

УДК 621.793.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.1.102

СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СТАН І ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО САМОФЛЮСУВАЛЬНОГО СПЛАВУ ПГ-10Н-01, МОДИФІКОВАНОГО МАТЕРІАЛОМ, ЩО МІСТИТЬ БОР

Лузан А. С.

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка

Анотація. У роботі наведено результати дослідження мікроструктури, фазового складу та зносостійкості наплавлених покриттів на основі сплаву ПГ-10Н-01, модифікованих розробленим композиційним матеріалом, що містить диборид титану, борид нікелю, оксид титану та заліза.

Ключові слова: композиційний матеріал, СВС-процес, бориди, зносостійкість, наплавлення, структура, фазовий склад.

Вступ

Композиційні матеріали та покриття мають гетерогенну структуру, яка визначає ефективність їх використання для зміцнення деталей машин, залежно від способу формування, характеристик поверхневого шару, варіанта розташування, фізичних, фізико-механічних та трибологічних властивостей компонентів, міцності зв'язку між ними, а також стану і властивостей робочого або технологічного середовища, в яких вони працюють. Єдиної теорії підвищення зносостійкості покриттів із композиційних матеріалів та узагальнених методів трибофізичного обґрунтування їхнього складу і структури не існує. Правильний вибір структурного і фазового складу композиційних покриттів за процесами контактної взаємодії, що відбуваються на межі поділу компонентів, забезпечує їхній надійний зв'язок та високу зносостійкість зміцнених деталей машин.

Аналіз публікацій

Найбільшого поширення набуло зміцнення деталей машин шляхом наплавлення на них твердих сплавів та інших матеріалів різними методами [1, 2]. Здійснювалися дослідження зі створення нових композиційних матеріалів із високою абразивною зносостійкістю. На сьогодні досить активно розвивається метод отримання порошкових матеріалів шляхом самопоширювального високо-температурного синтезу (СВС) з попередньою механоактивуючим обробленням складових компонентів. Розроблено багатокарбідні СВС-механокомпозити, що є новими композиційними матеріалами зі структурою типу «зміцнювальна фаза-матриця», які за-

стосовуються для модифікування та зміцнення відновлювальних покриттів для деталей ґрунтообробних машин [3].

Відомо, що сполуки металів з бором (бориди), мають високу твердість з пластичними властивостями і високу хімічну інертність, це одні з найбільш ефективних і економічних мікролегувальних елементів сталі.

У більшості випадків мінімальна концентрація бору в металі для отримання позитивного результату становить близько однієї тисячної масової частки відсотка. Унікальність бору полягає в тому, що за умов такого малого вмісту в сталі він може впливати на її властивості, а також еквівалентний дії значно більшої кількості таких легувальних елементів, як Cr, Mo, Ni тощо [3].

Характерною властивістю боридів є їхня значна твердість, пов'язана зі спрямованим характером і високою енергетичною міцністю міжатомних зв'язків. Наявність високої твердості у боридів пов'язана переважно з міцними ковалентними зв'язками В-В, а також зі зв'язками Ме-Ме. Твердість боридів зменшується за умов збільшення порядкового номера металів в групах і за діагоналлю ділянки періодичної системи, де розташовуються перехідні метали. Особливо висока твердість спостерігається у боридів TiB_2 , ZrB_2 , NbB_2 , W_2B_5 [4–6].

Відповідно до вищевикладеного можна зробити висновок, що актуальним для наплавлення деталей, які піддаються абразивному зношенню за експлуатації, є отримання покриття, що містить диборид титану та інші елементи і має високу абразивну стійкість.

Мета і постановка завдання

Метою її роботи є розроблення композиційного матеріалу (КМ) на основі порошкового матеріалу системи Ni-Cr-B-Si, модифікованого композиційним матеріалом (МКМ), отриманим із застосуванням СВС-процесу, що містить борид титану та інших елементів, для зміцнення деталей машин, які піддаються абразивному зношенню.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити технологію отримання МКМ і дослідити структуру, фазовий склад і абразивну зносостійкість наплавлених покриттів КМ на основі матеріалу системи Ni-Cr-B-Si, модифікованого композиційним матеріалом з елементами, що містять бор.

Технологія отримання композиційного матеріалу, результати металографічних і трибологічних досліджень

Найбільш популярними є склади композиційних матеріалів на основі титану. Це пов'язано з високим екзотермічним ефектом реакції утворення карбіду та дибориду титану з елементів, що забезпечує широкий вибір матеріалу зв'язки [7].

