

УДК 621.791.92

П.І. Ящерицин, д.т.н., проф.*Фізико-технічний інститут ПАН Білорусі***І.П. Філонов, д.т.н., проф.***Білоруський національний технічний університет***Л.М. Кожуро, д.т.н., проф.***Білоруський аграрний технічний університет*

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ НАПЛАВЛЕННЯМ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ ПОРОШКІВ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Подано результати досліджень експлуатаційних властивостей покриттів, отриманих електромагнітним наплавленням із поверхневим пластичним деформуванням порошків із швидкорізальних сталей. Наведені рекомендації ефективного застосування розробок.

Для відновлення та зміцнення деталей машин застосовують різні способи нанесення покриттів, що дозволяють отримувати робочі поверхні з необхідними експлуатаційними властивостями. Кожен з відомих способів нанесення покриттів з огляду на свої особливості має раціональну область застосування і не завжди вирішує завдання, викликані необхідністю відновлення та поліпшення довговічності деталей машин. Тому поряд з удосконалюванням відомих способів нанесення покриттів, необхідна розробка нових, які доповнюють уже відомі та розширюють їх технологічні можливості. При цьому актуальним є поєднання способів відновлення і зміцнення виробів, що використовують комбінований вплив потоків енергії різного виду на оброблювану поверхню. Це дозволяє одержувати якісно нові експлуатаційні характеристики поверхонь деталей, а також підвищувати продуктивність, знижувати енергоємність і собівартість процесів.

Необхідно зазначити, що багато деталей машин, які надходять на відновлення, мають значний запас залишкової довговічності, використання якої складає основне джерело економічної ефективності ремонту машин. Так, Японія задовольняє потребу в запасних деталях на 40 % шляхом відновлення зношених, США, Німеччина, Австрія – на 30..35 %, а СРСР у 1990 році задовольняв цю потребу на 18 % [1].

В останні роки широко досліджується та набуває практичного застосування електромагнітне наплавлення (ЕМН), що використовує енергію магнітних і електричних полів. Оскільки зв'язування порошку при ЕМН відбувається за допомогою енергії магнітного поля, з'являється можливість істотно змінити умови відновлення та зміцнення деталей машин [2].

Розроблений на кафедрі технології металів Білоруського державного аграрного технічного університету разом із ДП "МАЗ" комбінований метод електромагнітного наплавлення з поверхневим пластичним деформуванням дозволив збільшити в 1,3..1,4 рази ресурс деталей типу тіл обертання, що працюють в умовах значних навантажень та інтенсивного абразивного зношування. Такий результат отриманий за рахунок того, що новий метод зміцнення деталей поєднує нанесення, термообробку та деформування покриття, скорочуючи припрацювання поверхні за рахунок формування структури поверхневого шару. Експлуатаційні характеристики комбінованого методу визначаються електромагнітними і деформаційними впливами на зміцнювальну поверхню (рис. 1). Електромагнітне наплавлення з (НПД), до переваг якою варто віднести високу міцність з'єднання первинним пластичним деформуванням наплавленого покриття з основою, підвищену зносостійкість і мінімальне тепловиділення, що виключає термічне деформування оброблюваних деталей, ефективно при зміцненні поверхонь тертя і поверхонь під підшипники та зубчасті колеса.

Використання тепла у процесі ЕМН для зміцнення НПД дозволяє поєднати операції наплавлення і термодформаційного зміцнення і створити умови для комбінованого деформування параметрів якості поверхневого шару, найбільш повно з точки зору експлуатаційної спадковості параметрів процесу, що відповідають службовому призначенню деталей машин.

