

ХІІІ СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА-КОНФЕРЕНЦІЯ **2020**



КОМПОЗИТЫ И СТЕКЛОПЛАСТИКИ



ЗАПОРОЖЬЕ
8-10 сентября

КОТЛАН
ПАЛАС

ВНИМАНИЕ

Ответственность за достоверность информации несут фирмы-экспоненты.

Какие-либо требования к организаторам выставки или издателю, касающиеся ответственности и возмещения морального и материального ущерба, нанесенного в результате ошибочно, неверно или по недосмотру внесенных данных – исключаются.

О.І. Буря, І.В. Рула

**Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25
Iryna.chem79@gmail.com**

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ, ВИГОТОВЛЕНИХ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-2

Розробка нових полімерних композиційних матеріалів (КМ) конструкційного призначення для вузлів тертя машин і механізмів з метою підвищення їх надійності та довговічності останнім часом набуває дуже великого значення. Конструкційні матеріали відрізняються поліпшеними експлуатаційними характеристиками, а одним з найбільш перспективних в'яжучих для створення таких матеріалів є ароматичних поліамід фенілон С-2. Фенілон і матеріали на його основі, мають високу працездатність у вузлах тертя машин, які працюють зі змащенням в жорстких умовах експлуатації, проте, при сухому режимі вони мають досить високий коефіцієнт тертя. Для поліпшення трибо-технічних характеристик ароматичних поліамідів доцільно використовувати вуглецеві волокна (ВВ).

З огляду на це, нами було запропоновано виготовити деталі тертя з вуглепластиків (ВП), на основі ароматичного поліаміду фенілон марки С-2, армованого немодифікованим [1], мідьвмісним [2] і мідненим гідратцелюлозним вуглецевим волокном (ВВ) марки Урал Т -24-Су (товщина волокна 6-7 мкм), (ТУ 1916-025-18070047), яке містить в якості покриття мідь товщиною 10 мк, нанесену електрохімічним способом (в кількості 50 мас.% по відношенню до ваги волокна) [3].

Теплофізичні, фізико-механічні та трибологічні властивості армованих ВВ композитів визначали за стандартними методиками для пластмас.

Аналіз результатів (див. табл. 1) лабораторних досліджень властивостей обраних для випробування матеріалів показав, що характеристики отриманих ВП близькі між собою. Армування фенілону волокном з мідним покриттям призводить до збільшення модуля пружності при стисненні на 360-447,2 МПа, виходячи з цього, цілком закономірним є той факт, що ударна в'язкість ВП менше, ніж у вихідної полімерної матриці.

Таблиця 1. Властивості вуглепластиків

Властивості	Фенілон С-2	Армуючий наповнювач		
		немодифіковане ВВ	мідьвмісне ВВ	міднене ВВ
Щільність ρ	1,337	1,35	1,3626	1,410
Серед. знач. коефіцієнта теплопровідності в інт. тем-р 278-530 К	0,349	0,362	0,371	0,458
Середнє ТКПР в інтервалі температур 298-523 К	29,94	24,92	30,15	23,77
Ударная в'язкість, a , кДж/м ²	40,72	18,25	17,25	24,66
Межа текучості при стисненні (s)	216,3	247	251,2	253,1
Модуль пружності при стисненні $E_{ст}$, МПа	2200	3125	3230,9	3591,8
Відносна абразивна зносостійкість	0,37	0,33	0,23	0,48

* руйнівне напруження стисненні паралельне напрямку пресування

Зазвичай, введення ВВ у фенілон знижує ударну в'язкість через крихкість і ламкість волокон, значних пошкоджень їх в процесі переробки [5]. Однак у разі ВП, армованих ВВ з мідним покриттям цей показник знижується незначно.

У зв'язку з тим, що деталі рухомих з'єднань транспорту працюють в контакт з абразивними частинками, вивчали вплив вуглецевого волокна на відносну зносостійкість фенілону при терті про не жорстко закріплені абразивні частинки. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що ВП, армовані волокном з мідним покриттям мають досить велику в 1,3-2 рази в порівнянні з вихідним фенілоном та вуглепластиком армованим мідьвмісним ВВ відносну абразивну зносостійкість (K_n).

Механізми зносу: фенілону С-2 - адгезійний: на поверхні сталевого контртіла утворюється полімерна плівка, так як через високу температуру в зоні контакту адгезійні сили між зразком з фенілону і сталевим контртілом стають більші сили когезії в полімері, в той час як у вуглепластиків – переважно втомлювальний. В цілому аналіз отриманих результатів показує, що коефіцієнт тертя експериментального матеріалу, армованого волокном з мідним покриттям в порівнянні з неармованим фенілон зменшився в 2,8-3 рази, а зносостійкість підвищилася в 5,5-12,5 раз. Це дало можливість рекомендувати деталі виготовленні з розробленого матеріалу для впровадження в вузлах тертя сільськогосподарської техніки.

Література:

Буря А.И., Казаков М.Е., Арламова Н.Т., Рула И.В. Исследование эксплуатационных свойств углепластиков на основе фенилона, армированных модифицированным углеродным волокном.

Композиционные материалы в промышленности: материалы Двадцать седьмой ежегодной международной конференции и выставки (г. Ялта, Крым, 28 мая – 1 июня 2007 г.) Киев. 2007. С.76-78.

Буря А.И., Дубкова В.И., Ермоленко И.Н., Грунт И.И. Исследование влияния медьсодержащих волокон на свойства ароматического полиамида // Доклады Академии наук БССР. – Т. 34, №3, 1990, С.246-249.

Буря А.И., Казаков М.Е., Рула И.В., Арламова Н.Т., Дудка А.Н. Исследование триботехнических характеристик углепластиков на основе фенилона, армированных медьсодержащими углеродными волокнами. Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: тезисы доклада на 7-ой ежегодной международной Промышленной конференции и блиц выставке (п. Славское, Карпаты 12-16 февраля 2007 г.) Киев, 2007, С. 20-22.

Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов // Справочное пособие - К.: Техника, 1989, 120 с.

Буря А.И., Казаков М.Е., Рула И.В., Редчук А.С. Исследование свойств углепластиков на основе фенилона, армированных металсодержащими угле-родными волокнами. Композиционные материалы в промышленности, Славпо-ликом: материалы XXVIII ежегодной междунар. конф. и блиц-выставки. (г. Ялта, 26-30 мая 2008 г.). Киев, 2008. С. 106–108.

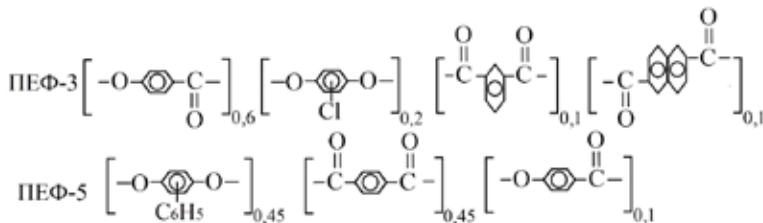
ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ АРМОВАНОГО БАЗАЛЬТОВИМ ВОЛОКНОМ

На сьогодні в Україні немає власних виробництв конструкційних та інженерних полімерів, але декілька підприємств виробляють полімерні композити у дуже незначних об'ємах. Така ситуація дуже ускладнює та сповільнює розвиток у сфері розробки деталей та конструкційних елементів з полімерних композитів. Однак частково це можна виправити звернувши увагу на велику кількість вторинної сировини з поліолефінів та поліестрів.