Тому як вихідні матеріали для отримання композиційного матеріалу використовували порошки титану марки ВТ1-0, бору В, вуглецю марки ПМ-15 з метою синтезування карбіду та дибориду титану. Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбіду і дибориду титану в механічну суміш додається терморегульований порошок алюмінід нікелю ПТ-НА-01, алюмінієва пудра ПАП-1 ДСТУ 5494-95 і оксид заліза Fe_2O_3 . Фракційний склад всіх вихідних порошкових компонентів знаходився в межах (63...100) мкм. Співвідношення компонентів в суміші було еквімолярним, щоб в результаті подальшої СВС-реакції відбувався синтез карбіду і дибориду титану, карбіду заліза стехіометричного складу.

Обрані компоненти змішували, отримана порошкова суміш піддавалася механічній активації, яка здійснювалася в планетарних кульових млинах АГО-2. У проведених експериментах об'єм барабанів дорівнював 160 см^3 , діаметр куль – 4–5 мм, маса куль – 200 г. Час процесу механоактивації варіювався в діапазоні від 2 до 6 хвилин.

Отримання композиційного матеріалу здійснювалося в два етапи: 1) змішування порошків Ti, B, C, Fe_2O_3 , Al та їхня спільна механоактивація, додавання зв'язуючого – клею марки «Метилан», формування цилінд-

ра, сушення, ініціювання СВС-процесу, під час якого синтезуються частки боридів титану, хрому тощо; 2) дроблення, спікання і змішування отриманого порошку з промисловим порошком марки ПГ-10Н-01 ТУУ 322-19-004-96, механоактивація отриманої порошкової суміші, додавання в механоактивовану порошкову суміш рідкого скла ДСТУ 13078-81 до набуття нею пастоподібного стану.

Пасту наносили на підготовлену для наплавлення поверхню сталеві пластини (сталь 20) та після просушування здійснювали наплавку графітовим електродом, діаметром 10 мм, струмом наплавлення 80–120 А, прямою полярністю. прямию.

Дугове наплавлення здійснювали з використанням інверторного джерела живлення Патон ВДІ-200Р DC TIG.

Досліджували структури за допомогою металографічного мікроскопа.

Мікротвердість покриттів вимірювалася на твердомірі марки ПМТ-3 згідно з ДСТУ 9450-76.

Порівняльні випробування на зношення наплавлених зразків здійснювали на машині тертя типу МІ за схемою «диск-колодка» в середовищі індустриального масла марки І-20 за таких режимів: середня окружна швидкість ковзання – 0,42 м/с, питомий тиск на колодку за умов нормального механохімічного процесу зношення становив 8,0 МПа, площа поверхні тертя – $1,8\text{ см}^2$.

Випробування на абразивне зношення досліджуваних матеріалів в умовах тертя о закріплені абразивні частинки оцінювали відповідно до ДСТУ 17367-71.

Саморозповсюджуваний високотемпературний синтез (СВС-процес) модифікувального композиційного матеріалу (МКМ) проводили на циліндричних зразках в умовах фронтального здійснення синтезу. Підпалювання реагуючого складу здійснювалося електричною дугою (рис. 1) [8].

Після отримання композиційного матеріалу у вигляді спеку дробили його на кульовому млині, потім додавали матричний матеріал ПГ-10Н-01 в кількості 80 % і здійснювали механоактиваційне оброблення.

Дослідження мікроструктури наплавленого покриття порошком ПГ-10Н-01 продемонстрували, що вона має дендритний характер (рис. 1, а). Мікроструктура наплавлених покриттів КМ (10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) є матричним матеріалом – сплавом ПГ-10Н-01, в якому рівномірно розподілені тверді включення (рис. 1, б).

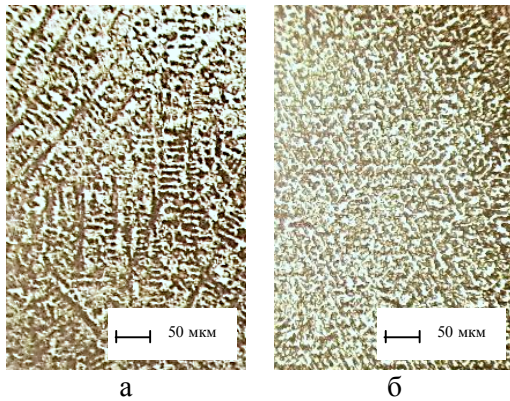


Рис. 1. Мікроструктура наплавлених покриттів: а – ПГ-10Н-01; б – КМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01)

Результати дослідження мікротвердості наплавлених покриттів з КМ складу {20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01} підтверджують, що в наплавленому шарі присутні тверді включення. Так, мікротвердість наплавлених покриттів, що містять 20 % МКМ, перевищує мікротвердість наплавленого покриття ПГ-10Н-01, що дорівнює 520 HV, і становить 978 HV, отже, твердість за Роквеллом дорівнює 34, 50 HRC.

