

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ.

IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS



April 13-15, 2022

с. Кropyvnytskyi

Центральноукраїнський національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України
Кафедра експлуатації та ремонту машин



ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

IV Міжнародна науково-практична конференція

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**13-15 квітня 2022 року
м. Кропивницький**

**Central Ukrainian National Technical University
Ministry of Education and Science of Ukraine
Department of operation and repair of machines**



IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS

IV International scientific and practical conference

CONFERENCE MATERIALS

April 13-15, 2022

c. Kropyvnytskyi

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДРОБЛЕННЯ ЗЕРНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ РІЖУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ІЗ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ

О.А. Мікосянчик, *д-р техн. наук, проф.*, **В.Б. Шамрай**, *асп.*,
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна
О.В. Дудан, *канд. техн. наук*, **Д.В. Філоненко**, *асп.*,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
В.І. Калініченко, *канд. техн. наук*, **В.Л. Кобзарь**, *асп.*,
ІПМіц. імені Г.С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна

Стан проблеми. Основними факторами, які визначають вид зношування ріжучих елементів (РЕ) робочих органів (РО) деталей сільськогосподарської техніки (СГТ) та переробної промисловості (ПП) є: середовище, в якому проходить знос; динаміка і кінематика відносного переміщення тертьових тіл; характер контакту і властивостей матеріалу РЕ. Перші фактори первинні. Вони характеризують зовнішні умови служби РЕ РО сільськогосподарських машин (СГМ) та ПП, визначають якісну і кількісну сторони явищ зносу. Через це їх поєднання з властивостями тертьових тіл покладено в основу при визначенні виду зношування.

Процес зношування РЕ РО деталей СГМ та ПП обумовлений силами на поверхні тертя, які безперервно змінюються, неоднорідністю абразивного середовища як по механічному, так і по хімічному складу, складністю динаміки процесів контактування і переміщення часток абразиву. Спочатку в точках контакту абразивних часток з поверхнями тертя РЕ РО виникає концентрація напруження і відбувається пластична деформація. При цьому деформований шар, який має підвищену активність, вступає в взаємодію з агресивними компонентами середовища, що приводить до утворення окисних плівок. Напруження розтягу, які виникають в поверхневому шарі під дією сил тертя, приводять до руйнування окисних плівок. Таким чином, знос РЕ РО СГТ і ПП обумовлений корозійно-механічним зношенням [1, 2]. По причині зносу і корозії із ладу вибувають до 80%, а по причині поломок (включаючи руйнування від втоми) – 20-30% РЕ РО деталей СГМ та ПП [1, 2]. Їх поломка може виникати не тільки внаслідок великих ударних навантажень, але і від втрати міцності при зносові і корозії.

Вирішення задачі підвищення зносостійкості і довговічності РЕ РО СГМ шляхом їх зміцнення базується на кількісних методах оцінки умов їх роботи [1, 2]. Знос РЕ кормоподрібноючих машин визначається кінематичними особливостями процесу різання [1]. Авторами роботи [1], були досліджені особливості зносу ріжучих елементів подрібнювача комбайну. Аналіз результатів експлуатаційних іспитів показує, що лезо ножа і протиріжучого елемента зношується неоднаково. Знос робочої частини ножа характеризується зміною товщини ріжучої кромки. Знос протиріжучого елемента характеризується затупленням і зміщенням по висоті ріжучої кромки.

Сучасні високопродуктивні кормозбиральні машини характеризується більш високим рівнем навантажень на РО подрібнюючого апарату. Це приводить до інтенсифікації процесу зношування РЕ. Так, згідно даних заводських іспитів, у серійного ножа (сталь 65Г) після напрацювання 1000 т радіус закруглення складає 2,5 – 3мм.

Характер зносу РЕ подрібнюючого барабана залежить від способу їх зміцнення. Найвищу працездатність забезпечують схеми, які реалізують ефект самозаточування [1] - здатність леза зберігати в процесі експлуатації достатню по міцності і зносостійкості товщину ріжучої кромки з наявністю оптимального профілю, допустимого для виконання технологічної процесу (ТП). При самозаточуванні I роду покриття наноситься на нижню

поверхню леза. При цьому гострота ріжучої кромки забезпечується товщиною покриття, яка визначається, в свою чергу, агротехнічними вимогами. Самозаточування П роду дозволяє забезпечити лезу більшу товщину ріжучого шару, так як в цьому випадку покриття наноситься на верхню поверхню РЕ. При самозаточуванні 1 роду для РЕ подрібнюючих барабанів кормозбиральних комбайнів рекомендуємо товщини покриття 0,3- 0,8 мм при товщині основного металу 7-20 мм.

