

**Е.К. Солових, проф., канд. техн. наук, А.Е.Солових, доц., канд. техн. наук,  
А.В. Ворона, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Вибір матеріалу для зміцнення робочих органів деталей сільськогосподарської техніки

Розглянуті основні фактори, які визначають вибір матеріалу деталі і покриття, узгодженість їх термомеханічних характеристик і їх «експлуатаційна сумісність». **Приведена характеристика матеріалів, які доцільно використовувати в якості матеріалу покриття при підвищенні зносостійкості робочих органів сільськогосподарської техніки.**

**зносостійкі покриття, робочі органи, зміцнення, композитні матеріали, порошкові суміші, псевдосплави, наплавочні матеріали**

**Постановка задачі.** При виборі матеріалу робочих органів деталей сільськогосподарських машин необхідно приймати до уваги, що їх зміцнення і підвищення ресурсу шляхом нанесення покриттів суттєво змінює умови їх роботи. Покриття, приймаючи на себе частину функціональних властивостей деталей (зносостійкість, контактну міцність і т.д.), знижують вимоги до властивостей матеріалу основи. Внаслідок цього деталі можуть бути виготовлені із менш дефіцитних і більш дешевих матеріалів.

Важливою умовою подальшої працездатності зміцненої деталі являється узгодженість термомеханічних характеристик деталі і покриття. Іншими словами, мова повинна йти про «експлуатаційну сумісність» покриття і деталі.

Крім того, при виборі матеріалу деталі необхідно також враховувати здатність фізико-механічних взаємодій її поверхні з матеріалом покриття. Відомо, наприклад, що при контактуванні розплавленого металу з твердим, вони не утворюють один з одним твердих розчинів, в поверхневому шарі виникають внутрішні напруги, що приводять до його руйнування.

Таким чином, матеріал деталі, яка зміцнюється необхідно вибирати враховуючи його роботу в композитній системі. Він повинен мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення в порівнянні з покриттям, забезпечувати максимальну міцність зчеплення з ним, мати невисоку вартість.

---

© Е.К. Солових, А.Е.Солових, А.В. Ворона, 2011

**Матеріали для зносостійких покриттів і їх необхідні складові.** Основними факторами, які визначають вид зношування робочих органів деталей сучасної сільськогосподарської техніки є:

- середовище, в якому проходить знос,
- динаміка і кінематика відносного переміщення тертьових тіл,
- характер контакту і властивостей матеріалу деталей які зношуються.

Опір абразивному зношуванню багато в чому залежить від природи і кількості твердих зносостійких складових в структурі покриття. В сучасному машинобудуванні використовуються два принципово різних методи регулювання вмісту твердих складових в структурі покриття [1-2]:

1. зміна хімічного складу твердої сплаву;
2. введення в шихту важкорозчинних наповнювачів, які утворюють в результаті взаємодії з матрицею специфічні композитні матеріали – псевдосплави.

Застосування того чи іншого методу визначається, перш за все, вибраним способом нанесення зносостійкого покриття [3]. У ряді випадків досить перспективним виявляються псевдосплави, що представляють собою механічний зв'язок металів, феросплавів, карбідів, боридів і інших хімічних з'єднань [3-4].

Порошкові матеріали (табл.1), що застовуються для отримання зносостійких покриттів, по своєму технологічному призначенню можна розділити на три групи: матриця, наповнювачі і додаткові [4]. Матеріал матриці зв'язує компоненти композиційного матеріалу та складає більшу частину шихти, визначає міцність зчеплення покриття з деталлю, ударну в'язкість, міцність на стискання і, частково, трибологічні властивості покриття. Наповнювачі використовуються в складі композиційного матеріалу для полегшення його переробки, надання необхідних властивостей, а також зниження його вартості. Наповнювачі можуть бути активними, які поліпшують будь які властивості композиційного матеріалу, і інертними, які не змінюють його властивості. В зносостійких покриттях матеріал наповнювача забезпечує необхідні функціональні властивості, такі як опір абразивному зношуванню, здатність утворювати антизадирні розділювальні плівки в вузлах тертя і т.д.

