

УДК 621.926.9

С.С.ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент, С.В.РЕБРОВА, асистент
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТА РЕМОНТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета. Метою даної статті є обґрунтування доцільності застосування полімерних матеріалів для захисту робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання від абразивного зносу.

Методи дослідження. Узагальнення та групування – для аналізу поглядів науковців на об'єкт дослідження та формулювання висновків контент-аналізу первинних джерел, аналіз і синтез – для з'ясування причин абразивного зносу та обробки статистичних даних, графічний – для наочного відображення отриманих даних.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливість впровадження полімерних матеріалів у ремонтні технології гірничо-збагачувального обладнання, в яких, на відміну від існуючих, ураховано кумулятивний характер абразивного зносу, що характеризується додаванням до нього корозійних процесів, кавітаційного зносу, адгезійного зносу та інших.

Практична значимість. Впровадження полімерних матеріалів у технології ремонту та відновлення робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання дозволить значно зменшити фінансові затрати, оскільки не потребує суттєвих капіталовкладень та витрат робочого часу. Рациональне використання фізико-хімічних властивостей полімерних композиційних матеріалів надасть можливість значно знижувати трудомісткість і собівартість ремонту і скорочувати витрати матеріалів на їх проведення.

Результати. Проведено аналіз статистики відмов ґрунтових насосів. З'ясовано, що переважною їх причиною є зношення корпусу та робочого колеса. За результатами проведеного аналізу існуючих підходів вказано на відсутність універсальних методів боротьби зі зношуванням, а також загальноприйнятих критеріїв зносостійкості. Ураховано можливість зміни фізико-хімічних показників і, як наслідок, експлуатаційних властивостей полімерів, а також впровадження нових технологій їх нанесення. Показано, що застосування та вдосконалення полімерних композитних матеріалів є перспективним напрямком розвитку технологій ремонту гірничо-збагачувального обладнання. Обґрунтовано, що зменшення собівартості й енергозатратності виробництва, а також ваги конструкцій та металоємності вузлів можна досягти за рахунок застосування суперміцних полімерних матеріалів і композицій шляхом заміни металевих деталей на полімерні деталі, які не будуть поступатися їм за експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: технологія, абразивне зношування, полімерні матеріали, гірничо-збагачувальне обладнання, експлуатація, робочі поверхні

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-79-83

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Протягом багатьох десятиліть провідні науковці займаються питанням підвищення зносостійкості робочих органів машин від абразивного зношування. Це питання залишається дуже актуальним і досі, особливо, у гірничозбагачувальній галузі. Поверхні млинів, дробарок, грохотів, шламових насосів, магнітних сепараторів, що безпосередньо контактують з абразивним матеріалом піддаються інтенсивному зносу, втрачають свої експлуатаційні властивості, а це спричиняє за собою збільшення капіталовкладень на ремонт, відновлення, а в деяких випадках, заміну обладнання.

Аналіз досліджень і публікацій. Загальними питаннями теорій та практики виготовлення й ремонту деталей гірничо-збагачувальних машин присвячена велика кількість робіт як зарубіжних, так і вітчизняних науковців. Зокрема, в роботах Виноградова В.М., Сорочкіна Г.М. [1-3] був вивчений механізм абразивного зношування, розроблені методики дослідження та класифікація абразивного зношування; автори Тулінов А.Б., Гончаров А.Б. [4,5] досліджували нові композиційні матеріали та прогресивні технології для відновлення гірничого обладнання; Шагарава О.М. та Плотніченко М.В. [6,7] визначили фактори, що впливають на довговічність обладнання при абразивному зносі, а також вимоги до конструкційних матеріалів, які дозволяють збільшити міжремонтний період роботи обладнання; Дворук В.І. [8] запропонував реологокінетичну концепцію абразивної зносостійкості, яка дає можливість підвищити працездатність механічних трибосистем; у своїй роботі Кузусєв Д.П. [9] запропонував рішення проблеми підвищення зносостійкості дисків валкового грохоту. Слід відзначити роботи під керівництвом проф. Іщенко А.О. [10-13] присвячені технологіям відновлення гірничо-збагачувального обладнання при абразивному зносі, визначенню інтенсивності зносу матеріалу для захисту деталей перекачуючого обладнання, авторами запропоновано спосіб захисту поверхні деталей від абразивного зносу [14], а також метод, що дозволяє визначити кількість абразивного зносу будь-

