

II. МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

УДК 631.356.2

Середа Л.П.

Бабин І.А.

Николайчук В.Я.

(Вінницький національний аграрний університет)

Лопата Т.В.

(Кіровоградський національний технічний університет)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУРЯКОЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Рассмотрены основные способы повышения износостойкости рабочих органов свеклоуборочных машин. Приведена краткая характеристика наиболее распространенных в промышленности способов нанесения износостойких покрытий. Анализ способов упрочнения рабочих органов свеклоуборочных машин позволил сформулировать основные требования к технологическому процессу повышения их износостойкости.

The basic methods of increase of wearproofness of workings organs of свеклоуборочных machines are considered. Short description of the most widespread in industry methods of causing of coverages is resulted. Analysis of methods of consolidating of workings organs of свеклоуборочных machines allowed to formulate basic to the technological process of increase of their wearproofness.

Вступ

Існує два основних напрямки підвищення зносостійкості і довговічності робочих органів бурякозбиральної техніки:

- вибір раціональних конструктивних і геометричних параметрів робочих органів (ножів і копачів);
- застосування зносостійких матеріалів для зміцнення робочих поверхонь.

Найбільший ефект підвищення зносостійкості і довговічності робочих органів дає використання обох заходів одночасно.

Стан проблеми і її актуальність

В даний час напрацьовані рекомендації по вибору раціональних параметрів робочих органів (ножів і копачів) бурякозбиральної техніки. Що ж стосується застосування зносостійких матеріалів та методів нанесення покриттів із цих матеріалів, то доцільно відмітити їх обмежене використання для підвищення зносостійкості і ресурсу ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарської техніки. Це пов'язано з номенклатурою і конструктивними розходженнями зміцнюємих деталей, особливостями вимог, висуваємих до вказаних деталей у процесі їх експлуатації.

Таким чином, застосування зносостійких матеріалів і розробка технологічних процесів їх нанесення - актуальний напрямок підвищення зносостійкості і довговічності робочих органів бурякозбиральної техніки [2-9].

Аналіз методів зміцнення і відновлення робочих органів бурякозбиральних машин.

Розглянемо основні способи підвищення зносостійкості робочих органів бурякозбиральних машин, які піддаються абразивному зносу. Існуючі способи зміцнення по їх ефективності і використанню можна умовно розділити на групи [1]:

- методи зміцнюючої механічної обробки і поверхнево-пластичного деформування;
- методи термічної та хіміко-термічної обробки;
- термомеханічна обробка (зокрема, високотемпературна термомеханічна обробка);
- методи нанесення покриттів, зокрема наплавлення і напилення компактних і порошкових зносостійких матеріалів.

Найбільш поширеними в промисловості способами нанесення зносостійких покриттів на поверхні деталей є наплавлення і напилення [1 - 6].

Наплавлення - нанесення шару розплавленого металу на оплавлену металеву поверхню шляхом плавлення присадкового матеріалу теплотою газового полум'я, електричної або плазмової дуги. Незважаючи на різновид технологічних схем наплавлення [2-3] (табл.1), більшість їх в повній мірі не забезпечують формування бездефектної структури наплавленого шару.

При вмісті вуглецю більше 0,25 % відновлення сталевих деталей методами зварювання і плавлення ускладнено, так як необхідно попереднє або супутнє нагрівання і послідовна термообробка для зняття внутрішніх напружень.

Таблиця 1

Основні технологічні схеми наплавлення та їх характеристика

Способи наплавлення	Зона термічного впливу на деталь, мм	Продуктивність, см ² /хв	Міцність зчеплення покриття з основою,
Під шаром флюсу	2,7...6,0	50...80	180...250
У середовищі CO ₂	2 5 3 7	70...90	80... 120
Газове	1,8...3,2	20..45	100...150
Електроконтактне	0,1...0,3	до 100	150...200
Плазмове	0,3...0,5	50...70	200...250
Вібродугове	0,5...2	35...36	160...180

