

УДК 621.793.620.172

DOI:10.18372/0370-2197.2(103).18697

В.Б. ШАМРАЙ¹, В.І. КАЛІНІЧЕНКО²¹Національний авіаційний університет, Україна,²Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренко Національної академії наук України, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПОКРИТТЯМИ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКРИТТІВ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ

Обґрунтована доцільність підвищення зносостійкості, відновлення та зміцнення деталей робочих органів сільськогосподарських машин шляхом нанесення покриттів дискретної структури методом електроіскрового легування. Визначені переваги процесу електроіскрового легування. Представлені результати досліджень напружено-деформованого стану композиції «зміцнюєма поверхня - покриття». Для спрощення розрахунків використовували модель із упорядкованою схемою розташування дискретів. Розміри та конфігурація окремих ділянок покриття встановлюються, виходячи з умов мінімізації рівня напружено-деформованого стану при силових впливах на покриття. При використанні електроіскрових покриттів дискретної структури має місце характер зниження напружень в порівнянні з суцільним електроіскровим покриттям. Дискретне покриття має набагато менші мікронапруження, ніж при нанесенні його суцільним шаром.

Ключові слова: покриття дискретної структури, електроіскрове легування, зносостійкість, напружено-деформований стан

Вступ. Основною причиною втрати працездатності деталей машин є зношування (80-90% від спільної кількості відмов). Значна доля серед деталей що підлягають зношуванню - робочі органи сільськогосподарських машин. Зносостійкість - важлива експлуатаційна характеристика робочих органів сільськогосподарських машин, яка лімітує термін їх служби, а їх знос приводить к порушенню агротехнічних вимог і як наслідок - до зменшення врожайності [1].

Найбільш поширеним видом зношування робочих органів сільськогосподарської техніки є абразивно-корозійно-механічне [1]. Одна з причин недостатньої зносостійкості робочих органів пов'язана з обмеженим використанням при їх виготовленні і ремонті зносостійких матеріалів, технологій зміцнення і захисних покриттів [2-5].

Багаточисельні дослідження показали [2-5], що найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми, котра має зв'язок з підвищенням зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин є нанесення на їх робочі поверхні зносостійких покриттів, перевагами яких є висока міцність, жорсткість і зносостійкість.

Вирішення поставленої проблеми пов'язане з розробкою технологічних способів нанесення зносостійких і захисних покриттів. На виробництві переважають традиційні види наплавлення і напилення з подальшою механічною обробкою. Практика показує, що при наплавленні на 20-30% втрачаються позитивні початкові властивості матеріалів деталей і покриттів -

твердість і зносостійкість, а при напilenні не забезпечується достатня міцність зчеплення і щільність [2-4, 6].

Зносостійкі композиційні покриття характеризуються надтвердими поверхневими шарами, а, отже, мають такий недолік як крихкість. З метою усунення цього недоліку використовують принцип дискретної структури. Заміна шару традиційного суцільного покриття на шар дискретної структури, підвищує міцність і довговічність системи деталей - покриття, виключаючи когезійне розтріскування покриття та його адгезійне відшаровування за рахунок обмеження підвищення напруження, як в шарі покриття, так і в адгезійному контакті [7-9].

Аналіз публікацій з даної проблеми. Покриття дискретної структури, їх особливості, властивості та переваги. Дискретні покриття (ДП) - зміцненні окремі ділянки, розташовані на робочих поверхнях з певною суцільністю. Покриття дискретної структури збільшують зносостійкість поверхонь шляхом створення архітектури поверхні тертя, що зберігає фрагменти руйнування вторинних структур. Тертя, за рахунок ефективного використання явища структурно-енергетичної пристосовуваності матеріалів при терті. Наявність у поверхневому шарі дискретних ділянок підвищеної твердості, оптимальної суцільності, геометрії та глибини впровадження в поверхню усуває концентрацію напружень від контактних навантажень та перериває процес тріщиноутворення, пластичного деформування, знижує схильність до схоплювання деталей, що суттєво підвищують міцність та експлуатаційну надійність [7, 9].

