

10. Frolov M. V. Strukturnaja mehanika bumagi [Structural mechanics of paper] / M. V. Frolov. – M. : Lesn. prom.-t', 1982. – 272 с.
 11. Pat. WO/2005/059247. Para-aramid fibrinid film.
 12. TWARON JetSpun Fibrinids and Pulp Safety data sheet / According to Regulation (EC) No. 1907/2006 / Teijin Aramid Gmb, 2006.
 13. Preliminary Technical Data TWARON D 8016 / Teijin Aramid Gmb, 2009.
 14. Liang R. Ruifeng Liang Fundamental characterization of “structured” fibrinid suspensions / Ruifeng Liang, Long Han, Deepak Doraiswamy, Rakesh R. Gurta // XIII Int. Congress on Rheology (August 20-25, 2000). – Cambridge, UK. – Vol. 4. – P. 136-138.
 15. Nomex family [Elektronnij resurs] / Dupont. – Rezhim dostupu: http://www2.dupont.com/ReliatranV3/ru_RU/products/Nomex/More/Nomex_family.html#410 (data zvernennja 01.10.12).
-

УДК 579.69:620.193.8

СТАВСЬКА С. С.¹, д.б.н., проф.; КОПТЄВА Ж. П.¹, к.б.н., с.н.с.; КОЗЛОВА І. П.², д.б.н., пр.н.с.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Інститут мікробіології і вірусології ім. акад. Д. К. Заболотного НАН України

БІОПОШКОДЖЕННЯ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНУ

Наведено дослідження впливу гетеротрофних бактерій, що утворюють біоплівку, на стійкість захисного покриття на основі поліетилену Полікен 980-25. Наведено можливий механізм цього процесу.

Ключові слова: захисне покриття, бактерій-деструктори, біоплівка, каталаза, фізичні і механічні властивості покриття.

Постановка задачі. Мікробна біоплівка, що формується на захисних полімерних покриттях, є чинником їх пошкодження. У результаті мікробної деструкції відбуваються зміни фізико-механічних властивостей матеріалів: зменшується їх міцність, еластичність, адгезивна здатність, внаслідок чого порушується головна функція покриття – захищати метал від корозії. Основою надійного захисту підземних споруд від мікробної корозії є використання біостійких покриттів, для розробки яких необхідно знати природу бактерій-деструкторів та механізми біопошкодження.

Аналіз попередніх досліджень. Загальною науковою проблемою є біопошкодження захисних покриттів, які використовують для антикорозійної ізоляції підземних споруд, внаслідок взаємодії мікроорганізмів та поверхонь матеріалів, на яких відбувається адгезія та ріст клітин, що формують біоплівку. Більшість бактерій існує у природних екосистемах як специфічно організовані прикріплені до субстратів біоплівки, утворення яких є складним точно регульованим біологічним процесом. Здатність бактерій адгезуватися до твердих поверхонь є їх життєво важливим пристосуванням до існування у різних біотопах і до різних несприятливих умов [1-4].

Мікроорганізми перебувають на покриттях у вигляді асоціацій, партнерами у яких можуть бути представники різних таксономічних і еколого-трофічних груп. На поверхні захисних матеріалів формується мікробне угруповання з певними трофічними зв'язками між його асоціантами. Особливості адгезії мікроорганізмів, їх метаболізму і характеру розподілу на покритті впливає на процеси, що відбуваються на його поверхні [5].

Біоплівки, що формуються на захисних стрічкових і бітумних покриттях, складаються з гетеротрофного блоку аеробних і анаеробних бактерій: вуглеводнеокиснювальних, залізовідновлювальних, денітрифікувальних і сульфатвідновлювальних. Внаслідок їх дії відбувається деструкція захисних матеріалів, результатом якої є зменшення їх міцності, еластичності та адгезії до металу. Невирішеною частиною наукової проблеми є створення покриттів, стійких до мікробної деструкції.