При нанесенні покриттів методами наплавлення складно одержувати наплавлений шар не менше 2 мм без механічної обробки, з вмістом легуючих елементів більше 35...40 % через розбавлення наплавленого металу основним і вигорання легуючих елементів. Високотемпературне нагрівання при наплавленні приводить до втрати початкових властивостей порошкових компонентів зносостійкої наплавки. При цьому спостерігаються великі деформації наплавлених деталей. При наплавленні досить обмежений вибір поєднань основного і наплавленого металу. При цьому досить легко механізувати і автоматизувати процес, в результаті чого досягається підвищення якості покриття. Процес має високу продуктивність, можливість одержання шарів в великому діапазоні товщин з широким спектром властивостей, універсальність матеріалів, що використовуються. Серед різних методів наплавлення для зміцнення деталей сільськогосподарських машин найбільше застосування знайшли наступні технологічні прийоми:

- індукційне наплавлення твердих сплавів;
- електродугове наплавлення;
- газополуменеве наплавлення;
- плазмове наплавлення.

Індукційним наплавленням в галузі сільськогосподарського машинобудування виконують більше 90% наплавочних робіт. В основі метода індукційного наплавлення деталей лежить нагрівання і розплавлення присадочного матеріала під дією струмів високої частоти. Для наплавлення використовується спеціальна порошкоподібна шихта, яка складається із твердого сплаву і флюсів. До сплавів для індукційного наплавлення висувається вимога, а саме, частки повинні бути визначеної фракції (пилевидна фракція погіршує наплавочні властивості шихти, велика - рівномірність наплавленого шару). До недоліків індукційного наплавлення, які обмежують область їх застосування, можна

віднести значне короблення зміцнюємих деталей, наявність шлакових включень, раковин і відшарування в наплавленому шарі, нерівномірну ширину і товщину наплавленого шару по довжині деталі, важкість отримання робочих поверхонь необхідної геометрії без наступної механічної обробки.

Електродугове наплавлення знаходить застосування при ремонтно-відновлюємих роботах. Електродугове наплавлення ножів має низьку продуктивність, високу трудомісткість, велику зону термічного впливу і значне короблення деталі, наявність перемішування металу покриття з матеріалом деталі. При ручному наплавленні практично неможливо отримати тонкий і рівномірний шар, що утруднює використання вказаної технології для зміцнення ріжучих кромки.

Недоліками газополуменевого наплавлення являються: інтенсивне окислення розплавленого металу, видалення вуглецю з металу покриття, значні деформації і залишкові напруження в деталі, неможливість введення тугоплавких з'єднань, низька продуктивність процесу.

Напилення застосовується при нанесенні тонкошарових зносостійких покриттів, а також для захисту деталей від дії агресивних середовищ (корозії) [1]. Напилення - процес нанесення покриттів на поверхню деталі за допомогою високотемпературного струменю, що вмістить частинки порошку або каплі розплавленого матеріалу, який осаджується на основному металі при ударному зіткненні з його поверхнею. Існуючі технології напилення в залежності від джерела теплової енергії, що застосовується, можливо розділити на чотири основних види напилювання: газополуменеве, електродугове, плазмове та детонаційне [7-9] (табл.2). Різновид технологічних способів напилення дозволяє отримувати композиційні і комбіновані покриття різного призначення, які поєднують в собі унікальні властивості.

Таблиця 2

Характеристика способів напилення

Параметр	Способи напилення			
	Електродугове	Газополуменеве	Плазмове	Детонаційне
Продуктивність, кг/год	3...31	1...10	0,5...8,0	0,1...6,0
Коефіцієнт використання матеріалу	0,8...0,95	0,8...0,95	0,4...0,9	0,3...0,6
Міцність зчеплення, МПа	До 40 МПа	До 50	до 50	до 200
Температура нагрівання деталі, °С	100...150°С	100...150°С	150...200°С	100...150°С

До переваг напилювання, відноситься можливість здійснення процесу в ремонтних майстернях. Технологічний процес напилення забезпечує високу продуктивність і характеризується відносно невеликою трудомісткістю. Недоліки напилювання: великі втрати матеріалу, який напилюється, що робить процес малоефективним при зміцненні поверхонь невеликих розмірів; складність попередньої підготовки поверхні; нерівномірна твердість; низька міцність зчеплення покриття; складність зміцнення крупногабаритних деталей; шкідливі умови роботи персоналу під час попередньої підготовки поверхні та при самому напилюванні.

