

УДК 621.384.3:621.791:615.462-036
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/27>

Таланюк В.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шадрін А.О.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Юрженко М.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ МІКРОСТРУКТУРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ БІОПОЛІМЕРУ ПГБ

Полімери, зокрема біополімери, здобувають все більш широке використання в різноманітних галузях народного господарства, а останнім часом біополімери в багатьох областях практичного застосування замінюють традиційні полімери. Проблема переробки полімерних матеріалів також може бути розв'язана шляхом проектування виробів, яке полегшуватиме їх подальшу переробку.

Проектування і вибір матеріалів мають бути реалізовані з урахуванням кінцевого етапу їх циклу життя. Тобто шляхом вказання способу розпаду, рециркулювання або утилізації. Пластмаси дозволяють створювати різноманітні форми упаковок, мають більші захисні властивості, ніж традиційні пакувальні матеріали.

Біополімери – високомолекулярні природні з'єднання, що є структурною основою всіх живих організмів і грають визначальну роль у процесах життєдіяльності.

Природні полімери, або біополімери, були розглянуті в 1940-х роках. Генрі Форд використовував ці біополімери в будівництві автомобіля. Але з відкриттям нафтохімічних полімерів їхня низька вартість замінила натуральні матеріали. Сьогодні ми стикаємося з іншою проблемою. Екологічне тиск відштовхує синтетичні або нафто-хімічно отримані продукти, в той час як економічні фактори тягнуть їх назад. Цей факт виходить з екологічно безпечних досліджень матеріалів і виробів, властивості яких виконують екологічні та економічні вимоги.

Найбільш досліджений та широко розповсюджений представник ПГА – це полігідроксібутират (ПГБ), у структурі якого радикал R являє собою метил CH_3 , а довжина вуглецевого ланцюжка мономера становить С3. Продукують ПГБ різні без'ядерні одноклітинні мікроорганізми – прокаріоти. Максимальні концентрації ПГБ для деяких видів бактерій можуть становити до 80-85% ваги.

Наявність полімеру ПГБ в клітинах дозволяє мікроорганізмам переносити несприятливі умови зростання. Бактерії розміщуються на сировині, збагаченій вуглецем, а можливості їх росту спеціально обмежуються за допомогою азоту. У цих умовах клітини за допомогою ферментів починають активно засвоювати вуглець, синтезуючи ПГБ в якості запасів енергетичного матеріалу.

Під час формування зразків відбувається перерозподіл кристалічної фази в полімері з утворенням внутрішніх напружень. Під час другого нагріву напруження релаксують – теплофізична крива зразка стає подібною до теплофізичної кривої порошку. Таким чином, ми визначали умови формування та післяформовочної обробки зразків.

Ключові слова: полімери, біополімери, ПГБ, біодеструкція, зварювання, теплофізична характеристика.

Постановка проблеми. Полімери, зокрема біополімери, здобувають усе більш широке використання в різноманітних галузях народного господарства, а останнім часом біополімери в багатьох областях практичного застосування замінюють традиційні полімери. Багато років люди використовують вживані матеріали для виробництва нових виробів. Це пов'язано з малим промисловим виробництвом. Промислова революція 19 ст.

створила можливості синтезу матеріалів і виробництва полімерів у 20 ст, також зумовила різке зростання відходів і скорочення циклу придатності продуктів. Важливим елементом розвитку полімерних матеріалів є нешкідливість сировини на кожному етапі виробництва, переробки й утилізації. У наш час щоразу більшу вагу звертають на екологічність матеріалу, зокрема на використання полімерних відходів, а також відновлюваної

сировини рослинного походження [1]. Проблема переробки полімерних матеріалів також може бути розв'язана шляхом проектування виробів, яке полегшуватиме їх подальшу переробку.