Основною перевагою дискретних покриттів можливість шляхом зміни суцільності та розмірів дискретних ділянок на поверхні основи, а також підбором гами матеріалів за фізико-механічними характеристиками, створювати умови регулювання температурного режиму, досягнення найменшого коефіцієнта тертя та зносу, керувати та мінімізувати напружено-деформований стан поверхні [7, 9].

Принцип дискретної структури дозволяє багаторазово підвищити граничний стан покриття: контактні навантаження – у кілька разів, критичні деформації розтягування основи – до 2 порядків, довговічність – у кілька разів порівняно із суцільним покриттям тієї ж товщини, складу та твердості. Відмінною особливістю покриття дискретної структури є можливість забезпечувати необхідні експлуатаційні властивості деталей [7-9].

Технологічне забезпечення покриття дискретної структури. Принцип покриттів дискретної структури реалізується різними технологічними методами [8].

Дискретне точкове загартування вимагає на порядок менше електроенергії в порівнянні з традиційним загартуванням ТВЧ і дозволяє уникнути фінішного шліфування,

Вакуум-плазмові технології виявилися найбільш ефективними для нанесення дискретних покриттів на робочі поверхні металорізального інструменту. Вони підвищили довговічність твердосплавних ріжучих пластин більш ніж у 3 рази при одночасному підвищенні чистоти оброблюваної поверхні в 2 рази в порівнянні з таким же суцільним покриттям.

Дискретна природа лазерного зміцнення забезпечує зниження витрат електроенергії в 3 рази при зростанні продуктивності процесу що найменше в

2,5 рази. Однак лазерне зміцнення дозволяє обробляти дискретними ділянками лише 12...18% поверхні. Зі збільшенням суцільності покриття при лазерному зміцненні понад 12...18% до 100% не підвищується його зносостійкість.

Розроблено низку технологій для іонного азотування у безводневому середовищі.

Покриття дискретної структури наносять газотермічним способом на довгомірні деталі з переривчастістю структури по лінії дії максимальних напружень, детонаційно-газовим способом, а також електролітичним.

Газотермічне напилення дискретних покриттів протекторної властивості на довгомірні теплообмінники підвищило граничний стан основи, що деформується, більш ніж у 3 рази, за рахунок підвищення когезійної та адгезійної стійкості покриття.

Технологічно виявилось доцільно нанести дискретне каталітичне покриття на днище поршня. Зниження термічних напружень, підвищення адгезійної та когезійної стійкості дискретного покриття дозволило розмістити каталітичне покриття безпосередньо в камері згоряння двигуна внутрішнього згоряння.

Електроіскрове легування. Основні особливості та переваги. Отримання покриттів дискретної структури електроіскровим легуванням. На думку більшості дослідників, у практиці зміцнення та відновлення деталей одними з найбільш гнучких способів відновлення та збільшення терміну служби деталей є технології наплавлення та напилення з подальшою механічною обробкою. Разом з тим підвищене тепловиділення при нанесенні шарів великої товщини спотворює геометрію деталі, що відновлюється, знижує її ресурс, а наплавлення покриттів великих товщин вимагає зняття значних припусків при фінішній механічній обробці. Методи наплавлення не забезпечують збереження вихідних властивостей матеріалу покриттів, вносять істотні зміни до структури зміцнюваної деталі. Пов'язано це з тим, що матеріал покриття нагрівається до температур перевищують його температуру плавлення. При цьому неминуче вигоряє частина легуючих елементів, змінюється кристалічна структура металів, вона стає крупнозернистою. Твердість отриманих покриттів виявляється значно нижчою, ніж у вихідних порошків, знижуються фізико-механічні властивості покриттів, а в результаті неможливо загалом отримання найбільш високих експлуатаційних властивостей деталей, що зміцнюються [6-9].