У ПП при подрібненні зернової сировини в дробарках ударної дії відбувається зіткнення часток, що вільно рухаються, з твердою поверхнею. При цьому процес подрібнення багато в чому залежить від того, наскільки ефективно використовується енергія удару на руйнування. Найбільш доцільний удар близький до прямого, тобто коли вектор відносної швидкості частинки направлений по нормалі до поверхні, що дробить. Це завдання вирішують виходячи з кінематики РО і з умов руху сировини при подачі її у робочу зону. Однак реалізувати умови прямого удару у робочій зоні не вдається. Це пов'язано з формою робочих органів, яка змінюється через зношування у процесі експлуатації. Тим більше не вдається передбачити наслідки рикошетів та повторних ударів. У зв'язку з цим є можливість підвищення ефективності руйнування зерна за рахунок використання регулярного рельєфу робочої поверхні у вигляді покриттів.

Постановка задачі. Існує три основних напрямки підвищення зносостійкості і довговічності РЕ РО СГМ і ПП [1, 2]:

1. вибір конструктивних геометричних параметрів РЕ;
2. вибір оптимальних параметрів режиму різання;
3. застосування зносостійких матеріалів (ЗМ) для зміцнення РЕ.

Найбільший ефект підвищення зносостійкості і довговічності РЕ дає використання всіх трьох напрямків одночасно. Доцільно відмітити обмежене використання ЗМ та методів нанесення покриття із цих матеріалів для підвищення зносостійкості РЕ РО СГТ та ПП.

Таким чином, застосування ЗМ і розробка ТП їх нанесення - актуальний напрямок підвищення зносостійкості і довговічності РЕ РО СГМ та ПП [1-3].

Опір абразивно-корозійно-механічному зношуванню залежить від природи і кількості твердих зносостійких складових в структурі покриття, які регулюються зміною хімічного складу твердого сплаву або введенням в шихту наповнювачів, які утворюють композитні матеріали (КМ) [1-4].

Серед способів нанесення зносостійких покриттів (ЗП) переважає наплавлення і напилення [1-5]. Аналіз умов експлуатації і способів зміцнення РЕ РО СГМ та ПП [1, 2] дозволив сформулювати основні вимоги до ТП нанесення ЗП на РЕ: висока продуктивність і низька трудоемкість; незначні втрати зміцнюючого матеріалу; невелика зона термічного впливу (ЗТВ) з метою зниження короблення деталей; нанесення покриття без використання захисних атмосфер; отримання РЕ необхідної геометрії без подальшої механічної обробки (МО) покриття.

Однак зносостійкі композиційні покриття (КП) характеризуються надтвердими поверхневими шарами і мають такий недолік як крихкість. З метою усунення цього недоліку наносять покриття дискретної структури. Заміна шару суцільного покриття на шар дискретної структури підвищує міцність і довговічність системи «деталь – покриття», виключаючи когезійне розтріскування покриття і його адгезійне відшаровування за рахунок обмеження зросту напруження, як в шарі покриття, так і в адгезійному контакті [3, 6]. Принцип дискретної структури дозволяє підвищити граничний стан покриття (контактні навантаження, критичні деформації основи, довговічність) в порівнянні з суцільним покриттям тієї ж товщини, складу і твердості.

Таким чином, розробка і дослідження способу нанесення КП дискретної структури є однією з невирішених задач в проблемі підвищення зносостійкості і міцності РЕ РО СГМ та ПП.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження способу нанесення КП дискретної структури та його використання для зміцнення і підвищення зносостійкості ріжучих кромок

ножів подрібнюючого барабану кормозбирального комбайну та робочих поверхонь дробних елементів дробарок ударної дії для переробки зернових культур.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались наступні задачі:

- обґрунтування можливості підвищення зносостійкості РЕ РО СГМ та ПП композиційними покриттями суцільної та дискретної структури на основі аналізу їх умов;
- дослідження процесу зміцнення та підвищення зносостійкості РЕ ножів подрібнюючого барабану кормозбирального комбайну та робочих поверхонь дробних елементів дробарок ударної дії для переробки зернових культур КП дискретної структури;
- визначення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей РЕ РО СГМ та ПП із дискретними покриттями;
- вибір оптимальних режимів процесу зміцнення та підвищення зносостійкості РЕ РО СГМ та ПП покриттями дискретної структури.

