

12. Sebastian, S. Analysis of a Conical Aerostatic Bearing [Text] / S. Sebastian // Pap. Pres. At 8th International Gas Bearing Symposium, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, UK, England. — 1981. — № 18. — P. 237–250.
13. Бальмонт, В. Б. Расчеты высокоскоростных шпиндельных узлов [Текст] / В. Б. Бальмонт, И. Г. Горелик, А. М. Фигатнер. — НИИТЭМР, 1987. — Сер. 1, Вып. 1. — 52 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШПИНДЕЛЕЙ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОПорах

Показано, что использование шпинделей на пневматических опорах с нанесенными на них канавками переменного профиля позволяет повысить жесткость станков. Определено, что наибольшее влияние имеет глубина канавок и закон ее изменения. Это позволяет улучшить технологические возможности системы. Разработана методика оптимального проектирования шпинделей на пневматических опорах с нанесенными канавками переменной глубины.

Ключевые слова: шпиндель, пневматическая опора, канавка переменной глубины, жесткость, технологическая возможность.

Виштак Інна Вікторівна, аспірант, кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: inna.vishtak@rambler.ru.

Савуляк Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, Україна.

Виштак Інна Вікторівна, аспірант, кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, Україна.

Савуляк Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, Україна.

Vishtak Inna, Vinnitsa National Technical University, Ukraine, e-mail: inna.vishtak@rambler.ru.

Savulyak Valeriy, Vinnitsa National Technical University, Ukraine

УДК 621.791/075.8

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51490

Прасолов Є. Я.,
Беловол С. А.,
Багмет С. О.,
Федій Б. С.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ШНЕКА ШЛЯХОМ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Для відновлення циліндричних деталей із корозійностійких сталей запропоновано наплавлення порошковою сумішшю, яка забезпечує задані фізико-механічні властивості наплавленого шару. Використані матричне планування експерименту та регресійний аналіз дослідних даних при визначенні геометричних параметрів шару наплавлення в залежності від заданих режимів наплавлення. Результати лабораторних досліджень підтверджені виробничими випробуваннями.

Ключові слова: плазмове наплавлення, порошкова суміш, корозійностійкі сталі, постійний струм оберненої полярності.

1. Вступ

Стратегічним напрямком розвитку технічного сервісу є забезпечення працездатності і продовження терміну використання техніки за рахунок підвищення ресурсу машин на основі прогресивних технологій їх обслуговування та ремонту [1–3].

Аналіз технологічної документації устаткування переробних підприємств показав, що швидкозношувані деталі устаткування виготовляються із корозійностійких матеріалів, які піддаються відновленню. Із відомих способів відновлення зношених деталей переважає наплавлення, за допомогою якої відновлюють до 80 % поверхні деталей. Її параметри залежить від характеру і значення зношування поверхні деталей, особливостей вихідного матеріалу.

Враховуючи специфіку експлуатації устаткування переробних підприємств, в умовах підвищення навантаження, темп зношування деталей має тенденцію до зростання. Більшість деталей мають складну форму, виготовлені із матеріалів з високими експлуатаційними

показниками робочих поверхонь і є високовартісними. До них відносять шнеки, шківні, гальмівні ролики транспортів, цапфи, куттерні ножі [4–6].

Таким чином, вдосконалення технології відновлення зношених деталей устаткування переробних підприємств агропромислового виробництва є актуальним науковим та виробничим завданням.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз номенклатури деталей переробного устаткування та характеру їх зношування під час експлуатації показав, що доцільним для відновлення більшості з них є застосування технологій наплавлення [7, 8].

Особливістю відновлення деталей із корозійностійких сталей з структурою аустенітно-феритного класу є те, що не допускається перегрів металу, так як це викликає міжкристалічну корозію і крихкість зони термічного впливу. Для відновлення деталей із корозійностійких сталей устаткування переробних підприємств агропро-

мислового виробництва використовують різні способи наплавлення [6, 9].