Найбільш простий у реалізації нанесення дискретного покриття спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ), який є дискретним за своєю природою. При нанесенні покриття дискретної структури метод ЕІЛ має ряд переваг [6-9]:

- одиничний електричний розряд дозволяє забезпечити стабільність розмірів та властивостей окремої дискретної ділянки покриття;

- зміною параметрів кожного окремого розряду можна наносити дискретні ділянки різних розмірів і, насамперед, різної товщини. Цим забезпечується можливість нанесення диференціального покриття, тобто. покриття змінної товщини;

- зміною частоти імпульсів або швидкості відносного переміщення електрода та деталі можна регулювати кількість дискретних ділянок на робочій поверхні деталі, а також суцільність покриття;

- компактність та портативність обладнання, низька енергоємність,

- можливість проведення «сухого» та «холодного» процесу (без наскрізного нагріву всієї деталі);

- відпадає необхідність додаткової термообробки;
- можливість відновлювати деталі на місці, без їх демонтажу.

Мета роботи – розробка і дослідження способу нанесення композиційних покриттів дискретної структури для підвищення зносостійкості та міцності робочих органів сільськогосподарських технік.

Методика проведення експерименту. Нанесення дискретних покриттів методом електроіскрового легування проводили з використанням промислового серійного обладнання типу Елітрон-22. Для відновлення застосовували в якості електродного матеріалу карбід вольфраму ВК8.

Розрахунок напружено-деформованого стану композиції основа покриття проводили методами чисельного аналізу в ліцензійному кінцево-елементному комплексі MSC VisualNastran for Windows 2003. У більшості випадків деталі з покриттям, що отримане електроіскровим легуванням, працюють в умовах дії нормального навантаження. Тому для спрощення розрахунків використовували модель із упорядкованою схемою розташування дискретів. Фізико-механічні властивості основи: $E_0 = 2$ ГПа, $\mu = 0,25$; покриття: $E_n = 1,5$ ГПа, $\mu = 0,3$. Базові параметри покриття $d = 2,5$ мм; $D = 10$ мм; $h = 1,5$ мм. взяті згідно з умовами експлуатації, за яких покриття працює на основі, що деформується.

Обговорення основних результатів. В процесі експлуатації особливістю зносу робочих органів є його локальний характер і нерівномірність. Враховуючи цю особливість, доцільно дискретне покриття наносити відповідно з епюрою нерівномірного зносу. Відновлення та зміцнення може здійснюватися дискретними покриттями змінної суцільності В основу вибору величини суцільності покладена залежність зносостійкості від суцільності [9].

Особливості напружено деформованого стану дискретних покриттів. Розміри та конфігурація окремих ділянок покриття встановлюються, виходячи з умови мінімізації рівня напружено-деформованого стану (НДС) при силових та температурних впливах на покриття. Експериментально – розрахунковий метод визначення розмірів дискретних покриттів враховує залишкові напруження. У практиці нанесення покриттів склалася думка про позитивний ефект залишкових напружень стиску, що полягає в зниженні їх крихкості. За наявності в покритті значних залишкових напружень стиску в процесі навантаження системи «зміцнюєма поверхня - покриття (до початку зростання пластичних деформацій) розтріскування покриття не спостерігається. Запропонований метод базується на розрахунку величини критичного кроку тріщини, яка є вихідною визначення параметрів дискретного покриття. Цей метод використовувався раніше, але не враховуючи залишкових напружень в покритті. Достовірність методу підтверджена експериментально – прямим виміром кроку тріщини [7 - 9].

Випробування на розтяг стандартних зразків проводили на установці FM-1000. Пропонований метод дозволяє на стадії проектування розрахувати розмір дискретної ділянки покриття з урахуванням залишкових напружень та проаналізувати вплив їх величини та знака на процес когезійного розтріскування.

