0,01$  мкм.

Експлуатаційні характеристики поліетиленів обох типів та їх зварних з'єднань вивчали шляхом механічних випробовувань у режимі одновісного розтягування

згідно з вимогами ДБН В.2.5-41 зі швидкістю 50 мм/хв за нормальних умов на розривній машині FP-10 (Німеччина).

#### Результати досліджень та їх обговорення.

На рис. 3а наведено результати термогравіметричного дослідження зразків ПЕ-100, ПЕ-80 та їх зварного з'єднання. Видно, що в температурній області 280–500 °С крива процесу термоокиснювальної деструкції зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 міститься між відповідними кривими чистих ПЕ-80 і ПЕ-100. Така сумарна поведінка полімерів логічна і не викликає запитань. Однак в області початку термоокиснювальної деструкції матеріалів (до 280 °С) виявлено дещо підвищену термічну стабільність зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 порівняно з чистими полімерами. Як видно на вставці рис. 3а, зварне з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 має нижчі значення втрати ваги до початку деструкції та вищу (на 10 °С) температуру початку термоокиснювальної деструкції порівняно з ПЕ-80 і ПЕ-100. Така поведінка може свідчити про формування у зварному з'єднанні структури з підвищеною термічною стабільністю.

Схожа поведінка матеріалів простежується і в результатах термомеханічного дослідження (рис. 3б). Область кривої відносної деформації зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 у процесі плавлення за температури вище температури початку плавлення ( $T_n \approx 115$  °С) лежить між відповідними областями кривих чистих ПЕ-80 і ПЕ-100. При цьому в інтервалі температур 25–115 °С (до температури початку плавлення) зварне з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 має більше значення термічного розширення (вставка рис. 3б) порівняно з чистими ПЕ-80 і ПЕ-100.

З наведених даних можна зробити припущення, що в процесі нагрівання зварного з'єднання його об'єм зростає за рахунок релаксації внутрішніх напружень, які утворюються при зварюванні. У зв'язку з цим були виконані теплофізичні та структурні дослідження відповідних чистих поліетиленів та їх зварного з'єднання методами диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК) (рис. 4а) та ширококутового розсіювання

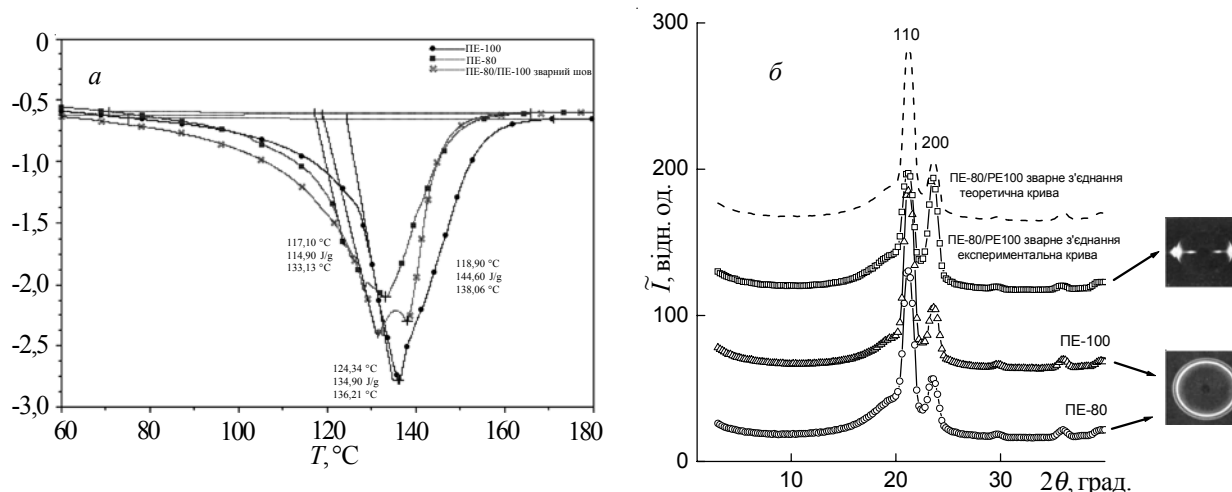


Рис. 4. Спектри ДСК (а) та ширококутові рентгенівські дифрактограми (б) чистих PE-80, PE-100 та їх зварного з'єднання PE-80/PE-100

рентгенівських променів (рис. 4б).