Одним з таких є поліетилентерефталат (ПЕТ), кількість відходів якого збільшується з кожним роком. Переробка ПЕТ з наповненням та армуванням, може надати можливість частково замінити деякі імпорتنі інженерні та конструкційні полімери.

На разі у цьому невеликому дослідженні вторинний агломерований ПЕТ армувався дискретним базальтовим волокном. Вміст волокна варіювався від 0% до 10%, цілю було дослідження трибологічних характеристик таких як, коефіцієнт тертя та інтенсивність лінійного зношування. Активация базальтового волокна та змішування композицій виконувалося в електромагнітному змішувачі за допомогою нерівновісних феромагнітних часток [1]. Зразки виготовляли методом компресійного пресування [2]. Випробування здійснювали на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск-колодка» [3].

Аналіз результатів триботехнічних характеристик показав, що армування базальтовим волокном вторинного ПЕТ призводить до зменшення коефіцієнту тертя (рис. 1) та інтенсивності лінійного зношування (рис. 2) в 1,5 та 4,5 рази відповідно.



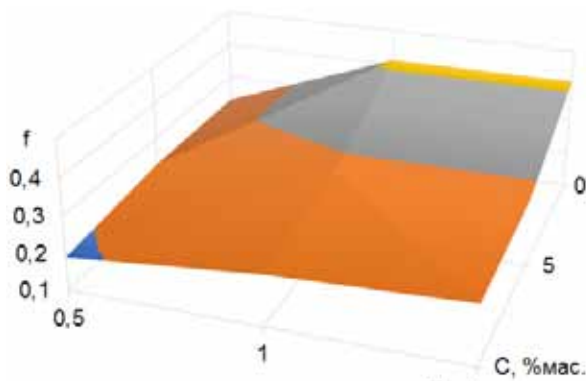


Рисунок 1. Коефіцієнт тертя без змащення ($P = 1 \text{ МПа}$) в залежності від швидкості ковзання та відсоткового вмісту базальтового волокна

Покращення характеристик базового полімеру обумовлено тим, що в процесі тертя на сталевому контртілі утворюється «антифрикційний шар», так звана плівка переносу, в наслідок чого тертя відбувається за схемою «полімер-полімер».

На основі отриманих результатів встановлено, що використання базальтового волокна, як наповнювача є ефективним шляхом покращення експлуатаційних характеристик вторинного ПЕТ. Враховуючи зазначене, подальші дослідження у даному напрямку актуальні та перспективні для рішення проблем зазначених вище.

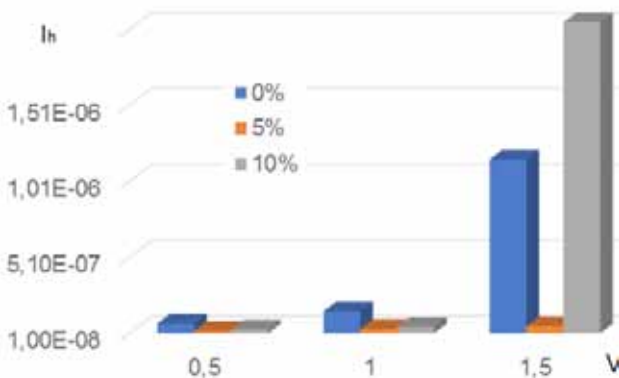


Рисунок 2. Інтенсивність лінійного зношування без змащення ($P = 1 \text{ МПа}$) в залежності від швидкості ковзання та відсоткового вмісту базальтового волокна

Перелік посилань

1. Фомичев И. А., Буря А. И., Губенков М. Г. Получение термостойких полимерных материалов в магнитном поле // Электронная обработка материалов. – 1978. – № 4. – С. 26-27.
2. Буря А. И., Ерёменко А. В., Бедин А. С. Обоснование выбора технологической оснастки для переработки термостойких углепластиков. // Композитні матеріали – 2017. – Т.11, № 1-2 – С. 42-45.
3. Томина А-М. В. Встановлення закономірностей впливу органічних волокон на властивості та структуру ароматичного поліаміду фенілон: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: 05.02.01 / Томина Анна-Марія Вадимівна. – Кам'янське, 2019. – 230 с.

**А.А. Кончиць, Б.Д. Шаніна,
С.В. Красновид, К.А. Єрмоїна, О.І. Буря**

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ

МІКРОХВИЛЬОВІ ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН С-2

Композитні матеріали (КМ) на основі вуглепластиків широко застосовуються в багатьох областях науки і техніки. Це, наприклад, тепловий захист космічних кораблів і конструкційні елементи супутників, автомобілебудування, вузли тертя різних механізмів, виготовлення спортивного інвентарю, застосування активованих вуглецевих волокон (ВВ) в якості сорбентів і ін. Останнім часом активно розвиваються так звані гібридні композити, які в силу видатних характеристик перспективні для застосування як на Землі, так і в космосі [1, 2]. Часто в гібридних композитах одним з основних наповнювачів є ВВ, що мають характерну турбостратну структуру, при якій сусідні графітові шари повернені на деякий кут по відношенню до нормалі до шара. Кристаліти турбостратного графіту упаковані таким чином, що утворюють шари протяжністю кілька мікрон і товщиною близько нанометрів. Це дає підставу вважати, що їх електронні і в значній мірі механічні властивості будуть визначатися на нанометровій шкалі. Більш того, провідні властивості таких наповнювачів, як ВВ або мікрографіт, дозволяють, наприклад, одночасно з трибологічними завданнями вирішувати також проблеми електромагнітного екранування [2].

У даній роботі, яку ініціював 2 роки тому проф. Буря О.І., вивчені властивості мікрохвильового поглинання в композитах на основі фенілону С-2 з гібридними наповнювачами, що включають одночасно ВВ і мікрографіт в різних вагових співвідношеннях.

Приготування гібридних композицій на основі фенілону С-2 здійснювали методом сухого змішування в апараті з обертальним електромагнітним полем (0,12 Т) за допомогою одноосьових феромагнітних частинок, які з приготовленої композиції вилучались методом магнітної сепарації. Готову суміш таблетували при кімнатній температурі та тиску 30 МПа.

Для запобігання утворенню в готових виробах різного роду поверхневих дефектів всі складові композиції перед формуванням ретельно висушувались. Сушка заготовок проводилася в термошафі SPT-200 протягом 2-3 год. при 473-523 К. Таблетка з термошафи одразу завантажувалась до прес-форми, нагрітої до 523 К. Потім температуру підвищували до 598 К і витримували матеріал без навантаження 10 хв., після чого ще 10 хв. при навантаженні 40 МПа. Далі виріб охолоджували при постійному навантаженні до температури 523 К і проводили зняття тиску. Готові вироби піддавали механічній обробці, в т.ч. при необхідності змінювалась форма виробів та точність їх розмірів згідно поставленим завданням [1].