Виклад основного матеріалу. Проектування і вибір матеріалів мають бути реалізовані з урахуванням кінцевого етапу їх циклу життя. Тобто шляхом вказання способу розпаду, рециркулювання або утилізації. Частина біопохідних пластмас можуть підлягати біодеградації, тобто розпаду, протягом короткого часу. Застосування біодегратованих матеріалів – це вирішення проблем утилізації відходів швидко й екологічно. Збільшення асортименту пластмасових виробів та винаходження нових композицій для виготовлення пластмас зумовлює нагромадження великої кількості відходів як у формі вжитих виробів, так і у вигляді технологічних відходів чи упаковок. Велика кількість відходів із пластмас, а також їх різноманітність, утруднюють їх повторне використання у вигляді сировини чи матеріалів [2].

Тому виробники пластмас, які створюють або можуть створювати відходи, повинні виконувати так, щоб:

- запобігати утворенню відходів або обмежувати їх кількість і негативну дію на середовище під час виробництва виробів, під час і після завершення їх використання;
- забезпечувати відновлення згідно із принципами охорони середовища, якщо не вдалося запобігти утворенню відходів;
- забезпечувати знешкодження відходів згідно із принципами охорони середовища, утворенню яких не вдалося запобігти або не вдалося їх переробити.

До сучасних технологій, метою яких є забезпечення рециркулювання полімерних матеріалів, належать:

- матеріальна переробка матеріалів відпрацьованих виробів;
- переробка сировини термічними і хімічними методами;
- використання відходів як палива (термічна переробка);
- компостування виробів із полімерів, що деградують;
- проектування виробів, що полегшує їх подальшу переробку;
- радіаційна обробка [3].

Пластмаси дозволяють створювати різноманітні форми упаковок, мають більші захисні властивості, ніж традиційні пакувальні матеріали. Споживання пластмас для виготовлення упаковок

перевищує 38% всього обсягу споживання пластмас у Європі та приблизно 29% у США [3; 4]. Через проблеми з утилізацією використаних упаковок виготовлення їх із полімерних матеріалів у багатьох країнах обмежене або підлягає оподаткуванню (Ірландія, Німеччина, Тайвань). Тому в останні роки розробляють упаковки, виготовлені з біополімерів. Мережі супермаркетів розвинутих країн пропонують покупцям власне упакування з біополімерів, що дещо здорожчує продукцію, але не має негативного впливу на довкілля [4; 5].

Існує декілька причин для використання полімерів під час виготовлення упаковки:

- поєднання властивостей, якого неможливо досягнути під час використання традиційних матеріалів;
- еластичність та стійкість до впливу середовища відрізняє термопластичні плівки від паперу та картону;
- велика стійкість до удару порівняно зі склом;
- хімічна інертність порівняно з металами;
- амортизуючі властивості пінопластів;
- низький модуль пружності, м'якість;
- простота оброблення;
- можливість серійного та дрібного виробництва;
- невелика маса;
- можливість гнучкого проектування, що дозволяє отримувати різноманітні форми, що є неможливим під час використання традиційних матеріалів;
- зниження витрат (без пластмасового упакування виробничі витрати та споживання енергії збільшуються вдвічі, а обсяг відходів збільшується на 150%);
- збереження природних ресурсів тощо [6].

Водночас полімери мають деякі загальні недоліки, а саме: екологічні обмеження під час застосування, витрати на сировину, низькі значення модуля пружності та міцності [7]. Сировинна переробка полягає в деградації макрочастинок на фракції з меншою частинковою масою (наприклад, методами гідролізу, алкоголізу, сольволізу), які можуть бути повторно використані як мономери або сировина для виготовлення інших або таких самих хімічних продуктів, з яких їх отримали. Такій переробці можуть підлягати полімерні композити незалежно від виду використаного полімеру, наповнювачів або домішок. Цей метод не потребує початкової сегрегації відходів, їх миття або усунення інших органічних речовин. Проте істотно обмежує поширення цієї групи

методів переробки необхідність застосування складних установок високих температур і тиску, каталізаторів і докладний контроль параметрів переробки [7].