Метою роботи було вивчення впливу гетеротрофних бактерій, що утворюють біоплівку, на стійкість захисного покриття на основі поліетилену Полікен 980-25.

Виклад основного матеріалу. Роботу вели з монокультурами *Pseudomonas pseudoalkaligenes* 109, *Arthrobacter flavescens* 102, *Bacillus subtilis* 138 та їх штучно створеною асоціацією. Бактерії були виділе-

ні з поверхні пошкоджених захисних покриттів газопроводів. Бактерії вирощували на рідкому середовищі Таусона з глюкозою (20 г/л) за температури 28 ± 2 °C [6].

Зразки покриття розміром 5×70 мм для визначення міцності до розриву і зразки діаметром 25 мм для визначення адгезійної міцності занурювали у поживне середовище Таусона, інокульоване культурами бактерій. Тривалість досліду складала 30 діб. Після закінчення експерименту біоплівку знімали з поверхні зразків покриття у 30 мл 0,1н фосфатного буферу (рН 7) за допомогою ультразвукового диспергатора УЗДН 2Т (частота 22 кГц) протягом 30 с (два рази з інтервалом 2 хв.). Планктонні клітини (вільно плаваючі у середовищі) відокремлювали центрифугуванням за 12 000 об.⁻¹ протягом 20 хв. для одержання надосадової рідини.

Каталазну активність вивчали у бактерій в біоплівці і планктоні. Екзокаталазу визначали спектрофотометричним методом, принцип якого полягає у здатності пероксиду водню утворювати з солями молібдену стійкий забарвлений комплекс [7]. Питому активність ферменту виражали в $\text{Од} \cdot \text{мг}^{-1}$ білку. Білок визначали за методом Лоурі [8]. Міцність зразків покриття до розриву визначали за ГОСТ 14236-81, адгезійну міцність – за ГОСТ 14760-69 в Інституті хімії високомолекулярних сполук НАН України [9, 10].

Мікробне угруповання, що було виділене з пошкодженого стрічкового покриття підземних споруд, складалося з бактерій різних таксономічних груп. За морфологічними, культуральними та фізіолого-біохімічними ознаками бактерій були визначені як *Pseudomonas pseudoalkaligenes* 109, *Arthrobacter flavescens* 102, *Bacillus subtilis* 138.

При вивченні динаміки мікробних популяцій у біоплівці на поверхні захисного покриття Полікен 980-25 було показано, що у мікробній сукупності відбувається зміна домінантів. На ранніх етапах сукцесії у біоплівці переважають бактерії роду *Pseudomonas*, пізніше – спороутворюючі бактерії роду *Bacillus*, стійкіші до несприятливих умов навколишнього середовища. Сукупність цих мікроорганізмів у процесі сукцесії утворює стійкі угруповання, які є фактором пошкодження покриттів [11].

Досліджені бактерії під час росту та розвитку синтезують екзополімерні сполуки, зокрема полісахариди, ліпополісахариди, завдяки яким бактерії адгезуються до поверхні захисного матеріалу, що забезпечує їхнє швидке розмноження і сприяє виживанню популяції в екстремальних умовах. Відомо, що позаклітинні полісахариди, маючи властивості іонообмінників, адсорбують із оточуючого середовища органічні і неорганічні іони, концентрують їх навколо клітин мікроорганізмів, що забезпечує їм перевагу за умов зниженої концентрації поживних речовин [4, 12, 13].

Вивчено вплив монокультур бактерій та їх штучно створеної асоціації на фізико-механічні властивості покриття Полікен 980-25, яке використовують для захисту трубопроводів від корозії. Показниками стійкості дослідних зразків покриття слугували: титр бактерій, каталазна активність бактерій, міцність до розриву та адгезійна міцність.