Для всіх зразків на кривих ДСК зафіксовано два мінімуми, які відповідають процесам плавлення кристалічної фази в об'ємі поліетиленів, при цьому наявність двох значень температури плавлення свідчить про їх полікристалічність. Перший мінімум відповідає плавленню кристалітів із температурою плавлення в межах 117–125 °С. Другий мінімум – плавленню більш термостійких і, відповідно, краще впорядкованих кристалітів із температурою плавлення в інтервалі 133–138 °С. Температуру плавлення, що відповідає процесам плавлення обох типів кристалітів, для всіх зразків наведено в табл. 1.

Схожу тенденцію виявлено і для сумарних значень ентальпії плавлення, які обчислювали за величиною площі над кривими сумарних процесів плавлення для кожного зразка, згідно з класичними рівняннями [24]. Так, у зварного з'єднання PE-80/PE-100 сумарна ентальпія плавлення найбільша серед трьох зразків. Це, ймовірно, свідчить про підвищену термічну стабільність (тугоплавкість) кристалічної фази зварного з'єднання PE-80/PE-100 порівняно з обома видами PE, що, в свою чергу, пояснюється формуванням у зварному з'єднанні більш упорядкованих кристалітів. Величини ступеня кристалічності, наведені у табл. 2, розраховували із сумарних значень ентальпії плавлення для кожного зразка за класичними рівняннями [24]. Видно, що ступінь кристалічності зварного з'єднання найвищий.

Аналіз ширококутових рентгенівських дифрактограм

зразків поліетиленів PE-80, PE-100 та зварного з'єднання PE-80/PE-100 показав, що всі вони мають аморфно-кристалічну структуру, на що вказує наявність дифракційних максимумів за  $2\theta_{max} = 21,2; 23,6; 29,7$  і  $36,7^\circ$  на фоні уявного аморфного гало з вершиною за  $2\theta_{max} \approx 21,0^\circ$  (рис. 4б).

Відносний рівень кристалічності ( $X_{кр}$ ) досліджуваних полімерних систем обчислено за методом Метьюза [25]:

$$X_{кр} = \frac{Q_{кр}}{Q_{кр} + Q_{ам}} \cdot 100,$$

де:  $Q_{кр}$  – площа дифракційних максимумів, які характеризують кристалічну структуру полімеру;  $Q_{кр} + Q_{ам}$  – площа всієї дифрактограми в інтервалі кутів розсіювання ( $2\theta_1 \div 2\theta_2$ ), в якому проявляється аморфно-кристалічна структура полімеру. Показано, що для поліетиленів обох типів ступінь кристалічності майже однаковий (PE-80 – 56 %, PE-100 – 57 %). Різні величини ступеня кристалічності, обчислені на основі ДСК- і ШКРРП, згідно з думкою авторів роботи [26], характерні для подібних досліджень і пояснюються нерівнозначними умовами проведення досліджень і станом макромолекул за кімнатної (ШКРРП) та підвищеної (ДСК) температури.

Оцінка ефективного розміру кристалітів ( $L$ ) полімерних систем, проведена за методом Шеррера [26]:

$$L = K\lambda(\beta\cos\theta_{max})^{-1},$$

де:  $K$  – стала, пов'язана з формою кристалітів (при невідомій їх формі  $K = 0,9$ ); а  $\beta$  – кутова напівширина (ширина на половині висоти) дифракційного максимуму, показала, що середнє значення  $L \approx 7,2$  нм для

Таблиця 1. Температура та ентальпія плавлення поліетиленів обох типів та їх зварного шва

Зразок	Температура плавлення ( $T_{n1}$ ), °С	Температура плавлення ( $T_{n2}$ ), °С	Ентальпія плавлення, Дж/г
PE-80	117,10	133,13	114,9
PE-100	124,34	136,21	134,9
Зварний шов PE-80/PE-100	118,90	138,06	144,6

Таблиця 2. Структурні та експлуатаційні характеристики індивідуальних поліетиленів ПЕ-80 і ПЕ-100 та їх зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100

Зразок	Ступінь кристалічності		Розмір кристалітів (L)		Міцність при розриві, МПа	Відносна міцність при розриві, %
	ДСК, %	ШКРРП, %	за $\theta_{max}=21,2^\circ$ , нм	за $2\theta_{max}=23,6^\circ$ , нм		
ПЕ-80	42	56	7,2	7,2	19,6	100
ПЕ-100	51	57	7,2	7,2	23,1	100
Зварний шов ПЕ-80/ПЕ-100	53	–	7,2*	8,0*	Розрив по основному матеріалу ПЕ-80	>100

\* – розмір кристалітів зварного з'єднання, структуру якого досліджували у напрямку, вказаному на модельному об'єкті (рис. 2), за даними ШКРРП.

ПЕ-80 і ПЕ-100 та 7,6 нм для системи ПЕ-80/ПЕ-100 (для обчислень використовували дифракційні максимуми за  $2\theta_{max} = 21,2$  і  $23,6^\circ$ ).