Біополімери – високомолекулярні природні з'єднання, що є структурною основою всіх живих організмів і грають визначальну роль у процесах життєдіяльності [7; 8]. Природні полімери, або біополімери, були розглянуті в 1940-х роках. Генрі Форд використовував ці біополімери в будівництві автомобіля. Але з відкриттям нафтохімічних полімерів їхня низька вартість замінила натуральні матеріали. Сьогодні ми стикаємося з іншою проблемою. Екологічний тиск відштовхує синтетичні або нафто-хімічно отримані продукти, в той час як економічні фактори тягнуть їх назад. Цей факт виходить з екологічно безпечних досліджень матеріалів і виробів, властивості яких виконують екологічні та економічні вимоги [8].

Дослідження біополімерів не обмежується продуктами, а вказує, що ці полімери можуть зіграти важливу роль в інших областях досліджень. Ми можемо очікувати побачити використання біополімерів в упаковці, медицині, будівництві, майже в кожній частині життя – так само, як синтетичні пластмаси в даний момент [8].

Біополімер, що займає значне місце у промисловому виробництві – полігідроксибутират (ПГБ), – біополімер, який за фізичними властивостями подібний полістиролу, виявлений у бактерії *Alcaligenes eutropus*. ПГБ швидко руйнується ґрунтовими мікроорганізмами. Полімер отримують під час вирощування *Azotobacter* на глюкозі з лімітацією кисню, також *Alcaligenes* під час дефіциту азоту в біологічно активному середовищі [9].

Можливі області застосування ПГБ – це виготовлення біорозкладаних пакувальних матеріалів і формованих товарів, одноразових серветок, предметів особистої гігієни, плівок і волокон, водовідштовхуючих покриттів для паперу і картону. Перше промислове виробництво кополімерів PHB-PHV організувала в 1980 році англійська фірма ICA під торговою маркою Biopol. Цей полімер характеризується відносною термостабільністю, пропускає кисень, стійкий до агресивних хімікатів і має міцність, порівняну з поліпропіленом [10].

Зварювання підготовлених зразків проводили методами стикового на напускного зварювання нагрітим інструментом до 200 °С протягом 5-7 хв.

У роботі з порошку ПГБ формували зразки шляхом пресування за таким температурним режимом: у розігріту до 140 °С форму засипали порошок та без тиску прогрівали протягом 1-2 хв., після під тиском залишали на 1,5 хв. та далі нагрівали до 180 °С на 1 хв. За експериментальними даними виявлено, що під час збільшення температури пресування у зразках формувалися внутрішні напруження та під час охолодження виникали дефекти – тріщини. За умови понижених температур пресування порошок не був повністю розплавом, та, відповідно, зразки мали негомогенну мікроструктуру. Зварювання підготовлених зразків проводили методами стикового на напускного зварювання нагрітим інструментом до 210°C за напруги 5В та сили струму 26А протягом 30 с. Продовженням досліджень є порівняння характеристик основного матеріалу та зварних з'єднань шляхом вивчення їх теплофізичних і мікроструктурних особливостей.