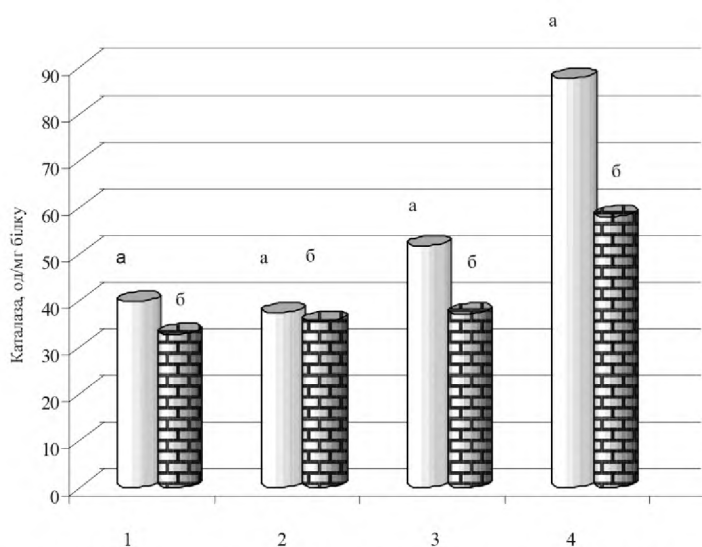
У процесі експерименту чисельність бактерій у біоплівці на поверхні покриття зростала на 2...4 порядки відносно початкового. Максимальна кількість бактерій виявлена у варіантах досліду з асоціацією бактерій, вона сягала $10^9 \dots 10^{10}$ клітин/мл середовища.

Кількість бактерій не завжди може бути показником агресивності середовища. Перспективнішими є методи, які ґрунтуються на оцінці ферментативної активності бактерій – агентів пошкодження захисних матеріалів. Саме ферменти як біологічні індикатори зумовлюють обмін речовин мікроорганізмів та інтенсивність виділення в середовище агресивних продуктів метаболізму.

Активніше продукували екзокаталазу бактерії за біоплівкової форми росту (рис. 1). Питома каталазна активність бактерій у біоплівці була у 1,1...1,5 раза більшою, ніж в умовах планктону. Крім того, в мікробному угрупованні, яке складалося з *Pseudomonas pseudoalkaligenes* 109, *Arthrobacter flavescens* 102 і *Bacillus subtilis* 138, відмічалась найбільша активність ферменту порівняно з такою у монокультур цих бактерій, що свідчить про підсилення активності в умовах кооперації бактерій. Відомо, що кооперація є основою трофічної піраміди мікробних угруповань. Типи взаємин, що складаються у процесі функціонування угруповань, свідчать про те, що вони насамперед формуються на основі метабіотичної або синтрофної взаємодії і рідше – конкурентної [14].

Раніше встановлено, що між згаданими бактеріями спостерігається наявність різних видів взаємин: нейтралізму, коменсалізму і протокооперації [4]. Міжвидова взаємодія бактерій відіграє важливу роль у функціонуванні біоплівок уже на початку їх формування – етапах прикріплення бактерій та колонізації ними поверхонь покриттів [15].

Досліджені бактерії, які культивували на поживному середовищі без зразків покриття Полікен 980-25, мали значно меншу каталазну активність (у 1,1...2,4 раза), аніж у присутності полікена, який підсилював їх продуктивність.



1 – *Arthrobacter flavescens* 102; 2 – *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 109; 3 – *Bacillus subtilis* 138; 4 – асоціація бактерій

Рис. 1 – Питома каталазна активність бактерій – деструкторів захисних покриттів у біоплівці (а) і планктоні (б)

Під впливом бактерій – агентів пошкодження полімерних покриттів знижуються їх міцність до розриву і адгезійна міцність та збільшується відносно подовження покриття при розриві (табл. 1). Так, міцність до розриву зменшується від 10 до 18,8 % відносно контролю. За контроль править зразок покриття, занурений у стерильне середовище Таусона без бактерій. Адгезійна міцність як важливий показник стійкості покриття до дії бактерій зменшується на 15,2...40,4 %. Крім того, відносно подовження випробовуваних зразків при розриві збільшується на 1,5...1,9 раза, що також призводить до руйнування покриття. При пошкодженні клейового шару покриття Полікен 980-25 бактерії порушують адгезію до металу, що, в свою чергу, сприяє його корозії.

