

УДК 621.791.92

Г.В. Похмурська, проф., д-р техн. наук, А.А. Войтович, асист., А.Р. Дзюбик, доц., канд. техн. наук

Національний університет "Львівська політехніка", м.Львів, Україна, E-mail: andrsibox@gmail.com

Технологія виготовлення зносостійких листів

У галузі сільського господарство використовують устаткування, конструктивні елементи якого зношуються під дією абразивів. Це виводить їх з ладу та спричиняє наступну заміну. Відомий спосіб продовження ресурсу устаткування шляхом наплавлення відновлювальних зносостійких шарів на зношені поверхні елементів з використанням порошкових дротів (ПД) системи Fe-Cr-B-C. Робота присвячена дослідженню впливу горизонтальної вібрації на мікроструктуру наплавленого металу із ПД 80X20P3T.

наплавлення, порошкові дроти, горизонтальна вібрація, зносостійкість

Г. В. Похмурская, проф., д-р техн. наук, А. А. Войтович, асист., А. Р. Дзюбик, доц., канд. техн. наук
Национальный университет "Львовская политехника", г.Львов, Украина

Технология изготовления износостойких листов

В области сельского хозяйства используют оборудование, конструктивные элементы которого изнашиваются под действием абразивов. Это выводит их из строя и вызывает последующую замену. Известный способ продления ресурса оборудования путем наплавки восстановительных износостойких слоев на изношенные поверхности элементов с использованием порошковых проволок (ПП) системы Fe-Cr-B-C. Работа посвящена исследованию влияния горизонтальной вибрации на микроструктуру наплавленного металла с ПП 80X20P3T.

наплавка, порошковые проволоки, горизонтальная вибрация, износостойкость

Постановка проблеми. Умови роботи деталей машин сільськогосподарської техніки характеризуються постійним контактом із абразивом за дії помірних ударних навантажень. Прикладом таких деталей є валки бурякозбиральних комбайнів, елементи картоплекопачок та інші. Контакт із ґрунтом призводить до стоншення стінок валків та зношування шнекової спіралі (рис.1). Для відновлення зношених валків використовують метод наплавлення зносостійкими матеріалами. Основним недоліком



Рисунок 1 – Валки бурякозбирального комбайна Pora Euro Maus

при напавленні є нерівномірне нагрівання вальця, що викликає залишкову деформацію. Сучасним підходом до відновлення зношених та зміцнення нових валків є місцеве приварювання окремих елементів із зносостійких листів. Відомо, що зносостійкість наплавленого шару за умов ударно-абразивного зношування залежить не лише від твердості наплавленого шару, а також від кількості пластичної фази у структурі металу. На теперішній час такими властивостями володіють зносостійкі пластини Hardox400–600, вартістю 80 грн/кг. Твердість даного матеріалу становить для Hardox

600 53-57 HRC. В роботі з метою продовження роботоздатності деталей машин сільськогосподарської техніки запропоновано виготовляти зносостійкі пластини із

наплавленим шаром порошковими (ПД) дротами системи Fe-Cr-B-C, зокрема використовуючи ПД 80X20P3T, орієнтовною вартістю 95 грн/кг, яким можна отримати твердість наплавленого металу 66-69 HRC. При цьому зносостійкість металу наплавленого цим ПД є у 3 рази вищою як у пластин Hardox 600. Підвищена зносостійкість металу наплавленого із ПД80X20P3T отримана за рахунок збільшеного вмісту бору (до 4 мас. %) у складі шихти ПД цієї системи. Це сприяє виділенню у мікроструктурі наплавленого металу великих дендритних включень боридів. Недоліком являється голкоподібна морфологія боридів у структурі металу, оскільки гострі кінці служать концентраторами напружень, що призводить до розтріскування наплавленого металу за ударних навантажень. Тому, подрібнення таких включень має сприяти підвищенню зносостійкості наплавленого металу і збільшенню його довговічності за дії ударних навантажень при абразивному зношуванні.