Мікрохвильові властивості композитів фенілон С-2/ВВ/графіт проводились на порошкоподібних зразках, оскільки проникнення мікрохвиль в об'ємні зразки завдяки їх високій провідності обмежувалося товщиною скін-шару (~0.5 мм). Використовувались ВВ типу Урал Н-24. Для ЕПР вимірів використовувався радіоспектрометр 3-х см діапазону Radiopan SE/X-2544 з модуляцією магнітного поля 100 кГц.

На рис. 1 наведено спектри ЕПР пучків вуглецевих волокон Урал Н-24 (Росія) та Toray T700 (Японія). З рис. 1 видно, що ЕПР сигнали обох типів волокон мають асиметричну, так звану Дайсонівську форму, яка є наслідком змішування сигналів поглинання і дисперсії в ЕПР провідних матеріалів, на відміну від діелектриків, де такого змішування не відбувається. Разючою є відмінність ширин ліній ЕПР ВВ Урал Н-24 та Toray T700. Останні відомі своєю дуже високою якістю, і, як ми бачимо з рис. 1, це також відображається на ширині ліній ЕПР ΔB . В той час як для ВВ Урал Н-24 $\Delta B \approx 2.1$ мТ, для ВВ Toray-700 $\Delta B \approx 0.19$ мТ. Згідно теорії ЕПР провідних матеріалів [3, 4] форма та ширина ліній ЕПР в них залежить від параметру $R = TD/T_2$, де TD - час дифузійного пробігу електрона через скін-шар, T_2 - час спінової релаксації електрона. Величина параметру R обернено пропорційне залежить від досконалості структури вуглецевих волокон. З даних рис. 1 знайдено, що $R=50$ та $R=5.5$ для ВВ Урал Н-24 та Toray-700, відповідно. Отже, спектри ЕПР здатні прямо відображати досконалість структури ВВ, а також, до деякої міри, і їх механічні властивості.

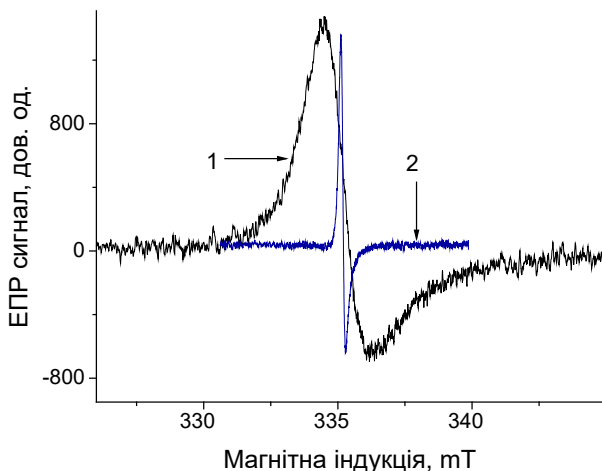


Рисунок 1. Спектри ЕПР пучків вуглецевих волокон Урал Н-24 (крива 1) та Toray T700

Отримана вище інформація є базовою для інтерпретації даних магніторезонансних досліджень композитів. На рис. 2 наведено, для прикладу, спектри магнітного резонансу декількох зразків композитів фенілон C-2/BB/мікрографіт, що реєструвались у широкому діапазоні магнітних полів.

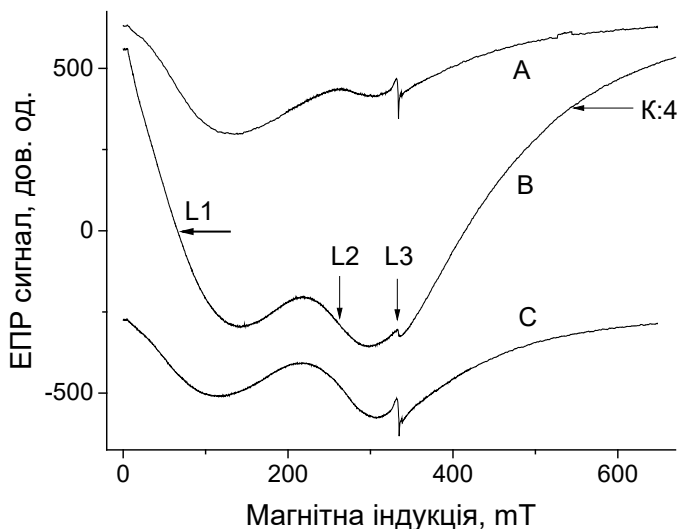


Рисунок 2. Спектри магнітного резонансу зразків композитів фенілон C-2/BB/графіт з вмістом графіту 15% у всіх зразках та вмістом BB 20, 30 і 40% (спектри A, B і C, відповідно). Спектр B реєструвався з підсиленням, зменшеним у 4 рази

З рис. 2 видно, що спектр кожного зразка складається з трьох ліній: L1, L2 та L3. Встановлено, що лінії L1 і L2 належать феромагнітним кластерам, орієнтованим паралельно та перпендикулярно зовнішньому магнітному полю. Лінія L3 має складну форму і є сумою парамагнітних відгуків вуглецевих волокон і мікрографіту. У всіх зразках композитів форма лінії L3 ретельно аналізувалась і було виокремлено внески від BB та мікрографіту. Природа феромагнітних сигналів (лінії L1 та L2) пов'язана з технологічним процесом магнітного перемішування суміші для отримання рівномірного розподілу наповнювачів в композиті. Цей процес супроводжується тертям міцних вуглецевих волокон і частинок графіту з феромагнітними добавками і, як наслідок, відщепленням мікро- і наночастинок феромагнітного матеріалу. В підсумку цей процес відображає ефект внутрішнього тертя наповнювачів в суміші і є дуже показовим. Як видно з рис. 2,

інтенсивність феромагнітних сигналів при вибраній концентрації графіту 15% залежить від вмісту ВВ, але кількісно ефект є повністю неочікуваним. Дійсно, ефект максимальний при середній концентрації ВВ 30% і перевищує такий при 20 і 40% в кілька разів. Більш того, при вмісту ВВ 30% максимальним є також ефект нерезонансного мікрохвильового поглинання (НМП) вільними носіями за рахунок наповнювачів в композиті, що і є фізичним механізмом електромагнітного екранування. Ефект НМП залежить також від щільності порошку композита (на рисунках не відображено). Важливим і, швидше за все, не випадковим є той факт, що вищеописаний композит з вмістом графіту 15% та вуглецевих волокон 30% є також найефективнішим з точки зору його трибологічних властивостей [1]. В [1] такий результат пояснюється проявом синергетичного ефекту дії обох наповнювачів, і мікромеханізм цієї синергії може бути прояснений (принаймні, частково) з урахуванням мікрохвильових властивостей гібридних композитів в ході подальших досліджень.