З [3] відомо, що наплавлений метал відрізняється неоднорідністю структури і хімічного складу, наявністю зварювальних дефектів, коливаннями твердості, внутрішньою напруженістю та іншими дефектами, тому є зацікавленість у порівняльній оцінці експлуатаційних властивостей покриттів, отриманих ЕМН і ЕМН із НПД порошків із швидкорізальних сталей за критеріями зносостійкості та

міцності на втому. Порошки швидкорізальних сталей широко використовуються для нанесення покриттів іншими методами. Вони стандартизовані, мають постійний хімічний і гранулометричний склад, зберігають високу твердість і зносостійкість у сформованих покриттях до температур 600...620 °С, що дуже важливо в зв'язку зі зміною температурного режиму на поверхнях суміжних деталей.

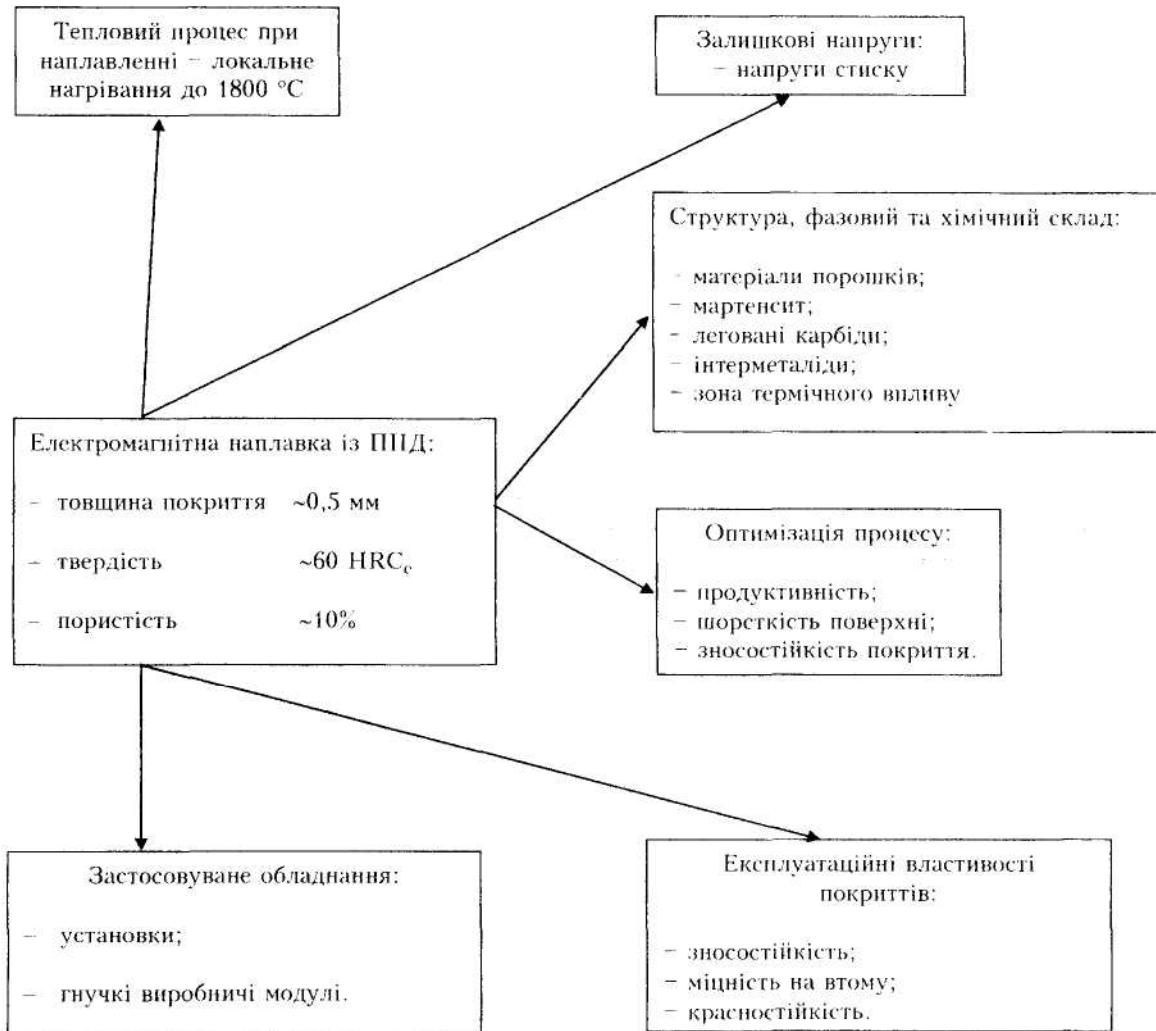


Рис. 1. Структура методу електромагнітного напавлення з ППД

Зносостійкість покриттів, отриманих ЕМН і ЕМН із ППД, вивчалася в умовах гідроабразивного зношування при терті ковзання на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою "вал–колодка" лінійним методом.

Покриття товщиною 1 мм на діаметр наносили на нормалізовані зразки зі сталі 45 із зовнішнім діаметром 40 мм, внутрішнім – 16 мм і висотою – 12 мм. Колодка з чавуна ХТВ мала висоту 10 мм, яка дозволяє зберігати вимірювальну базу, тому що по краях зразка залишалися циліндричні стрічки. Виміри зразків робили у двох взаємоперпендикулярних площинах по двом перетинам, використовуючи оптичний довенномір „ІЗВ-1”, точність якого становить 0,001 мм. Для прискорення процесу зношування використовували масляно-абразивну суміш (масло індустріальне 20, яке містить 2 % карбіду бора зернистістю 4...5). При цьому для кожної партії зразків використовували свіжу порцію суміші.

Абразивні частки у завислому стані під час дослідження підтримувалися лопатками крильчатки, посаженої на один вал зі зразком, а стабільність температурного режиму суміші – подачею води через подвійне дно камери.

