

Н.І. Доманцевич, О.В. Шунькіна, Б.П. Яцишин

Вплив умов експлуатації на структуру та фізичні властивості полімерних матеріалів

Львівський торговельно-економічний університет, 79008, Україна, Львів, вул. Туган-Барановського, 10,
e-mail: nina.domantzevich@gmail.com; bogdan.yatsyshyn7@gmail.com

Досліджено зміни структури та фізичних властивостей полімерних матеріалів, що експлуатувались тривалий час у напірних трубах водопровідних систем при періодичній дії механічних навантажень. Встановлено значне зниження механічних характеристик таких полімерних матеріалів. За допомогою електронно-мікроскопічних досліджень визначено найбільш характерні структурні дефекти, що виникають у полімерних матеріалах при виготовленні та експлуатації.

Ключові слова: полімерні матеріали, поліетилен, механічні характеристики, структура поверхні.

Стаття постуила до редакції 21.05.2017; прийнята до друку 05.06.2017.

Вступ

Полімерні матеріали широко застосовують у сучасному будівельному інженерному обладнанні, невідпинно підвищуючи вимоги до їх техніко-фізичних та хімічних характеристик, збільшуючи терміни експлуатації з таких матеріалів. Одним із напрямків використання є полімерних матеріалів є трубопроводи та трубопровідна техніка, яку виготовляють із різних термопластичних матеріалів і їх композицій, таких як поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полібутилен, поліамід, різних видів наповнених полімерів та реактопластів тощо. Найчастіше для цих цілей, як основний матричний матеріал, вживають поліетилен високої щільності (HDPE) класів ПЕ 63, ПЕ 80, ПЕ 100 і ПЕ 100+, постійно змінюючи і підбираючи композиційні склади, залежно від потреб споживачів. Дослідження механічних характеристик полімерних зразків, призначених для використання в системах трубного водопостачання, проводять за 12 основними показниками, серед яких слід виділити визначення робочого та максимального робочого тиску, межа текучості при розтягуванні, відносне подовження при розриві, стійкість до повільного поширення тріщини, опір удару падаючого вантажу тощо.

Метою роботи було дослідження механічними характеристиками полімерних матеріалів, які використовувались у напірних трубних виробках для холодного водопостачання, а також вивчення морфології їх поверхні.

I. Експериментальна частина

Труби та інші деталі водопровідних систем виготовляли литтям під тиском із модифікованої композиції поліетиленів низького (марки ПЕ2НТ11-285Д (ПЕ 100)) і високого (марки ПЕВТ 15803-020) тиску. Застосування поліетилену низького та високого тиску було обумовлено отриманням полімерного матеріалу із високими фізико-механічними, технологічними та хімічними характеристиками. Як модифікатори використовували суміш фенольного та фосфітного антиоксидантів, відому як "Ірганокс В225FF", а також процесінгову добавку "Dunamar FX 5911", технічний вуглець (сажу) та фарбувальні пігменти.

Стійкість при постійному внутрішньому тиску визначали згідно ГОСТ 24157-80 на трьох пробах, із кожної проби виготовляли по одному зразку. Випробування проводили у ванні з водою із заданою температурою на зразках, на кінцях яких встановлено заглушки і середину яких було заповнено водою при тиску. Результати випробувань вважались задовільними, якщо усі зразки не зазнали руйнувань протягом контрольного часу випробувань у 100 год.

Межу текучості при розтягуванні та відносне подовження при розриванні визначали на попередньо виготовлених п'яти зразках-лопатках, тип яких обирали залежно від значення номінальної товщини стінки та зовнішнього номінального діаметра труби,

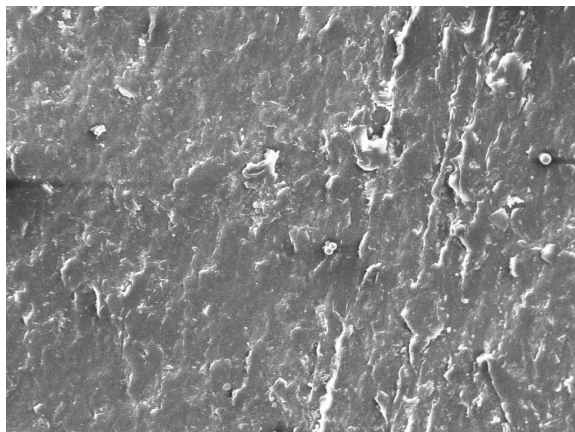


Рис. 1. Структура поверхні вихідного зразка із модифікованого термостабілізатором (7 ваг. %) поліетилену PE2HT11-285Д (X500).