Аналіз переваг і недоліків відомих способів наплавлення показав, що ручне і механізоване наплавлення — низькопродуктивні і не забезпечують отримання якісного наплавленого шару. Перспективними є способи відновлення лазерним і електронно-променевим наплавленням. Однак, вони вимагають використання високовартісного устаткування та залучення персоналу з високою кваліфікацією, чого важко досягти в сучасних умовах ремонтних підприємств агропромислового виробництва [7, 8].

Нині на ремонтних підприємствах аграрного сектору набувають поширення передові способи плазмового наплавлення, які мають переваги у порівнянні із вищенаведеними [9–11].

Відомі способи плазмового наплавлення, при яких відновлюваний виріб включається в електричний ланцюг або залишається нейтральним, а в якості присадкових матеріалів використовують порошки, дроти, пасти, прутки, пластини тощо [10].

Для відновлення циліндричних деталей устаткування переробних підприємств із корозійностійких сталей використовуються плазмово-порошкове наплавлення, яка дозволяє підібрати матеріал для забезпечення заданих фізико-механічних властивостей наплавного шару [6].

Під час плазмового наплавлення необхідно забезпечити видалення з поверхонь напавленої деталі і присадкового матеріалу оксидних плівок, що дозволить застосовувати плазмові процеси із використанням струму оберненої полярності за рахунок їх катодного розпилення. Згідно із термічною теорією розпилені атоми виникають в результаті розігріву поверхні металу іоном в точці його торкання («Модель гарячої плями»), або швидкою частинкою («Модель теплового клина»). Однак, результати сучасних досліджень вказують на те, що швидкість розпилення незначною мірою залежить від температури катоду в широкому полі температур [9]. В основі механізму катодного розпилення лежить розвиток каскадів пружних зіткнень в кристалічній решітці твердих тіл під час бомбардування високошвидкісними частинками. В моделі пружних зіткнень розрізняють режими: первинного прямого вибивання, лінійних каскадів, рекомбінованих піків, емпіричного визначення іон-атомних зіткнень.

Детальний аналіз механізму катодного розпилення дозволив зробити висновок, що на катоді проходять більш складні процеси, що потребують подальшого дослідження.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є процес відновлення зношених деталей шнеків устаткування переробних підприємств агропромислового виробництва із корозійностійких сталей з робочими поверхнями високої твердості шляхом плазмового наплавлення.

Метою проведених досліджень було обґрунтування оптимальних параметрів процесу та складу присадкового матеріалу для забезпечення заданих фізико-механічних властивостей відновлюваних робочих поверхонь деталей шнеку із корозійностійких сталей шляхом плазмового наплавлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати характер зношування деталей шнеків устаткування переробних підприємств та визначити область найвищих значень зношування.

2. Обґрунтувати оптимальний склад порошкової суміші для отримання заданих фізико-механічних властивостей наплавленого шару.

3. Спланувати та виконати лабораторні дослідження по визначенню геометричних параметрів отриманого наплавленого шару залежно від параметрів процесу наплавлення.

4. Провести порівняльні дослідження у виробничих умовах шнеків відновлених згідно обґрунтованих параметрів процесу та складу присадкового матеріалу із новими деталями.

4. Результати досліджень процесу плазмового наплавлення порошковою сумішшю деталей шнека

Виконувались дослідження плазмового наплавлення на струмі оберненої полярності, яке знижує теплове навантаження на відновлювальну деталь через менше виділення теплоти на катоді-деталі, що забезпечує зниження деформації, зменшує вигорання легуючих елементів і ступінь змішування основного і присадкового матеріалу.

Під час експлуатації деталей шнека зношування характеризується окислювальною дією і механічною контактною взаємодією поверхонь, в шарах де проходять фізичні, механіко-хімічні і хімічні процеси. Механічна взаємодія обумовлена конструкцією установки з забезпеченням зазору до 0,15 мм між шнеком і сорочкою. Контакт поверхонь і їх зношування відбувається під впливом навантажень, що діють на шнек. За рахунок постійного тертя робочої поверхні шнека з перероблюваним матеріалом відбувається безперервний процес, що призводить до утворення нових оксидних плівок на поверхні шнека.