Формування дискретного шару покриття обумовлено необхідністю зниження нормальних залишкових напружень у покритті та обмеження дотичних напружень у площині адгезійного контакту, що в умовах високих контактних навантажень має вирішальне значення для продовження терміну служби деталей. Покриття дискретної структури виключає відшаровування

покриття, різко підвищують його зносостійкість, оскільки дискретна структура покриття обмежує його локальне перенапруження, яка є причиною зносу традиційних покриттів. Дискретне покриття має набагато менші мікронапруження, ніж при нанесенні його суцільним шаром. Покриття на основі карбіду вольфраму збільшили термін служби деталей в 2,5 рази. Твердість покриття досягає HRC 55...60.

При проведенні досліджень використовували ножі подрібнюючого барабану комбайну. Схема прикладення навантаження та закріплення ножа представлена на рисунку 1.

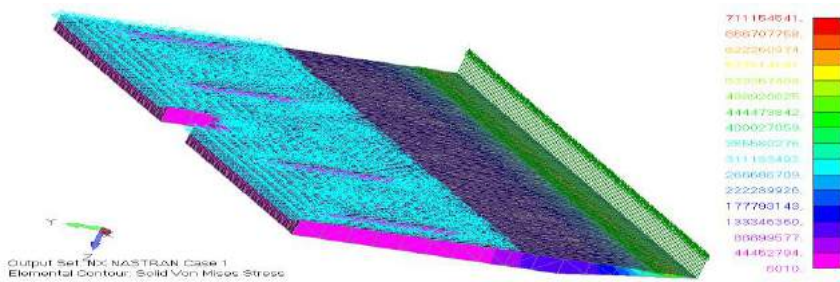


Рис. 1. Схема прикладення навантаження та закріплення в ріжучому лезі ножа подрібнюючого барабану комбайна

Модель ріжучого леза ножа подрібнюючого барабану комбайна з покриттям BK8 нанесеним суцільно представлені на рисунку 2, а розподіл еквівалентних напружень в моделі - на рисунку 3.

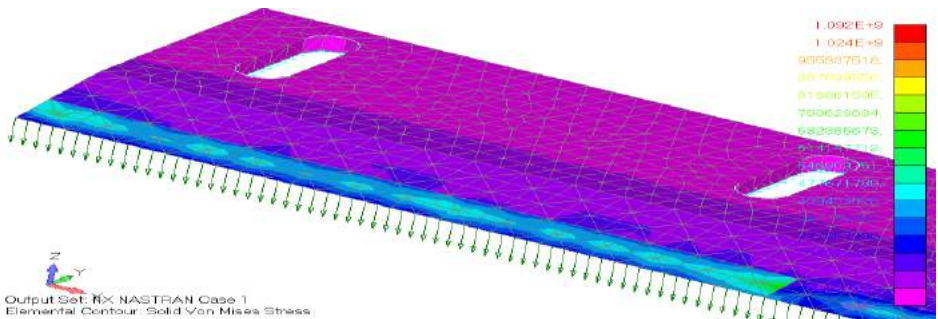


Рис. 2. Збільшений вигляд частини ріжучого леза з покриттям BK8 нанесеним суцільно

Модель ріжучого леза ножа подрібнюючого барабану комбайна з дискретним покриттям із карбіду вольфраму BK8, нанесеного методом електроіскрового легування представлені на рисунках 4 і 5, а розподіл еквівалентних напружень в моделі - на рисунку 6.

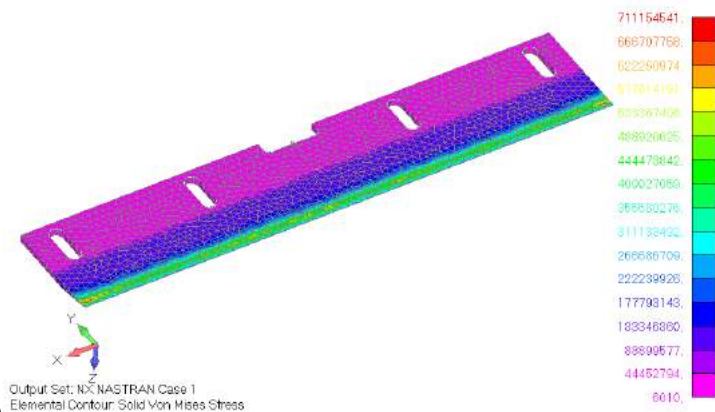


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень від дії силового навантаження в моделі ріжучого леза ножа подрібнюючого барабану комбайна з суцільним покриттям