згідно ГОСТ 26277. Дослідження проводили з використанням розривної машини типу 2054 Р-5.

Дослідження мікроструктури поверхні вихідних та підданих старінню зразків труб проводилися на скануючому електронному мікроскопі EVO 40XVP з високою роздільною здатністю із збільшенням 200-20000 раз. Для забезпечення контрастності зразки підлягали попередній іонній очистці на приладі ВУП-4, де проводилося наплення алюмінію для забезпечення стоку зарядів.

II. Результати

Результати дослідження показника стійкості при постійному внутрішньому тиску першопочатково на трубах, виготовлених по 12 варіантах композицій із поліетилену з модифікуючими добавками, та лише на 5 варіантах цих труб, які були в експлуатації протягом 6 років.

Найбільшу стійкість при постійному внутрішньому тиску виявили труби виготовлені із композиції, в яку входив ПЕВТ 15803-020 (від 12 до 16 ваг.%), а добавки Ірганоксу В225FF та Дунатар FX 5911 – 1,0 (до 2ваг.%) ще трішки збільшували

показники стійкості виробів, величина яких зросла у межах 8 - 10 % порівняно з нормативними. Згідно вимог ДСТУ Б.В.2.7.151-2008 стійкість труб із поліетилену за температури 293 К при постійному внутрішньому тиску води 0,988 МПа і початковому напруженні в стінці зразка 12,4 МПа повинна бути не менше 100 год. При руйнуванні таких труб на їх поверхні з'являлась низка тріщин, які спричиняли поступове падіння тиску всередині випробуваних зразків. Вихідні зразки поліетиленових труб характеризувались високими значеннями межа текучості при розтягуванні $\sigma_{рт}$ (від 26 МПа для PE2HT11-285Д до 33 МПа для композиційного поліетилену) та відносного подовження при розриванні E_{pp} (до 900 %), причому модифіковані зразки мали дещо кращі показники. Структура поверхні таких зразків була рівнішою, із меншою кількістю дефектів у вигляді тріщин та каверн, проте у модифікованих зразках із збільшеною кількістю процесінгових додатків, термостабілізаторів та пластифікатора спостерігали виділення на поверхні у вигляді кульок (рис. 1).

У зразках, які експлуатувались, не виявили видимих дефектів поверхні або механічних пошкоджень. Проте внутрішня поверхні труб були покриті осадам, склад якого збігався із складом води, що транспортувалась (рис. 2) [1].

Значення показника стійкості проконтрольованих зразків, що експлуатувались тривалий час, відчутно зменшилось і становило менше 80 год. І лише зразки із модифікованого композиційного поліетилену перевищували нормативні величини по стійкості. Характерною рисою руйнування таких зразків при дослідженнях на стійкість був напрямок поширення тріщин – обов'язково вздовж зразка. Експлуатація протягом року поліетиленових труб, виготовлених із PE2HT11-285Д, виявила незначне зниження механічних характеристик – $\sigma_{рт}$ не перевищувало 25,3 МПа, а E_{pp} фіксувалось на рівні 930 – 970 %. У таких зразках методами електронної мікроскопії було виявлено зростання кристалічності на їх поверхні, відповідно збільшилась кількість дефектів у вигляді пор та кристалічних нашарувань. Розміри таких утворень теж зросли. Так ширина тріщин збільшилась від 1 мкм до 2 мкм, а діаметр пор – від