Методики досліджень. Наплавлені шари формували на підкладці з низьковуглецевої сталі Ст3сп під шаром флюсу ОСЦ 45М (склад у мас. %: 44 SiO₂, 44 MnO, < 2,5 MgO, 6-9 CaF₂, < 6,5 CaO, < 2 Fe₂O₃, < 0,15 S, < 0,15 P) з використанням ПД 80X20P3T (склад у мас. %: 0,8 C, 18 Cr, 0,65 Mn, 0,3 Si, 0,2 Ti, 3,2 B, 0,04 S, 0,04 P). Діаметр дроту становив 3,2 мм, коефіцієнт заповнення – 25 %. Наплавляли зразки розміром 300×150×10 мм. Горизонтальну та вертикальну вібрацію здійснювали з частотою 100 Гц за амплітуди переміщення столика 0, 70, 200 та 300 мкм. За горизонтальної вібрації столик переміщували поперек наплавленого валика. Перед наплавленням ПД та флюс висушували за температури 300 °С упродовж 2,5 год. Наплавляли валики з використанням підвісної головки АБС із живленням від генератора ПСО 500. Параметри зварювання: струм 400...420 А, напруга дуги 28...30 В, швидкість подачі ПД 73 м/год, швидкість наплавлення 23 м/год, перекриття доріжок 30%. Фазовий аналіз виконували на рентгенівському дифрактометрі D8 Discover з Co випромінюванням. Хімічний склад шару та його мікроструктуру досліджували на електронному мікроскопі EVO 40 XVP. Зносостійкість наплавлених шарів за абразивного зношування незакріпленим абразивом оцінювали згідно з ГОСТ 23.208-79. Просушений кварцовий пісок з розміром часточок 200...1000 мкм безперервно подавали у зону тертя гумового диску зі зразком. Швидкість обертання диску становила 0,3 м/с, а сила його притискання до зразка 2,4 кг. Для визначення зносу наплавленого шару закріпленим абразивом використовували абразивний круг СМ-2 на керамічній зв'язці. Лінійна швидкість тертя становила 0,8 м/с, навантаження в зоні лінійного контакту 1,5 кг. Оцінювали величину зносу після однакової довжини випробувального шляху 720 м за зміною маси зразків.

Виклад основного матеріалу. Дослідження фазового складу наплавлених шарів з ПД 80X20P3T отриманих без застосування вібрації, виявили такі фази: як ферохром FeCr, бориди типу (FeCr)₂B та (FeCr)B.

Матриця наплавленого шару із ПД 80X20P3T є мартенсит із великою кількістю залишкового аустеніту. Структура наплавленого металу із ПД80X20P3T характеризується боридними включеннями дендритного типу із осями 1-ого, 2-ого порядку. Спектральним аналізом визначено хімічний склад структурних складових (табл. 1) у наплавленому металі. Матриця наплавленого металу містить до 10,2 мас. % хрому. У боридних включеннях міститься до 37,2 мас. % хрому та до 2,7 мас. % бору. Це свідчить, що темні включення можуть бути боридами (FeCr)B та (FeCr)₂B (рис. 2).