Вибір оптимальних покриттів і технології їх отримання вельми складний, оскільки структура, товщина покриття, оптимальний з точки зору властивостей і довговічності склад покриттів залежать від багатьох чинників. Для вибору технології отримання покриттів, їх розумного використання, необхідне глибоке знання їх впливу на міцність деталей. Різні властивості матеріалу деталі і покриття, формування перехідної зони на границі контакту

покриття і основи, вимушують розглядувати систему “основа-покриття” як конструкцію. Поля залишкових напружень, які важко контролювати, характер зміни властивостей матеріалу основи в області перехідної зони істотно ускладнюють коректну оцінку реального напружено-деформованого стану матеріалу, обґрунтований вибір критеріїв граничного стану довговічності покриттів. У практиці зміцнюючих покриттів склалася думка про позитивний ефект залишкових напружень стискання в покритті, що полягає в зниженні крихкості. Спроби підвищити міцність покриттів збільшенням міцності адгезійного зв'язку не дають позитивного ефекту, навіть знижують міцність і пластичність основного матеріалу. Особливі вимоги пред'являють до покриттів, що працюють в умовах зносу. Перш за все – це покриття на робочих органах сільськогосподарської техніки. Один і той же матеріал покриття, але нанесений різними способами, показує різні експлуатаційні властивості.

Виходячи з природи зносостійких матеріалів, для отримання покриттів з високими фізико-механічними властивостями, їх доцільно наносити за допомогою методів порошкової металургії в режимі спікання і припикання. Порошкові покриття, за своєю природою, володіють важливою перевагою в порівнянні з наплавленими і напиленими, тому що вони копіюють спечений порошковий матеріал без досягнення в процесі утворення покриття температур плавлення і тим самим зберігають вихідні властивості композиційних матеріалів. Даний висновок підтверджений працями Н.Н. Дорожкіна, В.К. Ярошевича, В.А. Верещагіна [6, 9], в яких показано, що один із напрямків вирішення проблеми підвищення довговічності швидкозношуваних деталей - нанесення зносостійких порошкових покриттів в режимі спікання і припикання, які розроблені на наукових принципах порошкової металургії.

Порошкові покриття із металів та сплавів відносяться до перспективних через велику кількість способів утворення цих покриттів для цілого ряду деталей різного функціонального призначення. Така універсальність обумовлена самою природою покриття, що складається із спеченого порошкового матеріалу. Ідея ефективного застосування порошкового покриття виникла на основі аналізу високих службових характеристик спечених порошкових деталей. Так як цей метод дозволяє отримувати деталі із порошків без їх розплавлення (тільки за рахунок спікання), то у виробках порошкової металургії вдається в одному виробі об'єднати порошки матеріалів з різними температурами плавлення. Крім того, особливістю технології порошкової металургії є можливість отримувати деталі заданої пористості з наступним просочуванням їх рідкими мастилами, пластмасами, легкоплавкими металами та іншими матеріалами, що здатні забезпечити високий опір не тільки одному із видів експлуатаційного впливу, але й їх комплексу.

Нанесення порошкових покриттів в режимі спікання і припикання гарантується збереження в покритті всього комплексу властивостей, властивих початковій порошковій системі (збереження спадкової структури).

Припикання - технологічна операція котра полягає в нанесенні на поверхню деталі порошкової формовки чи шару порошка з ціллю отримання двошарового матеріалу шляхом нагріву до температури, що забезпечує спікання порошкового матеріалу та утворення міцного адгезійного зв'язку з деталлю.

Великий вплив на властивості покриття чинить спосіб його отримання. Спосіб нанесення покриття визначає область його застосування (табл. 3).

Термодифузійним індукційним припиканням способом обмазки (рис.1, табл. 3) [9] можна отримувати шари великої пористості в основному для антифрикційних деталей. В якості пластифікатора (скріплююча частина обмазки) застосовують різноманітні сполуки. Ефективним є застосування етилсилікату (рідкого скла). Спосіб обмазки дозволяє отримувати шар із залізних та мідних порошків і композицій на їх основі. Такі покриття, як правило, володіють наскрізною пористістю і добре просочуються мастилами чи легкоплавкими композиціями. При просочуванні мастилами забезпечується властивість самозмащення, що значно підвищує працездатність покриттів та деталей, що спряжені.