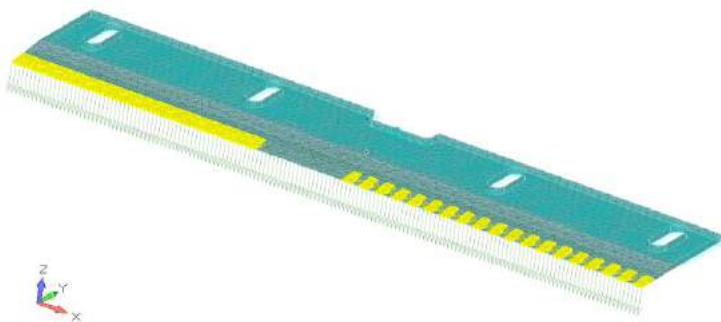


Рис. 4. Модель ріжучого леза ножа подрібнюючого барабану комбайна з дискретним покриттям із карбиду вольфраму ВК8 нанесеним методом електроіскрового легування

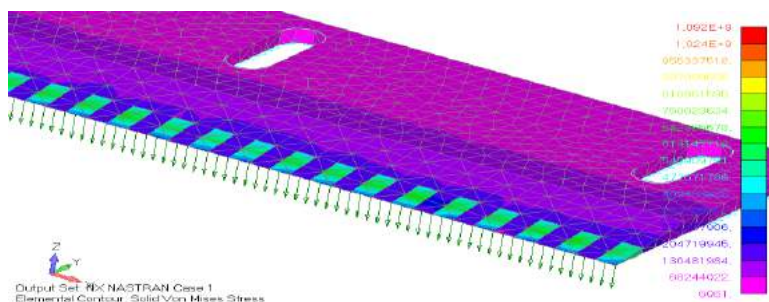


Рис. 5. Збільшений вигляд частини ріжучого леза ножа з покриттям ВК8 нанесеним дискретно електроіскровим легуванням

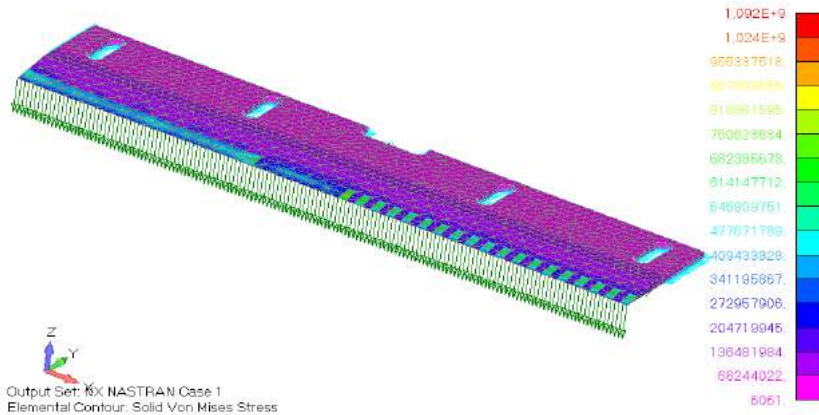


Рис. 6. Розподіл еквівалентних напружень в моделі ріжучого леза ножа подрібнюючого барабану комбайна з електроіскровим дискретним покриттям ВК8

Аналіз рис. 2, 3 та 4-6 дозволяє зробити висновок, що при використанні електроіскрових покриттів дискретної структури має місце характер зниження напружень в порівнянні з суцільним електроіскровим покриттям.