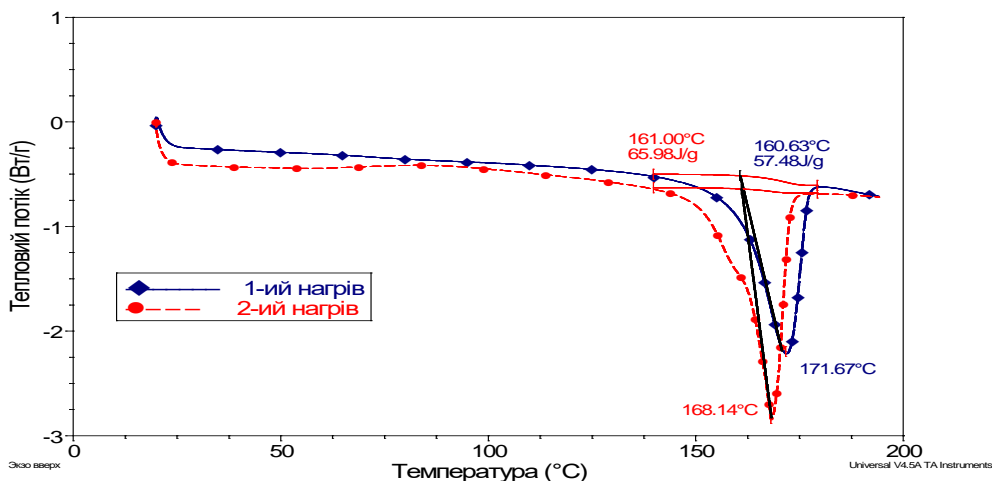
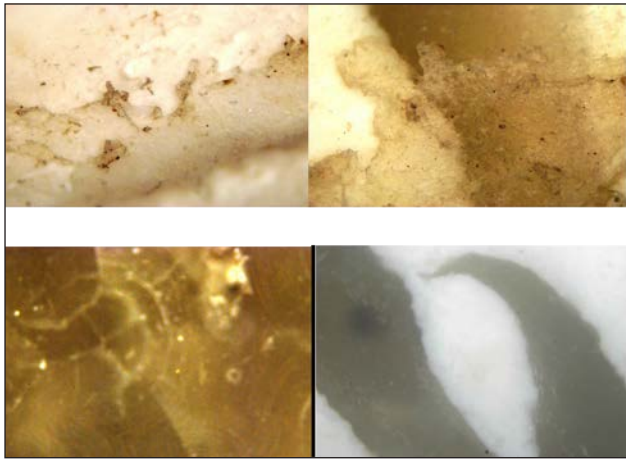


Рис. 1. Теплофізична характеристика

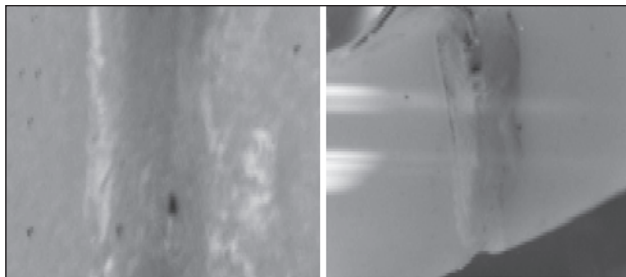
Дослідження теплофізичних характеристик



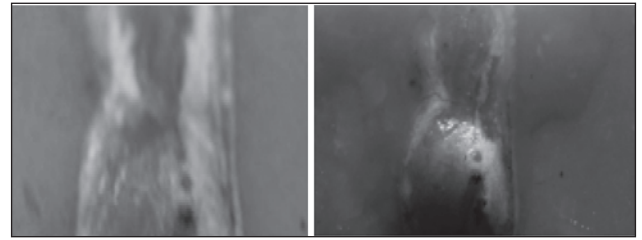
Під час формування зразків відбувається перерозподіл кристалічної фази в полімері з утворенням внутрішніх напружень. Під час другого нагріву напруження релаксують – теплофізична крива зразка стає подібною до теплофізичної кривої порошку. Таким чином, ми визначали умови формування та післяформовочної обробки зразків.

Мікроструктура зразків перед закладанням у ґрунт

Деструкція зразків у лабораторних умовах (мікроструктура за днями)



0 днів 14 днів



42 дня 84 дня

Деструкція зразків ПГБ у природних умовах (по місяцях у ґрунті)

	Початкова маса (грам)	Маса через 1 місяць (грам)	Маса через 2 місяці (грам)
ПГБ-лісовий	0,75	0,73	0,71
ПГБ-біля води	0,73	0,71	0,69
ПГБ-чорнозем	0,89	0,86	0,83

Висновки. Отже, враховуючи значну екологічну шкоду, спричинену використанням звичайних полімерів, доцільно замінити їх на біополімери. На даний час «масова» сфера застосування біопластиків – тара та упаковка для харчових продуктів. Проте вже відомі приклади застосування біопластику в галузях приладобудування, автомобілебудування, іграшок і т.д. Незважаючи на те, що в даний час частка біополімерів на ринку надзвичайно мала, потенціал цього ринку величезний. Подальше посилення екологічних вимог може допомогти біополімерам успішно конкурувати із традиційними полімерами, замінюючи їх.