Вимірювання коерцитивної сили в наплавлених валиках на сталь 20, які здійснені з використанням структуроскопа КРМ-Ц-К2М, продемонстрували, що у випадку наплавлення порошку ПГ-10Н-01 її величина становила $H_c = 4,9$ А/см, а у разі наплавлення композиційних матеріалів – $H_c = 5,1-5,8$ А/см $H_c = 6,4-7,3$ А/см, що містять 10 і 20 % композиційного матеріалу, що модифікується. Збільшення коерцитивної сили також підтверджує наявність у структурі композиційного матеріалу неметалічних твердих складових.

Як демонструють результати рентгенофазового аналізу, цими частинками є диборид титану (TiB_2), бориди нікелю (Ni_3B) і хрому (Cr_3B), а також оксид титану (TiO) (рис. 2).

Визначення фазового складу наплавлених шарів здійснювалося із застосуванням дифрактометра ДРОН-3 в монохроматизованому $K\alpha$ -Cu випромінюванні в кутовому інтервалі $2\theta = 10 - 80$. Реєстрацію рентгенограм проводили в дискретному режимі. Підготовку зразків до аналізу здійснювали шляхом їх шліфування на абразивному папері та полірування до досягнення необхідної шорсткості поверхні. Для розшифрування дифрактограм використовували дані картотеки ASTM. Результати ізносних випробувань покриттів ПГ-10Н-01 і композиційного матеріалу {20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01} на машині тертя МІ

за схемою диск-колодка в середовищі індустриального масла з питомим навантаженням 8 МПа. Вони демонструють більш високу зносостійкість пропонованого композиційного матеріалу {20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01}, яка в 2,35 раза перевищує зносостійкість самофлюсувального сплаву марки ПГ-10Н-01.

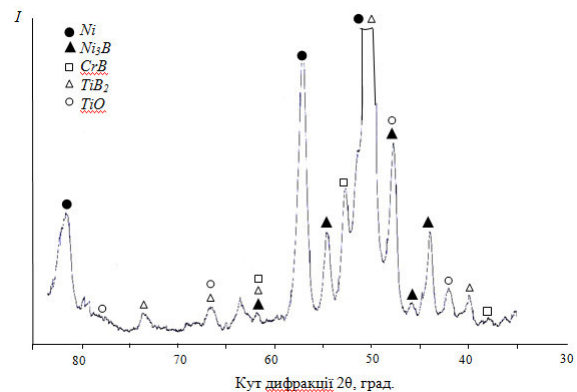


Рис. 2. Рентгеновська дифрактограма наплавленого шару КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01)

Зносостійкість досліджуваних матеріалів оцінювалася також за результатами випробувань на тертя об закріплені частки за ДСТУ 17367-71. Сплав ПГ-10Н-01 приймався як контрольний матеріал, його зносостійкість була прийнята за одиницю. Результати випробувань продемонстрували, що абразивна зносостійкість композиційного матеріалу {20% МК + 80% ПГ-10Н-01} в 1,7 раза перевищує показник сплаву ПГ-10Н-01.

Морфологія поверхонь тертя також добре узгоджується з результатами випробувань на тертя об закріплені частки наплавлених покриттів ПГ-10Н-01 і КМ (20 % МКМ + 80% ПГ-10Н-01) (рис. 3).