Посилання:

1. Burya O.I., Tomina A.-M. V. / Research on tribological properties of compositions based on phenylone // Functional Materials. – 2019. – Vol. 26, No. 3. – P. 525–529. <https://doi.org/10.15407/fm26.03.525>
2. Konchits A., Yeriomina Ye., Tomina A.-M., Lysenko O., Krasnovyd S., Morozov O. Advanced Polymer Composites for Use on the Earth and in Space. In: Nanotechnology in Space. Ed. M.L. Terranova. Pan Stanford Publishing (2020) (in print).
3. Dyson F. J. Electron Spin Resonance Absorption in Metals // II. Theory of Electron Diffusion and the Skin Effect, Phys. Rev. – 1955. – Vol. 98, № 2 – P. 349.
4. Gavriljuk V. G., Efimenko S. P., Smuk Y. E., Smuk S. U., Shanina B. D., Baran N. P., Maksimenko V. M. Electron-spin-resonance study of electron properties in nitrogen and carbon austenite // Phys. Rev. B. – 1993. – Vol. 48. – P. 3224–3231.

А.В. Евдокимов

Днепропетровский государственный технический университет

**ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ДЕТАЛЕЙ ТЯГОДУТЬЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ В
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Одним из основных узлов аспираций и систем газо- и пылеочистки на горнодобывающих предприятиях и предприятиях металлургического комплекса являются тягодутьевые механизмы (ТДМ).



Рисунок 1. Пример ротора вентилятора Н7500

Ротор эксгаустера устанавливают в центробежный нагнетатель, предназначенный для установки в тракте газоочистки на агломерационных и обжиговых фабриках, в мартеновских и конверторных цехах.

Эксгаустер создает разрежение и удаляет газообразные продукты сгорания из вакуум-камер машины через дымовую трубу. Затем в газоочистительном устройстве газового коллектора происходит очистка продуктов сгорания от агломерата и пыли.

Как следствие запыленности в газовом потоке и абразивности пыли на рабочих деталях ТДМ происходит износ и частичное, полное разрушение поверхностного слоя. На фото 2 приведен пример колеса эксгаустера Н 7500 из стали 10ХСНД толщиной лопатки 16мм после эксплуатации 30 дней на АМКР(Арселор Миталл Кривой Рог).



Рисунок 2. Пример износа колеса без защитных элементов

Рационально и правильно в данном случае при изготовлении или ремонте деталей ТДМ, подвергающихся износу применять сварочные и наплавочные методы для ремонта или изготовления.

Самым распространенным методом защиты лопаток ТДП от интенсивного износа является поверхностное упрочнение нанесением сплава типа «Сормайт», обычно с использованием электродов типа Т-590 и Т-620. По такой схеме достаточно эффективно наносить слои металла, толщина которых соизмерима с потерей геометрии деталей, которая квалифицируется недопустимой и требует ремонта. Кроме дуговой наплавки, известны случаи применения газопламенной напыления, плазменного напыления и других способов нанесения защитного слоя.

Одним из способов защиты от износа может стать использование при изготовлении лопаток из листов с износостойким слоем - биметаллических листов, двухкомпонентного материала, состоящего из низкоуглеродистой (низколегированной) стали в качестве основы, а также износостойкого наплавленного слоя, который выполняется из материала, адаптированного к требованиям эксплуатации. В данном случае фото 1 материал наплавки- порошковая лента План-Т 185 (тип наплавленного металла 500Х27Б7) показал стойкость к абразивному износу более 1 года эксплуатации в условиях Арселор

Миталл Кривой Рог и Арселор Миталл Темиртау (Казахстан). Для сравнения сплав типа 450Х30М имел сквозной износ после 5 месяцев эксплуатации.

Для дальнейшего увеличения межремонтных периодов деталей ТДМ необходимо использовать более износостойкие материалы для защиты наиболее нагруженных мест деталей ТДМ.

На колесе рабочего нагнетателя Н9000, поставленного на Аглофабрику Арселор Миталл Темиртау(Казахстан) была произведена экспериментальная наплавка зон наиболее интенсивного износа порошковой проволокой NicarbW (карбиды вольфрама в никелевой матрице) который имеет высокую микротвердость и отсутствие трещин на поверхности. Нагнетатель находится в работе около трех месяцев, видимого износа не наблюдается.

Можно считать экономически выгодным использования деталей, изготовленных с нанесенным защитным слоем. Для дальнейшего развития и повышения износостойкости необходимо рассмотреть возможность дифференциации наплавки согласно зонам наиболее интенсивного износа с применением материалов с более высокой износостойкостью, таких как порошковые проволоки NicarbW, SK-ABRA-MAX и т.д.

Так же целесообразно минимизировать зону перемешивания при наплавке, используя различные дозированные способы подачи электродного материала в зону горения дуги. На данный момент был проведен эксперимент совместно с ОКБ ИЭС им. Е.О. Патона по наплавке образца с механической регулировкой подачи порошковой проволоки для обеспечения наиболее высоких показателей твердости и износостойкости в наплавленном слое. Полученная глубина проплавления уменьшилась в два раза по сравнению с наплавкой на стандартном оборудовании. На осень 2020 года запланирован эксперимент по наплавке полноценной лопатки колеса Н9000 с применением механизированной дозированной подачи порошковой проволоки.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ШАРІВ МЕТАЛУ НАПЛАВЛЕНИХ З КЕРУВАННЯМ ЗОНАЛЬНОЮ НЕОДНОРІДНІСТЮ

Особливістю зношування багатьох деталей, що працюють в умовах тертя, є його нерівномірність за площею контакту. Шкідливість даного явища полягає у значному деформуванні поверхонь деталей, що прискорює вихід їх з ладу.

Перспективним шляхом вирішення даної проблеми виглядає забезпечення змінного складу та властивостей поверхонь деталей. Серед існуючих способів формування зазначених поверхонь, доцільним виглядає такий, що передбачає попереднє нанесення легуючих присадок (порошків, паст тощо) на оброблювану поверхню. В ході огляду перспективних матеріалів для попереднього легування, було виявлено, що зносостійкість карбідів прямо пропорційна їхній твердості. Для проведення досліджень було обрано карбід титана (TiC), як найтвердіший серед існуючих (20000 МПа).

В якості зразка для наплавлення було обрано циліндричну заготовку зі сталі 45, діаметром $d = 40$ мм та довжиною 165 мм. З метою подальшого випробування та вивчення властивостей на зразок дуговим наплавленням наносилися валики без внесення додаткового матеріалу, із суцільним та локальним його нанесенням. Для кращого збереження матеріалу була підготовлена пастоподібна суміш емульсії TiC та ґрунтовки ГФ-021. Шари суміші наносилися у вигляді смуг, по краях запланованого валика, з ексцентриситетом 4 мм. Наплавлення виконувалося з перекриттям одиночних валиків, із поперечним відносно руху зразків при терті орієнтуванням зон різної твердості.