У свою чергу, розширення областей застосування в різних промислових галузях диктує

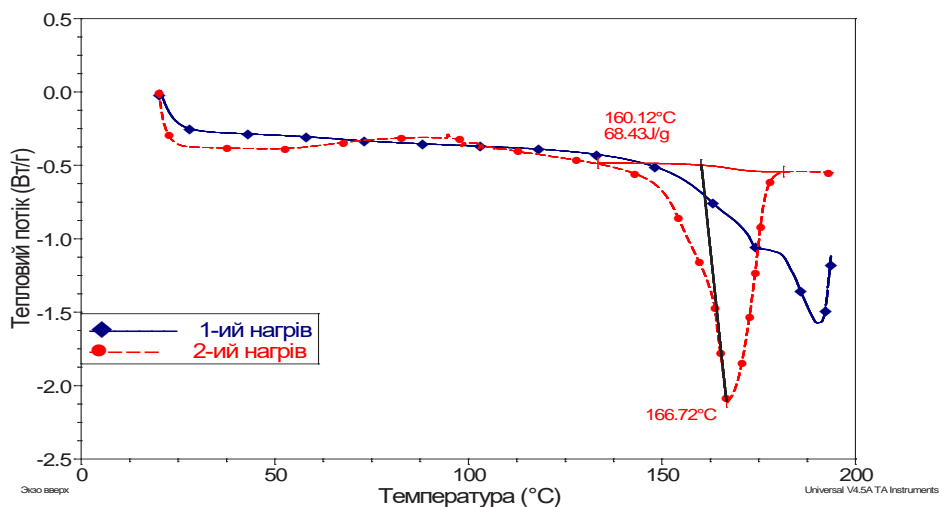
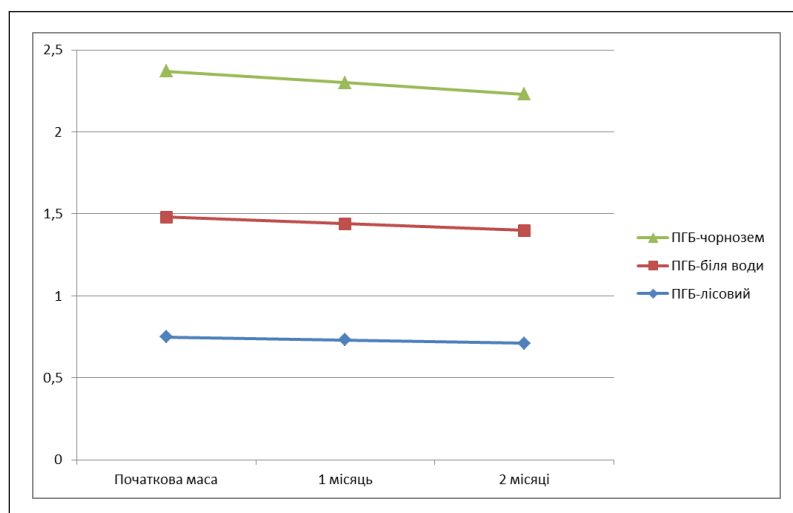


Рис. 2. Теплофізична характеристика



необхідність у створенні їх з'єднань, зокрема у зварюванні. Це особливо стосується виробів промислового, медичного та технічного призначення. Створення з'єднань безпечних в експлуатації з одночасним забезпеченням збереження їх здат-

ності до контрольованої деструкції потребує розробки відповідних зварювальних технологій та обладнання. Для цього, у свою чергу, необхідним є глибоке розуміння процесів, що відбуваються на мікроскопічному рівні під час процесу зварювання.

