

УДК 621.785.539:621.891

М.І. ДЕНИСЕНКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ БОРИДНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО ТЕРТЯ

Проведено дослідження механізму зношування двофазного і однофазного покриттів на середньовуглецевій сталі 45 в умовах граничного тертя. Подана структура двофазного боридного покриття і досліджено її складові, а саме: верхня фаза високобориста Fe B, нижня – низькобориста Fe₂ B, а між цією фазою і основною розташована перехідна зона. Доведено, що однофазне боридне покриття більш перспективне для поверхневого зміцнення деталей з середньовуглецевих сталей у порівнянні з двофазним покриттям.

Ключові слова: боридні покриття, механізм зношування, середньовуглецева сталь, граничне тертя, відновлення зношених деталей.

Вступ. Для поліпшення технічної експлуатації сільськогосподарської техніки на основі досягнень науково-технічного прогресу, економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів необхідне подальше вдосконалення ремонту машино-тракторної техніки з метою підвищення її надійності та довговічності. Окрім цього, використання дешевих, і в переважній більшості випадків довговічніших відновлених деталей дає пряме скорочення втрат на ремонт і технічне обслуговування сільськогосподарської техніки.

Ремонт сільськогосподарської техніки потребує значних затрат праці та коштів. На заводах тракторного і сільськогосподарського машинобудування майже 40% металу витрачають на виготовлення запасних частин, на які при ремонті тракторів припадає основна частина затрат. Трудомісткість робіт при капітальному ремонті тракторів нерідко перевищує затрати праці на виготовлення.

Головним резервом збільшення ресурсу відремонтованих машин є підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя за допомогою використання сучасних методів поверхневого зміцнення і покриттів, що забезпечує ресурс відновлених деталей на рівні нових.

У зв'язку з цим відновлення зношених деталей є актуальною і важливою на-родногосподарською задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Успішне вирішення проблеми підвищення зносостійкості і терміну служби деталей машин, що в експлуатації за різних умов залежить від наших уявлень про механізм цього процесу і чинників, які визначають рівень зносостійкості конструктивних матеріалів [1,2 та інші].

Як зазначається в [3-4] однією із основних задач ремонтного виробництва є відновлення зношених деталей. Поряд із відновленням вузької номенклатури основних і масових деталей, на поточних лініях особливе місце відводиться широкій номенклатурі деталей, відновлення яких доцільне більшості ремонтних виробництвах. При цьому важливою умовою є їх відновлення до рівня нових, при відносно не високій собівартості. Питанням відновлення машин та механізмів присвячена велика кількість досліджень, фундаментальними якими є довідники [3-5], монографії [6 та інші], та безліч наукових статей.

Основними причинами, що впливають на ресурс деталей машин, є різномічність функцій деталей у машині; широкий діапазон зміни діючих на деталі нава-

нтажень; наявність у вузлах та агрегатах активних (рухомих) і пасивних (нерухомих) деталей; різноманітність видів тертя у з'єднаннях; застосування для виготовлення деталей різних матеріалів, викликане необхідністю зниження втрат потужності, на подолання сил тертя; наявність відхилень у властивостях матеріалів, допусках на точність і якість обробки, взаємному розміщенні деталей (паралельність, перпендикулярність, відстань між осями); вплив умов експлуатації (технічне обслуговування, клімат, механічний склад ґрунту, кваліфікація обслуговування персоналу).

Визначення причин виникнення несправностей деталей машини дозволяє правильно вибрати спосіб їх відновлення, що забезпечить задану довговічність.

Аналізуючи різноманіття методів збільшення зносостійкості, класифікуючи їх як конструкторські, технологічні і експлуатаційні, відмітимо, що зміни поверхневих властивостей деталей, що піддаються в процесі експлуатації різним видам зношень, представляється досить ефективним. Збільшення надійності та довговічності вузлів тертя шляхом керування властивостями поверхні є кінцевою ціллю розробки різних технологічних процесів зміцнення.

