

УДК 791.927.535

ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ ПІД ЧАС НАПЛАВЛЕННЯ ЗАХИСНОГО ШАРУ НА ЙОГО МІКРОСТРУКТУРУ ТА УДАРНО-АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ

Г. В. ПОХМУРСЬКА¹, М. М. СТУДЕНТ², О. С. ЛАНЕЦЬ¹, А. А. ВОЙТОВИЧ¹

¹ Національний університет "Львівська політехніка";

² Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Досліджено мікроструктуру порошкового дроту X10P4Г2С, наплавленого під час вертикальної вібрації за різної амплітуди. Мікроструктура наплавлених валиків складається із твердих фаз карбоборидів FeCrB та матриці у вигляді твердого розчину FeCr. Встановлено, що вібрація сприяє подрібненню твердих фаз та гомогенізації твердого розчину. У наплавлених шарах, сформованих за амплітуди коливання 0,3 mm, рівномірно розподілена мікротвердість на рівні 900 HV. Встановлено, що їх ударна зносотривкість підвищується в 2–2,3 рази.

Ключові слова: ударна зносотривкість, вертикальна вібрація, ударні навантаження, мікротвердість.

Порошкові дроти (ПД) на основі заліза системи Fe–Cr–B–C [1] широко застосовують для підвищення зносотривкості різноманітних деталей наплавленням під шаром флюсу. Однак мікроструктура наплавлених шарів має крупнозернисту будову, що зумовлює їх низький опір до ударних навантажень. Показано раніше [2], що вібрація звуковими хвилями під час відливання деталей сприяє подрібненню дендритів, при цьому підвищуються механічні характеристики та зносотривкість металу. Мікроструктура змінюється через збільшення кількості центрів кристалізації і, як наслідок, утворюються дисперсніші тверді фази у наплавлених шарах. Однак експериментальних результатів щодо впливу механічної вібрації на кристалізацію розплавленої ванни під час наплавлення ПД під шаром флюсу не знайдено. Тому мета дослідження – встановити вплив механічної вібрації за різної амплітуди коливання на мікроструктуру, твердість та ударну зносотривкість наплавлених шарів із ПД X10P4Г2С.

Методика досліджень. Захисні шари сформували за схемою (рис. 1) із ПД X10P4Г2С під шаром флюсу ОСЦ 45м з таким хімічним складом (mass.%): 44 SiO₂, 44 MnO, < 2,5 MgO, 6...9 CaF₂, < 6,5 CaO, < 2 Fe₂O₃, < 0,15 S, < 0,15 P. Діаметр ПД X10P4Г2С – 2,6 mm, коефіцієнтом заповнення – 25%. Наплавлення здійснено на зразки із низьковуглецевої сталі Ст3сп розміром 300×150×10 mm. Вертикальну вібрацію стола виконували з частотою коливання 100 Hz, амплітудою 0, 0,07 та 0,3 mm.

Перед наплавленням дріт та флюс просушували за температури 250°C упродовж 2,5 h. Наплавляли за допомогою підвісної головки АБС із джерелом живлення (генератор ПСО 500), з перекриттям валиків 30%, за таким режимом: зварювальний струм 450...480 А, напруга дуги 30...32 V, швидкість подачі 96 m/h, швидкість зварювання 62 m/h.

Мікроструктуру досліджували на поперечному та поздовжньому мікрошліфах із використанням електронного мікроскопа EVO 40 XVP. Вимірювали твердість на мікротвердомірі ПМТ-3. Ударне зношування (рис. 2) оцінили за сили

удару 12 КД кулькою Ø 25 mm зі сталі ШХ 15, яка падала на досліджувану поверхню з частотою 40 s⁻¹. Тривалість експерименту 3600 s. Втрату маси зразків визначали з точністю до 2·10⁻⁴ g на електронній вазі.

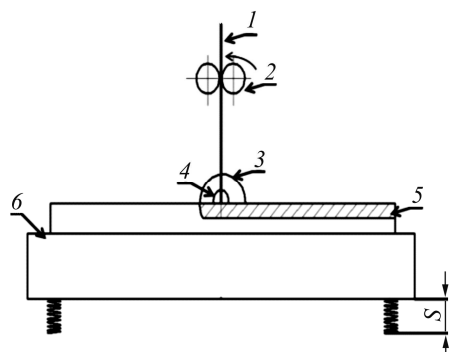


Рис. 1. Fig. 1.

Рис. 1. Принципова схема наплавлення: 1 – електрод з ПД; 2 – механізм подачі; 3 – флюс; 4 – дуга; 5 – зразок; 6 – вібраційний стіл; S – амплітуда коливання.

Fig. 1. Scheme of surfacing: 1 – cored wire electrode; 2 – feeder; 3 – flux; 4 – arc welding; 5 – specimen; 6 – vibrating table; S – fluctuation amplitude .

