

Шунькіна О. В.,

к.т.н., асистент кафедри товарознавства та технології непродовольчих товарів, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

ВПЛИВ ЕТАПІВ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІОЛЕФІНІВ НА ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ ІЗ НИХ

Анотація. Розглянуто етапи виготовлення полімерних труб та їхній вплив на формування якості виробу. Проаналізовано вагомість вибору режимів переробки сировини. Виділено основні напрями дослідження та удосконалення етапів виготовлення полімерних труб. Обґрунтовано можливість істотного підвищення обсягів виготовлення полімерних труб за рахунок інтенсифікації процесу охолодження за допомогою застосування разом із зовнішнім охолодженням внутрішнього. Розкрито значення математичного моделювання процесу охолодження, яке дозволяє на основі числового моделювання здійснювати обґрунтований вибір параметрів обладнання і режимів охолодження, які забезпечують відповідну інтенсивність охолодження та якість труб.

Ключові слова: етапи виготовлення, полімерні труби, екструзія, процес охолодження, математичне моделювання.

Shunkina O. V.,

Ph.D., Teaching Assistant of the Department of Commodity Research and Technologies of Non-food Products, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

INFLUENCE OF STAGES OF POLYOLEFINS PROCESSING ON FORMING THE POLYMERIC PIPES PROPERTIES MADE OF THEM

Abstract. The stages of polymeric pipes production and their influence on the formation of the product quality have been examined. The importance of the choice of raw materials processing modes was analyzed. Main directions of research and improvement of stages of polymeric pipes production are outlined. The possibility of significant increase of polymeric pipes production due to the cooling process intensification through the use of external and internal cooling was grounded. The importance of cooling process mathematical modeling, which allows on the basis of numerical modeling to carry out a reasonable choice of parameters of the equipment and cooling modes, which ensure the appropriate intensity of cooling and the quality of the pipes, was revealed.

Keywords: stages of production, polymeric pipes, extrusion, cooling process, mathematical modeling.

Постановка проблеми. Одним із вагомих чинників впливу на формування якості труб із полімерних матеріалів є конструктивні особливості технологічного обладнання та режими переробки сировини.

Для вибору технологічних режимів процесу переробки необхідно попередньо провести дослідження сировини та здійснити технологічні розрахунки.

Однак за сучасних умов трубного виробництва технологи не завжди обґрунтовано обирають трубну сировину для раціонального її використання. Також застосування старого, немодернізованого устаткування, недостатньо повна оцінка показників якості сировини призводять до погіршення якості полімерних труб та збільшення відсотка дефектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні багато науковців проводять дослідження та удосконалюють устаткування, процес екструзії труб з метою поліпшення якості виробу, підвищення

продуктивності лінії та здешевлення собівартості виготовленої продукції.

Наприклад, В. І. Кімелъблат та ін. у результаті власних досліджень рекомендують знижувати температуру розплаву в формуючій частині головки екструдера, що забезпечить гальмування термоокислювальних процесів і збереження форми екструдата в процесі і після калібрування по зовнішньому діаметру. Прогноз дефектів товстостінних труб повинен виконуватися із залученням додаткової інформації, наприклад, даних віскозиметрії за дуже низьких швидкостей зсуву, а також релаксаційних вимірювань [1]. Також автор акцентує на необхідності додаткових досліджень щодо термоокислення та термомеханічної деструкції полімеру, особливо під час виготовлення товстостінних труб, оскільки час перебування матеріалу за температури переробки зростає із збільшенням розмірів труб.

Вітчизняні науковці В. Т. Вознюк та І. О. Мікульонюк запропонували дискретну систему охолодження

двошарових гофрованих полімерних труб, яка дає можливість скоротити витрати охолодної води майже на 50% і зменшити довжину зони охолодження на 10% порівняно з неперервним водяним охолодженням. Також застосування такої системи охолодження дає змогу поліпшити якість труби (за рахунок зменшення залишкових напружень у її стінці). Застосування числового експерименту надає можливість визначати раціональні довжини повітряних ділянок і зон водяного зрошення на кожному етапі охолодження екструдованої труби певного типорозміру і знизити водночас ресурсо- і енерговитрати [2].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу кожного етапу екструзії полімерних труб на формування їх властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Споживчі властивості труб із полімерних матеріалів для систем водопостачання значною мірою залежать від низки чинників, серед яких вагоме місце займають походження та властивості використаних сировинних матеріалів.