Таблиця 1 - Порошкові суміші, які застосовуються для зміцнення деталей сільськогосподарських машин

| Найменування                   | Компоненти            | Міст., %<br>мас. | Твердість<br>HRC, HRA |
|--------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| Сталініт-М,<br>порошкоподібний | Порошок чавунний      | 47               | 70-80 HRA             |
|                                | Ферохром вуглецевий   | 38               |                       |
|                                | Феромарганець         | 0                |                       |
|                                | Графіт                | 5                |                       |
| Вісхом-9                       | Ферохром вуглецевий   | 5                | 52-56 HRC             |
|                                | Феромарганець         | 15               |                       |
|                                | Порошок чавунний      | 74               |                       |
|                                | Графіт                | 6                |                       |
| ПС-3                           | ПГ-С1                 | 55-60            | 75-85 HRA             |
|                                | Карбід вольфраму      | 36-40            |                       |
| ПС-4                           | ПГ-С1                 | 40-70            | 60-64 HRC             |
|                                | ФХ-800                | 30-60            |                       |
| ПС-5                           | ПГ-С1                 | 40               | 60-64 HRC             |
|                                | ФХ-800                | 58               |                       |
|                                | Ti                    | 2                |                       |
| ПС-6                           | Порошок білого чавуну | 40-60            | 70-80 HRA             |
|                                | ФХ-800                | 30-60            |                       |

Допоміжні матеріали, як правило, не залишаються в покритті після припікання і використовуються на різних стадіях технологічного процесу, сприяючи створенню необхідних властивостей – зниженню міжчасткового тертя при формуванні, пороутворенню, видаленню окисних плівок, активації припікання і т.д. В якості матеріалу матриці зносостійких покриттів використовуються порошки заліза, нікеля, міді, наплавочних сплавів. При цьому найбільш ефективно і доцільно з точки зору підвищення зносостійкості застосовувати наплавочні сплави. Для зміцнення деталей машин, які підлягають абразивному зносу, в якості матриці композиційних порошкових покриттів широко використовуються сплави ПГ-С1, ПГ-УС25. Вони доступні і дешеві, мають відносно низьку температуру плавлення (1500-1600 К), добре формуються і володіють низькими феромагнітними властивостями. Сплави ПГ-С1 і ПГ-УС25 мають в своєму складі від 25 до 40 % хрому, 3-5 % нікелю, що забезпечує їм твердість до 55 HRC. Використання матеріалу, що вміщує 73 % заліза, 20% хрому,

близько 2 % нікелю, 2,5 % кремнію дозволяє отримати методом порошкової металургії деталі, що володіють підвищеною абразивною зносостійкістю. В останній час для зміцнення деталей машин, що працюють і умовах абразивного зносу, знаходять застосування феросплави. Феросплави можуть використовуватись як в чистому вигляді (наприклад, при електроферомагнітному зміцненні, так і в вигляді легуючих добавок до відомих матеріалів (ПГ-С1 і ін.), що виступають в ролі матриці. Широке використання феросплавів в технології зміцнення пояснюється їх відносно невисокою вартістю, доступністю і ефективним підвищенням фізико-механічних властивостей нанесення шарів. Легуюча здатність феросплавів продиктована високим вмістом в їх складі таких елементів як хром, титан, бор, марганець, молібден, ванадій, вольфрам, і ін. (табл.2). Феросплави найбільш широко застосовуються при: електроферомагнітному нанесенні покриття, електроконтактному припиканні, індукційній і електродуговій наплавці.

Таблиця 2 - Феросплави, які використовуються для легування металопокрить

| Найменування                     | Марка            | Хімічний склад   |
|----------------------------------|------------------|--|
| Ферохром вуглецевий              | ФХ-650<br>ФХ-800 | 65Cr; 6,5C; 1,5Si; 0,06S;<br>0,04-0,06P;<br>65Cr; 8,0C; 2,0Si; 0,06S; 0,04-0,06P   |
| Ферохром азотний                 | ФХ-400Н          | 0,0Cr; 0,06C; 1,0Si; 0,045S;<br>0,03-0,09P; 4,0N   |
| Феротитан                        | Ti 1<br>Ti 2     | До 35Ti; 0,15C; 0,04P; 0,04S; 2,0Cu;<br>0,4Mo; 0,4V; 0,04Sn; 0,25Al/Ti<br>до 35Ti; 0,2C; 0,07P; 0,07S; 3,5Cu;<br>1,0Mo; 1,0V; 0,8Sn; 0,4Al/Ti; 0,28Al/Si |
| Феробор                          | ФБ               | 17B; 3Si; 3Al; 0,2C; 0,03P; 0,05P; 0,05Cu<br>8B; до 15Si; до 15Al  |
| Феромарганець середньовуглецевий | ФМН 1            | 80Mn; 2,0Si; 1.0C; 0,03S; 0,03P  |
| Феромолібден                     | ФМо 2            | 50Mo; 0,15C; 1,5Si; 1,5Cu; 0,08Sn; 0.15S;<br>0,15P   |
| Феровольфрам                     | ФВ 2<br>ФВ 3     | 70W; 0,7C; 1,0Si; 0.4Mn; 0.2Cu; 0,15Sn;<br>0,1S; 0,05P<br>65W; 0,8C; 1,5Si; 0,5Mn; 0,3Cu; 0,25Sn;<br>0.2S; 0.1P  |