З наплавлених зразків нарізалися ролики шириною 10 мм для випробувань на зношування. В якості контртіла застосовувалися ролики зі сталі 45. Ролики без зміцнювача та із суцільним внесенням проходили випробування на машині тертя MI-1M під навантаженням 100 кг. Загальна тривалість досліджень ролику із локальним внесенням становила 6 год. Це зумовлено метою дослідити зміну мікрорельєфу поверхні змінного складу та властивостей із плином часу. Кожні 2 години проводилися наступні вимірювання: втрати маси (Δm , г), шорсткості (R_z), а також діаметрів та твердостей по зонах. Маса зразків вимірювалася на лабораторних вагах, шорсткість досліджувалася щуповим методом на профілометрі 170621, а твердість – твердоміром ТД-42. Залежність шорсткості зразків від часу наведено на рисунку 1.

В ході досліджень було виявлено, що із плином часу відбувається зниження втрати маси, що можна пояснити фактом нагартування поверхонь у контакті при тривалому терті. Шорсткість та місцеві діаметри в зразка, наплавлених із локальним внесенням матеріалу зберігаються в однакових межах без суттєвих перепадів, що підтверджує позитивний вплив даної схеми на збереження деталлю початкової форми. Це може бути пояснене нівелюванням шорсткості за рахунок різних властивостей зон. Заміри

локально зміцнених зразків твердості виявили вирівнювання показників. Так при початкових значеннях по зонах 187...223 НВ, після перепад зональних показників твердості спочатку зростав за 2 годин експлуатації до 57 одиниць (106...163 НВ), до 74 одиниць після 4 год. (96...170 НВ), а після 6 год. скорочувався до 45 (119...164 НВ). Це може бути пояснене нагартуванням в менш твердих зонах та поступовою втратою своїх властивостей зонами більшої твердості.

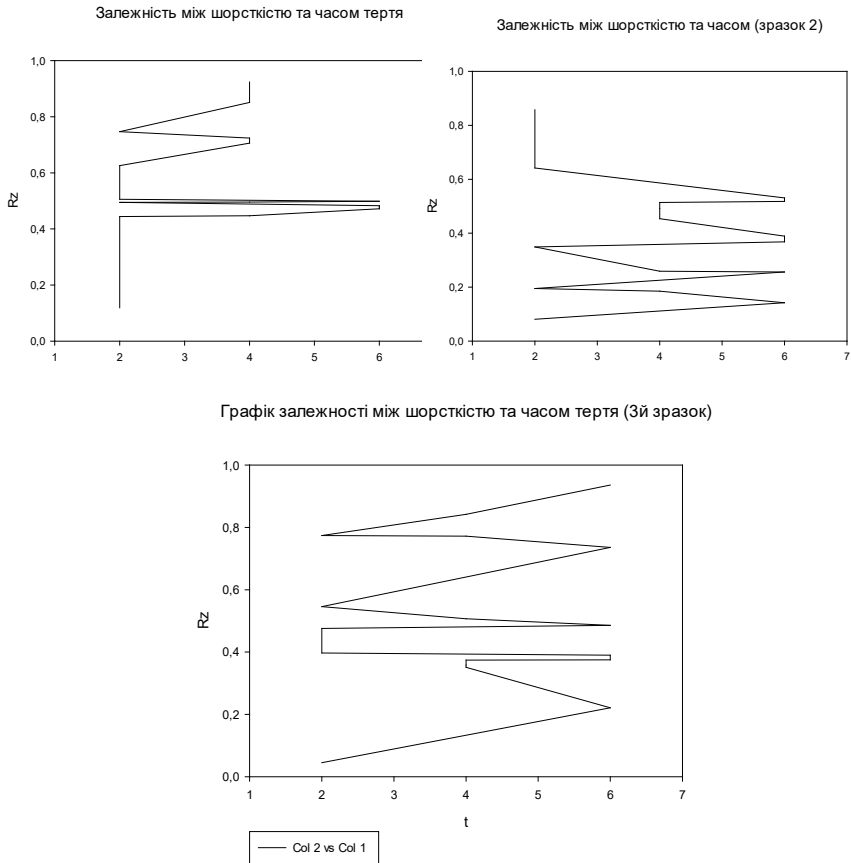


Рисунок 1. Графіки залежності шорсткості зразків від тривалості тертя
Rz – шорсткість поверхні, мкм; t – тривалість зношування

Спираючись на отримані результати, є підстави стверджувати, що дана схема є перспективною для наплавлення поверхонь, які після зміцнення будуть тривалий час експлуатуватися без значної втрати початкової геометрії..

ГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Полимерные композитные материалы (ПКМ) стали прорывом XX века в промышленных сферах различных отраслей: машиностроение, металлургическая и химическая промышленность, авиа- и космическом строении. На сегодняшний день ПКМ не сбавляет свои обороты, а все шире и мощнее укрепляют свои позиции в разных сферах производства и замены стандартных знакомых нам металлов и их соединений. Среди ПКМ уже широко известны полиамиды, ПЭЭК, фторопласты, углепластики, органопластики и гибридные композиты. Следует отметить, что именно сочетание пластической матрицы с рядом наполнителей, таких как: углеродные и органические волокна, дисперсные металлические порошки, позволяют достичь желаемых физико-механических, теплофизических свойств, прочностных и триботехнических характеристик. Немаловажным фактором является оптимальное сочетание состава ПКМ и их переработка в изделия, процесс которых отражается на конечном продукте. Таким образом, при создании нового полимерного композита следует учитывать ряд очень важных факторов для достижения максимально качественных свойств полученного материала.

Одним из интересных представителей таких материалов является гибридный композит на основе ароматического полиамида фенилон, армированного смесью дисперсных органо- и углеродных волокон.

Для композиций использовали: фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), в виде мелкодисперсного порошка розового цвета с насыпной плотностью 0,2 - 0,3 г/см³ и удельной вязкостью 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% хлористого лития не менее 0,75.

В состав армирующих волокон входили:

- органическое волокно (ОВ) марки Танлон (модуль упругости при растяжении 7,45 ГПа, относительное удлинение при разрыве 20-25 %, плотность 1420 кг / м3);
- углеродное волокно (УВ) марки Торейка (модуль упругости при растяжении 220 - 230 ГПа, плотность 1760-1800 кг / м3).

Подготовку композиций определенного состава (табл. 1) осуществляли методом сухого смешивания порошкообразного полимера и дискретных (3 мм) волокон во вращающемся электромагнитном поле (0,12 Тл).

Переработку подготовленных композиций в изделия цилиндрической формы (диаметром 10 мм, высотой 15 мм) осуществляли методом компрессионного прессования, при котором полимер, помещенный в загрузочную камеру, испытывает в основном

деформацию сжатия при практически полном отсутствии сильных сдвиговых деформаций.

Анализ результатов, проведенных физико-механических и триботехнических испытаний позволил установить, что введение волокнистого наполнителя различной природы в полимерную матрицу положительно сказался на качественных показателях их свойств. А именно, показано [1], что по сравнению с фенилоном наблюдалось повышение модуля упругости в 1,4 раза; предела текучести на 45%, коэффициент поперечной деформации колебался в пределах 0,18 - 0,23 (табл. 1).