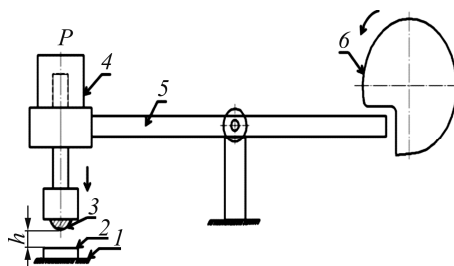


Рис. 2. Fig. 2.

Рис. 2. Принципова схема установки для дослідження ударного зношування зразків: 1 – основа; 2 – зразок; 3 – індентор; 4 – наважка; 5 – коромисло; 6 – ексцентрик; h – віддаль від зразка 10 mm.

Fig. 2. Schematic diagram of the setup for the study of impact wear of specimens: 1 – basis; 2 – specimen; 3 – indenter; 4 – additional weight; 5 – arm; 6 – eccentric; h – specimen distance of 10 mm.

Експериментальні результати та обговорення. Хімічний аналіз різних зон наплавлених шарів із ПД Х10Р4Г2С (табл. 1) показав значну кількість оксидних включень 10...20 μm у поперечнику, які рівномірно розподілені у структурі шару. Наплавлені шари характеризуються дендритною мікроструктурою (рис. 3). Очевидно це кристали боридів або карбоборидів заліза, легованих хромом. Середній вміст хрому в наплавленому шарі – 9 mass.%, у міждендритному просторі – 6 mass.%. Кристали дендритів містять Cr, що відповідає карбоборидам FeCr₂ВС. Включення карбоборидів є видовженої форми розміром від 10...15 μm, шириною до 3 μm [3–5]. За вібрації під час наплавлення шару у його структурі спостерігали значне подрібнення дендритів (рис. 3), вони округлилися, а розмір у поперечнику

Таблиця 1. Хімічний аналіз зон наплавлених шарів з ПД Х10Р4Г2С, mass.%

Елемент	Cr	Si	B	Mn	O	Fe
Середній вміст (спектр 1)	9	0,7	12	1,5	5,2	67,8
Спектр 2	16,1	–	10	3	2	64,1
Спектр 3	13,4	0,5	–	3,8	4	76,3

зменшився до 1...3 μm. Кількість оксидних включень зменшується в три рази. Очевидно під час наплавлення шару механічна вібрація сприяє швидшому виходу на поверхню газових бульбашок, які під час кристалізації розплаву утворюють оксидні включення. У зоні перекриття валиків розмір дендритів є значно більший, ніж на гребенях наплавленого шару (рис. 3), що зумовлено більшим часом кристалізації розплаву у цій зоні. Проте і тут механічна вібрація суттєво зменшує розмір дендритів та кількість оксидної фази. Як по-

зменшився до 1...3 μm. Кількість оксидних включень зменшується в три рази. Очевидно під час наплавлення шару механічна вібрація сприяє швидшому виходу на поверхню газових бульбашок, які під час кристалізації розплаву утворюють оксидні включення. У зоні перекриття валиків розмір дендритів є значно більший, ніж на гребенях наплавленого шару (рис. 3), що зумовлено більшим часом кристалізації розплаву у цій зоні. Проте і тут механічна вібрація суттєво зменшує розмір дендритів та кількість оксидної фази. Як по-

казу структурний аналіз, значні зміни у структурі наплавленого шару викликає механічна вібрація вже за амплітуди коливання 0,07 mm.