Якщо необхідно отримати більш щільні шари покриття, то замість метода обмазки

краще скористатися попереднім пресуванням шару (табл. 3, рис.2) [9] прискореним індукційним нагріванням (для зменшення окислення та підвищення продуктивності) або статичним навантаженням.

Перевага відцентрового термодифузійного припікання (табл. 3, рис.3) полягає в простоті отримання якісного покриття на внутрішніх поверхнях циліндричних деталей різних типорозмірів. Деталі нагрівають в індукторі. Частота обертання для створення відповідної відцентрової сили складає $10...30\text{с}^{-1}$ в залежності від діаметра ($0,2...0,04\text{м}$). При нанесенні покриття на внутрішні поверхні крупногабаритних деталей нагрів проводиться внутрішнім індуктором, розміщеним в порожнині деталі. Тиску $5\cdot 10^{-3}$ МПа достатньо для отримання якісного шару з високою міцністю зчеплення його з основою. При вертикальній схемі пристрою в середину деталі поміщають неметалічний (графітовий) стержень, діаметр котрого забезпечує об'ємне дозування порошку для формування шару необхідної товщини.

Спосіб нанесення покриття з використанням енергії імпульсного магнітного поля (рис.4, табл. 3) обумовлює: можливість створення високих (до 10^3 МПа) динамічних зусиль на порошковий шар, простоту регулювання основних параметрів процесу, можливість наносити покриття на вироби різної форми, високу продуктивність процесу і т.ін. Пресування порошкового шару по даній технології виконується на магнітно-імпульсній установці. Робочим інструментом, що виконує пресування, служить багатовитковий індуктор соленоїдного типу. Формоутворення здійснюється за допомогою тонкостінної електропровідної оболонки-пуансона, котра деформується силами, що виникають при взаємодії магнітного поля індуктора та вихрових струмів, наведених в оболонці. Після пресування оболонку видаляють та виконують наступне спікання та припікання шару до основи. Щільність покриття, отриманих даним способом, може складати $96...98\%$. Магнітно - імпульсне припікання найбільш можливе для нанесення покриття із матеріалів, що важко пресуються на зовнішні поверхні деталей типу тіл обертання.

Одним із методів отримання безпористого покриття є припікання накладенням на порошкову систему вібрацій. Заготовка встановлюється на вібратор та поміщається в індуктор високочастотної нагрівальної установки. Нагрів ведеться до температури $1223...1273\text{К}$ з одночасним обертанням заготовки ($f=0,2...0,3\text{с}^{-1}$), після чого на $40...80\text{с}$ включається вібраційна установка (амплітуда коливань $2\cdot 10^{-4}\text{м}$, частота $30...40\text{кол/с}$). Зміна частоти коливань суттєво не впливає на якість покриття, проте амплітуда не повинна перевищувати $(3...4)\cdot 10^{-4}\text{м}$ (рис.6, табл. 1.7).

Електродинамічне припікання (рис.9, табл. 3) припускає використання для ущільнення порошку електродинамічних сил, що виникають в результаті проходження струму по деталі і провіднику, розміщеному паралельно поверхні, що зміцнюється. Метод дозволяє здійснювати припікання порошку одночасно з двох сторін. Для цього деталей з нанесеними на її поверхні порошковими шарами розташовують між пластинами-електродами, які підключаються до джерела струму великої сили і малої напруги. При протіканні струму по пластинам в одному напрямку виникають електродинамічні сили, що стискають пластини-електроди, виконуючи припікання. Розроблений спосіб дозволяє відмовитися від спеціальних механізмів для прикладення тиску (пресів, пристроїв для створення відцентрового тиску і ін.) і дає можливість ущільнити шар в тих місцях деталей складних конфігурацій, де не можна прикласти тиск іншими методами.