Таблица 1. Физико-механические свойства гибридных композитов

Показатели	K1	K2	K3	K4	K5
Модуль Юнга (E), МПа	2500	3100	3000	3500	2700
Коэффициент Пуассона (ν)	0,21	0,23	0,19	0,2	0,18
Предел текучести при сжатии ($\sigma_{\text{сж}}$), МПа	204	228	265	297	242
Относительное удлинение при сжатии(ϵ), %	12,8	11,7	14,2	13,2	16

где K1 –фенилон С-1(Ф), K2 –91мас.% Ф +9 мас.% смеси УВ и ОВ, K3–88мас.% Ф +12 мас.% смеси УВ и ОВ, K4 –80 мас.% Ф +20 мас.% смеси УВ и ОВ, K5–80 мас.% Ф + 20 мас.% смеси ОВ и УВ.

Экспериментально установлено [2], что интенсивность износа полученных композиций К 2 – К 5 на порядок ниже чем у исходного фенилона (рис. 1, а), при одновременном снижении коэффициента трения на 50 - 60% (рис. 1, б).

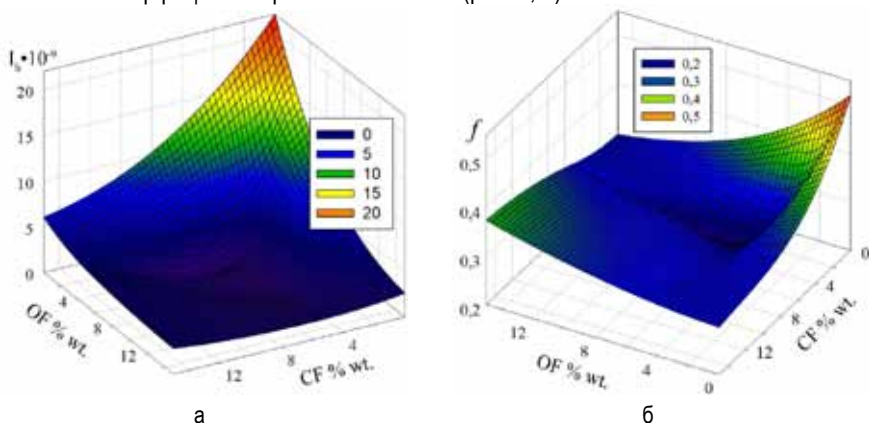


Рисунок 1. Зависимость интенсивности изнашивания (а) и коэффициента трения (б) от содержания органического (OF) и углеродного (CF) волокна в гибридном композите

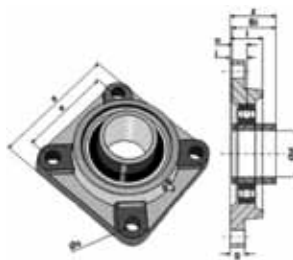
Оптимальные значения износостойкости достигаются при соотношении компонентов ОВ:УВ – 4:5 мас.%.

Такой эффект получали за счет, оригинального гибридного наполнителя, который выступил в роли ингибитора, что тормозил процесс разрушения фенилона при трении без смазки по стальному диску, за счет конкурирующей адсорбции с волокнами – активаторами и образованием на металлическом контртеле поверхности защитных адсорбционных пленок.

Положительные результаты лабораторных испытаний позволили перейти к производственным, экспериментальные детали (подшипники качения) из гибридного полимерного композита были установлены в опорных узлах шнековой сушилки ШС-1 [3].



а



б

Рисунок 2. Подшипник UCF 212

В условиях трения без смазки, высокой степени запыленности и повышенных температур, разработанные подшипники на протяжении эксплуатационного периода (30 дней) проработали без нареканий и не требуют замены.

В результате вышеизложенных экспериментальных исследований композитов на основе фенилона установлено, что наблюдалось повышение по сравнению с фенилоном модуля упругости в 1,4 раза; предела текучести на 45%. В композициях К 2 – К 5 интенсивность износа и коэффициент трения ниже, чем у исходного фенилона на порядок и на 50 – 60% соответственно, минимальное значение указанных характеристик достигается при соотношении ОВ:УВ – 5:7 мас. %. В целом можно сказать, что армирование смесью углеродного и органического волокон способствует повышению стойкости композита к истиранию и сохранению эксплуатационных характеристик в жестких высокотемпературных и нагрузочных условиях эксплуатации.

Список источников

1. Набережна О.О., Буря О.І. Дослідження впливу органічного та вуглецевого волокна на експлуатаційні характеристики гібридних композитів на основі ароматичного поліаміду // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник за галузями знань «Технічні науки». – 58. – 2017. – С. 255 – 261.
2. Набережная О. А., Буря А.И., Свириденко А. И. Влияние состава гибридного наполнителя на трибологические свойства композитов на основе фенилона // Трение и износ. – №2. – 2020. – С. 145 – 152.

3. Буря О.І., Набережна О.О., Стежка Є.Ю. Гібридні волокнисті полімерні композити конструкційного призначення // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції (24-27 квітня, Чернігів), 2017. – Т.1 – С. 159 – 160.

ОРГАНОПЛАСТИКИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Економічна доцільність будь-якого виробництва безпосередньо пов'язана із працездатністю обладнання, оскільки простої та ремонт завдають великих економічних збитків. Так безвідмовна експлуатація ткацьких верстатів нерозривно пов'язана з працездатністю вузлів тертя (у 90 % випадків). Застосування зносостійких полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), у тому числі органопластиків (ОП), дозволить не лише у 3 рази збільшити термін експлуатації верстатів та знизити споживання кольорових сплавів і енергетичні втрати при виробництві вузлів тертя для сільськогосподарської, автомобільної та текстильної техніки, а й покращити ремонтпридатність і виключити сервісне обслуговування механізмів. Враховуючи зазначене, розробка та дослідження нових ОП є актуальною задачею.

Як полімерну матрицю обрано ароматичний поліамід фенілон марки С-1, який завдяки поєднанню високих термічних та механічних характеристик викликає великий інтерес серед термопластичних в'язучих для створення волокнистих ПКМ [1].

Для створення органопластиків триботехнічного призначення використовували такі термостійкі органічні волокна як поліоксидіазольне (Оксалон, виробництво «Світлогорськ Хімволокно», Білорусь), поліариленове (Лола, Всеросійський науково-дослідний інститут полімерних волокон (ВНДІПВ), Росія) та полісульфонамідне (Танлон Т700, виробник компанія «Shanghai Tanlon Fiber Co.», Китай). Серед інших органічних волокон вони вирізняються простотою синтезу та дешевизною виробництва. Приготування композицій та дослідження їх триботехнічних характеристик здійснювали за методиками наведеними в роботі [1].

Таблиця 1.