Таблиця 1 – Вплив гетеротрофних бактерій на властивості зразків покриття Полікен 980-25

Зразок покриття з мікробною популяцією	Зменшення, %		Збільшення, разів, відносного подовження при розриві
	міцності до розриву	адгезійної міцності	
<i>Arthrobacter flavescens</i> 102	12,5	31,7	1,8
<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> 109	10	15,2	1,75
<i>Bacillus subtilis</i> 138	8,8	19,6	1,5
Асоціація бактерій	18,8	40,4	1,9

Отже, біоплівка, що утворюється на захисних полімерних покриттях, викликає їх пошкодження. Під впливом мікробної деструкції відбуваються зміни фізико-механічних властивостей матеріалів: зменшується їх міцність, еластичність, адгезивна здатність, внаслідок чого порушується головна функція покриття – захищати метал від корозії.

Основою надійного захисту підземних споруд від мікробної корозії є використання біостійких покриттів. Одним із засобів підвищення мікробної стійкості захисних матеріалів є їх модифікація біоцидними речовинами, які пригнічують ріст і розвиток корозійно-активних мікроорганізмів.

Висновки:

1. Гетеротрофні бактерії, що утворюють біоплівку на поверхні захисного покриття Полікен 980-25, значно змінюють його фізико-механічні властивості. Під дією бактерій зменшується адгезійна міцність і міцність до розриву, що призводить до старіння покриття і втрати здатності захищати метал від корозії.

2. Каталазна активність бактерій – агентів пошкодження ізоляційних покриттів у біоплівці і планктоні відрізняються. За умов біоплівкової форми росту спостерігається підсилення питомої ферментативної активності бактерій. Асоціативні культури виявляли вищу каталазну активність, ніж монокультури.

3. Вірогідним механізмом біопошкодження захисних матеріалів є синтез корозійно-активними бактеріями окисно-відновних ферментів, зокрема каталази.

Перспективи подальших досліджень. Передбачається подальше вивчення взаємодії біоплівки з поверхнею ізоляційних покриттів для вдосконалення методів оцінки їх біостійкості та розробки ефективних біоцидних добавок.

Список використаної літератури

1. Могильная О. А. Электронно-микроскопическое исследование биопленок бинарного бактериального сообщества / О. А. Могильная, Л. Ю. Панова // Микробиология. – 2007. – Т. 76. – № 2. – С. 279-281.
2. Ильина Т. С. Биопленки бактерий как способ существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина: феномен, генетический контроль и системы регуляции их развития / Т. С. Ильина, Ю. М. Романова, А. Л. Гинцбург // Генетика. – 2004. – Т. 40. – № 11. – С. 1145-1156.
3. Романова Ю. М. Образование биопленки – пример «социального» поведения бактерий / Ю. М. Романова, Е. А. Смирнова, А. Л. Андреев и др. // Микробиология. – 2006. – Т. 75. – № 4. – С. 556-561.
4. Андреев К. И. Микробна корозія підземних споруд / К. И. Андреев, І. П. Козлова, Ж. П. Коптева та ін. – К. : Наук. думка, 2005. – 259 с.
5. Коптева Ж. П. Микробні біоплівки на захисних покриттях підземних металевих споруд / Ж. П. Коптева, В. В. Занина // Мікробіол. журн. – 2008. – Т. 70. – № 1. – С. 71-85.
6. Романенко В. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – Л. : Наука, 1974. – 193 с.
7. Королюк М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова, В. Е. Тонарев // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16-19.
8. Практикум по биохимии / под ред. С. Е. Северина, Т. А. Соловьевой. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 509 с.
9. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М. : Госстандарт СССР, 1981. – Введ. 01.01.82. – 8 с.
10. ГОСТ 14760-69. Клей. Метод определения прочности при отрыве. – М. : Госстандарт СССР, 1969. – Введ. 01.01.70. – 5 с.
11. Юмина Ю. М. Динаміка мікробних популяцій у біоплівці на захисному покритті / Ю. М. Юмина, Ж. П. Коптева, І. П. Козлова // Мікробіол. журн. – 2009. – Т. 71. – № 3. – С. 37-41.
12. Занина В. В. Моносахаридный состав экзополимерного комплекса бактерий-деструкторов защитных покрытий / В. В. Занина, Ж. П. Коптева, Ю. М. Юмина, А. Н. Остапчук // Мікробіол. журн. – 2009. – Т. 71. – № 4. – С. 21-27.
13. Beveridge T. J. Interactions between biofilms and the environment / T. J. Beveridge, S. A. Malkin, J. L. Kadurugamua, Li. Zusheng // Fems microbiology reviews. – 1997. – Vol. 20. – No. 3-4. – P. 291-304.
14. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии / Г. А. Заварзин. – М. : Наука, 2004. – 348 с.
15. James G. A. Interspecies bacterial interactions in biofilms / G. A. James, L. Beaudette, J. W. Costerton // J. Ind. Microbiol. – 1995. – Vol. 15. – No. 4. – P. 257-262.