Роботи, проведені в наш час з ціллю поверхневого зміцнення і відновлення деталей машин, розвиваються в наступних напрямках: 1) поверхнева обробка зі зміною структури робочого шару без зміни хімічного складу; 2) нанесення функціонального покриття; 3) комбіновані методи.

Нанесення функціонального покриття, і зокрема дифузійного, дозволяє в деяких випадках значно підвищити працездатність вузлів тертя. До найбільш зносостійких можна віднести покриття, яке має високу твердість і густину [7-9]. Трибологічні властивості таких покриттів багато в чому визначаються технологічними режимами, а також формуванням карбідних або боридних структур. Не дивлячись на те, що карбідні і боридні покриття застосовуються відносно давно, механізм їх зношення в умовах граничного тертя недостатньо вивчений.

Мега роботи та постановка задачі. Дослідження механізму зношування борованої середньовуглецевої конструкційної сталі, а також дослідження впливу фазового складу покриття на його зносостійкість.

Матеріали і методи досліджень. Поверхневе зміцнення зразків зі Ст45 здійснюється в боромісних сумішах. Варто відмітити, що при порівнювальній оцінці існуючих методів борування в першу чергу треба враховувати їх технологічні переваги та недоліки, продуктивність (швидкість насичення) і вартість (економічна ефективність). Окрім цього необхідно мати на увазі неминучу різницю фазового складу, а відповідно, і властивостей боридних покриттів, отриманих різними способами.

З усього різноманіття структур боридних шарів [7-8] реальний практичний інтерес викликають однофазні боридні шари (Fe_2B) і двофазні ($FeB + Fe_2B$). В якості боромісних сумішей були вибрані: 1) 99% ($60\% Al_2O_3 + 40\% [95\% (45\% Al + 55\% B_2O_3) + 5\% Cr_2O_3]$) + 1% LiF; 2) 98% ($60\% Al_2O_3 + 40\% [95\% (45\% Al + 55\% B_2O_3) + 5\% Cr_2O_3]$) + 1% FeS + 1% LiF. Моделювання процесів тертя і зношування проводили на машині тертя СМТ-1 у середовищі оливи М10Г за схемою ролик – ролик. Верхній ролик був нерухомий, а нижній крутився. У якості контртіла була швидкоріжуча сталь P8M5 загартована на твердість 65HRC. Знос боридного покриття визначався ваговим методом на електронних вагах. Навантаження і швидкість ковзання вибрали за умов реалізації граничного тертя. Змашу-

вання здійснювали зануренням в оливу зразка, що крутився. Дослідження мікроструктури до і після випробувань проводили на мікроскопі NEOFOT-21; субструктуру вивчали на растровому електронному мікроскопі PEM-1061.

Результати дослідження та їх обговорення. На рис. 1 подано залежність коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування від навантаження для сталі 45 з покриттями. Встановлено, що при невеликих питомих навантаженнях на робочих поверхнях розвиваються процеси механохімічного зношування. Істотної різниці у величині зносу двофазного і однофазного покриття не спостерігається. Однак, при питомих навантаженнях більше 12-15 МПа на поверхнях тертя двофазного боридного покриття інтенсифікуються процеси супутнього абразивного зношування.