Проектування дискретного покриття з оптимальним співвідношенням геометричних параметрів дозволяє забезпечити стійкість ножів подрібнюючого барабану комбайна, що працюють в умовах високих контактних навантажень та тертя. Результати досліджень можна використовувати при розробці технологічних процесів формування електроіскрових покриттів дискретної структури при виготовленні, зміцненні та відновленні робочих органів і деталей сільськогосподарських машин і техніки в цілому з метою підвищення їхньої зносостійкості та терміну служби.

Покриття дискретної структури дозволили по-новому підійти до технології відновлення зношених робочих органів деталей сільськогосподарських машин. Особливістю більшості зношених поверхонь є їх локальний та нерівномірний знос. Враховуючи цю особливість, розроблено технологію відновлення шляхом нанесення дискретного покриття відповідно до епюри зносу [8]. Відновлення та зміцнення може здійснюватися дискретними покриттями змінної суцільності (відношення площі, яку займає покриття, до загальної площі поверхні, що обробляється) [8]. Дослідження показали [8], що для забезпечення необхідної зносостійкості часто немає необхідності в отриманні суцільного покриття, достатньо виконати зміцнення окремих ділянок, розташованих певним чином на робочій поверхні з певною суцільністю Ψ ($\Psi = S / S_0$, де S - площа займається дискретними ділянками, S_0 – робоча площа поверхні, що зміцнюється або відновлюється).

Властивості. Електроіскрові покриття дискретної структури мають практично 100% щільність. Міцність зчеплення їх з основою (150-200 МПа) забезпечує надійну роботу ножів подрібнюючого барабану комбайна з дискретним покриттям у найекстремальніших умовах. Товщина покриття 0,5...1 мм. Твердість покриття визначається твердістю його матеріалу та може досягати 62 HRC. Ресурс роботи ножів подрібнюючого барабану комбайна збільшився в 4-10 разів.

Принцип покриттів дискретної структури дозволив вирішити основне протиріччя, що виникає під час використання надтвердих поверхневих шарів - подолати їх крихкість. У покритті дискретної структури забезпечується обмеження зростання напружень та процесу тріщиноутворення, що багаторазово підвищує його міцність і довговічність, повністю виключаючи когезійне розтріскування та адгезійне відшарування покриття [7, 9].

Застосування електроіскрових дискретних покриттів. Відновлення, зміцнення, підвищення зносостійкості та строку експлуатації робочих органів і деталей сільськогосподарських машин є важливим резервом розвитку сільськогосподарського машинобудування та ремонтного виробництва, підвищення його ефективності. Використання відновлених робочих органів і деталей дозволяє знизити витрати ремонтних підприємств на запасні частини, зберегти велику кількість металу. Тому запропонований спосіб відновлення робочих органів і деталей сільськогосподарських машин зносостійкими електроіскровими покриттями дискретної структури є дуже актуальним завданням та допомагає зробити сільськогосподарське та ремонтне виробництво рентабельним.

Технологію електроіскрового легування для нанесення дискретних покриттів (ЕІЛ ДП) доцільно використовувати для зміцнення, відновлення та підвищення зносостійкості [7-9]:

- робочих органів і деталей сільськогосподарських машин
- відновлення та зміцнення деталей вузлів тертя (осей валиків, колінчастих валів, напрямних) та посадкових місць під підшипники в корпусах і на валах транспортних засобів;
- зміцнення та відновлення шийок колінчастих, розподільних валів роторів газоперекачувальних агрегатів, опорних котків гусеничних машин; пальців;
- деталей типу «вал» спецтехніки та авіаційної техніки;
- деталей двигунів внутрішнього згорання.

Приклади відновлених і зміцнених деталей робочих органів сільськогосподарських машин методом електроіскрового легування представлені на рис. 7.