Надійшла до редакції 27.02.2012

Stavska S. S., Koptieva Zh. P., Kozlova I. P.

BIODETERIORATION OF PROTECTIVE COATINGS BASED ON POLYETHYLENE

There has been studied the influence of heterotrophic bacteria, which form biofilm on protective materials, on Polyken 980-25 coating resistance. Possible mechanism of the process is demonstrated.

Keywords: *protective coatings, bacteria-destructors, biofilm, catalase, physical and mechanical properties of coating.*

References

1. Mogil'naja O. A. Jelektronno-mikroskopicheskoe issledovanie bioplenok binarnogo bakterial'nogo soobshhestva [Electron microscopy study of bacterial biofilms binary community] / O. A. Mogil'naja, L. Ju. Panova // Mikrobiologija. – 2007. – Т. 76. – № 2. – S. 279-281.
2. Il'ina T. S. Bioplenki bakterij kak sposob sushhestvovanija bakterij v okruzhajushhej srede i organizme hozjaina: fenomen, geneticheskij kontrol' i sistemy reguljaccii ih razvitija [Biofilms of bacteria as a way of existence of bacteria in environment and an organism of the owner: phenomenon, genetic control and systems of regulation of their development] / T. S. Il'ina, Ju. M. Romanova, A. L. Gincburg // Genetika. – 2004. – Т. 40. – № 11. – S. 1145-1156.
3. Romanova Ju. M. Obrazovanie bioplenki – primer «social'nogo» povedenija bakterij [Formation of a biofilm – an example of «social» behavior of bacterial] / Ju. M. Romanova, E. A. Smirnova, A. L. Andreev i dr. // Mikrobiologija. – 2006. – Т. 75. – № 4. – S. 556-561.