якого полімерного матеріалу на основі поліуретану, а також дає можливість вибору механічних властивостей захисного матеріалу, зокрема підбору і складу наповнювачів композитного матеріалу [10]. Спосіб зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, що працюють в умовах абразивного зносу запропоновано у роботі Журавльової С.М., Заньківа Я.Я., Потапенко Ю.В., а саме у «способі зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, які працюють в умовах абразивного зносу, що включає обробку і очищення зношеної поверхні металеві конструкції, приготування застигаючої у функції часу зносостійкої суміші із зносостійкої роздробленої або порошкоподібної мінеральної маси і полімерної речовини, і формування з приготованої суміші футерувального шару на поверхні металеві конструкції, що підлягає зміцненню або відновленню її зношеної поверхні, згідно з корисною моделлю, заздалегідь для ділянок поверхні металеві конструкції, схильної найбільшому ерозійному руйнуванню, виготовляють зносостійкі накладки, які встановлюють на поверхню незатверділого на даних ділянках футерувального шару, причому накладки виготовляють формою відповідною проектній формі поверхні металеві конструкції на даній ділянці, а зносостійкість згаданих накладок узятя не менше (2-6) μ , де: μ - зносостійкість футерувального шару» [15].

Визнаючи значущість попередніх досліджень слід відмітити, що переважна більшість розробок є вузькоспрямованою, тоді як існує потреба в універсальному підході до визначення зносу та зносостійкості різних видів обладнання, що працює при варіабельності експлуатаційних умов.

Постановка задачі. Багато підприємств займаються виготовленням та ремонтом деталей гірничо-збагачувальних машин, пропонуючи власні конструкційні та технологічні рішення. Проте наявність статистичних даних свідчить про значну кількість передчасних відмов конструктивних елементів у процесі експлуатації. Провівши аналіз причин передчасного спрацювання деталей, визначено необхідність дослідження можливості підвищення надійності шляхом впровадження у виробництво сучасних полімерних матеріалів та технологій їх виготовлення.

Викладення матеріалу та результати. В умовах гірничо-збагачувального виробництва особливість технологічних процесів пов'язана, насамперед, з впливом великої маси абразивної сировини на робочі поверхні устаткування гірничо-збагачувальних комбінатів і це призводить до того, що його призначений ресурс перевищує реальний у кілька разів. На частку цього виду руйнування припадає від 50 до 80% випадків передчасного виходу з ладу деталей різного призначення. У промислово розвинених країнах витрати на заміну деталей, зношених під дією абразиву, становлять 4% національного доходу [8].

Абразивний знос характеризується як найбільш поширений і найбільш інтенсивний процес руйнування матеріалів з усіх видів механічного зношування. Розробленню методики дослідження механізму зношування, визначенню класифікації абразивного зношування сталі й критеріїв вибору зносостійких матеріалів відповідно до виду зношування були присвячені роботи ряду авторів [1-3]. Було визначено, що під впливом більш твердих речовин ніж матеріал спряженої деталі під час тертя, відбувається зношування матеріалу. В якості твердих речовин виступають зерна абразиву. Це складне фізичне явище, яке супроводжується відривом частинок та руйнуванням поверхні металу. Існує декілька видів абразивного зношування, і усі вони відносяться до механічного, тобто до руйнування і відділення матеріалу від поверхні в результаті механічних дій. Власне абразивне зношування - це механічне зношування матеріалів, в основному при різальній або дряпаючій дії твердих часток, що знаходяться у вільному або закріпленому стані. При дослідженні процесу абразивного зношування необхідно враховувати наступні фактори, а саме структуру й властивості абразивної маси, характеристики зношеної поверхні (механічні, структурні, хімічні) та особливості середовища, в якому протікає зношування.