Для виявлення відмінностей експериментальної рентгенівської дифрактограми зразка зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 від дифрактограми механічних сумішей зразків ПЕ-80 і ПЕ-100 (за відсутності між ними взаємодії) обчислення виконували в припущенні адитивних внесків компонентів (обох типів поліетиленів) у дифракційну картину:

$$I_{a\theta} = w_1 I_1 + w_2 I_2,$$

де:  $I_1, I_2$  – інтенсивність широкутового розсіювання рентгенівських променів зразків ПЕ-80 і ПЕ-100;  $w_1, w_2$  – масові частки компонентів у системі ( $w_1 + w_2 = 1$ ). З порівняння експериментальної та розрахункової рентгенівських дифрактограм видно, що спостерігається неадитивна зміна експериментальної дифракційної кривої порівняно з теоретичною. Цей результат важливий, оскільки свідчить про існування у зварному шві ПЕ-80/ПЕ-100 взаємодії між макромолекулами поліетиленів обох типів. Із аналізу експериментальної дифракційної кривої зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 легко побачити, що його утворення підвищує кількість кристалічних площин з індексами Міллера (200) і рівень упорядкованості цих площин у кристалічній решітці ПЕВГ. Це проявляється у збільшенні інтенсивності дифракційного максимуму (200), кутове положення ( $2\theta_m$ ) якого на дифрактограмах становить  $23,6^\circ$ . І навпаки,

зменшується кількість кристалічних площин з індексами Міллера (110) і рівень упорядкованості цих площин у кристалічній решітці ПЕВГ, що супроводжується зменшенням інтенсивності дифракційного максимуму (110), кутове положення  $2\theta_m$  якого на дифрактограмах становить  $21,2^\circ$ . Фоторентгенограми цих поліетиленів були отримані в роботі [27] (рис. 4б). Обчислені значення розмірів кристалітів за окремими дифракційними максимумами для кожного зразка наведено в табл. 2. Видно, що для зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 також характерне зростання розмірів кристалітів.

#### Висновки.

Отже, в роботі наведено результати комплексного дослідження теплофізичних і структурних характеристик технічних поліетиленів (ПЕ-80 і ПЕ-100) та їх зварного з'єднання, отриманого традиційним методом зварювання пластмас нагрітим інструментом встик. Запропоновано наукове підґрунтя, що пояснює підвищену міцність зварних з'єднань порівняно з міцністю індивідуальних термопластичних полімерів. Цю особливість було виявлено раніше дослідним шляхом спеціалістами в галузі зварювання пластмас і підтверджено експериментально перед початком цих досліджень. Виявлено, що в процесі зварювання поліетиленів двох типів відбувається збільшення ступеня кристалічності та розмірів кристалітів і текстуризація полімеру у зварному з'єднанні, що приводить до підвищення його міцності й термічної стійкості.

## Література

1. Бухин В.Е., Фаттахов М.М. // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2008. – № 25. – С. 20–26.
2. Dusan Jeremic. Polyethylene. Standard Article. – Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2014.
3. Альперн В.Д. // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2002. – № 2. – С. 5–9.
4. Рыжов В., Калугина Е., Бисерова Н., Казаков Ю. // Полимерные трубы. – 2011. – 34, № 4. – С. 56–60.
5. Горюловский М. Гвоздев И. // Полимерные трубы. – 2008. – 22, № 4. – С. 47–50.
6. Рынок импорта трубного полиэтилена в Украину в 2013 году // Полимерные трубы. – 2013. – 29, № 4. – С. 18–22.
7. Vijay K. // Polymer Engineering & Sci. – 1989. – 29, № 19. – P. 1310–1324.
8. Комаров Г.В. Соединения деталей из полимерных материалов: Учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2006. – 592 с.
9. Norman Brown // Polymer Engineering & Sci. – 2007. – 47, № 4. – P. 477–480.