Вибір та поєднання сировинних матеріалів у кінцевому продукті – полімерних трубах, обумовлює важливі експлуатаційні характеристики, які визначають їх переваги, а саме: високу пропускну здатність води (за рахунок гладкості внутрішньої поверхні та відповідно використання нижчого гідростатичного тиску), стійкість до кислих і лужних середовищ, легкість і гнучкість, низьку теплопровідність, стійкість до забруднення внутрішньої поверхні, зручність та економічність монтажу, тривалий термін експлуатації [3].

Процес виробництва труб із полімерних матеріалів технологічно достатньо простий, відносно нетрудомісткий, енергетично малозатратний та екологічно нешкідливий, а мінімальна площа, необхідна для обладнання та експлуатації однієї комплектної лінії, складає близько 100 м².

Основною технологією виробництва труб із полімерних матеріалів є безперервна шнекова екструзія.

Процес одержання профільованих виробів великої довжини під час екструзії здійснюється неперервним продавлюванням термопластичного матеріалу через формувальну головку [4]. Технологічний процес виготовлення труб із полімерних матеріалів складається з таких стадій: підготовка сировини (сушіння), формування труби екструзією, охолодження труби, механічна обробка виробу. Сучасна екструзійна лінія охоплює такі вузли: завантажувальну лійку, гравіметричну вагу, пристрій для нагрівання й охолодження полімеру, формувальну головку, калібратор та інші [5].

Вихідною умовою технологічного процесу переробки способом екструзії є здатність ПЕ за певних температур і під впливом значних напружень зсуву змінювати свою форму, безперервно спричиняючи залишкову деформацію, а за менших напружень і температур – зберігати свою форму і розміри, виявляючи тільки пружні, цілком оборотні деформації. Складність перебігу процесу екструзії полягає в

тому, що він відбувається за температури плавлення поліетилену, а іноді навіть за більш високої температури, під впливом якої різко знижується в'язкість полімеру. Тому труба на виході з головки екструдера не володіє достатньою формостійкістю, і для її кінцевого формування необхідні спеціальні додаткові пристрої [6]. Перевага процесу безперервної шнекової екструзії полягає в тому, що він забезпечує безперервність процесу, стабільність його режимів, високу продуктивність, економічність, універсальність, легкість регулювання та можливість автоматизації технологічного процесу, а отже, досягнення високої якості виробів [5].

У виробництві тонкостінних труб використовують екструдери з осьовим переміщенням шнеків, що дозволяє регулювати проміжок між наконечником шнека та трубною головкою. У лініях для виробництва багатошарових труб діаметром понад 1000 мм із товщиною стінки понад 25 мм іноді застосовують високопродуктивні двошнекові екструдери.

На початку екструзійної лінії рекомендується встановлювати сушильний пристрій для видалення залишкової вологи з поверхні гранул полімеру. Водночас забезпечується постійна температура вихідної сировини. Гранули сировини засипаються у бункер екструдера, що виглядає як гвинтоподібний шнек, який обертається із заданою швидкістю всередині робочого циліндра. Уздовж всього циліндра встановлено кілька нагрівачів кільцевого типу, кожен із яких регулюється індивідуально, та декілька датчиків температури. Зазвичай у кожній зоні нагріву змонтовано охолоджувальний пристрій, що підвищує точність регулювання і контролю температури розплаву в циліндрі. Розплав гранул ПЕ і формування труби відбуваються за температури близько 473 К та тиску 200 бар. Продуктивність сучасних ліній сягає 900-1100 кг/год гранул ПЕ [4].