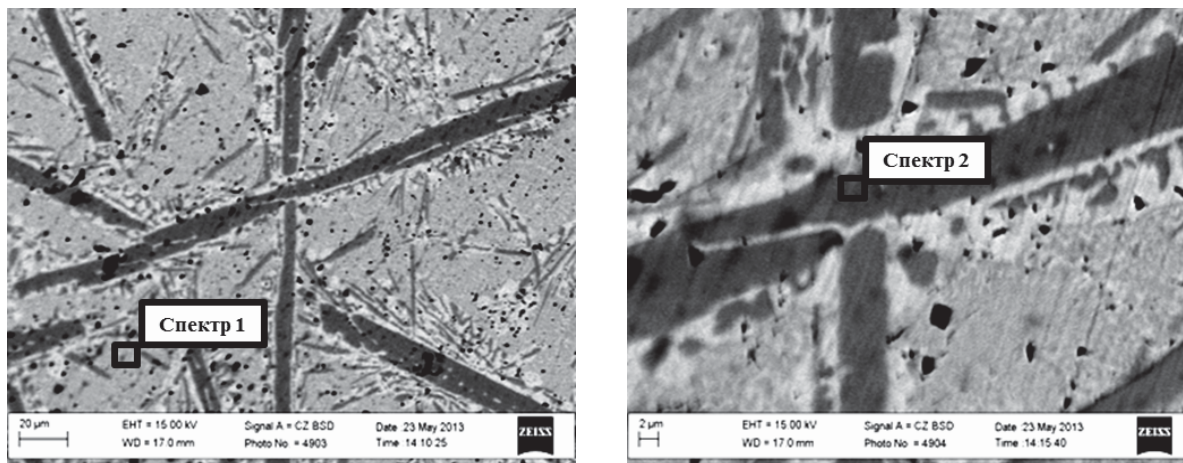


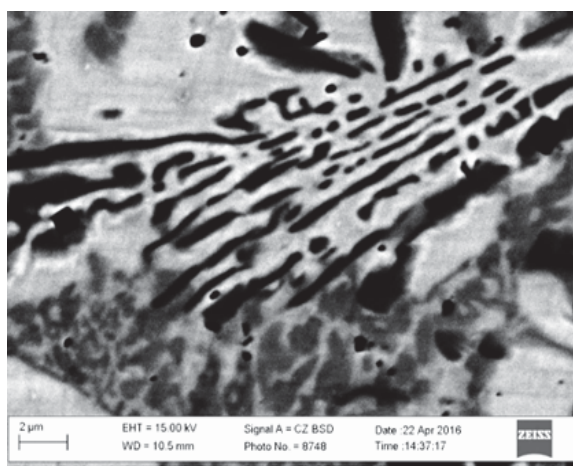
Рисунок 2 – Структура наплавленого металу із ПД 80X20P3T

Таблиця 1 – Хімічний склад структурних складових наплавленого металу із ПД80X20P3T

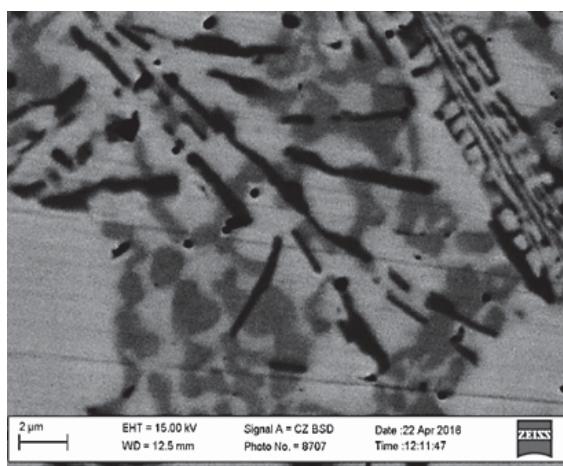
Позначення спектра	Вміст елемента, мас. %				
	Cr	B	Si	Mn	Fe
Спектр 1	10,2	-	1,2	2,8	85,8
Спектр 2	37,2	2,7	0,3	-	93,3

Досліджено, що за впливу горизонтальної вібрації відбувається подрібнення боридних включень $(FeCr)B$, $(FeCr)_2B$ у структурі наплавленого металу з ПД 80X20P3T (рис. 3). Подовгастий характер включень залишається, проте їх довжина у десятки разів зменшується. Середній розмір боридних включень з підвищенням

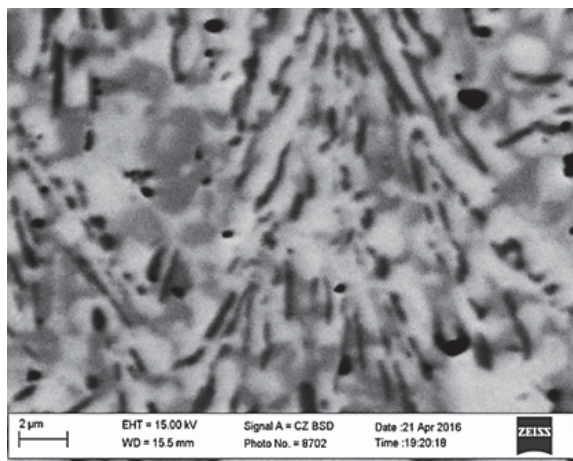
амплітуди механічних коливань, без вібрації складає 70 мкм, за амплітуди 70 мкм 35 мкм, за амплітуди 200 мкм – 25 мкм, за амплітуди 300 мкм – 5 мкм. Дендритний характер, гострокутність кінців боридних включень зменшується. За дії амплітуди 300 мкм відбувається їх максимальне подрібнення та гомогенізація твердого розчину.