Аналіз літературних джерел [4-5] свідчить про великі потенційні можливості заліза як основи спеціалізованих наплавочних матеріалів. Вартість залізних порошкових сплавів нижче нікелевих в 2...5 раз. Ці порошки являють собою сталі, які зміцнені введенням легуючих елементів. Сплави на основі заліза з підвищеним вмістом бору мають високу зносостійкість, однак їх застосування стримується через ламкість, що знижує стійкість в різних умовах експлуатації. Ці проблеми виникають при використанні традиційних методів об'ємного легування в розплаві. Процес структуроутворення частинок з розплав характеризується нестабільними умовами. Для умов інтенсивного зношування триботехнічно і економічно ефективними являються наплавочні матеріали системи Fe-B-C, які забезпечують одержання гетерогенних покриттів евтектичного типу [6]. Дифузійне легування бором в значній мірі дозволяє зменшити ламкість матеріалу внаслідок рівномірного структуроутворення боридних фаз. Частинка дифузійно-легованого порошку має наступну структуру: в середині пластична залізна матриця і оболонка, яка складається з двох боридних фаз FeB і Fe<sub>2</sub>B, властивості яких наведено в табл. 3. Введення бору в порошок заліза або його сплавів радикально змінює властивості покриття. Структура

покриття складається з боридів і карбоборидів, розташованих в пластичній матриці. Вони виконують зміцнюючу функцію, перерозподіляючи навантаження і запобігаючи поширенню деформацій при терті. Пластична матриця сприяє швидкому припрацюванні контактуючих пар, що зменшує контактний тиск при терті. Створюються оптимальні умови роботи, які виключають схоплювання або викришування. Евтектики, які відокремлюють включення твердої фази роблять покриття стійким проти утворення тріщин. Дифузійно-леговані порошки мають ряд переваг:

- гарна пресуємість, так як основою є чистий залізний порошок;
- наявність дифузійного зв'язку легуючих елементів з залізним порошком запобігає сегрегації елементів в суміші;
- висока міцність відновлених поверхонь внаслідок високої дифузійної рухомості легуючих елементів;
- висока самофлюсуюча здатність, обумовлена концентрацією флюсуючих елементів в поверхневому шарі частинок;
- можливість строгого регулювання при виготовленні порошків кількості легуючих елементів, що вводяться, а отже і властивостей покриття;
- відсутність вигорання легуючих елементів і можливість введення великої кількості останніх.

Таблиця 3 - Властивості боридних фаз дифузійно-легованих порошків

| Боридна фаза      | Твердість, МПа    | Вміст бору, % | $T_{пл}, ^\circ C$ | Густина $г/см^3$ | Коефіцієнт теплопровідності |
|-------------------|-------------------|---------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| FeB               | 18000...<br>21000 | 6,25          | 1430               | 6,706            | 20                          |
| Fe <sub>2</sub> B | 14000...<br>14500 | 8,84          | 1389               | 7,336            | 26                          |

### Висновок.

Проведені дослідження показали, що для зміцнення робочих органів деталей сільськогосподарських машин доцільно використовувати твёрдосплавні порошки типу "Сормайт" з додаванням зносостійких наповнювачів – феросплавів.

### Список літератури

1. Николаенко Н.В. Износостойкость новых наплавочных материалов применительно к работе сельскохозяйственных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К., 1972. – 18 с.
2. 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.
3. Дорожкин Н.Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. – Мн.: Наука и техника, 1975. – 152 с.
4. Верещагин В.А. Исследование и разработка технологии электроконтактного припекания металлических порошков на режущие кромки. - Автореферат, диссерт. кандидат. техн. наук. - Минск, 1981.
5. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А., Верещагин В.А. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. - Рига: Зинатне, 1985.- 131с.
6. Лопата Л.А., Красота М.В. Застосування композиційних дифузійно-легованих порошків при відновленні деталей машин електроконтактним припиканням // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий міжвузівський науково технічний збірник. - Кіровоград, КДТУ, 2001 - Вип. 30. - С. 165-169.

*Е. Соловых, А. Соловых, А. Ворона*

**Выбор материала для упрочнения рабочих органов деталей сельскохозяйственных машин**

Рассмотрены основные факторы, которые определяют выбор материала детали и покрытия, согласованность их термомеханических характеристик и их «эксплуатационную совместимость». Дана характеристика материалов, которые целесообразно использовать в качестве материала покрытия при повышении износостойкости рабочих органов сельскохозяйственной техники.

*E. Solovykh, A. Solovykh, A. Vorona*

**Choice of material for consolidating of workings organs of details of agricultural machines**

Factors, which determine choice of material of detail and coverage, co-ordination of their thermalmechanical descriptions and their «operating compatability, are considered». This description of materials which it is expedient to use as material of coverage at the increasef wearproofness of workings organs of agricultural technique.

Одержано 01.06.11