Вплив вмісту органічних волокон на трибологічні властивості фенілону С-1

Вміст волокна, мас. %	Схема «диск-колодка»		Схема «диск-палець»	
	Коефіцієнт тертя, f	Інтенсивність лінійного зношування, $I_n \cdot 10^{-8}$	Коефіцієнт тертя, f	Інтенсивність лінійного зношування, $I_n \cdot 10^{-8}$
–	0,42	7,43	0,51	3,85
Лола				
5	0,25	4,18	0,3	2,9
10	0,2	1,35	0,26	1,5
15	0,18	1,2	0,25	1,05
20	0,18	1,15	0,26	0,94

Оксалон				
5	0,32	2,90	0,3	1,9
10	0,31	1,89	0,29	0,98
15	0,3	1,54	0,26	0,4
20	0,35	1,58	0,25	0,33
Танлон				
5	0,37	6,91	0,46	3,55
10	0,33	5,98	0,453	3,4
15	0,32	6,11	0,45	3,25
20	0,32	6,16	0,45	3,27

Результати триботехнічних характеристик органопластиків в умовах тертя без змащення свідчать, що використання органічних волокон Лола, Оксалон та Танлон (табл. 1) є перспективним шляхом покращення трибологічних властивостей вихідного полімеру. Встановлено, що найбільш ефективніший вплив на покращення триботехнічних характеристик фенілону чинить використання органічних волокон Лола та Оксалон. Що стосується волокон Танлон, його використання як наповнювача не є досить ефективним для створення композитів триботехнічного призначення.

Перелік посилань

1. Томина А.-М. В. Встановлення закономірностей впливу органічних волокон на властивості та структуру ароматичного поліаміду фенілон: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: 05.02.01 / Томина Анна-Марія Вадимівна. – Кам'янське, 2019. – 230 с.

В.І. Унрод¹, Ю.В. Олейник²

¹Регіональне відділення Української технологічної технології

²Лабораторія хіміко-аналітичних досліджень Українського наукового центру екології моря

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ

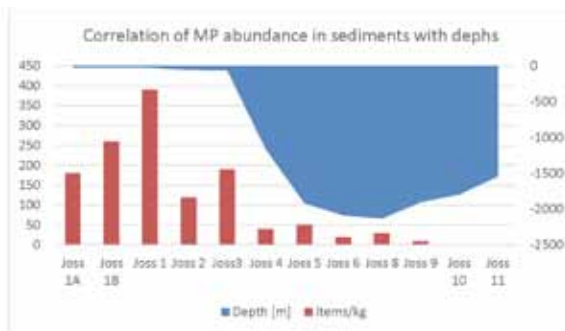
Переробка відходів полімерів є одне з найбільш важливих завдань на сьогодні. Світове виробництво полімерів сягає приблизно 275-299 млн. т/рік [1-9], на вторинну переробку приходить 60% полімерних відходів [10]. Відходи пластику несуть загрозу не тільки забруднюючи суходіл, на звалищах, а також погіршують екосистему моря та світового океану.

Морське сміття визнане загрозою для морської фауни за згодою з Рамковою директивою Європейської морської стратегії, Регіональними морськими конвенціями та міжнародними положеннями.

Проблема переробки полімерних відходів для України підтверджується дослідженнями проведеними в рамках проекту EMBLAS [11, 12]. Під час морських експедицій проводився моніторинг мікропластику (МП) в донних відкладеннях (всі результати наведені в науковому звіті EMBLAS).

Середня кількість предметів у пробах донних відкладень ідентифікованих як пластик складає 107,5 шт. / кг. Максимальний вміст МП (390 шт. / кг) виявлено на північно-західному шельфі, в зоні витоку крупних річок, таких як Дунай та Дніпро.

На рисунку 1 представлено розподіл виявленого МП в залежності від глибини відбору проби донних відкладень.



■ одиниць МП/кг (шкала з ліва) ■ Глибина, м (шкала з права)

Рисунок 1 - Співвідношення кількості МП у відкладах з глибинами

Річковий виток є одним із основних забрудників Чорного моря, і найбільший вклад несе Дунай (80% загального витoku) [13] 4,2 тони пластика на добу (1533 тони що річно) [14]. Багатолітні дослідження вказують що екологічні проблеми Чорного моря найбільш виявлені в прибережних та шельфових водах (State of the Black Sea Environment, 2002).

Були визначені різні типи пластику: поліетилен та поліпропілен (ПЕ / ПП), поліамід (нейлон), акрилат/ПЭ-акрилати, віскоза, полівінілхлорид (ПВХ) Відносний вміст кожного типу МП: ПЕ / ПП (44%), поліамід (32%), акрилати та кополімери поліетиленакрилат (13%), віскоза (4%), ПВХ (5%) та неідентифіковані полімери (2%).

Для прикладу на рисунку 2 представлений зразок з темно-синім волокном товщиною біля 30 мкм, що складає більш 700 мкм в полі зору мікроскопу. Спектри, зібрані з волокна, вказують підвищене поглинання порівняно з спектрами фільтру в області 3000-2800 cm^{-1} (група CH), при 1435 (група CH_2) и 1376 cm^{-1} (група CH_3) и між 3540 cm^{-1} и 3120 cm^{-1} (група OH). На поверхні волокна не було спектрів, які належать іншим функціональним групам. Спектри групи CH , CH_2 і CH_3 були віднесені до поліпропілену, спектр групи OH (разом з вигином OH с центром в 1640 cm^{-1}) віднесена к присутності води яка адсорбована на волокну.

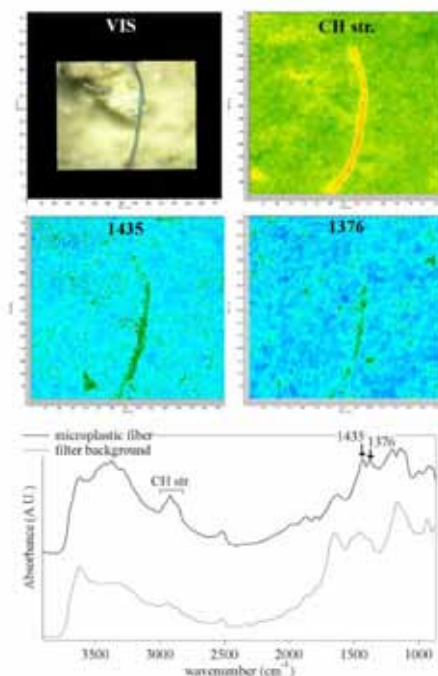


Рисунок 2 – Фото та спектрограма МП знятого на ІК спектрометрі

Мета наших досліджень є вивчення процесу переробки відходів поліетилентерефталату (ПЕТФ) методом амонолізу, винаходу оптимальних параметрів процесу переробки, та дослідження отриманих продуктів переробки як екологічно безпечних, або з метою їх повторного застосування в модифікації нових полімерних композицій.

На даному етапі проведенні попередні експерименти з різною витримкою зразків при заданій температурі та тиску, досліджується ступінь розкладання образків.

Експерименти проводяться на установці прискореної екстракції розчинником фірми FMS (PLE) дивись рисунок 3. На рисунку 4 наведені тренди температури та тиску в ході експерименту до повного розкладання зразка.