Список літератури:

1. Мигалина Ю.В., Козарь О.П. Основи хімії та фізико-хімії полімерів. Підручник. Київ : Кондор, 2010. 325 с.
2. Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика : учеб. пособие / Г.К. Лобачев, В.Ф. Желтобрюхов, Л.И. Кутянин, Н.И. Перминова. Волгоград, 1999. 180 с.
3. Биоразлагаемые полимеры – новый класс полимерных аналогов // Отраслевой сервер ULS: www.Unipak.ru, спец. Выпуск «Всё о плёнках». Декабрь 2004.
4. ISOStandart14855 – 1. 2005. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions –Method by analysis of evolved carbon dioxide – Part 1: General method ISO Internacional.
5. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов : учебное пособие. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.
6. Вакулич А.М. Перспективи розвитку ринку екологічно безпечних пакувальних матеріалів. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2010. № 1(8). С. 32–36.
7. Муравных А.И. Всеобщее управление экологической безопасностью. *Экономика природопользования*. 2007. № 1. С. 14–21.
8. Блинов Н.П. Деякі мікробні полісахариди і їх практичне застосування. *Успіхи мікробіології*. 1982. 53 с.
9. Инкрустирование семян полевых культуры перспективы его внедрения в производство / Диндорого В.Г., Страна И.Т.. *Теория и практика предпосевной обработки семян : сб. науч. трудов*. Киев, 1984. С. 32–42.
10. Утилізація відходів споживання виробів з полістиролу у виробництві капсульованих мінеральних добрив / В.В. Вашук, О.А. Нагурський. *Пер-й Всеукраїнський з'їзд екологів : міжнар. наук.-техн. конф. (4-7 жовтня 2006 р.)*. Вінниця, 2006. С. 39.

Talanyuk V.V., Shadrin A.O., Iurzhenko M.V. WELDING TECHNOLOGY AND PECULIARITIES OF MICROSTRUCTURE OF WELDED COMPOUNDS OF PHB BIOPOLYMER

Polymers, in particular, biopolymers are increasingly used in various sectors of the economy, and more recently biopolymers have been replacing traditional polymers in many applications. The problem of recycling polymeric materials can also be solved by designing products that will facilitate their further processing.

The design and selection of materials should be implemented taking into account the final stage of their life cycle. That is, by indicating the method of decomposition, recycling or disposal. Plastics allow you to create a variety of packaging forms, have greater protective properties than traditional packaging materials.

Biopolymers are high molecular weight natural compounds that are the structural basis of all living organisms and play a decisive role in the processes of life.

Natural polymers or biopolymers were considered in the 1940s. Henry Ford used these biopolymers to build a car. But with the discovery of petrochemical polymers, their low cost has replaced natural materials.

Today we face another problem. Environmental pressure repels synthetic or petrochemical products, while economic factors pull them back. This fact comes from environmentally sound research on materials and products whose properties fulfill environmental and economic requirements.

The most researched and widespread representative of PHA is polyhydroxybutyrate (PHB), in the structure of which the radical R is methyl CH₃ and the length of the carbon chain of the monomer is C₃. Different non-nuclear unicellular microorganisms, prokaryotes, produce PHBs. Maximum concentrations of PHB for some bacterial species can be up to 80-85% by weight.

The presence of the PCB polymer in cells allows microorganisms to tolerate unfavorable growth conditions. The bacteria are housed on carbon-rich raw materials, and their growth potential is specifically limited by nitrogen. Under these conditions, cells, through enzymes, begin to actively absorb carbon, synthesizing PHBs as reserves of energy material.

During sample formation, the crystalline phase in the polymer is redistributed to form internal stresses. At the second heating, the stresses relax – the thermophysical curve of the sample becomes similar to the thermophysical curve of the powder. Thus, we determined the conditions of formation and after the molding of the samples.

Key words: *polymers, biopolymers, PHBs, biodegradation, welding, thermophysical characteristics.*