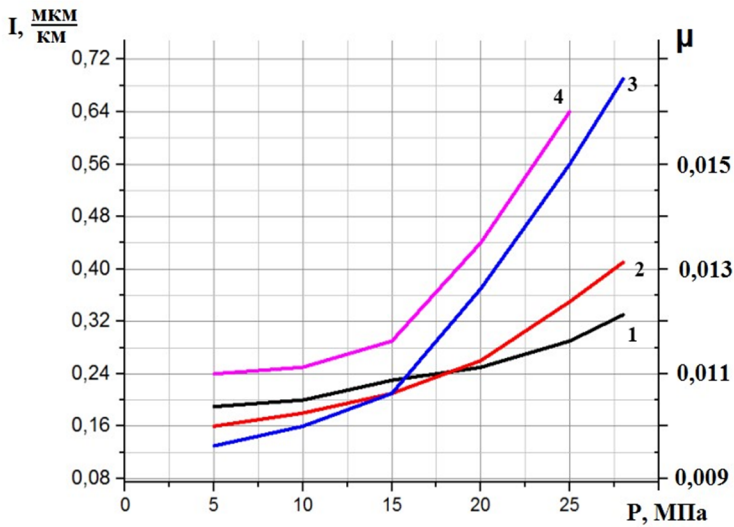


Рис. 1. Залежність коефіцієнту тертя μ (2, 4) і інтенсивності зношування I (1, 3) від навантаження P для сталей з: 1, 2 – однофазним боридним покриттям і 3, 4 – двофазним боридним покриттям

Підвищення питомого навантаження в діапазоні 12-25 МПа призводить до істотної зміни коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування, що є відображенням процесів, які розвиваються на контактуючих поверхнях. У цих умовах тертя на робочих поверхнях двофазного покриття виникають макротріщини (рис. 2), що сприяють сколюванню боридних частинок, які, потрапляючи в зону тертя, стимулюють абразивне зношування в зв'язку з тим, що вони володіють високою твердістю.

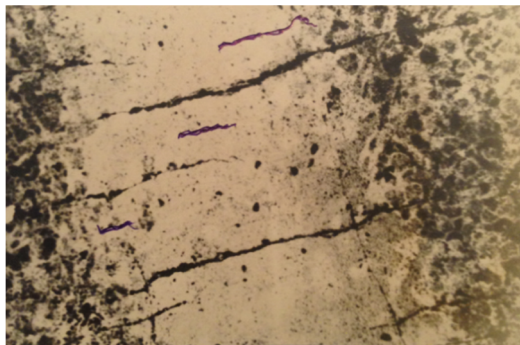


Рис. 2. Мікрофотографія поверхності тертя сталі з двофазним боридним покриттям та тріщинами, які утворюються при терті ковзання ($V = 1$ м/с; $P = 15$ МПа)

Слід зазначити, що утворення тріщин на двофазному покритті по всій доріжці тертя обумовлено не тільки високими питомими навантаженнями, але й відмінністю коефіцієнтів термічного розширення для різних боридних фаз. Так, для бориду Fe_2B він становить $7,85 \cdot 10^{-6}$, а для бориду FeB – $23 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Макротріщини розвиваються тільки в шарі верхнього бориду FeB , що пояснюється його підвищеною крихкістю: за даними роботи [9] мікрокрихкість бориду FeB в 8 разів перевищує мікро крихкість нижчого бориду Fe_2B . Таким чином, для розширення навантажувального діапазону необхідно створювати однофазні боридні покриття шляхом зниження активності насичуємої суміші. Характерно, що схоплення боридованої сталі з матеріалом контртіла не спостерігалось.

Висновки. В результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що створення однофазних боридних покриттів більш перспективно для зміцнення конструкційних вуглецевих сталей, що застосовуються у вузлах тертя, ніж двофазних. Однофазне борування рекомендовано для поверхневого зміцнення деталей і вузлів тертя сільськогосподарської техніки.

Список літератури

1. Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, А. К. Караулов та ін. – К.: Техніка, 1976 – 296с.
2. Кіндрачук М. В. Трибологія. Підручник / М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашечко, С. В. Корбут: К.: НАУ, 2009 – 392с.
3. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик. – М.: Колос, 1981.- 351с.
4. Надійність сільськогосподарської техніки. Підручник / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін та ін. – Кіровоград: КОД, 2010. – 320с.
5. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин. Справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480с.
6. Повышение качества восстановления деталей машин / П. А. Руденко, В. А. Горохов, Н. В. Молодык, Л. Е. Буряк. К.: Урожай, 1978. – 176с.
7. Ворошнин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов / Л. Г. Ворошнин. – Минск: Беларусь, 1981. – 205с.
8. Лабунец В. Ф. Износостойкие боридные покрытия / В. Ф. Лабунець, Л. Г. Ворошнин, М. В. Кіндрачук, - К.: Техніка, 1989. – 158с.
9. Самсонов Б. В. Тугоплавкие покрытия / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М.: металлургия, 1973. – 400с.