Аналіз технічного стану деталей шнека показав, що деталі по довжині зношуються нерівномірно. Найбільше зношування має ділянка шнека на віддалі 90...185 мм від хвостовика, де діють максимальні навантаження від тиску перероблювальної сировини. Візуально прослідковується присутність рисок, подряпин, сколювання глибиною 1...3 мм по робочій поверхні шнека та 2–5 ділянок з дефектами.

Основним фактором при виборі присадки є хімічний склад матеріалу деталі. Вдале рішення, коли основа шнека із корозійностійкої сталі, а робоча поверхня — із зносостійкого матеріалу, тобто слід враховувати характеристики і властивості спряжених деталей.

Нині пропонуються наплавочні порошки з екзотермічними властивостями, які підвищують міцність зчеплення з основою та фізико-механічні властивості в цілому. Це порошки закордонних фірм «Metco» (Італія) та «Castolin» і «Sabaros» (Швейцарія).

Аналізом сучасних порошкових матеріалів для наплавлення встановлено, що самофлюсуючі порошки системи Ni-Cr-B-Si мають високу корозійну стійкість, необхідну направленість і забезпечують утворення наплавлених шарів з високими експлуатаційними показниками. Присадковим матеріалом в даному випадку є самофлюсуючий порошок марки ПР-НХ17СР4. Для збільшення ресурсу відновлюваних деталей, за рахунок підвищення зносостійкості, слід використовувати додатково присадковий матеріал з елементами твердих включень. Це порошки карбиду хрому КХП II, бориду хрому БХ-2, швидкорізальної сталі Р6М5Ф3, остання із яких обрана для подальших досліджень.

Для наплавлення деталей шнека використовувалась установка пантографного типу, яка дозволила значно спростити процес наплавлення із збереженням його якості.

В ході досліджень послідовно виконувались наступні операції: механічна обробка зовнішнього діаметра шнека, знежирення поверхні, підготовка порошкової суміші, попередній підігрів, наплавлення і повільне охолодження деталі.

Застосування плазмово-порошкового наплавлення на постійному струмі оберненої полярності є доцільним за рахунок широких можливостей по регулюванню плазмової цівки, що впливає на процес утворення наплавлених шарів і їх властивості.

По результатам постановочних дослідів встановлено, що в основних експериментальних варіюваннях слід оперувати наступними значеннями параметрів процесу: сила струму – $I = 110...130$ А, швидкість наплавлення – $V = 10...13$ м/год., витрати порошку $M = 1,5...2,1$ кг/год.

В подальших дослідях використовувалась матричне планування з визначеними значеннями факторів і інтервалів варіювання [9, 12].

За результатами статистичної обробки дослідних даних та регресійного аналізу визначені коефіцієнти рівняння регресії. Далі були виключені не значимі коефіцієнтів та підставлені натуральні значення. Для визначення висоти (H) та ширини (B) шару отримане наступні рівняння регресії:

$$H = 1,517 - 0,39I - 0,97V_n + 2,27M_n + 0,313V_n + 0,207M_n - 0,79M_n - 1,07IVM,$$

$$B = 12,75 - 1,97I - 1,91V_n + 1,69M_n + 0,71M_nV_n + 1,57M_n + 0,27V_nM_n - 1,07IVM.$$

Отримані рівняння можна використовувати при визначенні висоти і ширини наплавленого шару в залежності від заданих режимів наплавлення або призначити режими в залежності від потрібної форми наплавленого шару металу.

Шари наплавлені порошковою сумішшю наступного складу ПР-НХ17СР4 і Р6М5Ф3 мають високі експлуатаційні характеристики за рахунок рівномірного розподілу мікротвердості по глибині наплавлення.

Результати досліджень на корозійну стійкість наплавлених шарів підтверджують можливість використання обґрунтованого складу порошкової суміші для деталей шнеків переробного устаткування в агропромисловому виробництві. При цьому виконувались порівняння зі сталлю 40Х13 з термообробкою до мікротвердості 55 НРС. Радіографічний аналіз зразків показав, що в шарах наплавлених запропонованою порошковою сумішшю відсутні внутрішні тріщини, а мікроструктура не має дефектів. Це підтверджує доцільність використання відновлених деталей під дією швидкозмінних навантажень або температурних коливань без руйнування деталей.