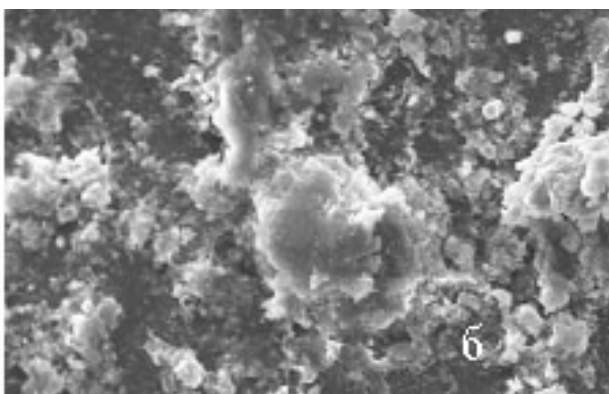
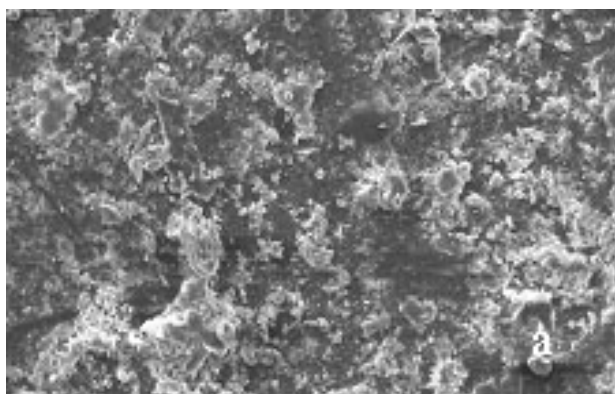


Рис. 2. Осад на внутрішній поверхні стінки полімерної труби (матеріал – PE2HT11-285Д із термостабілізатором), що експлуатувалась протягом 6 років у водопостачальних мережах (а – X500; б – X2000).

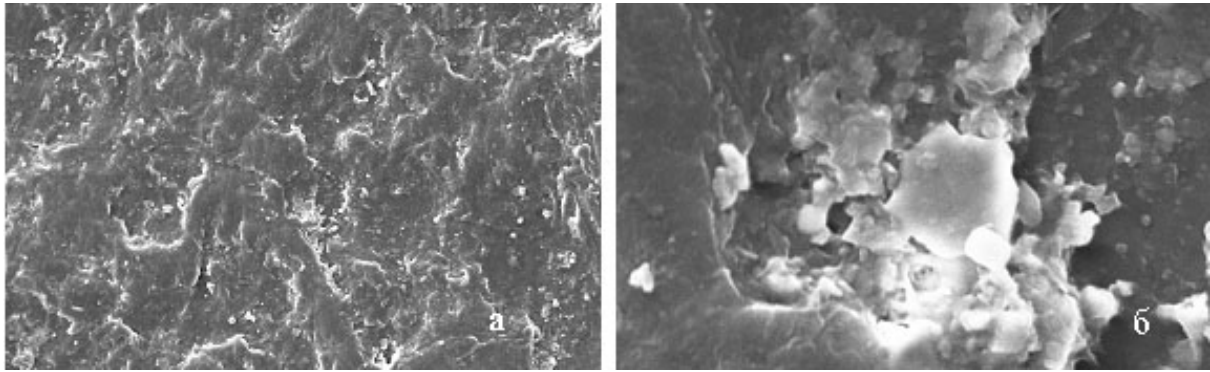


Рис. 3. Збільшення дефектності поверхні труби із модифікованого поліетиленового матеріалу (ПЕ2НТ11-285Д + 7 ваг. % термостабілізатора), що експлуатувалась протягом 1 року: а – Х500; б - Х5000

0,5 мкм до 1 - 1,5 мкм, порівняно із свіжоприготованими зразками (рис. 3).

Наступна експлуатація труб із модифікованого ПЕ2НТ11-285Д не приводила до подальшого погіршення механічних характеристик, проте морфологія поверхні таких зразків стала більш рельєфна, зароджуються тріщини на межі розділу фаз, що збільшуються в розмірах та конгломеруються, pojawiaються пори, об'єднання яких може призвести до розривів матричного матеріалу, на поверхні деяких ділянок коло пор витісняються модифікатори та барвники (рис. 4).

Найбільш стійкими та витривалими до умов експлуатації виявились труби із модифікованого композитного поліетилену, в склад якого входили ПЕ2НТ11-285Д та ПЕВТ 15803-020, антиоксиданти, пігменти та процесінгові добавки. Матеріал таких труб мав найвищі показники механічних характеристик, поверхня була більш рівніша, з меншою кількістю дефектів (рис. 5).

