

# ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-1-7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/01>**Сайчук О.В.**

Полтавський державний аграрний університет

**Потоскаєв О.М.**

Полтавський державний аграрний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОСТРУКТУРНОГО БЕМІТУ

У статті розглянуто роль нанотехнологій у технічній сфері АПК. Проаналізовано шляхи отримання та застосування наноструктурних гідроксидів та оксидів алюмінію. Досліджено фізико-хімічні властивості наноматеріалів, а також можливості та перспективи використання наноструктурного беміту для підвищення довговічності деталей та агрегатів сільськогосподарської техніки, покриттів та консолідованих матеріалів.

Сучасний розвиток сільського господарства передбачає технічне та технологічне оновлення виробництва у зв'язку із застарілим машинно-тракторним парком (МТП), низьким ресурсом техніки та включає не лише вдосконалення технічної оснащеності, а й ефективне використання технічних засобів агропромислового комплексу (АПК).

Наявність у сільському господарстві величезного парку машин, що працюють у контакті з ґрунтом, агресивними середовищами, обумовлює підвищені вимоги до їх надійності, якості технічного обслуговування та ремонту. Втрати металу в процесі експлуатації (знос, корозія) становлять десятки тисяч тонн, внаслідок чого доводиться витратити величезні матеріальні, енергетичні і трудові ресурси виробництва запасних частин, хоча у процесі експлуатації більшість деталей вибраковується при зносах робочих поверхонь. Сумарні збитки внаслідок корозії металу досягають у промислово розвинених країнах 4–5% національного доходу. Підвищити довговічність техніки, зменшити шкоду дозволяє використання корозійностійких матеріалів, серед яких найбільшу стійкість мають алюмооксидні.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю прискорення розвитку та вдосконалення технологій технічного сервісу для підвищення довговічності деталей; потребою активізації широкого використання в АПК наноматеріалів та досягнень нанотехнологій; необхідністю розробки нових матеріалів та технологій, що підвищують якість та ресурс деталей сільськогосподарської техніки.

Для забезпечення тривалої працездатності вузлів та агрегатів МТП особливо важливим є вдосконалення технологій обслуговування техніки, капітальний та поточний ремонт машин, активне використання досягнень наноіндустрії, зокрема нових штучних наноструктурних матеріалів.

Тому цілє даної наукової статті – розглянути теоретичні основи підвищення довговічності сільськогосподарської техніки з використанням наноструктурного беміту.

**Ключові слова:** наноструктурний беміт, наноматеріали, трибосполучення, гідротермальний синтез, газотермічне напilenня.

**Постановка проблеми.** Розробка та вдосконалення технологій ремонту та технічного обслуговування техніки, що дозволяють зменшити знос та тертя шляхом застосування трибопрепаратів та в результаті підвищити післяремонтний ресурс сільськогосподарських машин безсумнівно, є актуальним завданням. Пошук та створення нових конструкційних матеріалів у сучасних умо-

вах потребують великих капітальних вкладень. Процес цей розтягується на п'ять-десять років, що зовсім не відповідає динаміці науково-технічного розвитку та створенню техніки нового покоління. У зв'язку з цим поширюються нові технології, які знижують зношування і тертя в трисполученнях і суттєво продовжують ресурс машин та обладнання.

Одним із прогресивних та високоефективних методів відновлення поверхневих шарів деталей є газотермічне напилення (плазмове, газополум'яне, детонаційне) порошкових матеріалів. Метод дозволяє реалізувати в єдиному технологічному процесі одночасно відновлення геометричних розмірів і багаторазове збільшення терміну служби деталей за рахунок зміцнення, що виражається в підвищенні зносостійкості робочої поверхні, корозійної стійкості [1]. Крім вирішення завдань відновлення деталей, газотермічне напилення широко використовується для нанесення захисних покриттів на металеві та неметалічні поверхні.

Серед різноманітних методів підвищення якості деталей ґрунтообробної техніки перспективним є застосування керамічних матеріалів [2]. З керамічних матеріалів одним із лідерів є матеріали на основі оксиду алюмінію, які мають високу твердість і зносостійкість, невисоку вартість. В умовах суглинних ґрунтів деталі з корундової кераміки дозволяють підвищити зносостійкість та ресурс до 2–4 разів та забезпечити економію матеріальних, трудових та енерговитрат. Для обробки кам'янистих ґрунтів застосування корундової кераміки виявляється малоефективним через недостатню тріщиностійкість матеріалу. Підвищити тріщиностійкість матеріалу та довговічність деталей можна шляхом зменшення частки крихкого руйнування, за рахунок створення нанокомпозитів.

Проведений аналіз стану питання в галузі технічного сервісу дозволяє сформулювати наукову проблему, яка полягає в тому, що підвищення довговічності деталей та агрегатів сільськогосподарської техніки необхідно забезпечити за умов застарілого парку машин, недосконалості технологій технічного сервісу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наукові дослідження та аналіз передового досвіду показують, що одним із ефективних напрямів інноваційного розвитку в АПК є застосування нанотехнологій та наноматеріалів [3, с. 105]. Нанотехнології вже застосовуються при створенні нової сільськогосподарської техніки та технічному сервісі машин. Ефект проявляється у підвищенні довговічності деталей у кілька разів, зниженні коефіцієнта тертя та витрати енергії рухомих з'єднань машин та механізмів, втрат металу від корозії, поліпшенні екології сервісних підприємств.

Перехід від нанотехнології до індустрії наносистем і матеріалів належить до пріоритетних напрямів розвитку науки, технологій і техніки. Перспективність застосування нанотехнологій у різних сферах АПК досліджено такими вче-

ними, як Боровий М.О., Заячук Д.М., Кондир А.І., Азаренков М.О., Богуслаєв В.О. та інші.

**Постановка завдання.** Аналіз літератури показує, що застосування нанотехнологій при створенні нової сільськогосподарської техніки, технічному сервісі, біотехнології, рослинництві, тваринництві, переробці сільськогосподарської продукції дає потужний стрибок подальшому розвитку АПК. Аналіз теоретичних основ підвищення довговічності сільськогосподарської техніки з використанням наноструктурного беміту дозволить визначити основні напрямки для збільшення ресурсу за рахунок скорочення часу обкатки та швидкості зношування, підвищення рівня властивостей матеріалів і покриттів.

**Виклад основного матеріалу.** Наноінженерія поверхні тертьових деталей, тобто створення методів і технологій формування поверхонь з оптимальними міцнісними і триботехнічними властивостями є важливою областю наукових досліджень. Ресурс сільгосптехніки продовжується у 2–3 і більше разів без ремонту, із застосуванням відповідних марок наноматеріалів для кожного періоду експлуатації машин, що підтверджено не лише лабораторними та стендовими випробуваннями, а й моніторингом за тривалий період експлуатації [4, с. 21]. В умовах дефіциту фінансових засобів, недоступності якісних паливно-мастильних матеріалів проблема підтримки техніки у працездатному стані багато в чому може бути вирішена застосуванням спеціальних трибопрепаратів, розроблених на основі наноматеріалів та нанотехнологій.

Нанопрепарати дозволяють значно підвищити зносостійкість, скоротити тривалість і поліпшити якість припрацювання, підвищити пінтинг поверхонь у важко навантажених парах тертя, знизити температуру вузлів, що працюють, рівень шуму і вібрації, і в кінцевому підсумку збільшити ресурс і зменшити експлуатаційні витрати. Деякі з широко використовуваних трибопрепаратів не є наноматеріалами. Але, потрапляючи в зону високих температур та тисків, вони дробляться, руйнуються з утворенням наночастинок. Однак серпентин-мінерал природного походження та заміна його на штучні наноматеріали дозволяє розраховувати на підвищення стабільності властивостей трибоскладу. Перспективним є, на нашу думку, застосовувати для цих цілей беміт, штучний матеріал зі стабільними властивостями, який за багатьма характеристиками подібний до серпентинових мінералів.

Дослідження показали, що у наноструктурних покриттів із розмірами зерен менше 100 нм відбу-

вається різке покращення фізичних властивостей [5, с. 234]. Використання нанопорошкових матеріалів, у тому числі металокерамічних, призводить до підвищення ударної в'язкості, жаро- та зносостійкості, стійкості до абразивного зношування деталей та підвищення довговічності в 2–3 рази. Застосування нанотехнологій дозволяє як відновити деталі, так і збільшити їх ресурс до рівня нових. Завдяки унікальному комплексу фізико-хімічних властивостей як компонент наноматеріалів перспективним виявляється, на наш погляд, ширше застосування наноструктурних оксигідроксиду та оксиду алюмінію та композитів з їх застосуванням.

У оксигідроксиді алюмінію (AlOOH) відомі такі форми: діаспор, беміт, псевдобеміт. Методи одержання нанорозмірних порошоків можна розділити на диспергування механічним впливом, фізичні та хімічні методи [6]. Частинки, що виходять при диспергуванні, здебільшого мають розмір, що істотно перевищує характерні розміри наночастинок. Причиною наявності нижньої межі розміру (близько 1 мкм) є існування на певному етапі диспергування зворотного процесу – холодного зварювання або агломерації, і лише при застосуванні спеціальних прийомів та режимів для деяких матеріалів вдається знизити цей поріг.

Промисловість виробляє наноструктурні оксигідрокси алюмінію (переважно беміт і псевдобеміт) з тригідроксид алюмінію методом переосадження [7, с. 303]. Беміт є найкращим продуктом з технологічних причин і можливості отримати інші форми гідроксидів та оксидів алюмінію. Цей спосіб дозволяє практично за одну технологічну операцію виробляти продукт високої фазової та хімічної чистоти, без утворення побічних продуктів та стічних вод. Істотною перевагою способу є одержання одночасно з бемітом водню та теплової енергії. Розробка та впровадження даного способу дозволить не тільки виробляти затребуваний на ринку високочистий беміт, а й вирішити багато важливих енергетичних проблем, у тому числі створення економічно вигідних когенераційних установок [8, с. 57].

Відоме застосування беміту для створення захисних покриттів. Відзначено підвищення експлуатаційних параметрів за рахунок покращення фізико-механічних та структурних характеристик: суцільності, дрібнозернистості, твердості, зносостійкості та корозійної стійкості. Модифікуючий ефект від введення наноструктурних добавок забезпечується за оптимальної кількості наноконцентрації в загальній масі покриття [9, с. 115].

Використання при магнітно-абразивній обробці композиційних порошоків -залізо-наноструктурний

беміт – алмаз із полімерним сполученням забезпечує формування нанорельєфу (Rz не більше 100 нм) та підвищену інтенсивність знімання матеріалу до 10 разів [10]. Позитивні результати отримані при використанні наноструктурного беміту для створення каталізаторів очищення газів, що відпрацювали. Широко використовуються наноструктурні порошки беміту у виробництві каталізаторів та осушувачів. Властивість беміту утворювати пластичне тісто в кислому середовищі дозволяє формувати з нього вироби різної форми і складу без введення додаткового сполучного. Здібності гідроксидів алюмінію втрачати воду при нагріванні широко використовується для створення вогнестійких матеріалів.

Наноструктурні порошки гідроксиду та оксиду алюмінію знаходять застосування у різних композиціях з полімерами, бетоном та іншими матеріалами. Позитивні результати отримані під час використання беміту в обкатці дизельних двигунів [1]. Введення беміту в обкатувальний склад скоротило час обробки до двох разів.

Беручи до уваги фізико-хімічні властивості наноструктурного беміту і положення трибології, обґрунтування його ролі можна звести до такого:

- абразивне зношування і підшліфовування зон підвищеної шорсткості сполучень тертя, підвищення чистоти поверхонь, зниження механічної складової коефіцієнта тертя;

- очищення поверхонь тертя від нашарувань, оксидних плівок і дефектних структур, що забезпечує доступ речовин трибосередовища до ювенільних поверхонь металів і прискорює утворення антифрикційних покриттів;

- деяка подальша адсорбція на поверхнях частинок беміту смолистих речовин, що створює частинки, які розділяють деталі («третє тіло» в трибопарі), що зменшує коефіцієнт тертя;

- диспергація і розкладання беміту (з виділенням води), що зменшує перегрів оброблюваної поверхні контакту; шаруватість і гідратні оболонки на поверхні частинок, які сприяють зменшенню коефіцієнта тертя; каталітичний вплив на хімічні перетворення в зоні тертя;

- наноструктурна керамізація локальних дефектів з утворенням шару високої термостійкості, зносостійкості та високого електроопору (остання фаза в ланцюжку перетворень беміту є корундом). Кожна з перерахованих якостей може проявлятися на різних етапах перетворення частинок беміту в умовах тертя: спочатку більшу роль відіграють одні властивості, надалі інші.

При виробництві деталей дизельного двигуна (клапани, сідла, поршні) використання нанопорош-

кових матеріалів призводить до підвищення жаростійкості. Використання металокерамічних нанопорошків при виробництві деталей обприскувачів та поливальної техніки (насадки, розпилювачі) призводить до підвищення стійкості до гідроабразивного зношування. Нанесення нанослоя з оксиду алюмінію на кожухи кормозбиральних комбайнів збільшує термін служби в кілька разів. Зміцнення ріжучих елементів ґрунтообробної техніки з використанням наночастинок з металокераміки підвищує довговічність у 2–3 рази.

Розглянуті вище сфери застосування наноструктурних порошків оксидів і гідроксидів алюмінію звичайно не охоплюють всіх сфер застосування цих матеріалів і ці області можуть бути розширені при проведенні відповідних досліджень. З огляду на сказане можна зробити висновок про перспективність використання наноструктурних гідроксидів та оксидів алюмінію для підвищення довговічності деталей та агрегатів сільськогосподарської техніки, покриттів та консолюдованих матеріалів, прискорення обкатки.

Підвищення ресурсу при експлуатації деталей та покриттів, отриманих із застосуванням наноструктурного беміту, визначається комплексом функціональних властивостей, що визначають довговічність виробу або покриття у конкретних умовах експлуатації. Сільськогосподарська техніка експлуатується переважно на відкритій місцевості, за умов контакту з абразивним середовищем (ґрунт). Зносостійкість, ударостійкість (тріщиностійкість), корозійна стійкість матеріалу є властивостями, що визначають довговічність деталей для цих умов застосування, наприклад, як матеріал робочих органів плуга. Інша сфера застосування наноструктурного беміту лежить у сфері одержання металевих виробів високої якості методом лиття, термічної обробки металевих деталей у загартованих печах. Для покриття ливарних форм визначальними є термостійкість та міцність покриття на стирання, термічна та хімічна стійкість. Для довговічності вогнеприпасу – висока термостійкість, міцність при кімнатній та підвищених температурах, низька повзучість.

Перспективним напрямом підвищення тріщиностійкості, ударної в'язкості руйнування є використання армуючих елементів в матричних матеріалах, тобто створення композиційних матеріалів. При виборі матеріалу компонентів важливими факторами є сумісність армуючого та матричного компонентів, простота технологічного процесу отримання матеріалу та виробів із нього. Найбільш простими у виробництві є композити, технологія одержання яких не відрізняється від

звичайних матеріалів. У нашому випадку це матеріали з матричною алюмооксидною основою, зі зміцнюючими частинками беміту. Композити при цьому зберігають цінні якості корундової кераміки: високий опір зношування, корозії та окислення, що робить ці матеріали перспективними для виготовлення деталей ґрунтообробної техніки та різних покриттів.

Для підвищення показників фізико-механічних властивостей та ліквідації відомої «нестачі» керамічних матеріалів, а саме низької тріщиностійкості та крихкості, ефективним є композитний підхід до формування структури. Введення наноструктурного беміту забезпечує підвищення тріщиностійкості за рахунок розсіювання енергії тріщин, яке може бути забезпечене шляхом створення в матриці мікропористих областей, оптимізованих за розміром та формою. Розсіювання енергії досягається шляхом затуплення тріщини або її відхилення.

Одночасно з підвищенням тріщиностійкості введення беміту може забезпечити створення дрібнозернистої структури. Відбувається пригнічення процесу рекристалізації нанокластерами беміту, що гальмують зростання зерен.

Таким чином, наноструктурний беміт забезпечує отримання композиту не тільки з високою тріщиностійкістю, але і підвищеною міцністю при крихкому руйнуванні, оскільки розвинена сітка міжзеренних кордонів є додатковою перешкодою для поширення тріщин. В результаті підвищується довговічність деталей за умов ударних впливів.

Нагрів беміту призводить до його фазових перетворень та утворення структур далеких від стану термодинамічної рівноваги. Такі структури утворюються у результаті дегідратації беміту, а й за поліморфних перетвореннях безводних форм оксиду алюмінію. Для наноструктурного беміту активність обумовлена також малим розміром частинок, що збільшує реакційну поверхню, скорочує шлях реагуючих речовин через шар новоутворень.

Основним технологічним принципом отримання наноструктурних матеріалів та виробів з них для ливарних технологій є забезпечення високої гомогенності складу протипригарного покриття при введенні до нього добавки дезагрегованого наноструктурного беміту, що сприяє покращенню технологічних властивостей суспензії, зокрема дозволяє підвищити седиментаційну стійкість, зменшити розшарування, підвищити якість.