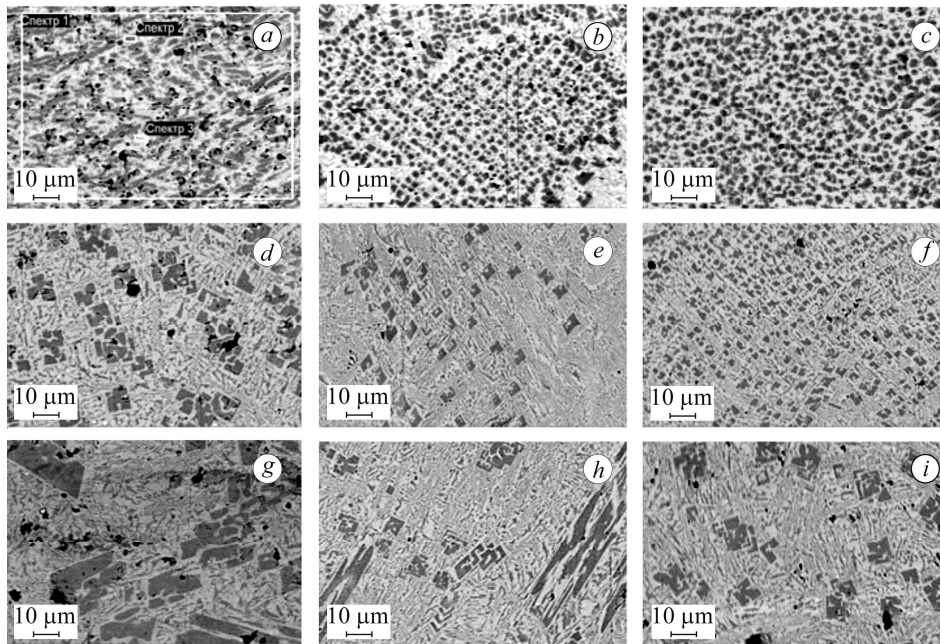


Рис. 3. Мікроструктура наплавлених шарів із ПД Х10Р4Г2С: *a-c* – із поперечного мікрошліфа; *d-i* – із поздовжнього; *a-f* – гребінь наплавленого шару; *g-i* – зона перекриття; *a, d, g* – шари, наплавлені без вібрації; *b, e, h* – за вібрації з амплітудою 0,07 mm; *c, f, i* – з амплітудою 0,3 mm.

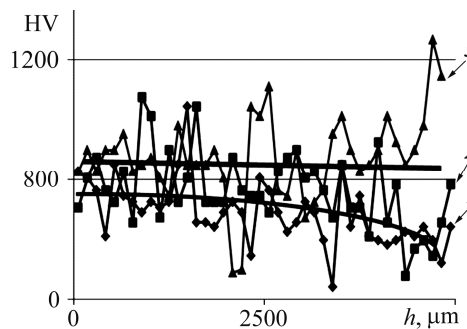
Fig. 3. Microstructure of the Cr10B4Mn2Si clad layers: *a-c* – of cross microsection; *d-i* – of longitudinal microsections; *a-f* – comb of the deposited layer; *g-i* – overlapping zone; *a, d, g* – the deposited layers without vibration; *b, e, h* – with vibration at amplitude of 0.07 mm; *c, f, i* – at amplitude of 0.3 mm.

Подальше підвищення амплітуди коливань незначно зменшує розміри структурних складників наплавленого шару та практично не впливає на кількість оксидних включень. Очевидно, що амплітуда коливань 0,07 mm є достатньою для суттєвого подрібнення структурних складників.

Середня мікротвердість наплавленого шару без накладання вібрацій на гребенях наплавленого шару 780 HV та зменшується до 500...600 HV у зоні перекриття (рис. 4, крива 1). За вібрації розподіл мікротвердості суттєво вирівнюється на поверхні наплавленого шару та становить 800...900 HV (рис. 4, крива 3), у зоні перекриття мікротвердість є на рівні мікротвердості гребенів наплавленого шару.

Рис. 4. Розподіл мікротвердості HV по мікрошліфі від центру гребеня до центру зони перекриття наплавленого шару: 1 – без вібрації; 2 – за амплітуди 0,07 mm; 3 – за амплітуди 0,3 mm.

Fig. 4. Distribution of microhardness HV over micro fracture from the comb center to the center of the overlapping zone of welded layer: 1 – without vibration; 2 – at amplitude of 0.07 mm; 3 – at amplitude of 0.3 mm.



Ударна зносотривкість наплавленого шару як на гребенях, так і у зоні перекриття гребенів зростає в 2–2,3 рази (табл. 2), що зумовлено подрібненням кристалів карбоборидів, які зміцнюють матрицю металу.

Таблиця 2. Ударна зносотривкість наплавлених шарів із ПД Х10Р4Г2С

Амплітуда коливання, mm	Втрата маси, g	
	Гребінь наплавленого шару	Зона перекриття
0	0,009	0,004
0,07	0,005	0,003
0,3	0,004	0,002

Це також підтверджує морфологія поверхні після ударного зношування (рис. 5). Поверхня наплавлених шарів без вібрації (рис. 5*a, d*) є сильно пошкоджена на гребені наплавленого шару. Яскраво видно, що присутня сітка мікротріщин із глибокими руйнуваннями. У зоні перекриття наплавлених шарів спостерігаємо структурованість дефектів, що виникли через неоднорідність ПД. У наплавлених шарах під впливом вібрації за амплітуди 0,07 mm спостерігаємо меншу дефектність як на гребені, так і в зоні перекриття наплавлених шарів (рис. 5*b, e*). Зі збільшенням амплітуди коливання до 0,3 mm отримали найменш зруйновану поверхню (рис. 5*c, f*). На гребені наплавленого шару розвинутих дефектів не виявили, а у зоні перекриття помітні лише дрібні розсіяні пошкодження. Це пояснюється підвищеною гомогенністю наплавлених шарів, низькою пористістю, що досягнута завдяки вібрації та через округлу форму твердих фаз.