Внаслідок особливості умов експлуатації, робочі органи гірничозбагачувального обладнання, що безпосередньо контактують з зернами абразиву, інтенсивно піддаються ударно-абразивному, гідро абразивному та газоабразивному зношуванню.

На рис. 1 наведені приклади газоабразивного зношування зношеного колектору хвостової частини агломераційної машини та лопаток ротора вентилятора.

Проведений аналіз статистики відмов ґрунтових насосів показав (рис.2), що причиною відмов на 40% є зношення корпусу (уліти), 23% - робочого колеса, тобто 63% відмов стається саме через гідроабразивне зношування.



Рис. 1. Дія газообразивного зношування

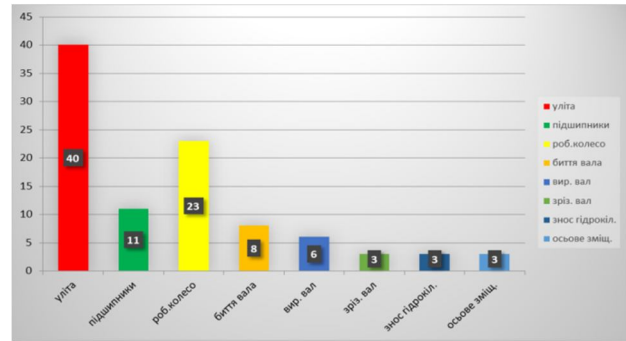


Рис. 2. Статистика відмов ґрунтових насосів

Характер гідроабразивного зношення показаний на рис.3 (робоче колесо) та рис. 4 (корпус)



Рис.3 Робоче колесо



Рис.4 Корпус

Аналіз літературних джерел показує, що на даний час ще не існує універсальних методів боротьби зі зношуванням, а також відсутні загальноприйняті критерії зносостійкості. Через це знижуються експлуатаційні показники зношених машин і багато часу витрачається на ремонт зношеного обладнання. Зносостійкість деталей залежить не тільки від зносостійкості матеріалів, але й від їх конструкції та умов експлуатації тобто визначає здатність матеріалу і конструкції деталі чинити опір зношуванню при певних умовах зовнішнього впливу. Тому деталі однакової конструкції, виготовлені з одного матеріалу, матимуть різну зносостійкість на різних збагачувальних фабриках, так як умови їх експлуатації і технології будуть різні [6].

Визначено, що оцінювання зносу можна узагальнити наступним співвідношенням [8]

$$\frac{h}{L} = K \frac{P}{P_T}, \quad (1)$$

де h – лінійний знос; L – шлях тертя; P – питома навантаження; K – коефіцієнт пропорційності; P_T – тиск текучості.

Однак, в залежності від особливостей умов експлуатації, до абразивного зношування додаються корозійні процеси, кавітаційний знос, адгезійний знос, феттінг корозія та інші процеси [13]. Тобто зношування робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання носить комбінований характер. Не зважаючи на те, що існує багато способів (футерування, наплавлення, металізація, зварювання, пайка та ін.) захисту і відновлення деталей та вузлів, кожен з них розрахований під окремий тип зносу, але у разі комбінації декількох видів зносу такі способи захисту можуть виявитися неефективними.