а



б



В

Амплітуда вібрації:
а – 70 мкм, б– 200 мкм, в–300мкм

Рисунок 3 – Структура наплавленого металу за дії горизональної вібрації

За дії вібрації у наплавленому металі з ПД 80X20P3T відбувається перерозподіл фаз (рис. 4). У вихідному наплавленому металі, де середній розмір боридів становить 70 мкм, співвідношення фаз – $(\text{FeCr})\text{B}/(\text{FeCr})_2\text{B}$ –3/1. У зв'язку із диспергуванням мікроструктури при амплітуді 300 мкм, де середній розмір боридів зменшується до 5 мкм, відбувається зміна кількості фаз у наплавленому шарі: збільшується кількість пластичної фази бориду $(\text{FeCr})_2\text{B}$, співвідношення фаз становить $(\text{FeCr})\text{B}/(\text{FeCr})_2\text{B}$ –1/5. Поява фази $(\text{FeCr})_2\text{B}$ у більшій кількості в наплавленому шарі, очевидно буде впливати на всі механічні характеристики та на зміну механізму руйнуванню в умовах абразивного зношування.

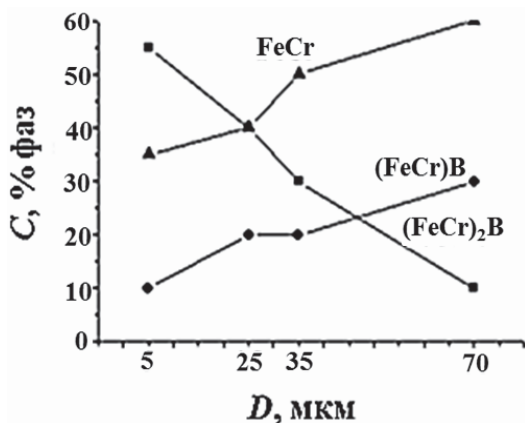


Рисунок 4 – Взаємозв'язок між фазовим складом С структурних складових і середніми значеннями їх розміру D в металі, наплавленому ПД 80X20P3T

Вібраційна обробка наплавленого металу із ПД80X20P3T забезпечує підвищення середньої мікротвердості з 700 HV до 920 HV. Із диспергування боридів до середнього розміру 35 мкм, 25 мкм та 5 мкм мікротвердість при цьому змінюється відповідно до 950 HV, 940 HV та 890 HV.

Визначено міцнісну характеристику наплавленого металу - модуль Юнга. Встановлено, що у вихідному наплавленому металі з ПД 80X20P3T модуль Юнга становить 280 ГПа. Із диспергування боридів до середнього розміру 35 мкм, 25 мкм та 5 мкм - модуль Юнга змінюється відповідно до 310 ГПа, 330 ГПа та 360 ГПа.

Накладання вібрації в процесі наплавлення металу з ПД 80X20P3T приводить до суттєвого зменшення середнього розміру боридних включень і, як наслідок, зростає його зносостійкість (табл. 2). Зокрема, при зменшенні середнього розміру боридних включень від 70 до 5 мкм за умов зношування закріпленим та незакріпленим абразивом зносостійкість наплавленого металу зростає в 1,7 рази, за умов зношування під дією циклічного ударного навантаження зносостійкість підвищилася у 2 рази.

Таблиця 2 – Відносна зносостійкість наплавленого металу з ПД 80X20P3T по відношенню до наплавленого металу без вібрації

Вид зношування	Без вібрації	Горизонтальна вібрація амплітудою, мкм		
		70	200	300
Середній розмір боридів, мкм	70	35	25	5
Зношування закріпленим абразивом	1	0,9	1,2	1,7
Зношування незакріпленим абразивом	1	1,3	1,5	1,7
Зношування за умов ударних навантажень	1	1	1,3	2
Співвідношення фаз (FeCr)B/(FeCr) ₂ B	3/1	3/2	2/4	1/5

Проаналізовано морфологію поверхні у зоні контакту металевої кульки з наплавленим металом при наявності горизонтальної вібрації. Встановлено, що наплавлений метал руйнується пластично за рахунок втрати когезивного зв'язку між матрицею металу та боридними включеннями. Морфологія поверхні в зоні контакту із закріпленим абразивом у вихідному металі містить глибокі і широкі сліди від тертя. Також на поверхні присутні сліди від викришених неметалевих включень круглої форми. Наявність пор у наплавленому металі полегшує його руйнування, сприяючи швидкому поширенню мікротріщин, які виникають при розкришуванні боридів. У зоні контакту наплавленого металу за горизонтальної вібрації при амплітуді 200 та 300 мкм механічних коливань із абразивним кругом спостерігаються рівномірні сліди зношування без глибоких та широких канавок від викришених боридів. Це зумовлено подрібненням боридних включень та їх рівномірним розподіленням у твердому розчині.