Рисунок 3 – система прискореної екстракції розчинником, реакційна комірка об'ємом 50 мл

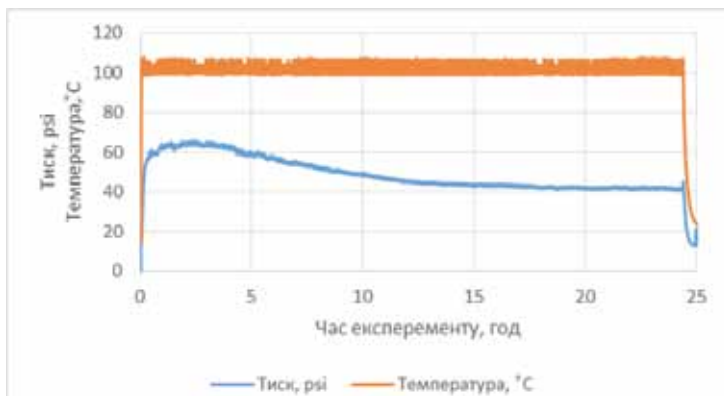


Рисунок 4 – Тренди тиску та температури в процесі амонолізу (25 годин)

Перелік посилань:

1. Rilling M. C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil // *Environ. Sci. Technol.* 2012. V. 46. P. 6453-6454.
2. Wright S. L., Thompson R. C., Galloway T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review // *Environ. Pollut.* 2013. V. 178. P. 483–492.
3. Koelmans A. A. ET&C perspectives // *Environ. Toxicol. Chem.* 2014. V. 33. P. 5–10.
4. Eriksen M., Lebreton L. C. M., Carson H. S., Thiel M., Moore C. J., Borerro J. C., et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea // *PLoS ONE*. 2014. 9(12): e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913 (<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111913>)
5. Velis C.A. Global recycling markets - plastic waste: A story for one player – China // Report prepared by FUELogy and formatted by D-waste on behalf of International Solid Waste Association – Globalisation and Waste Management Task Force. ISWA. Vienna. September 2014. 2014. 66 pp.
6. Marine Anthropogenic Litter (2015) M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.). Springer. 447 p. ISBN 978-3-319-16509-7 ISBN 978-3-319-16510-3 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-16510-3
7. PlasticsEurope 2014 <http://www.plastval.pt/conteudos/File/Publicacoes/Plastics%20-%20the%20Facts%202014.pdf> (accessed 29 June 2015).
8. Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean // *Science*. 2015. V. 347 (6223). P.768–771. DOI:10.1126/science.1260352.
9. Rocha-Santos T., Duarte A. C. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015. V. 65. P. 47–53.
10. Upendra Bhatt. Recycling & Managing the Plastic Waste // Conference on Recycling & Managing the Plastic Waste. ASSOCHAM May 30, 2015. New Delhi. 11 pp.
http://www.assochem.org/upload/event/recent/event_1150/Mr_Upendra_Bhatt_Plastic_Waste_Management-cKinetics_May_30-15.pdf
11. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016 Final Scientific Report, desember 2017, P.479.
12. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017 Draft Final Scientific Report, November 2018, P. 573.
13. J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin, A. Mikaelyan, A. Guchmanidze, M. Arabidze, A. Korshenko, S. Moncheva (eds.), National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016 Final Scientific Report, EU/ UNDP Regional Bureau for Europe and the CIS Project: Improving Environmental Monitoring in the Black Sea - Phase II (EMBLAS-II), ENPI/2013/313-169, December 2017
14. Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E., 2014. The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environ. Pollut.* 188, 177e181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>.

А.П. Мухачев¹, А.М. Бовда², Е.А. Харитонов³, Т.А. Гаджикеримов³

¹Институт геотехнической механики НАНУ, г. Днепр

²ННЦ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков

³Днепропетровский государственный технический университет,

ул. Днепропетровская, 2, 51900 Каменское, Украина, eah@ukr.net

ЛЕГИРОВАНИЕ НЕОДИМА ПРАЗЕОДИМОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРАКЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Производство постоянных магнитов на основе сплава Nd-Fe-B является постоянно растущим в мире. Главным показателем эффективности и конкурентности процесса получения магнитов является соотношение цена-качество. Стоимость магнитов Nd-Fe-B при заданных свойствах прямо зависит от цены неодима, который выделяется из смеси редкоземельных элементов (РЗЭ) легкой группы (ЛР) [1]. Постоянным спутником неодима в природе является празеодим, обладающий идентичными неодиму физическими и магнитными свойствами [2]. Содержание неодима в ЛР достигает 13%, празеодима – 4-5% остальные элементы – лантан, 25%, церий 55%, поэтому экономика производства неодима зависит от степени сбыта остальных элементов.

Совместное извлечение неодима и празеодима в процессе экстракционного разделения ЛР позволяет снизить расход на производство постоянных магнитов (ПМ) неодима на 30% за счет ввода в сплав неликвидного, с малым объемом сбыта празеодима при сохранении магнитных свойств и повышении температуры Кюри до 80°C. Обычно процесс легирования происходит в процессе плавки двух и более элементов, что удорожает производство сплава.

Добавка празеодима в неодим на стадии экстракции позволяет существенно сократить затраты на производство магнитного сплава в процессе металлургии.

Совместное выделение Nd и Pr в парный концентрат позволяет получить и смесь их фторидов, из которой в процессе кальциетермического восстановления в присутствии фторида железа (до 17% железа) образуется промежуточный сплав Nd-Pr-B. Он является исходным сырьем для получения магнитного сплава Nd-Pr-Fe-B.

В процессе разделения РЗМ в состав смеси Nd и Pr могут входить лантан – 1-2%, церий – 5-7%, которые в этих концентрациях мало влияют на магнитные свойства сплава, но снижают расход неодима.

В процессе экстракционного разделения ЛР на экстрагенте ТБФ были определены оптимальные параметры процесса, прежде всего по числу ступеней экстракции – 30 ступеней, промывка экстрагента – 38 ступеней, реэкстракция РЗЭ -17 ступеней при соотношении фаз

Ворганика: Висх : Впром. р-ра : Врезкст = 1:1:0,78:1

Это позволило получить парный концентрат Nd + Pr следующего состава: Nd –88%; Pr – 5%; Cl – 5%; La – 1÷2%.

Для получения фторидов РЗЭ была разработана схема осаждения крупных кристаллов карбонатов РЗЭ из азотнокислого резкстракта, их фторирование 40% плавиковой кислотой и сушки для удаления легколетучих примесей.

В процессе восстановительной плавки фторидов РЗЭ в стальном тигле были получены слитки тройного сплава Nd-Pr-РЗЭ с фторидом железа. Оптимальное соотношение для разделения шлака и сплава РЗЭ : Fe составило 83 : 17, что позволило получить слиток сплава с минимальным наличием шлака и примесей. ПМ, полученные из сплава Nd-Pr-РЗЭ-Fe-B имели магнитные свойства на уровне сплава Nd-Fe-B, но были дешевле на 30%.

Литература:

1. Производство редких и редкоземельных металлов. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 24-2017. С.170.
2. Спеддинг Ф., Даан А. /Перевод с английского Стернина И. М., Логинова А. Б. Под редакцией Савицкого Е. М. Редкоземельные металлы –М.: Metallurgia, 1965. с.54-72, с. 97-110, с. 205-213.

XIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА-КОНФЕРЕНЦИЯ



КОМПОЗИТЫ И
СТЕКЛОПЛАСТИКИ

2020

КОСАК
ПАЛАЦ

ЗАПОРОЖЬЕ

8-10 сентября