

СТРУКТУРА АБРАЗИВНОТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ ТА ЗАЛІЗА

С.В. Максимова

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: maksymova.svitlana15@ukr.net

З метою підвищення експлуатаційних характеристик різних виробів використовують зносостійкі матеріали, які містять карбіди вольфраму. В даній роботі наведені узагальнені результати досліджень з отримання зносостійких наплавлених шарів абразивнотривких матеріалів на надтвердий матеріал ВК10 і сталь 30Х. Викладені результати металографічних досліджень, локального мікрорентгеноспектрального аналізу з визначення хімічної неоднорідності, мікроструктури абразивнотривких матеріалів на основі: нікелю TeroCote[®] 7888 Т (фірми Castolin); заліза Diamax М (фірми Castolin); заліза стрічковий реліт марки АН ЛЗ-11-7 (Україна) в вихідному стані та після наплавлення на основний матеріал. Встановлено хімічний склад окремих фаз, показано, що основна абразивнотривка фаза даних матеріалів – карбід вольфраму характеризується різною морфологією і різними розмірами. Зносостійкий матеріал марки TeroCote[®] 7888 Т (Ni–Cr–Fe–Si) в вигляді гнучкого дроту складається (до наплавлення) з нікелевого сердечника, який вкритий композитним матеріалом, що містить велику кількість карбідів вольфраму поліедричної форми. Досліджено міжфазну границю основний метал – абразивнотривкий наплавлений матеріал, що формується в процесі нанесення на основний метал і показано, що після наплавлення карбіди вольфраму хаотично розподіляються в нікелевій матриці, утворюють гетерогенний сплав. Бібліогр. 14, табл. 4, рис. 5.

Ключові слова: мікроструктура, карбід вольфраму, наплавлений абразивнотривкий матеріал, надтвердий матеріал ВК10, сталь 30Х

Вступ. Зносостійкі покриття, в тому числі, наплавлені абразивнотривкі матеріали застосовують в різних галузях промисловості для підвищення експлуатаційних характеристик та подовження терміну функціонування конструкцій різного призначення. В якості елементів, що підвищують зносостійкість і забезпечують конструкціям стійкість до корозії, слугують композитні матеріали, що містять хімічні сполуки типу карбідів вольфраму, боридів, нітридів і силіцидів тугоплавких металів, а також оксид алюмінію та синтетичні надтверді матеріали на основі алмазу і ельбору та ін. [1–4]. Такі матеріали наносять на робочу поверхню виробів різними методами: дифузійним насиченням, газотермічним напиленням, мікроплазмовим порошковим наплавленням, електродуговим наплавленням порошковим дротом під флюсом та іншими [5–8].

Особливо важливе значення мають абразивнотривкі матеріали, що застосовуються для підвищення міцності бурового інструменту [9, 10], який експлуатується в жорстких умовах абразивного навантаження та корозивного середовища. Вивчення взаємодії наплавленого шару зносостійкого матеріалу з підкладкою основного металу і формування міжфазної границі основний матеріал – покриття є актуальним завданням.

Мета даної роботи полягає в проведенні структурних і мікрорентгеноспектральних досліджень абразивнотривких матеріалів у вихідному стані та після наплавлення на надтвердий матеріал ВК10 і сталь 30Х.

Максимова С.В. <https://orcid.org/0000-0003-0158-5760>
© С.В. Максимова, 2023

Матеріали та методи досліджень. Для проведення експериментів щодо нанесення зносостійких матеріалів на поверхню пластинчатих зразків зі сталі 30Х (Fe–(0,8...1,1)Cr–(0,5...0,8)Mn–0,3Ni–0,3Cu–(0,17...0,37)Si–(0,24...0,32)C і надтвердого матеріалу ВК10 (WC–10Co) використовували абразивнотривкі матеріали: самофлюсуючий пруток на основі нікелю TeroCote[®] 7888 Т (фірми Castolin, в вигляді гнучкого шнуру діаметром 5 мм, який вкритий композитним матеріалом); на основі заліза Diamax М (фірми Castolin в вигляді сталевий трубки діаметром 4 мм, яка наповнена самофлюсуючими компонентами); на основі заліза стрічковий реліт АН ЛЗ-11-7 (Україна) у формі сталевий прямокутної трубки (7×3,5 мм), що містить глобулярні часточки карбідів вольфраму [11, 12]. Наплавлення виконували неплавким електродом в середовищі аргону за режимом: $U = 10...12$ V; $I = 55...100$ А.