Зразки після нанесення покриття, піддавалися механічній обробці. Потім вони припрацьовувались з колодкою. Закінчення припрацювання визначали за стабілізацією моменту тертя пари.

Режими експерименту відповідали умовам роботи деталей автотракторних і сільськогосподарських машин, для яких характерна швидкість ковзання – до 2,5 м/с і питоме навантаження – 1,5...3,0 МПа. Випробувалися партії з п'яти зразків.

Результати дослідження порівнювали з еталоном (сталь 45 нормалізована і загартована з нагрівання СВЧ на глибину 1,2...1,6 мм до 52...54 HRC_c). Крім того – враховували, що абразивне спрацювання має переважно механічний характер. Інтенсивність його, як відомо [4], найбільше залежить від твердості контактних матеріалів, питомого навантаження і швидкості переміщення.

Дослідження експлуатаційних властивостей покриттів проводили на зразках, наплавлених і оброблених при оптимальних умовах і режимах процесів, визначених у [2] (зразки після ЕМН і ЕМН із ППД обробляли абразивним шліфуванням і магнітно-абразивним поліруванням для одержання шорсткості поверхні Ra = 0,8...0,6 мкм).

Триботехнічні характеристики покриттів наведені в таблиці, в якій у чисельнику представлені результати покриттів, отриманих ЕМН, а в знаменнику – ЕМН із ППД. Їх аналіз показує, що вирішальний вплив на зносостійкість покриттів мають хімічний і фазовий склади і метод їхнього нанесення. Так, покриття, отримані ЕМН із ППД, для всіх досліджуваних матеріалів порошків мають більш високу зносостійкість порівняно з покриттями, отриманими ЕМН. Обумовлено це тим, що ППД поліпшує щільність і однорідність покриття, роблячи його більш дисперсним; призводить до зміни характеру розподілу зміцненого шару, в якому відбуваються перетворення, що відповідають повному загартуванню. Тому підвищується твердість покриттів і, відповідно, опір їх механічному руйнуванню. Разом з тим, момент тертя і коефіцієнт тертя для різних методів нанесення покриттів не мають істотних розбіжностей, а для порошків вони значні.