Під час виробничих випробувань шнеку, деталі якого відновлені за обґрунтованою технологією, поломок не виникало. Огляд робочих поверхонь шнека показав рівномірне зношування наплавленого шару, відсутність тріщин, відшаровування, сколювання.

Шнек розбирали, проводили візуальний огляд і мікрометраж сорочки і шнека. Результати експлуатаційних випробувань, приведені в табл. 1 показали, що при наробітку 25000 кг, новий шнек заводського виробництва має зношування відповідно шнека – 1,43 мм, сорочки –

0,27 мм, а ресурс відновлених шнеків з використанням порошкової суміші 89,7 % ПР-НХ17СР4 + 10,3 % Р6М5Ф3 не нижче ресурсу нових деталей.

Таблиця 1

Результати виробничих випробувань зношування відновлених та нових шнеків

Матеріал для наплавки шнека	Зношування, мм	
	деталей шнеку	сорочки шнеку
Новий шнек	1,43	0,27
Шнек після наплавлення порошковою сумішшю складу 89,7 % ПР-НХ17СР4 + 10,3 % Р6М5Ф3	1,32	0,26

Експлуатаційні випробування узгоджуються з лабораторними дослідженнями зразків на зношування. Відновлені шнеки з використанням порошкової суміші проводилось до граничного зносу шнеку, і середнє напрацювання склало 28300 кг.

5. Висновки

В результаті проведених досліджень виконано наступне:

1. Проаналізовано характер зношування деталей шнеків устаткування переробних підприємств, в результаті чого встановлено, що найвищі значення зношування спостерігаються в перерізі деталі на відстані 90...185 мм від хвостовика, в зоні дії найвищих навантажень.

2. Обґрунтовано оптимальний склад порошковою суміші для отримання заданих фізико-механічних властивостей наплавленого шару.

3. Сплановано та виконано лабораторні дослідження по визначенню геометричних параметрів отриманого наплавленого шару залежно від параметрів процесу наплавлення.

4. Проведено порівняльні дослідження у виробничих умовах, які підтвердили доцільність використання плазмового наплавлення порошків 89,7 % ПР-НХ17СР4 + 10,3 % Р6М5Ф3, які забезпечують високу зносостійкість наплавленого шару під час експлуатації шнеку. При цьому ресурс відновлених шнеків згідно обґрунтованих параметрів процесу та складу присадкового матеріалу на 5...7 % вище, ніж у нових деталей.

В подальшому плануються виконати дослідження процесу плазмового наплавлення з іншими перспективними порошковими сумішами та визначити фізико-механічні властивості, мікроструктуру і мікротвердість наплавлених шарів.

Література

1. Попов, С. М. Использование наплавленной кристаллизации управляющей фазы для повышения срока службы наплавления деталей [Текст] / С. М. Попов, А. А. Митяев // Новые конструкционные стали сплавы и методы их обработки для повышения надежности. – Запорожье: ЗМИ, 1992. – 225 с.
2. Гладкий, П. В. Плазменная наплавка [Текст] / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, Н. А. Рябцев // Сварочное производство. – 2007. – № 2. – С. 32–40.
3. Переплетчиков, Е. Ф. Способы плазменной наплавки, применяемые в странах СНГ [Текст] / Е. Ф. Переплетчиков // Сварщик. – 2004. – № 3. – С. 9–14.
4. Балановский, А. Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов [Текст]: монография / А. Е. Балановский. – Иркутск: Иркут. гос. техн. ун-т, 2006. – 180 с.