10. Карандашев Д. // Полимерные трубы. – 2008. – **22**, № 4. – С. 83–85.
11. Кораб Н.Г., Минеев Э.А. // Полимерные трубы. – 2007. – **2**, № 1. – С. 53–55.
12. Nonhof C. J. // Polymer Engineering & Sci. – 1996. – **36**, № 9. – P. 1184–1195.
13. Кайгородов Г.К., Каргин В.Ю. // Трубопроводы и экология. – 2001. – № 2. – С. 13–14.
14. Хеззел Дж., Лугеймер А., Цунага М. // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2006, № 18. – С. 24–27.
15. Кимельблат В.И., Волков И.В., Глухов В.В. // Полимерные трубы. – 2010. – **28**, № 2. – С. 32–36.
16. Кимельблат В.И., Волков И.В., Чупрак А.И. // Сварка и диагност. – 2012. – № 2. – С. 49–52.
17. Минеев Э.А. // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2006. – № 16. – С. 40–41.
18. Vijay K. // Polymer Engineering & Sci. – 2003. – **43**, № 9. – P. 1576–1602.
19. Min Nie, Qi Wang and ShiBing Bai // Polymer Engineering & Sci. – 2010. – **50**, № 9. – P. 1743–1750.
20. Волков И.В., Глухов В.В., Камалов А.Б., Кимельблат В.И. // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 10. – С. 600–602.
21. Lu Y., Shinozaki D. M. and Herbert S. // J. of Applied Polymer Sci. – 2002. – **86**, № 1, 3. – P. 43–52.
22. Shadrin A. Martensite-Like Transformations in Welded Joints of Semicrystalline Polymers Formation. ANTEC-92 Int. Conf. Proc., Detroit, USA, May 1-4, 1992. – Technomic Publ., Lancaster, Penn., 1992. – P. 1784–1787.
23. Grinyuk V.D., Korab G.N., Shadrin A.A. // The Paton Welding J. – 1992. – **4**, No 7–8. – P. 447–451.
24. Menczel J.D., Prime B.R. (ed.). Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications. – New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 2009. – 698 p.
25. Штомпель В.И., Керча Ю.Ю. Структура линейных полиуретанов. – К.: Наук. думка, 2008. – 248 с.
26. Kong Y., Hay J.N. // Europ. Polym. J. – 2003. – **39**. – P. 1721–1727.
26. Гинье А. Рентгенография кристаллов. Теория и практика / Пер. с англ. – М.: Физматгиз, 1961. – 604 с.
27. Лунатов Ю.С., Шилов В.В., Гомза Ю.П., Кругляк Н.Е. Рентгенографические методы исследования полимеров. – Киев: Наук. думка, 1982. – 296 с.

Надійшла до редакції 29 грудня 2014 р.

## Структурные особенности и теплофизические характеристики сварных соединений технических полиэтиленов

*А.Н. Гальчун<sup>1</sup>, Н.Г. Кораб<sup>1</sup>, В.Ю. Кондратенко<sup>1</sup>, В.Л. Демченко<sup>1,2</sup>, А.А. Шадрин<sup>1</sup>, В.В. Анистратенко<sup>1</sup>, М.В. Юрженко<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт электросварки им. Е.А. Патона НАН Украины  
11, ул. Боженко, Киев 03680, Украина

<sup>2</sup>Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины  
48, Харьковское шоссе, Киев, 02160, Украина

*Методами широкоугольного рассеяния рентгеновских лучей, дифференциальной сканирующей калориметрии и термомеханического анализа исследован комплекс структурных и теплофизических характеристик технического полиэтилена двух типов (ПЭ-80 и ПЭ-100) и их сварного соединения, полученного традиционным методом сварки пластмасс нагретым инструментом встык. Установлено, что в процессе сварки двух разнотипных полиэтиленов формируется сварное соединение, структура которого характеризуется рекристаллизацией кристаллической фазы. Показано, что прочность и термическая стабильность сварного соединения выше по сравнению с соответствующими характеристиками индивидуальных полимеров, что объясняется текстурированием кристаллической структуры разнотипных полиэтиленов в сварном соединении.*

**Ключевые слова:** полиэтилен, трубопровод, сварное соединение, структура, свойства.

## Structural features and thermal characteristics of welded joints technical polyethylenes

*A.M. Galchun<sup>1</sup>, M.G. Korab<sup>1</sup>, V.V. Kondratenko<sup>1</sup>, V.L. Demchenko<sup>1,2</sup>, A.O. Shadrin<sup>1</sup>, V.V. Anistratenko<sup>1</sup>, M.V. Iurzhenko<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine  
48, Kharkivske shose, Kyiv, 02160, Ukraine

<sup>2</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine  
11, Bozhenko str., Kyiv, 03680, Ukraine

*Using wide-angle X-rays scattering method, differential scanning calorimetry and methods of thermo-mechanical analysis some structural and thermal properties of PE-80 and PE-100 polyethylene samples and their hot tool butt welds have been investigated. It was defined that the welded joint of two dissimilar types of polyethylene the structure of which is characterized by recrystallization of the crystalline phase. It is shown that the strength and thermal stability of the welded joint material are higher comparing to these properties of the initial materials; this can be explained texturing of polyethylene microstructure in the welded joint.*

**Key words:** polyethylene, pipeline, butt weld, structure, properties.