Спосіб електросилового припікання металічних порошків (рис.10, табл. 3) в псевдозрідженому шарі представляє певний інтерес для зміцнення зовнішньої поверхні дрібних циліндричних деталей. Сутність способу полягає в тому, що в псевдозрідженому шарі порошку розміщують встановлені в пристосуванні деталі, які починають обертатись від приводу разом з ним. Деталі, переміщуючись в пристосуванні в радіальному напрямку під дією відцентрової сили, притискаються разом з частинками порошку до стінки апарату. Через притиснуті до стінки частинки і деталь пропускають електричний струм. Теплова енергія, що виділяється в місці контакту і діючий тиск забезпечують швидке схоплювання матеріалів частинок і деталі. Припікання в псевдозрідженому шарі дає можливість використовувати псевдозрідження як засіб доставки порошку в зону контакту, запобігати

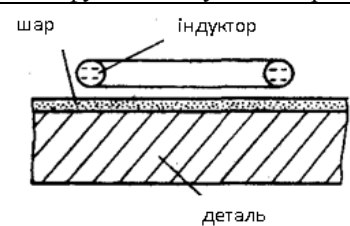
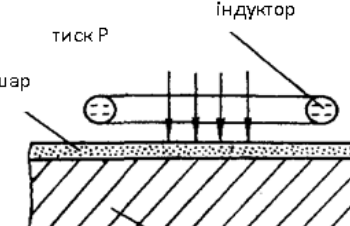
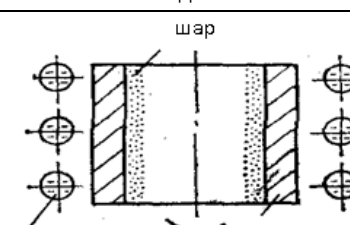
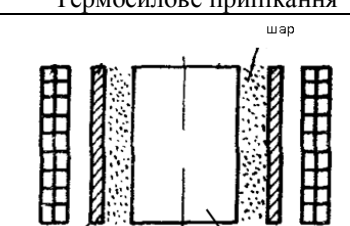
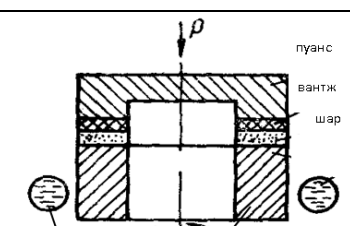
поверхні деталей від перегріву.

Розглянуті вище методи нанесення порошкових шарів на поверхні деталі представляють собою енергоємні процеси з великим вкладом тепла у виріб, що зміцнюється, внаслідок чого неминучі його температурні деформації.

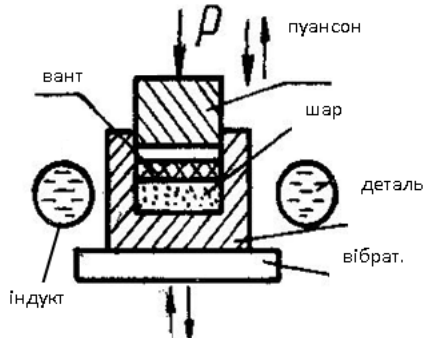
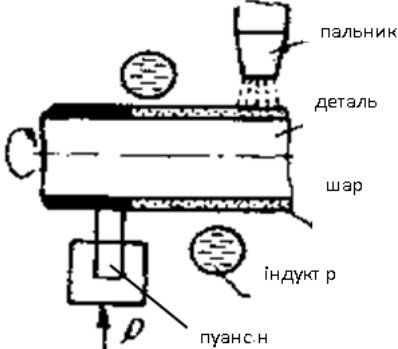
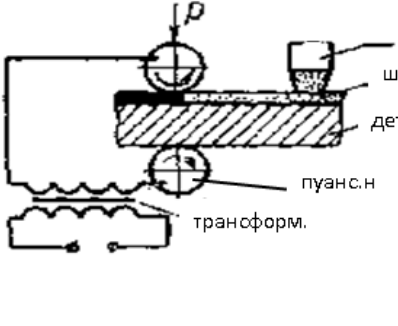
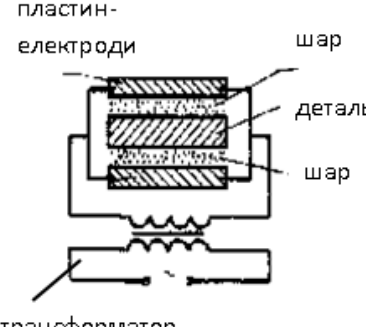
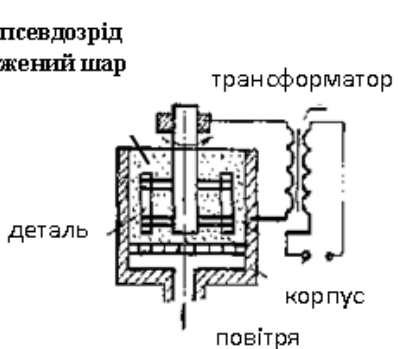
Цього недоліку не мають методи зміцнення, що використовують теплову енергію, що виділяється електричним струмом на активному опорі. Їх характеризують незначні енерговитрати, мала зона термічного впливу, висока продуктивність. Електроконтактне припикання (рис.8 табл.3) здійснюється в режимі спікання металічного порошку і його постійного чи змінного електричного струму.