4. Andreiuk K. I. Mikrobna korozija pidzemnykh sporud [Microbial corrosion of underground buildings] / K. I. Andreiuk, I. P. Kozlova, Zh. P. Koptieva ta in. – K. : Nauk. dumka, 2005. – 259 s.
5. Koptieva Zh. P. Mikrobni bioplivky na zakhysnykh pokryttiakh pidzemnykh metalevykh sporud [Microbial biofilms on sheeting of underground metallic buildings] / Zh. P. Koptieva, V. V. Zanina // Mikrobiol. zhurn. – 2008. – Т. 70. – # 1. – S. 71-85.
6. Romanenko V. I. Jekologija mikroorganizmov presnyh vodoemov [Microbial ecology of freshwater reservoirs] / V. I. Romanenko, S. I. Kuznecov. – L. : Nauka, 1974. – 193 s.
7. Koroljuk M. A. Metod opredelenija aktivnosti katalazy [Method of determination of activity of a catalase] / M. A. Koroljuk, L. I. Ivanova, I. G. Majorova, V. E. Tonarev // Laboratornoe delo. – 1988. – № 1. – S. 16-19.
8. *Praktikum po biohimii* [Workshop on biochemistry] / pod red. S. E. Severina, T. A. Solov'evoj. – M. : Izdvo Mosk. un-ta, 1989. – 509 s.
9. GOST 14236-81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastjazhenie [Polymeric films. Test method on stretching]. – M. : Gosstandart SSSR, 1981. – Vved. 01.01.82. – 8 s.
10. GOST 14760-69. Klei. Metod opredelenija prochnosti pri otrывe [Adhesives. The method of determining the tearing strength]. – M. : Gosstandart SSSR, 1969. – Vved. 01.01.70. – 5 s.
11. Yumyna Yu. M. Dynamika mikrobnnykh populjatsii u bioplivtsi na zakhysnomu pokrytti [Dynamics of microbial populations in the biofilm on the protective coating] / Yu. M. Yumyna, Zh. P. Koptieva, I. P. Kozlova // Mikrobiol. zhurn. – 2009. – Т. 71. – # 3. – S. 37-41.
12. Zanina V. V. Monosaharidnyj sostav jezkopolimernogo kompleksa bakterij-destruktorov zashhitnyh pokrytij [Monosaccharide composition of the polymeric complex bacteria-destructors of protective coatings] / V. V. Zanina, Zh. P. Kopteva, Ju. M. Jumyna, A. N. Ostapchuk // Mikrobiol. zhurn. – 2009. – Т. 71. – # 4. – S. 21-27.
13. Beveridge T. J. Interactions between biofilms and the environment / T. J. Beveridge, S. A. Malkin, J. L. Kadurugama, Li. Zusheng // Fems microbiology reviews. – 1997. – Vol. 20. – No. 3-4. – P. 291-304.
14. Zavarzin G. A. Lekcii po prirodovedcheskoj mikrobiologii [Lectures on the natural history of microbiology] / G. A. Zavarzin. – M. : Nauka, 2004. – 348 s.
15. James G. A. Interspecies bacterial interactions in biofilms / G. A. James, L. Beaudette, J. W. Costerton // J. Ind. Microbiol. – 1995. – Vol. 15. – No. 4. – P. 257-262.

УДК 676.054.663

МОВЧАНЮК О. М., к.т.н., доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ИЗНОС ГАРНИТУРЫ ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Статья посвящена актуальной проблеме интенсивного износа гарнитуры дисковых мельниц при размоле макулатурной массы. Целью статьи является изучение вопроса о снижении абразивного износа ножей стальной гарнитуры. Исследованы факторы, влияющие на износ ножей гарнитуры во время размолла суспензии в присутствии кварцевого песка – величину межножевого зазора, зернистость и количество абразива, твердость ножей. Определены и обоснованы условия размолла для снижения абразивного износа ножей гарнитуры. Даны рекомендации по снижению содержания абразивных включений в макулатурной массе.

Ключевые слова: размол, гарнитура дисковых мельниц, абразивный износ ножей, кварцевый песок, межножевой зазор, твердость, размер абразивного зерна.

Постановка проблемы. Одним из главных процессов производства бумаги и картона является размол, цель которого состоит в подготовке волокон к образованию прочных межволоконных связей в бумажном листе. Основным размалывающим оборудованием являются дисковые мельницы. Они широко используются и на украинских предприятиях, главным образом перерабатывающих макулатуру. При размоле макулатурной суспензии весьма актуальной является проблема интенсивного износа гарнитуры, который приводит к снижению и нестабильности показателей качества готовой продукции и повышению эксплуатационных затрат. При равных условиях эксплуатации срок службы гарнитуры при размоле макулатурной массы иногда на порядок ниже, чем при размоле целлюлозы. Причиной является загрязненность макулатуры. Крупные и средние инородные включения выводятся из массы до мельниц с помо-