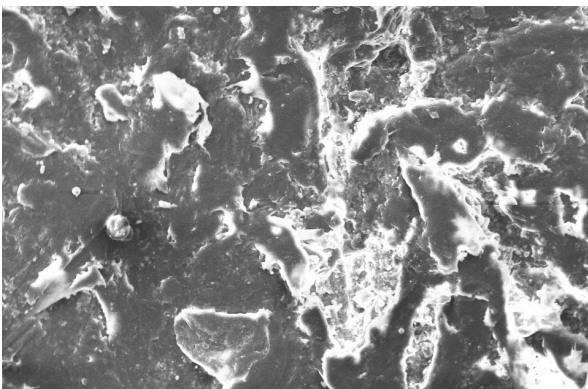


Рис. 4. Структура поверхні труби із поліетилену ПЕ2НТ11-285Д + 7 ваг. % термостабілізатора, що перебувала в експлуатації протягом 6 років (Х500).

III. Обговорення

Отримані результати досліджень механічних характеристик поліетиленових труб для холодного водопостачання незначно відрізняються від отриманих іншими дослідниками [2, 3]. Основні відмінності у показниках носять експериментальний

характер та є на рівні помилки досліджень. Модифікація матеріалів, часткова зміна їх складу приводить до відмінностей у фізико-механічних характеристиках матеріалів, які підсилюються по мірі складського старіння та експлуатації виробів. Тому важливим є виявити напрямки проходження старіння та передбачити вже на ранній стадії життєвого циклу виробу його поведінку в тривалій експлуатації при навантаженні. Для запобігання такої дефектності використовують поліетилен, який є високопластичним матеріалом, здатним чинити опір достатньо великим деформаціям, не втрачаючи своєї роботоздатності. Проте в певних умовах експлуатації таких як низькі температури раптові ударні навантаження, деформації зсуву, поліетилен може ставати крихким [4, 5]. Крім цього, використання труб для гарячого та холодного водопостачання, каналізаційних мереж, газопостачання виявило небажану для споживача тенденцію у змінах властивостей будь-якого трубного матеріалу – можливість появи дефектів, що отримали назву “швидке розповсюдження тріщин” [6]. Тому однією з головних характеристик, які визначають якість поліетиленової композиції для виробництва труб, є показник “стійкість до швидкого поширення тріщин”.

Дослідженнями встановлено, модифікований композитний поліетилен найбільш вдало підходить як матеріал трубних водогонів, виявляючи високі характеристики з стійкості при постійному внутрішньому тиску та ударним навантаженням падаючого вантажу. Такий матеріал менше підлягає структурним змінам, зберігає початковий фазний склад, незначна ступінь кристалізації при старінні, відповідно характеризуються поверхневою структурою із незначною кількістю дефектів. Незначні добавки модифікатора не спричиняють погіршення споживчих та санітарно-гігієнічних показників транспортованої води [1]. Звичайно, що технологія виготовлення таких труб теж вимагає певного удосконалення, оскільки виникнення багатьох початкових дефектів можна віднести до технологічних недоліків виготовлення (невідповідна температура головки екструдера, недостатня кількість пластифікаторів) [7]. В майбутньому такі місця при експлуатації та старінні стають областями концентрації напружень, які посилюються з-за