Результати досліджень. Аналіз умов експлуатації РЕ РО СГМ та ПП дозволив зробити наступні висновки:

- РО С ГМ та ПП експлуатуються в умовах абразивного зношування і їх довговічність знаходиться в прямій залежності від здатності протистояти абразивному або корозійно-механічному руйнуванню;

- методи наплавлення КП внаслідок високотемпературного нагрівання і розбавлення наплавленого шару металом РЕ РО не дозволяють зберегти властивості вихідного матеріалу покриття. Наплавленні РЕ характеризуються значними термічними деформаціями і вимагають МО;

методи напилення КП не забезпечують достатню міцність зчеплення покриття і рівномірну твердість, потребують попередню підготовку поверхні перед напиленням і МО після напилення, малоефективні при зміцненні поверхонь невеликих розмірів із-за втрати матеріалу, який напилюється, характеризуються шкідливими умовами роботи персоналу під час попередньої підготовки поверхні та при самому напиленні;

багаточисельні дослідження показали, що найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості РО СГМ та ПП є застосування покриттів із композиційних матеріалів (КМ) дискретної структури. Зносостійкість відновленої або зміцненої дискретними покриттями деталі перевищує зносостійкість деталі без покриття;

- враховуючи локальний характер і нерівномірність зносу РО доцільно дискретне покриття наносити відповідно з епюрою нерівномірного зносу. Диференціальне відновлення і зміцнення може здійснюватися дискретними покриттями змінною суцільності. У основу вибору величини суцільності покладена залежність зносостійкості від суцільності. По критерію міцності і зносостійкості, дискретна структура успішно працює при відновленні великого зносу, тоді як суцільні покриття непрацездатні із-за руйнування і фрагментації при малих деформаціях поверхні РЕ;

- несуча здатність деталі з покриттям в умовах експлуатації має функціональний зв'язок із товщиною покриття. Залежність товщини покриття, його адгезійної міцності, залишкових напружень, а також експлуатаційних навантажень встановлює граничні значення товщини покриття. При відновленні зношених РЕ прагнуть досягти максимально можливої товщини покриття.

Для модельних досліджень розглянемо конструкцію поверхні з покриттям дискретної структури, що наноситься у вигляді окремих ділянок (рис. 1). Фрмa окремої ділянки – півсфера. З метою підвищення зносостійкості матеріал напівсфери повинен мати твердість, що набагато перевищує твердість основного матеріалу. Поєднання в'язкості основного матеріалу і високої твердості ділянок покриття забезпечують довговічність елементів, що дроблять.

Конструкція поверхні з дискретним покриттям у цьому випадку характеризується радіусом напівсфер R та кроком T (відстанню між центрами основ напівсфер на площині).

У першому наближенні ефективність такої поверхні дорівнюватиме:

$$K = (1-M) \Phi + MP_1 \quad (1)$$

де $M = \frac{\pi R^2}{T^2}$ - відносна частина площини зайнята основами півсфер;

Φ – ймовірність руйнування частки на площині (визначається з експерименту);

P_1 - ймовірність руйнування частинок на півсфері.

Частка руйнування зерен в одиницю часу в умовах стаціонарного поля частинок визначається із співвідношення

$$P = \frac{n}{N} \quad (2)$$

де N - число частинок, що досягли поверхні в одиницю часу;

n – кількість зруйнованих частинок.

Вираз (2) може бути мірою ефективності заданого рельєфу і у разі детермованого потоку частинок під кутом γ до площини (рис. 1) для напівсфери набуває вигляду

$$P_1 = \frac{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\theta_0} \delta[\phi + c(1 + \phi)] \cdot (\sin \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma + \cos \theta \cdot \cos \gamma) \sin \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\theta_0} \delta(\sin \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma + \cos \theta \cdot \cos \gamma) \sin \theta d\theta} \quad (3)$$

де θ, φ - широта та довгота сферичної системи координат,

θ_0 - верхня межа інтегрування за широтою;

δ - параметр, який визначає умову фізичного контакту при чисельному інтегруванні ($\delta=0$, якщо $\cos \beta < 0$ і δ , якщо $\cos \beta \geq 0$;

c - коефіцієнт, що враховує рикошети та "залишкову" міцність частинки.