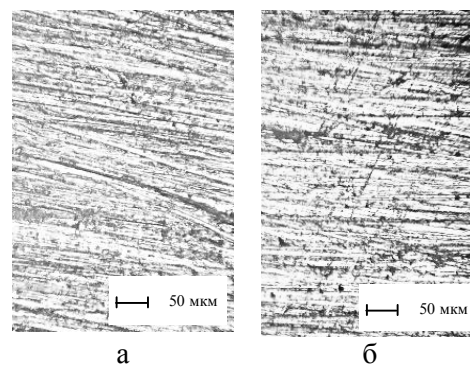


Рис. 3. Морфологія поверхонь тертя за умов зношування об закріплені частинки абразивів наплавленого сплаву ПГ-10Н-01 (а) і КМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01) (б)

У випадку зношування в умовах впливу закріплених частинок абразивів виявлені досить глибокі паралельні канавки на покритті зі сплаву ПГ-10Н-01 (рис. 4, а). Рельєф поверхні зношування має нерівномірний характер. На поверхні наплавленого покриття з МКМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01) спостерігаються неглибокі дрібні і рівномірно розташовані подряпини від тертя (рис. 4, б), це пояснюється введенням МКМ, який сприяє утворенню нових центрів кристалізації у разі наплавлення та призводить до подрібнення структури.

Висновки

Розроблено композиційний матеріал на основі самофлюсувального сплаву системи Ni-Cr-B-Si (порошок марки ПГ-10Н-01), модифікований механоактивованим композиційним матеріалом, отриманим із застосуванням СВС-процесу, для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин.

Мікроструктура наплавлених покриттів є матричним матеріалом – сплав ПГ-10Н-01, в якому рівномірно розподілені тверді включення: диборид титану, борида нікелю і хрому, оксид титану. Мікротвердість наплавленого покриття, що містить 20 % МКМ, становить 978 HV і перевищує мікротвердість наплавленого шару ПГ-10Н-01, що дорівнює 520 HV.

Вимірювання коерцитивної сили в наплавлених валиках показали її збільшення: 4,9 А/см для наплавлення порошку ПГ-10Н-01, 4,3-5,8 і 6,4-7,3 А/см для композиційного матеріалу, що містить 10 і 20 % композиційного матеріалу, який модифікується, що підтверджує формування в СВС-процесі карбіду і дибориду титану, карбіду заліза.

Визначено, що композиційний матеріал складу 20 % МКМ + 80% ПГ-10Н-01 має більш високу зносостійкість, як порівняти зі сплавом ПГ-10Н-01, в процесі нормального тертя в середовищі індустриального масла (в 2,35 рази), а також в умовах впливу закріплених частинок абразивів (в 1,7 рази).

Морфологія поверхонь тертя у випадку зношування о закріплені частинки абразивів наплавленого сплаву також свідчить про більш високу зносостійкість покриття з композиційного матеріалу.

Література

1. Нефедьев С. П., Дема Р. Р., Котенко Д. А. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твердых наплавленных покрытий. *Вестник ЮУрГУ. Сер. «Металлургия»*. 2015. Т. 15, № 1. С. 103–106.

2. Карабарин Д. А., Тарасов Г. Ф. Повышение износостойкости рабочих органов землеройных машин. *АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАЦИИ И КОСМОНАВТИКИ. Технические науки*. 2012. С. 19–20.
3. Собачкин А. В. Формирование износостойких покрытий для деталей сельскохозяйственного машиностроения при электродуговой наплавке многокомпонентных механоактивированных СВС-материалов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.16.09. Барнаул, 2013. 22 с.
4. Перспективы использования наноразмерных порошков для получения модифицирующих лигатур / Калиниченко А. С. и др. *Литье и металлургия*. 2015, 1(78). С. 65–73.
5. Исследование порошковых металлотермических сред для борирования / Хина Б. Б. и др. *Вестник БНТУ*. 2010. С. 31–34.
6. Yeregin, Ye. N., Losev A. S. Mechanical properties and thermal stability of a maraging steel with borides, deposited with a flux-cored wire. *Welding International*. 2014. Vol. 28. No 6. P. 465–468.
7. Лузан С. А., Сидашенко А. И., Лузан А. С. СВС-процессы в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин наплавкой и газотермическими способами напыления покрытий (обзор). *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків: 2016. № 6. С. 152–162.
8. Шихта для отримання композиційного зносостійкого матеріалу з використанням СВС-процесу: пат. № 133419, Україна: МПК (2019.01) C22C 14/00, B22F 1/00; опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7.