Саме застосування полімерних матеріалів може дати можливість, за рахунок наповнювачів і модифікаторів, отримувати необхідні властивості захисного шару поверхонь, що зношуються, від різних видів абразивного зносу. До того ж ремонт та відновлення деталей, а особливо великогабаритних деталей потребує великих фінансових, матеріальних та трудових ресурсів. Тому виникає необхідність в технологіях ремонту обладнання, які не вимагають значних фінансових вкладень, матеріальних і трудових ресурсів. Саме таким вимогам відповідають технології ремонту з використанням полімерних композиційних матеріалів. Застосування полімерних композиційних матеріалів має ряд суттєвих переваг, а саме: відносно низьку собівартість у порівнянні з металами; простоту застосування; універсальність при відновленні деталей з кольорових і чорних металів та ін.; високу хімічну стійкість полімерів до різних агресивних середовищ;

можливість отримання різноманітних, іноді унікальних фізико-хімічних властивостей полімерних композиційних матеріалів, що часто перевершують за своїми експлуатаційними характеристиками метали; малою питомою масою полімерів; шумо- та вібропоглинанням; антифрикційними й електроізоляційними властивостями.

Відновлення деталей металополімерними композиціями має ряд специфічних особливостей в порівнянні з відновленням деталей металами, обумовлених, передусім, використанням хімічної енергії для забезпечення реакції полімеризації. В цьому випадку необхідно в ході технологічного процесу управляти формуванням властивостей полімерного матеріалу, показники якого відрізняються від показників властивостей металевої деталі. Тому незначне відхилення від оптимальних умов може привести до різкого погіршення якості відновлюваної деталі [4]. При відновленні деталей металополімерами є певний "запас" якості, внаслідок чого режими відновлення не такі жорсткі. Але при цьому принципового значення набувають такі операції, як підготовка поверхонь деталей, приготування і нанесення ремонтних композицій, теплова і механічна обробка деталей [5].

Для захисту барабана магнітного сепаратора від абразивного зношування передбачається футерування з гуми або нержавіючої сталі з установкою на торцях спеціально розроблених манжет. Для більшого захисту від зносу збільшують товщину футерування. Але при цьому збільшується вага сепаратора і, що важливо, це призводить до зменшення дії силового поля магнітів. Застосування полімерних матеріалів дозволить не зменшувати силу магнітного поля, таким чином буде досягнута висока технологічність розділення сировини і не відбудеться намагнічування інших частин сепаратора.

В корпусах, що мають складну конфігурацію, зокрема в корпусі ґрунтового насоса, внутрішня його робоча поверхня зношується нерівномірно. Ділянки робочої поверхні, де потоки плинного агресивного середовища змінюють напрям і супроводжуються виникаючою при цьому турбулентністю, піддаються найбільшому ерозійному руйнуванню, що призводить до руйнування на даних ділянках робочої поверхні корпусу або зміцнюваного футерувального на ньому захисного шару [15]. Усі деталі, що контактують з абразивним середовищем - корпус, робочі колеса, комплектуються захисними швидкозмінними вкладишами. В якості зносостійкої основи конструкцій захисних вставок шламових насосів, зазвичай, використовують низьколеговані середньовуглецеві сталі або гуми.



Рис. 5. Відновлений корпус і робоче колесо

Використання, наприклад, синтетичного еластомірного покриття холодного напилення дозволяє збільшувати термін служби устаткування у декілька разів. Матеріал наноситься за допомогою спеціального пневмопістолету холодним способом без попередньої або подальшої температурної обробки області, що покривається. Використання спеціальних праймерів дозволяє досягти необхідної адгезії з поверхнею. На рис. 5 наведений приклад відновленого корпусу та робочого колеса шламового насосу матеріалом МетаЛайн 700.

Однак на даний час відсутні системні висновки щодо визначення існуючих способів захисту, зносостійкості та ресурсу роботи гірничо-збагачувального обладнання, що працює в умовах абразивного зносу. Залишаються питання технології підготовки та нанесення захисних полімерних покриттів, а також можливості заміщення металевих деталей на полімерні без втрати їх експлуатаційних властивостей.