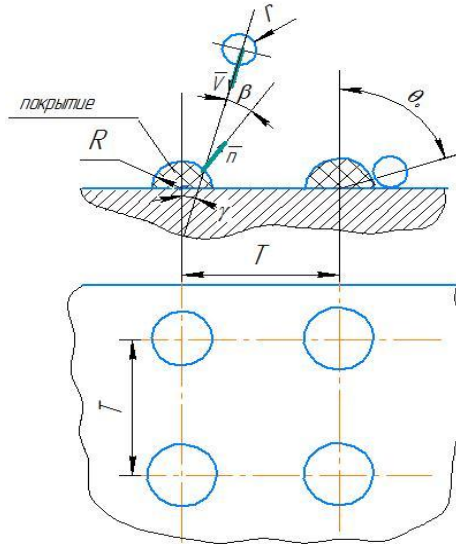


Рисунок 1 – Модель поверхні з дискретним покриттям

Передбачається, що всі частинки, що не зруйнувалися (рикошетували), мають вектор швидкості з напрямком $\gamma = 1 \geq \pi/2$, будуть відчувати повторний удар і руйнуватися з ймовірністю C . Вплив конструктивних параметрів дискретних покриттів на робочих поверхнях елементів, що дроблять, на ефективність подрібнення має місце при вуглі падіння $\gamma = \frac{\pi}{3}$ і залежить від величини M (відносної частини площини, зайнятої основами півсфер).

Ефективність подріблення тим більша, чим більша частина площини зайнята основами напівсфер і чим більший кут падіння потоку зернової сировини.

В подальшому, в роботі у загальному випадку ставилось завдання про оптимізацію рельєфу робочих поверхонь дробних елементів за критерієм ймовірності руйнування частинок при заданих статистичних характеристиках їхнього поля швидкостей та функції ймовірності руйнування, відповідно до виразу (2).

Таким чином, рельєфна поверхня робочих поверхонь елементів, що дроблять, у вигляді покриттів дискретної структури підвищує ефективність дроблення зернової сировини.

Висновки. Розглянуто вплив робочої поверхні елементів, що дроблять, з покриттям дискретної структури, що має рельєф у вигляді півсфер, на руйнування та подрібнення зернової сировини при його вільному ударі. Показано, що робоча поверхня елементів, що дроблять, з покриттям дискретної структури і з рельєфом у вигляді півсфер, може бути набагато ефективнішою при подрібненні зернової сировини при збільшенні кута падіння зерна.

Для підвищення зносостійкості робочих поверхонь елементів, що дроблять, матеріал дискретного покриття повинен мати твердість, що набагато перевищує твердість основного матеріалу. Поєднання в'язкості основного матеріалу і високої твердості ділянок покриття забезпечує довговічність елементів, що дроблять.

Підвищення ефективності руйнування та подрібнення зерна забезпечується як за рахунок підвищення зносостійкості робочих поверхонь дробних елементів для переробки зернових культур, так і за рахунок оптимізації геометричних параметрів рельєфу їхньої поверхні.

Список використаних джерел

1. Ворона Т.В. Умови експлуатації і основні причини виходу з ладу ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин Зб. наук. пр. "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КДТУ. 2011. вип. № 24. С. 344-351
2. Ворона Т.В., Башта А.В. Зміцнення робочих поверхонь деталей машин і апаратів переробної та харчової промисловості. Інженерія поверхні і реновація виробів: матеріали 15-ї міжнародної науково-технічної конференції (1-4 червня 2015, Одеська обл., Затока). Київ, АТМ України. С. 202-206
3. Ляшенко Б.А., Солових Є.К., Лопата Л.А., Підвищення міцності та довговічності деталей машин агропромислового комплексу багатофункціональними покриттями. Механіка де формівного твердого тіла: доп. сесії Наукової ради з проблеми «Механіка де формівного твердого тіла» НАН України (15-16 жовт. 2008, Полтава). Полтава: 2008. С. 15-31.
4. Kharlamov Y. Mamuzi I., Lopata L. The selection and development of tribological coatings. Materials and technology (Materiali in tehnologije), 44 (2010) 5, 283-287.
5. Патент України на корисну модель № 39488, МПК С23С 24/00 Спосіб нанесення зносостійкого покриття. Заявник і патентовласник Інститут проблем міцності АН України // Опубл. 25.02.2009. Бюл. № 4, 2009.
6. Патент України на корисну модель № 38200, МПК С23С 4/00 Спосіб нанесення зносостійкого дискретного покриття. Заявник і патентовласник Інститут проблем міцності АН України. Опубл. 25.12.2008. Бюл. № 24.
7. Аулін, В. В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах : монографія / В. В. Аулін. - Кіровоград : ТОВ "КОД", 2014. - 369 с.
8. Theoretical justification of the influence of change of dilaton and compression bonds of atoms of materials of machine parts on their tribological effect / V. Aulin, S. Lysenko, A. Hryniv [et al] // Problems of Tribology. - Хмельницький : ХНУ, 2021. - V. 26, № 2/100-2021. - P. 71-78.
9. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки. Дисертація д-ра техн. наук: 05.02.04, Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
10. Замота Т.Н. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: Монография // Т.Н. Замота, В.В. Аулин. – Кіровоград: издатель Лысенко В.Ф.; 2015. – 303 с.