References

1. Nefed'ev S. P., Dema R. R., Kotenko D. A. Abrazivnaya i udarno-abrazivnaya iznosostojkost' tverd'x naplavlenny'x pokry'tij. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Metallurgiya»*. 2015. T. 15. № 1. S. 103–106.
2. Karabarin D. A., Tarasov G. F., Povyshenie iznosostojkosti rabochix organov zemle-rojny'x mashin. *AKTUAL'NY'E PROBLEMY' AVIACII I KOSMONAVTIKI. Texnicheskie nauki*. 2012. S. 19–20.
3. Sobachkin A. V.. Formirovanie iznosostojkix pokry'tij dlya detalej sel'skoxozyajstvennogo mashinostroeniya pri e'lektrodugovoj naplavke mnogokomponentny'x mexanoaktivirovanny'x SVS-materialov : avtoref. dis. ... kand. texn. nauk : spec. 05.16.09. Barnaul, 2013. 22 s.
4. Perspektivy' ispol'zo-vaniya nanorazmerny'x poroshkov dlya poluche-niya modifiziruyushhix ligatur. / Kalinichenko A. S. i dr. 2015, 1(78). S. 65–73.

5. Issledovanie poroshko-vy'x metallotermicheskix sred dlya borirova-niya / Xina B. B. *Vestnik BNTU*. 2010. №. S. 31–34.
6. Yeremin, Ye. N., Losev A. S. Mechanical properties and thermal stability of a maraging steel with borides, deposited with a flux-cored wire. *Welding International*. 2014. Vol. 28. No 6. P. 465–468.
7. Luzan S. A., Sidashenko A. I., Luzan A. S.. SVS-processy' v tekhnologiyax uprochneniya i vosstanovleniya detalej mashin naplavkoj i gazotermicheskimi sposobami napy'leniya pokry'tij (obzor). *Texnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv*. Kharkiv, 2016. № 6. S. 152–162.
8. Shixta dlya otrimannya kompozicijnogo znosostijkogo ma-terialu z vikoristannyam SVS-procesu: pat. № 133419, Ukraïna, MPK (2019.01) C22C 14/00, B22F 1/00; opubl. 10.04.2019; Byul. № 7.

Лужан Аліса Сергіївна, аспірантка кафедри технологічних систем ремонтного виробництва, sergeevna0088@gmail.com, тел. +38 960612363, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна.

Структурно-фазовое состояние и трибологические свойства наплавленного самофлюсующего сплава ПГ-10Н-01, модифицированного борсодержащим материалом

Аннотация. В работе представлены результаты исследования микроструктуры, фазового состава и износостойкости наплавленных покрытий на основе сплава ПГ-10Н-01, модифицированных разработанным композиционным материалом, содержащим диборид титана, бориды никеля, оксид титана и железа.

Ключевые слова: композиционный материал, СВС-процесс, бориды, износостойкость, наплавка, структура, фазовый состав.

Лужан Алиса Сергеевна, аспирантка кафедры технологических систем ремонтного производства, тел. +38 0960612363, sergeevna0088@gmail.com, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, ул. Алчевских, 44, г. Харьков, 61002, Украина.

Structural-phase state and tribological properties of the foamed self-fluxable alloy PG-10N-01 modified by the borated material

Abstract. Problem. The paper presents the results of a study of the microstructure, phase composition and wear resistance of deposited coatings based on the PG-10N-01 alloy modified with the developed composite material containing titanium diboride, nickel boride, titanium oxide and iron. **Goal.** The aim of this work is to develop a composite material (CM) based on the powder material of the Ni-Cr-B-Si system, modified by a composite material (microns) obtained using a SHS process containing titanium borides and other elements for hardening machine parts subjected to abrasive wear. **Methodology.** To achieve this goal, it is necessary to develop a technology for obtaining microns and conduct studies of the structure, phase composition and abrasive wear resistance of deposited coatings from CM based on the Ni-Cr-B-Si system material modified by a composite material with elements containing boron. **Results.** The functional features of multi-functional road panels of pavement are revealed and their scheme on the roadway is presented. The principle of operation of the road as a unified system of multi-functional road surface panels has been researched. The scheme of implementation of road marking and automatic control of road traffic is presented. **Originality.** To increase the abrasive wear resistance of the deposited coatings based on the self-fluxing alloy PG-10N-01, it is proposed to use a modifying composite material containing titanium and chromium borides obtained using the SHS process. **Practical value.** To increase the abrasive resistance of machine parts, a charge composition has been developed to obtain a composite wear-resistant material using the SHS process. This composite material when modifying the surfaced coating with PG-10N-01 alloy increases its abrasive resistance by 1.7 times.

Key words: composite material, SHS process, borides, wear resistance, surfacing, structure, phase composition.

Luzan Alisa, post-graduate student of the department of technological systems of repair production, tel.: +38 0960612363, sergeevna0088@gmail.com, Kharkiv national technical University of agriculture named after Peter Vasilenko, st. Alchevskikh, 44, Kharkov, 61002, Ukraine.