Таблиця

Триботехнічні характеристики покриттів, отриманих ЕМН і ЕМН із ППД

Матеріал порошку	Параметр				
	Інтенсивність спрацювання, мкм/км	Момент тертя, нм		Коефіцієнт тертя	
		з маслом „И-20”	насухо	з маслом „И-20”	насухо
Р6М5	2,5/1,9	0,79/0,74	1,11/1,05	0,13/0,12	0,18/0,16
Р6М5Ф3	2,2/1,7	0,73/0,69	0,87/0,82	0,11/0,10	0,15/0,14
Р6М5К5	1,9/1,4	0,72/0,68	0,82/0,79	0,11/0,10	0,15/0,14
Сталь 45	4,1	0,84	1,26	0,12	0,19

Видно, що найбільшу зносостійкість мають покриття з порошку Р6М5ДО5. Зносостійкість усіх покриттів значно вища зносостійкості еталона (сталь 45). У порядку зменшення зносостійкості покриттів останні можна, як для ЕМН, так і для ЕМН із ППД, розташувати в такій послідовності:

Р6М5ДО5→Р6М5Ф3→Р6М5.

Зіставлення дисперсій зносостійкості покриттів показало, що розсіювання експериментальних даних не перевищувало 17 % для ЕМН і 12 % – для ЕМН із ППД. Це свідчить про стабільність наплавлення в електромагнітному полі.

Відомо, що основна причина руйнування деталей, які працюють в умовах циклічного навантаження, – втома металу. Руйнування внаслідок втоми починається з поверхневого шару, від фізико-механічних властивостей якого залежить значною мірою межа витривалості.

Тому в роботі провели дослідження міцності деталей на втому, зміцнених ЕМН із ППД, тобто, досліджувався вплив на міцність на втому наплавлених поверхонь тільки від методу наплавлення і хімічного складу порошку.

Дослідження проводили на зразках круглого перерізу з нормалізованої сталі 45, які мали співвідношення $l/d = 15$, де $l = 150$ мм – довжина і $d = 10$ мм – діаметр, застосувалися порошки Р6М5ДО5 і Р6М5Ф3. Зразки після наплавлення піддавалися абразивному шліфуванню з забезпеченням шорсткості поверхні Ra = 0,8...0,6 мкм. Дослідження зразків на міцність на втому

здійснювали на машині типу В-20М в умовах дії знакозмінного навантаження з постійною амплітудою.

Криві витривалості будували у подвійній логарифмічній системі координат, завдяки чому функціональна залежність напруг від кількості циклів $\sigma = f(N)$ представлена рівнянням:

$$m \cdot \lg \sigma + \lg N = \lg C,$$

де σ – напруга, МПа; m – параметр кривої, $m = 10$; N – кількість циклів навантаження; C – коефіцієнт.

Отже, криволінійна залежність $\sigma = f(N)$ у логарифмічних координатах була зведена до рівняння прямої, що дозволило застосовувати метод лінійної кореляції.

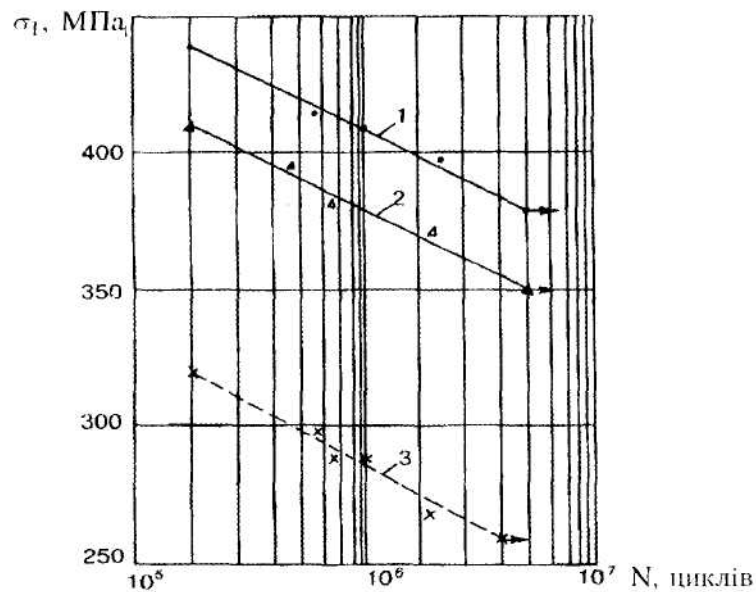


Рис. 2. Вплив хімічного складу порошків на міцність на втому змінених електромагнітним наплавленням із поверхневим пластичним деформуванням зразків: 1 – P6M5K5; 2 – P6M5Φ3; 3 – сталь 45