Стаття надійшла до редакції 28.09.2018

Денисенко Микола Іванович – канд. техн. наук, доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, тел.: 044 527 88 53.

M. I. DENYSENKO

INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF BORIDE COATING WEAR UNDER CONDITIONS OF BOUNDARY FRICTION

Carry out investigation mechanism wear-and-tear twophase of one-phase coating of low-carbon steel 45 of condition friction of boundary lubrication. At introduction part scientific article of give an example of actuality research of and scientific of practical sense. Present production process of diffusion saturation steel 45 of powder mixture of twophase of one-phase borating. Presentation structure twophase of borated layers and study of component, and same thing top phase highborated FeB, lowers – poorborated Fe₂B, and between phase of base dispose transition zone. Give an example microhardness borating phase of and different physical quality. Describe methods invstigation of plant, what happen make use of at process research. Of analyse influence rate velocity sliding of specific load of in process friction of wear twophase of one-phase coating. Install, what test twophase boride coating of parallel of mechanic chemistry wear of develop process abrasive wear, what intensive develop of afterwards specific weight 15 MПа. Study mechanism wear-and-tear borides coating of make it possible for make a conclusion Reduce, of one-phase boride coatings more of perspective for surface hardening low-carbon steel of in compare of two-phase coating. Of position corrosion interaction borating layer of medium the greatest have one-phase structure. Of position wear borating detail of friction of boundary abrasive wear slip better have the property detail of compact structure borating phase. Diffusion borating have widespread method of surface impregnation iron-carbon alloy, of make it possible for essential increase resource machine.

Keywords: borides coating, mechanism wear-and-tear, steel low-carbon, friction of boundary, restoration worn-out part.

References

1. Poverchnostnaya prochnost materialov pri treniyi / B. I. Kostetskiy , I. B. Nosovskiy, A.K. Karaulov ta in. – K.: Texnika, 1976 – 296 s.
2. Kindrachuk M.V. Tribologiya. Pidruchnik / M.V. Kindrachuk, V.F. Labunets, M.I. Pashechko, E.V. Korbut: K.: NAU, 2009 – 392 s.
3. Volovik E.L. Spravochnik po vosstanovleniyu detaley / E.L. Volovik. – M.: Kolos, 1981. – 351 s.
4. Nadiynist silskogospodarskoy texniky. Pidruchnik / M.I. Chernovol, V.U. Cherkun, V.V. Aulin ta in. – Kirovograd: KOD, 2010. – 320 s.
5. Molodik N.V. Vosstanovleniye detaley mashin. Spravochnik / N.V. Molodyk, A.S. Zenkin. – M.: Machinostroeniye, 1989. – 480 s.
6. Povisheniye kachestva vosstanovleniye detaley machine / P. A. Rudenko, V.A. Gorokhov, N.V. Molodyk, L.E. Buryak. K.: Urozhay, 1978. -176 s.
7. Voroshin L.G. Borirovaniya promyshlennykh staley i chugunov / L. G. Voroshin. – Minsk: Belarus, 1981. – 205 s.
8. Labunets V.F. Iznosostoykiye boridnye pokrytiy /V.F. Labunets, L.G. Voroshin, M.V. Kindrachuk, - K.: Tekhnika, 1989. – 158 s.
9. Samsonov B.V. Tugoplavkiye pokrytiya / G.V. Samsonov, A.P. Epik. – M.: metallurgiya, 1973. – 400 s.