5. Максимович, Г. Г. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями [Текст] / Г. Г. Максимович, В. О. Шашинский, В. Н. Копылов. — К.: Наукова думка, 1983. — 263 с.
6. Севернёв, М. М. Технология восстановления деталей сельскохозяйственных машин, имеющих форму тел вращения, плазменной наплавкой [Текст]: рекомендации ЦННТМЭСХ / М. М. Севернёв. — Минск, 1979. — 26 с.
7. Электронный каталог ООО «Плазма-мастер» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://plazma-master.kiev.ua. — 10.09.2015
8. Киселев, Г. С. Опыт применения плазменных технологий в производстве криогенной техники [Текст] / Г. С. Киселев, В. В. Лихман, Ю. В. Грачев, В. И. Астанин // Сварочное производство. — 2004. — № 12. — С. 34–35.
9. Страхова, Е. А. Физико-математическое моделирование процесса широкопальной наплавки с поперечными колебаниями пазмотрона [Текст] / Е. А. Страхова, В. А. Ерофеев, В. А. Судак // Сварка и диагностика. — 2009. — № 3. — С. 32–38.
10. Щицын, Ю. Д. Возможности плазменной обработки током обратной полярности [Текст] / Ю. Д. Щицын, О. А. Ковалов, В. Ю. Щицын // Сварка и диагностика. — 2009. — № 2. — С. 42–45.
11. Коротеев, А. С. Плазмотроны конструкции, характеристики, расчет [Текст] / А. С. Коротеев, В. М. Миронов, А. С. Свиричук. — М.: Машиностроение, 1993. — 295 с.
12. Куксенова, Л. И. Методы испытания на трение и износ [Текст] / Л. И. Куксенова, В. Г. Лаптева, А. Г. Колмаков, Л. М. Рыбакова. — М.: Интернет инженерии, 2011. — 152 с.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ШНЕКА ПУТЕМ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Для восстановления цилиндрических деталей из коррозионно-стойких сталей предложена наплавка порошковой смесью, которая обеспечивает заданные физико-механические свойства наплавленного слоя. Используются матричное планирование эксперимента и регрессионный анализ опытных данных при

определении геометрических параметров наплавленного слоя в зависимости от заданных режимов наплавки. Результаты лабораторных исследований подтверждены производственными испытаниями.

Ключевые слова: плазменная наплавка, порошковая смесь, коррозионностойкие стали, постоянный ток обратной полярности.

Прасолов Євген Якович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна, e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Беловол Світлана Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра машин та обладнання агропромислового виробництва, Полтавська державна аграрна академія, Україна, e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Багмет Станіслав Олександрович, кафедра безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Федій Богдан Сергійович, кафедра безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Прасолов Євгеній Яковлевич, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Беловол Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра машин и оборудования агропромышленного производства, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Багмет Станислав Александрович, кафедра безопасности жизнедеятельности, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Федий Богдан Сергеевич, кафедра безопасности жизнедеятельности, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Prasolov Evgen, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine, e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Bielovol Svitlana, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine, e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Bagmet Stanislav, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

Fediy Bohdan, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine

УДК 621.82

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51518

**Чалий В. Д.,
Мороз С. А.,
Пташенчук В. В.**

МОДЕЛЮВАННЯ УТВОРЕННЯ ХВИЛЯСТОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ НА ОПЕРАЦІЯХ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ

В статті досліджено утворення хвилястості робочих поверхонь кілець роликотидшипників, яка спричиняє виникнення шуму та вібрації в підшипникових вузлах машин та механізмів. З метою аналізу складено блок-схему моделі безцентрового врізного шліфування на жорстких опорах та виведено передаточну функцію. Розв'язок характеристичного рівняння системи дозволив виявити вплив хвилястості поверхні, що шліфується та процесу регенерації цієї хвилястості на годограф вектора переміщення центру деталі.

Ключові слова: роликотидшипник, хвилястість, жорсткі опори, годограф.

1. Вступ

При шліфуванні доріжок кочення кілець роликотидшипників необхідно забезпечити швидке зняття припуску та продуктивність обробки [1–3], кінцеву макро- та

мікрогеометричну точність обробленої поверхні [4, 5]. Величина зрізаного шару при шліфуванні пропорційна нормальній силі шліфування [3, 6], а утворення хвилястості деталі викликано відхиленнями величини зрізаного шару або змінами в силі шліфування [7, 8].