У сучасних екструдерах для якісного перемішування вихідної сировини застосовують шнеки з бар'єрною зоною. В одношнековому екструдері рух матеріалу в зоні живлення відбувається за рахунок сил тертя між полімерною масою, стінкою циліндра і шнеком. Екструзійна головка може бути у вигляді єдиного блоку, що має фланець для кріплення до робочого циліндра і складається з корпусу, розсікача, дорнотримача і власне матриці, яка центрується щодо дорна регульовальними болтами для забезпечення рівної товщини стінки труби по діаметру. Тиск у головці в процесі екструзії становить для ПЕВТ 7,5-11 МПа, для ПЕНТ – 9-13 МПа.

Для кожних окремих сировинних матеріалів, геометричних розмірів труби, обладнання, підбирають технологічні параметри проведення процесу екструзії з метою отримання труб із необхідними споживчими властивостями.

Для забезпечення заданого зовнішнього та внутрішнього діаметрів труби використовують процес калібрування. Відповідно до вимог нормативних документів відхилення у діаметрі труб можуть коливатися у межах кількох десятих міліметра. Внутрішній діаметр труби калібрує додатковий пристрій (дорн), який одночасно її охолоджує.

Калібрування проводять під тиском, який вибирають залежно від діаметра труби, товщини її стінки, а також від властивостей полімерів і температури розплаву. Водночас слід враховувати, що за низького тиску погіршується зовнішній вигляд труб, а за надмірно великого – знижується міцність внаслідок зростання коефіцієнта тертя й утворення мікротріщин.

Повільне охолодження труб із полімерних матеріалів дає змогу звести до мінімуму залишкову напруженість і нерівномірність усадки, утворення мікротріщин. Охолоджуючими ділянками під час виготовлення труб є водяні ванни або камери, кількість яких встановлюють залежно від діаметра та товщини стінки труби. Подальше охолодження труби може бути однобічним зовнішнім або із застосуванням внутрішнього охолодження. Зовнішнє охолодження здійснюють в охолоджуючих ваннах зануренням у шар води або розпиленням води на поверхню труби. Зануренням у шар води охолоджують труби малого діаметра.

Тягнучий пристрій екструдера дає можливість формувати задану товщину стінки труби, оскільки допустимі відхилення не повинні перевищувати 0,4-0,5 мм. Зусилля притиску для різних діаметрів труб регулюється механічно, шляхом зміни відстані у тягнучому пристрої. Використання автоматичної системи управління синхронізує дії двигунів, які витягують охолоджену трубу, та екструдера, що формує рукав і дає можливість отримати задані властивості.

Після охолодження труби на її поверхню наноситься маркування, що містить інформацію про виробника, сферу застосування труби, вимірні характеристики, дату виготовлення тощо. Маркування здійснюється тисненням за допомогою вимірювально-маркувального пристрою.

Завершує виготовлення труби ріжучий пристрій у вигляді циркуляційної пили або лазера, який відрізає задану довжину. Якщо діаметр труби не перевищує 110 мм, то вона намотується у бухту, за більшого розміру – ріжеться на відрізки із заданими параметрами.

Залежно від діаметра труби та продуктивності технологічної лінії, а також типу вихідної полімерної композиції застосовують екструдери, що відрізняються як за типорозміром, так і за конструктивними особливостями. Для труб великого діаметра (понад 800 мм) або багатошарових труб із полімерних матеріалів застосовується метод співекструзії, тобто розплав полімеру подається у формуючу головку з двох або більше екструдерів великої продуктивності. Під час виготовлення багатошарових труб використовується спеціальна співекструзійна головка. У лінії екструзії разом із одношарковими або двошарковими екструдерами застосовуються додаткові співекструдери, які є рухомими та гнучкими в монтажі й дозволяють змінювати властивості отриманих виробів.

Конструкції формуючих головок екструдера повинні забезпечувати рівномірний рух розплаву периметром головки, плавний перехід від однієї

ділянки каналу до іншої, рівномірне нагрівання розплаву на всьому периметрі, відсутність застійних зон, форму каналу відповідно до форми труб.