Таблиця 3

Способи нанесення порошкових покриттів припиканням

Спосіб	Схема способу	Область застосування
1	2	3
Термодифузійне індукційне припикання		
1. Термодифузійне індукційне припикання способом обмазки		Отримання антифрикційних покриттів великої пористості (30...40%).
2. Термодифузійне індукційне припикання з попереднім пресуванням або прикладенням статичного навантаження		Отримання антифрикційних покриттів пористістю 10...20%.
3. Відцентрове термодифузійне індукційне припикання		Отримання покриттів на внутрішніх поверхнях циліндричних деталей
Термосилове припикання		
4. Магнітно-імпульсне припикання		Нанесення зносостійких та антифрикційних покриттів на зовнішні поверхні деталей
5. Прикладенням статичного тиску чи тиску, що змінюється з часом		Нанесення зносостійких покриттів пористістю 1...2% на плоскі торцеві поверхні

Продовження таблиці 3

1	2	3
<p>6. Припикання порошку з віброударним впливом</p>		<p>Нанесення зносостійких покриттів на плоскі торцеві поверхні</p>
<p>7. Викорисання високотемпературно-го обкатування порошкових покриттів</p>		<p>Нанесення зносостійких та антифрикційних покриттів пористістю 2...17%</p>
<p>8. Електроконтактне припикання</p>		<p>Нанесення зносостійких покриттів пористістю 2...5% на плоскі та циліндричні поверхні</p>
<p>9. Електродинамічне припикання</p>		<p>Нанесення зносостійких покриттів на плоскі поверхні деталей</p>
<p>10. Електросилове припикання</p>		<p>Нанесення зносостійких покриттів на зовнішні поверхні дрібних циліндричних деталей</p>

Огляд літератури та патентно-інформаційні дослідження показали, що електроконтактне припикання порошків - перспективний спосіб нанесення покриття на деталі машин, що швидко зношуються. Покриття, одержані цим методом мають високу міцність зчеплення 180 - 220Мпа і щільність 96-98%. Особливістю і перевагою електроконтактного припикання є виключення подальшої механічної обробки або застосування поверхнево-пластичного деформування (ППД) одночасно з нанесенням покриття.

Проведений аналіз способів зміцнення робочих органів бурякозтиральних машин дозволяє сформулювати основні вимоги до технологічного процесу підвищення зносостійкості їх робочих поверхонь:

- висока продуктивність і низька трудоемкість;
- мінімальні втрати зміцнюючого матеріалу;
- невелика зона термічного впливу з метою зниження короблення деталей;
- нанесення покриття без використання захисних атмосфер;
- відсутність необхідності подальшої механічної обробки покриття.