Висновки. Таким чином, застосування та вдосконалення полімерних композитних матеріалів є перспективним напрямком розвитку технологій ремонту гірничо-збагачувального обладнання завдяки можливостям зміни фізико-хімічних показників і, як наслідок, експлуатаційних властивостей полімерів та зміни технологій їх нанесення. Паралельним напрямком розвитку є можливість створення нових суперміцних полімерних матеріалів і композицій, з метою заміни металевих деталей на полімерні деталі, які не будуть поступатися їм за експлуатаційними властивостями, але дадуть можливість значно зменшити собівартість продукції, енергозатратність

виробництва та зменшити вагу конструкцій і металоемність вузлів, що є подальшим напрямком наших досліджень.

Список літератури

1. **Виноградов В. Н.** Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – Москва: машиностроение, 1990. – 221 с.
2. Виноградов **В. Н.** Природа контактных деформаций при свободном ударе твердой абразивной частицы по стали / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. // Изв. вузов. Нефть и газ. 1981. -№4. - С. 69-73.
3. **Виноградов В. Н.** Изнашивание при ударе. / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. – Москва: машиностроение, 1982. – 192 с.
4. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы в ремонтном производстве / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. -№11.- С.46-47.
5. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы для сборочных и ремонтных работ. / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. - № 7. - С. 26-28.
6. **Плотниченко Н. В.** Требования к конструкционным материалам, способным увеличить межремонтный период оборудования при работе в гидроабразивных средах / Н. В. Плотниченко, О. Н. Шагарова. // Сб. научн. тр. студ. и магистров, М.:МГТУ. – 2005. – №5 - С.250–255.
7. **Шагарова О. Н.** Факторы, влияющие на долговечность горно-обогачительного оборудования при абразивном изнашивании / О. Н. Шагарова. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №22. – С.178–181.
8. **Дворук В. И.** Реолого-кинетическая концепция абразивной износостойкости и ее реализация в управлении работоспособностью механических трибосистем : дис. докт. техн. наук : 05.02.04 / Дворук Владимир Иванович – Киев, 2007. – 471 с.
9. **Кузев Д. П.** Повышение износостойкости дисков валкового грохота для сортировки кокса : дис. канд. техн. наук : 05.02.04 / Кузев Данил Петрович – Москва, 2009. – 140 с.
10. **Ищенко А. А.** Определение интенсивности абразивного износа защитного полимерного покрытия / А. А. Ищенко, Е. В. Дашко. // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки.. – 2015. – №30. – С. 86–91.
11. **Ищенко А.А.** Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами / А.А. Ищенко. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 250 с.
12. **Ishenko Anatoliy** The researches of abrasion-resistant characteristics of polymeric material used when repairing of pumping equipment / Anatoliy Ishenko, Helen Dashko // Metallurgical and Mining Industry. No 6. - Dnipropetrovsk "MetJournal", 2015. – P. 327-332 (Scopus).
13. **Носовська О. В.** Підвищення надійності шламових насосів шляхом вдосконалення конструктивних елементів корпусів при їх відновленні: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.05.08 / Національна металургійна академія України – Маріуполь, 2017. – 178с
14. Патент України. 112201 UA, Спосіб захисту поверхні деталей від абразивного зносу / А.О. Ищенко, О.В. Дашко, Ю.С. Щербакова, М.М. Алексєнко / номер заявки U201605345; заявл. 17.05.2016; опубл. 12.12.2016 - Бюл. №23
15. Патент України 83297 UA, Спосіб зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, що працюють в умовах абразивного зносу / С.М. Журавльова, Я.Я. Заньків, Ю.В. Потапенко / номер заявки U201307965, заявл. 25.06.2013, опубл. 27.08.2013 – Бюл. №16
16. Футеровка деталей шламовых насосов [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://rospostavki.com/product/view/futervka-detalej-slamovyh-nasosov>.

Рукопис подано до редакції 01.04.2019

УДК 005.591.6:[66.047:544.023.5-03]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.В. БОНДАР, ст.викладач,
С.О.КРАДОЖОН, аспірант, Криворізький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСІ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратно-технологічного оформлення процесу сушіння тонкодисперсного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану використання сушильних установок, розглянуто найбільш поширені способи сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки.