

МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Умінський О.В., аспірант

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

Абразивний знос є однією з найважливіших проблем матеріалознавства та машинобудування, адже саме він визначає експлуатаційний ресурс деталей і конструкцій, що зазнають постійного контакту з абразивними середовищами. У літературі даної проблематики представлено численні підходи до аналізу процесів зносу, як з теоретичної, так і з експериментальної точки зору. Ряд дослідників, таких як К. Хокірігави, К. Като, К.В. Борак, Дворук В.І., Аулін В.В., Ф. Боуден, Д. Тейбор, І. В. Крагельський, Б. І. Костецький та Дж. Персон зробили вагомий внесок у розуміння механізмів абразивного зносу, розробку моделей процесів зносу та впровадження новітніх методик експериментальних досліджень.

У цій статті розглянуто основні аспекти абразивного зносу, його механізми, фактори, що впливають на інтенсивність процесу, а також проаналізовано окремі підходи та результати досліджень зазначених авторів. Аналіз робіт даних дослідників дозволяє отримати комплексне уявлення про фізико-механічні процеси, що супроводжують абразивний знос, а також визначити напрями подальших досліджень і практичних застосувань у промисловості.

Абразивний знос виникає внаслідок контакту між твердими поверхнями, коли на одній або обох із них присутні частинки абразиву. В процесі такого контакту відбувається механічне видалення матеріалу завдяки діям локальних напружень, що перевищують міцність матеріалу.

Наукові дослідження, проведені такими вченими як Ф. Боуден та Д. Тейбор, продемонстрували, що взаємодія між тертям і зносом є надзвичайно складною та багатофакторною, що потребує комплексного аналізу контактних зон та розподілу напружень у матеріалі [5].

Основні фактори, які визначають інтенсивність абразивного зносу, включають:

- Хімічний склад і структура матеріалу. Мікроструктурні особливості, такі як зернистість, кристалічна будова та присутність домішок, впливають на опір матеріалу до абразивного зносу. Дослідження К. Хокірігави [6] та Дворука В.І. [2] акцентують увагу на ролі мікроструктури та внутрішньомікроструктурних дефектів у процесах зносу.

- Параметри абразивного середовища. Розмір, форма та твердість абразивних частинок визначають характер взаємодії з основним матеріалом. Зокрема, роботи К. Като [6] демонструють, що застосування математичних моделей дозволяє прогнозувати швидкість зносу залежно від параметрів абразиву.

- Умови експлуатації. Температура, вологість, швидкість руху та навантаження – усі ці параметри впливають на інтенсивність зношування. Дослідження Борака К.В. показують, що навіть невеликі зміни умов експлуатації можуть призводити до значних варіацій у швидкості абразивного зносу [3].

- Методи обробки поверхні. Різноманітні методи термообробки, нанесення покриттів або модифікації поверхні можуть як зменшувати, так і збільшувати опір матеріалу до абразії. Результати досліджень Ауліна В.В. свідчать про важливість оптимізації технологічних процесів для підвищення зносостійкості деталей [1].

Підхід до моделювання абразивного зносу вимагає врахування багатьох змінних. Наукові роботи вчених, таких як І. В. Крагельський та Б. І. Костецький, розробили численні моделі, які дозволяють описати процес зносу з математичної точки зору. Вони враховують: розподіл контактних сил; локальні температурні ефекти; деформаційні процеси на межах контактів.

Такі моделі є важливим інструментом для прогнозування експлуатаційного ресурсу матеріалів та оптимізації конструкцій з урахуванням їх зносостійкості.

Дослідження К. Хокірігави зосереджені на вивченні мікроструктурних особливостей матеріалів, що впливають на абразивний знос. Автор приділяє значну увагу впливу дефектів кристалічної решітки, розподілу домішок та текстурних особливостей на опірність матеріалу до зносу. В експериментальних роботах були застосовані сучасні методи аналізу, зокрема електронна мікроскопія та рентгеноструктурний аналіз, що дозволило отримати глибоке розуміння локальних процесів на межах контактів. Завдяки цьому досліднику вдалося розробити критерії прогнозування зносостійкості матеріалів у різних умовах експлуатації [6].

К. Като зробив вагомий внесок у розробку математичних моделей, що описують абразивний знос. Автор систематизував різноманітні експериментальні дані та запропонував моделі, які враховують як фізичні, так і хімічні аспекти процесу зношування. Використання чисельних методів дозволило отримати точні прогнози інтенсивності абразивного зносу в залежності від характеристик абразивних частинок, швидкості руху та навантаження. Роботи К. Като є важливим посиланням для дослідників, які прагнуть інтегрувати теоретичні та експериментальні підходи в аналізі зношування [6].

Дослідник Борака К.В. зосередив увагу на емпіричних закономірностях абразивного зношування. В його роботах представлено широкий спектр експериментальних даних, що стосуються впливу обробки поверхні, температурних режимів та складу абразивного середовища на швидкість зносу. Завдяки ретельному аналізу отриманих результатів вдалося виявити критичні параметри, які можуть суттєво змінювати характеристики зношування. Ці дані стали основою для розробки рекомендацій щодо підвищення зносостійкості матеріалів у промислових умовах [3].

Дослідження Дворука В.І. та Ауліна В.В. охоплюють взаємодію мікроскопічних процесів, що відбуваються на поверхні матеріалів при абразивному зношуванні. Їх роботи базуються на використанні сучасних методів візуалізації та аналізу, зокрема, атомно-силової мікроскопії та скануючої електронної мікроскопії. Ці методи дозволили детально прослідкувати еволюцію поверхневих дефектів, аналізувати морфологію тріщин та зону розподілу напружень. Отримані результати не лише підтвердили існуючі теоретичні моделі, а й розширили розуміння процесів, що супроводжують абразивний знос, що має безпосереднє практичне значення для розробки нових технологій обробки поверхонь [1, 2].

Ф. Боуден та Д. Тейбор є одними з піонерів у вивченні тертя та зносу. Їхні експерименти дозволили встановити глибокий зв'язок між явищами тертя і абразивного зносу. Завдяки численним експериментальним роботам було виявлено, що локальні контактні умови, такі як мікродеформації та розподіл температур у зоні контакту, безпосередньо впливають на інтенсивність зношування. Науковці запропонували узагальнюючі моделі, які дозволяють описати механізми енерговіддачі у процесі контакту та розподілу напружень. Їхні результати стали фундаментом для подальших досліджень, спрямованих на зниження інтенсивності абразивного зносу через оптимізацію контактних параметрів [5].

І. В. Крагельський та Б. І. Костецький розробили ряд теоретичних моделей, що описують абразивний знос з урахуванням мікроконтактних процесів. Їх підходи базуються на аналізі розподілу напружень, де враховано не лише класичні моделі Габбса, а й новітні підходи до опису пластичних деформацій у межах контактних зон. Використовуючи методи математичного моделювання, дослідники показали, як зміна мікроструктури матеріалу впливає на стійкість до зношування. Їх роботи дозволяють більш точно прогнозувати експлуатаційний ресурс матеріалів і розробляти нові конструктивні рішення для зниження абразивного зносу.

Дж. Персон у своїх дослідженнях звертає увагу на застосування чисельних методів і комп'ютерного моделювання для аналізу процесів абразивного зносу. Завдяки інтеграції експериментальних даних із сучасними методами розрахунку вдалося створити високоточні моделі, які враховують як локальні, так і глобальні характеристики зносу. Застосування методів кінцевих елементів дозволило досліднику змодельовати розподіл контактних сил і температурних полів, що відкриває нові можливості для прогнозування зношування в різних експлуатаційних режимах. Сучасний підхід Дж. Персона сприяє розробці нових матеріалів і

технологій, орієнтованих на зменшення інтенсивності абразивного зносу в критичних галузях промисловості.

Сучасні технології чисельного моделювання та новітні методи експериментального аналізу відкривають нові горизонти для вивчення абразивного зносу. Подальші дослідження, орієнтовані на виявлення нано- та мікроструктурних особливостей зношування, дозволять розробити ще більш точні моделі та оптимізувати конструктивні рішення для зменшення негативного впливу абразивних процесів. Зокрема, інтеграція методів машинного навчання та штучного інтелекту з традиційними підходами моделювання може стати перспективним напрямком для прогнозування поведінки матеріалів у реальних умовах експлуатації.

Аналіз робіт провідних дослідників демонструє, що проблема абразивного зносу є складною та багатогранною. Вона вимагає як глибокого теоретичного осмислення, так і ретельного експериментального підтвердження. Завдяки сучасним методам дослідження з'являється можливість не лише розуміти природу зношування, але й розробляти ефективні заходи для його зниження. Синтез отриманих даних дозволяє робити висновки про важливість міждисциплінарного підходу, що інтегрує математичне моделювання, експериментальні дослідження та практичні випробування.

Сучасний рівень розвитку технологій відкриває перспективи для подальшого удосконалення матеріалів з підвищеною зносостійкістю, а отримані результати можуть бути застосовані для вирішення конкретних завдань у машинобудуванні, авіації, сільському господарстві, енергетиці та інших галузях. Водночас, співпраця між вченими з різних країн сприяє обміну досвідом і швидшому впровадженню нових підходів у виробничі процеси.

Список використаних джерел.

1. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
2. Дворук В. І. Реолого-кінетична концепція абразивної зносостійкості та її реалізація в керуванні працездатністю механічних трибосистем : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.02.04 / Національний авіаційний університет. Київ. 2007.
3. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
4. Tabor D. Surface forces and surface interactions. J. Colloid and Interface Sci. 1977. Vol.58, №1. P.2-13.
5. Bowden F.P., Tabor D. The Friction and Lubrication of Solids. Oxford University Press. 424 p.
6. Hokkirigawa K. Kato K. An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear, Tribology International. 1988. Vol. 21, № 1. 51-57.

Науковий керівник: Борак К.В., д.т.н., проф.