Аналіз отриманих результатів і випробувань (рис. 2) показує, що при циклічному навантаженні зразків покриття мають різну здатність до опору руйнуванню. Це може бути пояснено неоднаковою чутливістю матеріалів покриттів процесам, які впливають на руйнування. Видно, що міцність на втому поверхонь, наплавлених порошками P6M5DO5 і P6M5Φ3, вища ніж еталонна відповідно в 1,45 і 1,34 рази. Обумовлено це тим, що ЕМН із ППД формує в системі „покриття–основа” залишкові напруги стиску, збільшує зону термічного впливу [2, 5]. Крім того, відбувається виділення дисперсних карбідів та інтерметалідів, які блокують зсув по площині ковзання. Це забезпечує поліпшення поверхневої міцності, що особливо виявляється у покриттях зі структурами: мартенсит, леговані дисперсні карбіди та інтерметаліди [5]. Крім того, ЕМН із ППД зменшує пористість [2], що також збільшує міцність на втому наплавлених поверхонь.

Таким чином, застосування наплавлення в електромагнітному полі зі швидкорізальних сталей для відновлення та зміцнення деталей машин, які працюють в умовах підвищеного абразивного спрацювання та циклічного навантаження, дозволяє технологічним методом збільшити їхню зносостійкість у 2,5 рази і міцність на втому до 1,5 рази порівняно зі сталлю 45, загартованою з нагрівання СВЧ на глибину 1,2...1,6 мм до 52...54 HRC_c.

З огляду на те, що понад 80 % відмов машин і механізмів обумовлене комплексними причинами, у яких зношування відіграє домінуючу роль і що близько 90 % деталей мають спрацювання не більше 0,6 мм, (валів, осей, штоків, пальців тощо), що становить 52 % [6, 7]), то для їх відновлення та зміцнення можна рекомендувати ефективний процес ЕМН із ППД легованих порошків на залізній основі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Иванов В.П.* Сбережение остаточного ресурса деталей и сопряжений при их восстановлении // Агропанорама. – 2000. – № 2. – С. 15–18.
2. *Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов Н.О.* Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Минск: УП "Технопринт", 2000. – 268 с
3. *Барвинок В.А.* Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. *Филонов И.П., Кожуро Л.М., Фельдштейн Е.Э.* Износостойкость покрытий, полученных электромагнитной наплавкой // XXIII jesienna szkola tribologiczna. – Zielona Gora – Lubiatow, 1999. – S. 35–38.
5. *Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др.* Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Минск: Изд-во ФТИ НАН Беларуси, 1997. – 416 с.
6. *Кершенбаум В.Я.* Механическое деформирование поверхностей трения. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
7. *Воловик Е.Л.* Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.

ЯЩЕРИЦИН Петро Иванович – академік, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки, лауреат Державної премії БРСР, головний старший науковий співробітник фізико-технічного інституту Національної академії наук Білорусі.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- обробка матеріалів різанням.

Тел.: (017) 227-61-27.

ФІЛОНОВ Ігор Павлович – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки Білорусі, перший проректор Білоруського Національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Тел.: (017) 232-86-02.

КОЖУРО Лев Михайлович – доктор технічних наук, заслужений діяч науки Білорусі, професор кафедри технології металів Білоруського аграрного технічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Тел.: (017) 264-12-54.

Адреса: 220023, Білорусь, Мінськ, пр. Ф.Скорици, 109-5.

Подано 14.04.2003