Висновки. Із дослідження впливу механічної вібрації зразків під час їх наплавлення ПД базової системи Fe–Cr–B–C на структурно-фазовий склад та механічні властивості наплавлених шарів, сформульовано рекомендації, які спрямовані на підвищення зносостійкості елементів машин, зокрема:

1. Наплавлені шари, отримані за горизонтальної вібрації амплітудою до 300 мкм, виявили їх підвищену у 1,7 разів абразивну зносостійкість за тертя закріпленим та незакріпленим абразивом порівняно із шаром, наплавленим без застосування вібрації;

2. Встановлено, що вібрація під час наплавлення шарів підвищує у 2 рази їх стійкість за циклічного ударного навантаження. Основним чинником впливу на ударне зношування наплавленого металу стає його здатність пластично деформуватися;

3. Розкрито особливості механізму зношування. Показано, що за абразивного зношування, а також за ударних навантажень великі зерна боридів у наплавленому без вібрації шарі розтріскуються та викришуються, що інтенсифікує процес руйнування. Вібрація під час наплавлення значно зменшує розмір боридних зерен, збільшує кількість пластичнішої боридної фази (FeCr)₂B, що є причиною підвищення зносостійкості, на поверхні зношування відсутні глибокі канавки і вириви.

Отже, із метою підвищення зносостійкості елементів сільськогосподарської техніки доцільно застосовувати наплавлення ПД системи Fe–Cr–B–C. Порівняльний аналіз техніко-економічних показників показує, що незначне здорожчення технології отримання таких поверхонь забезпечує збільшення їх довговічності більше як в 4 рази, порівняно із застосованим аналогом.

Список літератури

1. Kirchgäßner, M. Behaviour of iron-based hard facing alloys under abrasion and impact [Text] / Kirchgäßner M., Badisch E, Franek F // *Wear* 2008; 265: 772–9.
2. Походня, И.К. Сварка порошковой проволокой [Текст] / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.Н. Шлепаков // К.: Наукова думка. –1972. – 224 с.
3. Patricio, F. Welding processes for wear resistant overlays [Text] / Patricio F. Mendez, Nairn Barnes, Kurtis Bell, Steven D. Borle, Satya S. Gajapathi, Stuart D. Guest, Hossein Izadi, Ata Kamyabi Gol, Gentry Wood // *Journal of Manufacturing Processes* V. 16, Issue 1 (2014) P. 4-25.
4. Veintha, R. Abrasive impact wear and surface fatigue wear behaviour of Fe–Cr–C PTA overlays [Text] / R. Veinthal, F. Sergejev, A. Zikin та ін // *Wear*. – 2013. – №301. – С. 102–108
5. Войтович, А.А. Особливості формування та руйнування наплавлених шарів з порошкових дротів системи Fe-Cr-B-C за ударних навантажень [Текст] / А.А. Войтович, Г.В. Похмурська, М.М. Студент, О.З. Студент // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. –2015. – № 4. – 114 – 123.
6. Похмурская, Г.В. Влияние высокочастотных механических колебаний изделия на структуру и износостойкость наплавленного металла Х10Р3Г2С [Текст] / Г.В. Похмурская, М.М. Студент, А.А. Войтович, А.З. Студент, А.Р. Дзюбик // *Автомат сварка*. – 2016. – №10. -С. 22–27.
7. Дзюбик, А.Р. Корозійна тривкість зварних з'єднань сталі типу ARMSTAL 500 [Текст] / А. Дзюбик, Н. Червінська, А. Войтович, Л. Дзюбик // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2016.– Спецвип. №11. – С. 115–118.

Hanna Pokhmurska, Prof., DSc., Andriy Voytovych, assist., Andriy Dzyubyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Technology of Manufacturing of Wear-resistant Sheets

In agriculture, there is application of equipment with the structural elements that are worn under the influence of abrasives. This causes them to fail and to be replaced. A well-known method for extending the life of the equipment by surfacing the restorative wear-resistant layers on the worn surfaces of the elements using the Fe-Cr-B-C powder wire (PW) system. The work is devoted to the investigation of the influence of horizontal vibration on the microstructure of the deposited metal from the ПД 80Х20Р3Т.

Therefore, in order to increase the wear resistance of agricultural machinery components, it is advisable to apply surfacing of the Fe-Cr-B-C system. A comparative analysis of technical and economic indicators shows that a slight improvement in the technology of obtaining such surfaces provides an increase in their durability by more than 4 times compared with the applied analogue.

surfacing, powder wires, horizontal vibration, wear resistance

Одержано 31.10.17