Важливою складовою екструзійної лінії є гравіметрична вага, яку фахівці з виробництва труб рекомендують застосовувати для випуску труб діаметром понад 160 мм. Такий пристрій забезпечує строге дозування кількості вихідної сировини, необхідної для виготовлення одного погонного метра труби заданого діаметра.

Формування властивостей та відповідної якості труб із полімерних матеріалів залежить також від режимів переробки сировини – температури, тиску, швидкості течії й швидкості витяжки розплаву.

Підвищення температури супроводжується зростанням тривалості технологічного циклу, оскільки потрібно більше часу для охолодження та стабілізації усадки.

Полімерні матеріали переробляються в досить широкому діапазоні температур. Для підвищення продуктивності процесу екструзії рекомендується знижувати температуру розплаву. Чим вища температура полімерної маси, тим більше буде потрібно відвести тепла від профілю труби і подовжити шлях калібрування й охолодження. Різке охолодження профілів труби складної форми не бажане, оскільки це викликає їх викривлення. ПЕНТ, ПТР якого становить 0,2-0,5 г/10 хв, екструдують за температур розплаву 463-468 К, тоді як для ПЕ з ПТР = 0,6-1,5 г/10 хв температура екструзії на 10-15 К нижча. ПЕВТ екструдують за температур 423-443 К. Із збільшенням температури якість поверхні труби поліпшується, адже набуває глянцевого вигляду. Вибір температури екструзії залежить від конструкції екструдера, технологічної оснастки, форми профілю екструзії та реологічних властивостей марки ПЕ.

Підвищення тиску спричиняє орієнтацію напружень у трубі в напрямку тиску (течії), що призводить до зростання анізотропії механічних властивостей, зменшення стійкості до розтріскування і зниження температури її короблення [7-9].

Режим екструзії для конкретних марок полімерних матеріалів підбирається під час налагодження технологічного процесу.

Підібрані параметри виробництва труб із полімерних матеріалів дозволяють отримувати низьку шорсткість внутрішньої поверхні труб, а поєднання цієї характеристики з високою водовідштовхувальною властивістю ПЕ забезпечує незначне тертя між ридиною, що протікає, і поверхнею труб [10].

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Вивченню впливу технологічних факторів отримання та переробки на властивості полімерних виробів присвячено значну кількість досліджень. Водночас роль технологічних параметрів отримання виробів із полімерних композицій у формуванні експлуатаційних властивостей і структури полімерних виробів досліджена недостатньо цілісно.

Сучасний рівень розвитку технологій приготування розплаву й формування трубної заготовки дає

змогу підвищити продуктивність екструзійного обладнання до декількох тон за годину. Однак одним із головних завдань підприємств, які займаються випуском труб, є досягнення стабільності екструзії виробів, котрі відповідають нормам за геометричними показниками, з мінімально допустимими відхиленнями, що забезпечить економію сировини. Ще одним завданням є ліквідація дефектів зовнішнього виду, часто обумовлених високоеластичним зривом течії розплаву. Також значну увагу приділяють удосконаленню стадії охолодження полімерних труб.

Стадії калібрування й охолодження не забезпечують достатню інтенсивність відведення теплоти зі стінки трубної заготовки, що не гарантує її цілісність і якість за визначеної швидкості руху. У майбутньому істотне підвищення обсягів виготовлення полімерних труб можливе лише за рахунок інтенсифікації процесу охолодження за допомогою застосування разом із зовнішнім охолодження внутрішнього. Процес двобічного охолодження є достатньо ефективним, проте його впровадження пов'язане зі складністю визначення режимів роботи обладнання і параметрів охолоджувальних пристроїв. Для вирішення цього завдання важливе значення має математичне моделювання процесу охолодження, яке дозволяє на основі числового моделювання здійснювати обґрунтований вибір параметрів обладнання і режимів охолодження, що забезпечують відповідну інтенсивність охолодження та якість труб. Числове моделювання сприяє також істотному скороченню обсягу експериментальних досліджень і зменшенню вартості проектних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Реология полиэтиленов и экструзия труб / [И. В. Волков, В. В. Битт, Е. В. Калугина и др.] // Полимерные трубы. – 2014. – № 4 (46). – С. 46-50.
2. Вознюк В. Т. Підвищення ефективності охолодження гофрованих полімерних труб / В. Т. Вознюк, Ю. О. Кравченко, І. О. Мікульонок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 8 (53). – Т. 5. – С. 46-50.
3. Вознюк В. Т. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб : монографія / В. Т. Вознюк, І. О. Мікульонок. – К. : НТУУ “КПІ”, 2012. – 142 с.
4. Крупак І. М. Інженерні мережі з полімерів : посібник / І. М. Крупак. – Львів : ЕКОінформ, 2008. – 372 с.
5. Производство изделий из полимерных материалов / В. К. Крыжанковский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – СПб. : Профессия, 2004. – 464 с.
6. Полиэтилены трубных марок. Структура и свойства / В. Рыжов, Е. Калугина, Н. Бисерова, Ю. Казаков // Полимерные трубы. Украина. – 2011. – № 4. – С. 34-38.