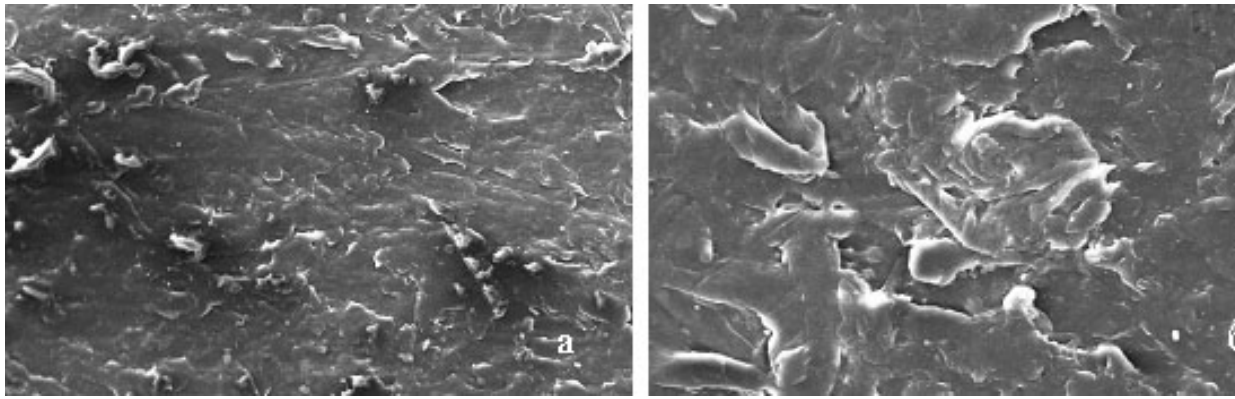


Рис. 5. Видгляд поверхні труби із модифікованого композитного поліетилену після 6 років експлуатації (а – X 500; б – X 1000).

термоокислювальної та механічної деструкції, гідролізу, що приводить до послаблення механічних характеристик матеріалу. Проте, проведені дослідження на матеріалах труб, виготовлених із поліетилену високого та низького тиску, що перебували в експлуатації до 15 років, виявили цікаву закономірність у зміні механічних характеристик – підвищення показників з межі текучості при розтягуванні у перші п'ять років та пониження їх значень при подальшій експлуатації [8]. Зрозуміло, що такі зростання механічних показників пов'язано із збільшенням кристалічності поліетилену у перші роки експлуатації. При наступній експлуатації ці показники знижуються з-за зростання дефектності основи по лінії розділу аморфна-кристалічна фаза. Такі процеси не носили для трубних виробів катастрофічних наслідків, оскільки використовувались для іригаційних робіт, де не застосовувались додаткові механічні навантаження, як при монтуванні, так і в процесі експлуатації.

Структура поверхні композитних поліетиленових матеріалів, у яких присутні модифікуючі добавки та домішки, не підпадає особливим змінам навіть при додаткових ударних експлуатаційних навантаженнях, а їх механічні характеристики мають задовільні значення тривалий час. Таким чином, встановлено, що використання модифікованого композитного поліетилену для виготовлення труб для холодного водопостачання сприяє довготривалій стабілізації механічних характеристик матеріалу.

Доманцевич Н.І. - професор, доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та технологій непродовольчих товарів;
Шунькіна О.В. - кандидат технічних наук, асистент кафедри товарознавства та технологій непродовольчих товарів;
Яцишин Б.П. - професор, доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та технологій непродовольчих товарів.

- [1] Н.І. Доманцевич, О.В. Шунькіна, Б.П. Яцишин, Вісник Хмельницького національного університету 221(1), 269 (2015).
- [2] С.А. Курта, В.С. Курганський, Хімія і технологія високомолекулярних сполук (Плай, ІваноФранківськ, 2010).
- [3] NEPROPLAST HDPE Pipes for Water, Gas & Sewage Systems. Інформаційний ресурс: www.neproplast.com; www.namat.com).
- [4] В.Е. Гуль, Структура и прочность полимеров (Химия, Москва, 1971).
- [5] И. Нарисова, Прочность полимерных материалов (Химия, Москва, 1987).
- [6] М. Сезонов, Полимерные трубы 5(4), 32 (2007).
- [7] W. Baranowski, P. Palutkiewicz, K. Werner, Polymery 60(1), 66 (2015).
- [8] A.M. Ollick, A.M. Al-Amri. Інформаційний ресурс: www.kfu.edu.sa/en/Deans/Research/Documents/1010.pdf

Н.І. Доманцевич, О.В. Шунькіна, Б.П. Яцишин

N.I. Domantsevych, O.V. Shunkina, B.P. Yatsyshyn

Influence of Operating Conditions on Structure and Physical Properties of Polymeric Materials

*Lviv University of Trade and Economics, 79008, Ukraine, Lviv, Tugan-Baranjwsky str. 10, e-mail:
nina.domantzevich@gmail.com; bogdan.yatsyshyn7@gmail.com*

The changes of structure and physical properties of polymeric materials that exploited in a long time with complex mechanical loads used in pipe systems for high-pressure cold water, have been studied. Established a significant reduction in mechanical properties of polymeric materials. The most typical structural defects that occur in polymer materials during manufacture and in the exploitations, using electron microscopic studies identified.

Keywords: polymers, polyethylene, mechanical properties, surface structure.