а



б



в



Рис. 7. Приклади відновлених і зміцнених деталей робочих органів сільськогосподарських машин методом ЕІЛ: а) культиваторна лапа; б), в) – ножі подрібнюючого барабану кукурудозбирального комбайна; г), д) – ножі бурякозбиральних машин, ж – ніж копача;

Висновки. Запропоновано зміцнювати та відновлювати деталі робочих органів сільськогосподарських машин шляхом нанесення зносостійких дискретних покриттів методом електроіскрового легування:

Параметри дискретних покриттів визначали за напружено деформованим станом композиції «зміцнюєма поверхня - покриття» Розрахунок напружено-деформованого стану композиції «зміцнюєма поверхня - покриття» проводили методами чисельного аналізу в ліцензійному кінцево-елементному комплексі MSC VisualNastran for Windows 2003.

Принцип покриттів дискретної структури дозволив вирішити основне протиріччя, що виникає під час використання надтвердих поверхневих шарів - подолати їх крихкість. У покритті дискретної структури забезпечується обмеження зростання напружень та процесу тріщиноутворення, що багаторазово підвищує його міцність і довговічність, повністю виключаючи когезійне розтріскування та адгезійне відшарування покриття.

Розроблені типові технологічні процеси електроіскрового легування покриттів дискретної структури для відновлення, зміцнення, підвищення зносостійкості та строку експлуатації деталей робочих органів сільськогосподарських машин.

Список літератури

1. Черновол М.І., 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. Черновол М.І., 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. Мікосянчик О. О., Шамрай В. Б. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями. *Проблеми тертя та зношування*. 2022. 4 (97). С. 44-51

6. С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, С.О. Лузан. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. *Курс лекцій*. Харків, ХНТУСГ. 2020. 127 с.

7. Б.А. Ляшенко, В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, А.В. Рутковський Розробка нових зносостійких покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик деталей механізмів. *Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: міжнар. наук.-техн. конф. Тернопіль, ТДТУ ім. І. Пулюя*. 2004. С. 381-386.

8. Б. А. Ляшенко, Л.А. Лопата Повышение износостойкости деталей судовых машин и механизмов покрытиями дискретной структуры. *Технологическое обеспечение покрытий дискретной структуры электроконтактным припеканием*. *Науково-технічний журнал Проблема тертя та зношування*. Київ, НАУ, 2015. № 2(67), С. 110-126

9. Б.А. Ляшенко, А.Я. Мовшович, А.И. Долматов Упрочняющие покрытия дискретной структуры. *Технологические системы*. 2001. № 4. С. 17-25.

Шамрай Віталій Борисович – аспірант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>

Калініченко Віталій Іванович – кандидат техн. наук, старший науковий співробітник відділу міцності матеріалів і елементів конструкцій в термосилових полях і газових потоках, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренко Національної академії наук України, вулиця Садово-ботанічна, 2, м. Київ, Україна, 01014. E-mail: v-lik@ukr.net; beryuza@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2053-9252>.

V.B. SHAMRAI, V.I. KALINICHENKO

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS WITH COATINGS OF A DISCRETE STRUCTURE. TECHNOLOGICAL SUPPORT OF DISCRETE STRUCTURE COATINGS BY ELECTROSPARK ALLOYING

Primed to improve wear resistance, renovation and improvement of parts of the working bodies of agricultural machines by applying coatings of discrete structures using the method of electric spark coating. The advantages of the electric spark alloying process are significant. The results of the stress-strain study of the “stressed surface - coating” composition are presented. To simplify the divisions, a model was developed using an ordered scheme for the distribution of discretely. The dimensions and configuration of the adjacent sections of the coating are established based on minimizing the level of the stress-deformation mill (SDS) with force and temperature influxes on the coating. It is shown that it is necessary to minimize stress-strain. The formation of the composition “size surface - coating” is possible by changing the strength and size of discrete pieces on a special surface, as well as the selection of materials for coatings. The proposition method allows, at the design stage, to determine the size of a discrete plot covering the level of excess stress and analyze the influx of their magnitude and sign on the process of cohesive cracking.