Серед методів нанесення композиційних покриттів в режимі спікання і припикання цим вимогам відповідає електроконтактне припикання (ЕКП). При відновленні зношених деталей прагнуть досягти максимально можливої товщини покриття, що можливо шляхом застосування способу ЕКП. В процесі експлуатації особливістю зносу робочих органів є його локальний характер і нерівномірність. Враховуючи цю особливість, доцільно покриття наносити відповідно з епюрою нерівномірного зносу (диференційне відновлення). Зносостійкість відновленої або зміцненої диференційними покриттями деталі перевищує зносостійкість деталі без покриття. Одним з важливих питань при виборі покриття є його товщина. Несуча здатність деталі із покриттям в умовах експлуатації має функціональний зв'язок із товщиною покриття. Залежності товщини покриття, його адгезійної міцності, залишкової напруги, а також експлуатаційних навантажень встановлюють граничні значення товщини покриття. При цьому до покриття повинні також пред'являтися наступні основні вимоги:

- близький до матеріалу основи коефіцієнт термічного розширення;
- відсутність несприятливого впливу на властивості основи;
- дифузійна інертність до основи;
- достатня адгезія;
- комплекс необхідних експлуатаційних характеристик;
- економічна доцільність.

Висновки

- методи наплавлення покриття внаслідок високотемпературного нагрівання і розбавлення наплавленого шару металом деталі не дозволяють зберегти в покритті і в основі їх властивості. Наплавленні деталі характеризуються значними термічними деформаціями і вимагають механічної обробки для отримання необхідної геометрії ріжучої кромки;

- методи напилення зносостійких композиційних матеріалів не забезпечують достатню міцність зчеплення покриття і рівномірну твердість, потребують попередню підготовку поверхні перед напиленням і механічну обробку 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 робочих органів сільськогосподарських машин є застосування покриття із зносостійких матеріалів. Вирішення поставленої проблеми пов'язане з розробкою технологічних способів нанесення зносостійких покриттів;

- виходячи з природи зносостійких матеріалів, покриття з них доцільно наносити за допомогою методів порошкової металургії в режимі спікання і припикання. Порошкові покриття, за своєю природою, копіюють спечений порошковий матеріал без досягнення в

процесі утворення покриття температур плавлення і тим самим зберігають вихідні властивості зносостійких матеріалів;

- на основі проведених досліджень було визначено, що серед методів нанесення порошкових покриттів в режимі спікання і припікання перевагу слід віддати електроконтактному припіканню - методу зміцнення, який використовує теплову енергію, що виділяється електричним струмом. Покриття, одержані цим методом має міцність зчеплення 180 - 220Мпа і щільність 96-98%. Його характеризують незначні енерговитрати, мала зона термічного впливу, висока продуктивність;

- враховуючи локальний характер і нерівномірність зносу робочих органів доцільно покриття наносити відповідно з епурою нерівномірного зносу;

- при відновленні зношених деталей прагнуть досягти максимально можливої товщини покриття, що можливо шляхом застосування способу електроконтактного припікання;

- особливістю і перевагою електроконтактного припікання носостіких матеріалів є виключення механічної обробки і застосування ППД одночасно з нанесенням покриттів.

Література

1. Дорожкін Н.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. - Минск: Ураджай, 1987, - 143 с.
2. Клименко Ю.В. Электроконтактная наплавка. - М.: Металлургия, 1978. - 128 с.
3. Моторин В.М. Исследование электроконтактной приварки порошковых твердых сплавов для упрочнения лезвий рабочих органов сельскохозяйственных машин при их восстановлении: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1975. - 23с.
4. Дорожкін Н.Н., Абрамович Т.М., Жорник В.И. Получение покрытий методом припекания. - Мн.: Наука и техника, 1980. - 176 с.
5. Верецагин В.А. Исследование и разработка технологии электроконтактного припекания металлических порошков на режущие кромки. - Автореферат, диссерт. кандидат. техн. наук. - Минск, 1981.
6. Ярошевич В.К., Верецагин В.А., Гафо Ю.Н. Разработка технологии электроконтактного упрочнения деталей сельскохозяйственных машин. - В кн.: Технологическое обеспечение ресурса и надежности машин: Тез. Всесоюз. научн.-техн. конф., М.: ЦНТО Машипром, 1980. - 198 с.
7. Дорожкін Н.Н., Миронов В.А., Верецагин В.А. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. - Рига: Зинатне, 1985,- 131с.
8. Дорожкін Н.Н., Абрамович Т.М., Ярошевич В.К. Импульсные методы нанесения покрытий. - Минск: Наука и техника, 1985, - 279 с.
9. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верецагин В.А. Электроконтактное упрочнение. - Минск: Наука и техника, 1982,-256 с.