**Висновки.** Внаслідок збільшення переважачого віку машин та низької ефективності існуючої системи обслуговування, ремонту та експлуатації

техніки, ресурс двигунів надзвичайно низький, що є однією з причин великих питомих витрат. Одне з рішень підвищення довговічності деталей та агрегатів сільськогосподарської техніки знаходиться у галузі нанотехнологій, зокрема у застосуванні наноматеріалів.

Завдяки унікальному комплексу фізико-хімічних властивостей перспективним для підвищення довговічності деталей і агрегатів сільськогосподарської техніки, прискорення обкатки є застосування наноструктурних матеріалів, зокрема – наноструктурного беміту.

#### Список літератури:

1. Рибалко І.М., Лукаш В.С. Застосування нанотехнологій в машинобудуванні. *Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті: матеріали XIX міжнародного форуму молоді* (Харків, 06–07 квітня 2023 р.). Харків: ДБТУ. 2023. С. 128.
2. Фесенко О.М., Ковальчук С.В., Нищик Р.А. Проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 1. С. 170-179.
3. Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої. Київ. 2015. 350 с.
4. Панченко С.П. Функціональні наноматеріали. Д: НТУ ДП, 2022. 47 с.
5. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури Л: Львівська політехніка. 2009. 580 с.
6. Новиков Н.В., Клименко С.А., Бочечка А.А. Наноматеріали у технологіях механічної обробки. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. 2012. Вип. 13. С. 153-171.
7. Кондир А.І. Наноматеріалознавство і нанотехнології. Львів: Львівська політехніка, 2016. 450 с.
8. Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Калініна Н.Є. Наноматеріали і нанотехнології. Запоріжжя. 2015. 202 с.
9. Азарєнков М.О., Неклюдов І. М., Береснев В.М. Наноматеріали і нанотехнології: навч. посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2014. 316 с.
10. Б.Є. Патон, В.Ф. Москаленко, І.С. Чекман, Б.О. Мовчан. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти. *Вісник національної академії наук України*. № 6. 2009. С. 18-26.

#### Saichuk O.V., Potoskaev O.M. INCREASING THE DURABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS USING NANOSTRUCTURED BOEHMITE

*The article examines the role of nanotechnology in the technical sphere of the agro-industrial complex. The methods of extraction and hardening of nanostructured hydroxides and aluminum oxides, as well as the feasibility and prospects for the use of nanostructured hydroxides and aluminum oxides to improve the durability of parts and assemblies of agricultural machinery have been analyzed. advanced technology, coating and consolidated materials, accelerated running-in.*

*Modern development of agriculture provides for the technical and technological renewal of production in connection with the outdated machine and tractor fleet (MTF), low service life of equipment and includes not only the improvement of technical equipment, but also the effective use of technical means of the agro-industrial complex (MTF).*

*The presence in agriculture of a huge fleet of machines operating in contact with soil and aggressive environments determines increased requirements for their reliability, quality of maintenance and repair. The loss of metal under these conditions during operation (wear, corrosion) amounts to tens of thousands of tons, as a result of which it is necessary to spend enormous material, energy and labor resources on the production of spare parts, although during operation most parts are rejected when the wear of the working surfaces does not exceed 1–2% by weight of parts. The total damage resulting from metal corrosion reaches 4–5% of national income in industrialized countries. The use of corrosion-resistant materials, among which aluminum oxide materials, are the most resistant, can increase the durability of equipment and reduce damage.*

*The relevance of the research topic is due to the need to accelerate the development and improvement of technical service technologies to increase the durability of parts; the need to activate a broad the use of nanomaterials and nanotechnology achievements in the agricultural sector; the need to develop new materials and technologies that improve the quality and service life of agricultural machinery parts.*

*Ensure long-term operability of MTF components and assemblies, it is especially important to improve equipment maintenance technologies, major and current repairs of machines, and the active use of nanoindustry achievements, including new artificial nanostructured materials.*

*Therefore, the purpose of this scientific article is to consider the theoretical foundations of increasing the durability of agricultural machinery using nanostructured boehmite.*

**Key words:** nanostructured boehmite, nanomaterials, tribocombination, hydrothermal synthesis, gas thermal spraying.