Discrete coating has much less microstress than when applied with a ball. Coating with tungsten carbide increased the service life of parts by 2.5 times. The hardness of the coating reaches HRC 55...60. When the electrical spark shields of the discrete structure are removed, there is a decrease in the voltage in the same way as the electrical spark shields. The coating of the discrete structure includes a balled coating, which dramatically increases its wear resistance, and the discrete structure of the coating prevents local overstressing, which is the cause of wear of traditional coatings.

The design of a discrete coating with optimal matching of geometric parameters makes it possible to ensure the durability of the knives of the harvester's trimming drum, which work in high-contact grinding and grinding basins. The research results can be used in the development of technological processes for the formation of electric spark coatings of a discrete structure in the production, development and updating of working bodies and parts of agricultural machines and equipment in general, by improving wear resistance and service life.

Keywords: coating of a discrete structure, electrospark alloying, wear resistance, tense-deformed state

References

1. Chernovol M.I., Vorona T.V. Umovy ekspluatatsii i osnovni prychnyny vykhodu z ladu rizhuchykh elementiv robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn Zb. nauk. pr. “Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia”. Kirovohrad: KDTU. 2011. vyp. № 24. S. 344-351
2. Chernovol M.I., Vorona T.V., Bashta A.V. Zmitsnennia robochykh poverkhnon detalei mashyn i aparativ pererobnoi ta kharchovoi promyslovosti. Inzheneriia poverkhni i renovatsiia vyrobiv: materialy 15-i mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (1-4 chervnia 2015, Odeska obl., Zatoka). Kyiv, ATM Ukrainy. S. 202-206
3. Liashenko B.A., Solovykh Ye.K., Lopata L.A., Pidvyshchennia mitsnosti ta dohovichnosti detalei mashyn ahropromysloвого комплексу bahatofunktionalnymy

pokryttiamy. Mekhanika de formivnoho tverdoho tila: dop. sesii Naukovoii rady z problemy «Mekhanika de formivnoho tverdoho tila» NAN Ukrainy (15–16 zhovt. 2008, Poltava). Poltava: 2008. S. 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. Mikosianchyk O. O., Shamrai V. B. Pidvyshchennia ekspluatatsiinykh vlastyvostei detalei silskohospodarskoi tekhniki kompozytsiinykh pokryttiamy. *Problemy tertia ta znoshuvannia*. 2022. 4 (97). S. 44-51

6. S.O. Luzan, O.I. Sidashenko, S.O. Luzan. Obgruntuvannia ta vdoskonalennia tekhnolohii vidnovlennia detalei. *Kurs lektsii*. Kharkiv, KhNTUSH. 2020. 127 s.

7. B.A. Liashenko, V.S. Antoniuk, O.B. Soroka, A.V. Rutkovskiy Rozrobka novykh znosostiikykh pokryttiv dlia pidvyshchennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk detalei mekhanizmiv. *Dynamika, mitsnist i nadiinist silskohospodarskykh mashyn: mizhnar. nauk.-tekh. konf. Ternopil, TDTU im. I. Puliuia*. 2004. S. 381-386.

8. B. A. Liashenko, L.A. Lopata Povyshenye yznosostoikosty detalei sudovykh mashyn y mekhanizmov pokryttiamy diskretnoi struktury. *Tekhnolohycheskoe obespechenye pokrytyi diskretnoi struktury elektrokontaktным pruprekanyem. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal Problema tertia ta znoshuvannia*. Kyiv, NAU. 2015. № 2(67), S. 110-126

9. B.A. Liashenko, A.Ya. Movshovych, A.Y. Dolmatov Uprochniaiushchye pokrytyia diskretnoi struktury. *Tekhnolohycheskye systemy*. 2001. № 4. S. 17-25.

Shamrai Vitaliy Borusovich - graduate student of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 2825003@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1746-5213>

Kalinichenko Vitalii Ivanovich- Candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher of the department of strength of materials and structural elements in thermoforce fields and gas flows, G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of National Academy of Sciences of Ukraine, 2, Salovo-botanical Street, Kyiv, Ukraine, 01014, E-mail: beryuza@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7487-7160>