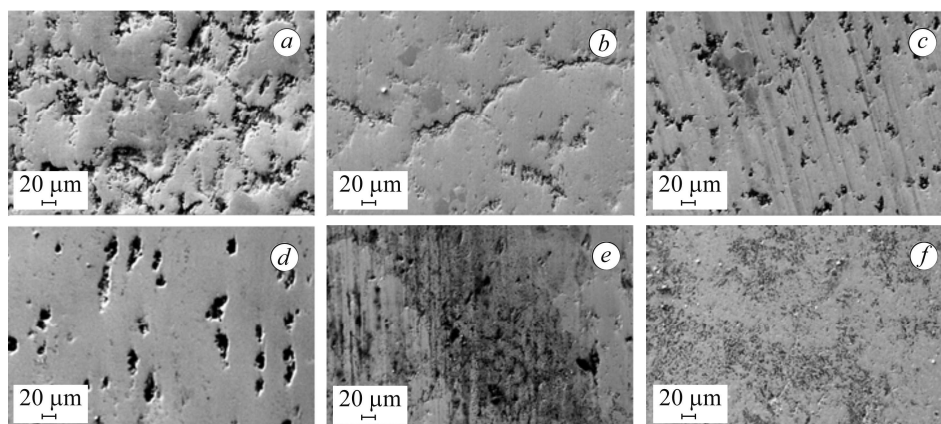


Рис. 5. Морфологія поверхні після ударного зношування: *a, d* – без вібрації; *b, e* – за вібрації з амплітудою 0,07 mm; *c, f* – за вібрації з амплітуди 0,3 mm; *a-c* – гребінь наплавленого шару; *d-f* – зона перекриття шарів.

Fig. 5. Surface morphology after impact wear: *a, d* – without vibration; *b, e* – vibration amplitude 0.07 mm; *c, f* – vibration amplitude of 0.3 mm; *a-c* – comb of the deposited layer; *d-f* – zone of overlapping layers.

ВИСНОВКИ

Досліджено мікроструктуру шарів із ПД Х10Р4Г2С, які наплавлені за дії вертикальної вібрації зразка з частотою 100 Hz та амплітудою 0,07 та 0,3 mm під шаром флюсу ОСЦ 45м. Вони складаються з кристалів карбоборидів заліза FeCr_2B_3 , легованих хромом, що включені у матрицю твердого розчину FeCr . Мікроструктура наплавлених шарів без вібрації містить тверді фази розміром від

5...15 μm . Під впливом вібрації відбувається подрібнення твердих частинок та рівномірне розподілення в твердому розчині. Ударна зносотривкість наплавленого шару під дією механічної вібрації як на гребенях, так і у зоні перекриття шарів зростає в 2–2,3 рази.

РЕЗЮМЕ. Исследовано микроструктуру порошковой проволоки X10P4Г2С, наплавленной при вертикальной вибрации с разной амплитудой. Микроструктура наплавленных валиков состоит из твердых фаз карбоборидов FeCrB и матрицы FeCr. Установлено, что вибрация способствует дроблению твердых фаз и гомогенизации твердого раствора. В наплавленных слоях, сформированных при амплитуде колебания 0,3 мм, равномерно распределена микротвердость на уровне 900 HV. Установлено, что их ударная износостойкость повышается в 2–2,3 раза.

SUMMARY. The microstructure of the core wire Cr10B4Mn2Si surfaced at vertical vibration with different amplitude is investigated. The surfacing is done by automatic method under submerged arc. The microstructure of the surfaced layer consists of solid phases of caride borides FeCrB, and FeCr matrix. It is found that vertical vibration promotes crushing of solid phases and homogenisation of the solid solution. In the surfaced layers formed at the fluctuation amplitude of 0.3 mm microhardness is evenly distributed on the level of 900 HV. It is established that the impact wear-resistance increases in 2–2.3 times.

1. *The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys / M. F. Buchely, J. C. Gutierrez, L. M. Leon, A. Toro // Wear. – 2005. – № 259. – P. 52–61.*
2. *Крижанівський Є. І., Пітулей Л. Д., Феденчук Д. І. Вплив вібрації на кристалічну структуру долатної сталі // Наук. вісник Нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2005. – № 3 (12). – P. 26–30.*
3. *Badisch E. and Mitterer C. Abrasive wear of high speed steels: influence of abrasive particles and primary carbides on wear resistance // Tribol. Int. – 2003. – № 36. – P. 765–770.*
4. *Siva K., Murugan N., and Logesh R. Optimization of weld bead geometry in plasma transferred arc hardfaced austenitic stainless steel plates using genetic algorithm // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2009. – № 41. – P. 24–30.*
5. *Francucci G., Sikora J., and Dommarco R. Abrasion resistance of ductile iron austempered by the two step process // Mater. Sci. Eng. A. – 2008. – № 485. – P. 46–54.*

Одержано 11.02.2015