7. Пахаренко В. О. Пластмаси в будівництві : підручник / В. О. Пахаренко, В. В. Пахаренко, Р. А. Яковлева. – К. : Ліра-К, 2012. – 352 с.

8. Вознюк В. Т. Основні шляхи підвищення ефективності виготовлення полімерних труб [Електронний ресурс] / В. Т. Вознюк, І. О. Мікульонок, Є. Ю. Виноградов. – Режим доступу: <http://chemengine.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/07/214.pdf>.

9. Готовко Н. Анализ работы современного одношнекового экструдера / Н. Готовко, В. Швабауэр // Полимерные трубы. – 2008. – № 4 (9). – С. 33-36.

10. Суберляк О. В. Технологія виробництва виробів із пластмас і композитів / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – К., 1995. – 164 с.

REFERENCES

1. Volkov, I.V. Bitt, V.V. Kalugina, E.V. Krjukov, A.N. and Kimel'blat, V.I. (2014), “The rheology of polyethylenes and extrusion of pipes”, *Polimernye truby*, vol. 4 (46), pp. 46-50.
2. Vozniuk, T.V. Kravchenko, Yu.O. and Mikul'onok, I.O. (2011), “Improved cooling corrugated plastic pipes”, *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tekhnolohij*, vol. 5, no. 8 (53), pp. 46-50.
3. Vozniuk, T.V. and Mikul'onok, I.O. (2012), *Intensyfikatsiia protsesu vyhotovlennia ekstrudovanykh polimernykh trub* [The intensification of the process of manufacturing extruded polymer pipes], NTUU “KPI”, Kyiv.
4. Krupak, I.M. (2008), *Inzhenerni merezhi z polimeriv* [Utilities polymer], EKOinform, Lviv.
5. Kryzhankovskij, V.K. Kerber, M.L. Burlov, V.V. and Panimatchenko, A.D. (2004), *Proizvodstvo izdelij iz polimernykh materialov* [Manufacture of polymeric materials], Professija, Saint Petersburg.
6. Ryzhov, V. Kalugina, E. Biserova, N. and Kazakov, Ju. (2011), “Polyethylene pipe grades. Structure and Properties”, *Polimernye truby. Ukraina*, vol. 4, pp. 34-38.
7. Paharenko, V.O. Paharenko, V.V. and Jakovleva, R.A. (2012), *Plastmasi v budivnictvi* [Plastics in Construction], Lira-K, Kyiv.
8. Vozniuk, V.T. Mikul'onok, I.O. and Vynogradov, Ye.Yu. *Osnovni shliakhy pidvyschennia efektyvnosti vyhotovlennia polimernykh trub* [The main ways to improve the production of polymeric pipes], available at: <http://chemengine.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/07/214.pdf>.
9. Gotovko, N. and Shvabaujer, V. (2008), “Analysis of the modern single-screw extruder”, *Polimernye truby*, vol. 4 (9), pp. 33-36.
10. Suberliak, O.V. and Bashtannyk, P.I. (1995), *Tekhnolohiia vyrobnytstva vyrobiv iz plastmas i kompozytiv* [Production technology of plastic and composites], Kyiv.