Зразки для вивчення мікроструктури різали перпендикулярно наплавленого шару і за стандартною методикою готували мікрошліфи, які досліджували з застосуванням електронного растрового мікроскопу CamScan-4 (Англія), що оснащений енергодисперсійним аналізатором ENERGY 200 з програмним забезпеченням INCA. Шліфи досліджували без хімічного травлення, роздільна здатність мікроскопу становить 1 мкм.

Результати експериментів та їх обговорення. Перед отриманням наплавленого зносостійкого шару на основному матеріалі досліджували структуру і хімічну неоднорідність абразивнотривких матеріалів у вихідному стані: на основі заліза

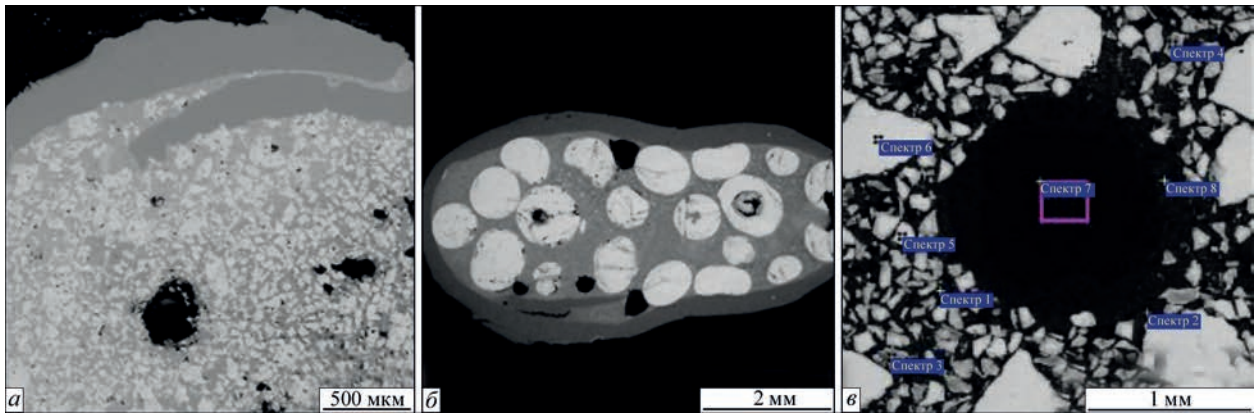


Рис. 1. Мікроструктура абразивнотривких матеріалів у вихідному стані: Diamax M (а); стрічковий реліт АН ЛЗ-11-7 (б); TeroCote[®] 7888 T (в)

Diamax M (фірми Castolin в вигляді сталевий трубки діаметром 4 мм, яка наповнена самофлюсуючими компонентами); на основі заліза стрічковий реліт марки АН ЛЗ-11-7 (Україна) у формі сталевий прямокутної трубки (7×3,5 мм); самофлюсуючий гнучкий шнур діаметром 5 мм на базі сплаву Ni-Cr TeroCote[®] 7888 T (фірми Castolin) (відповідно рис. 1, а–в).

Отримані результати мікрорентгеноспектральних досліджень показали, що прутки Diamax M (рис. 1, а) і стрічковий реліт АН ЛЗ-11-7 в вихідному стані (рис. 1, б) складаються з оболонки (трубки – на основі Fe), в якій знаходяться час-

тинки карбідів вольфраму різних розмірів, легуючі елементи, розкислюючі та флюсоутворюючі домішки. Морфологія карбідів вольфраму в реліті характеризується глобулярною формою і значно більшими розмірами в порівнянні з карбідними часточками, що знаходяться в зносостійкому матеріалі Diamax M і TeroCote[®] 7888 T.

Структура абразивнотривкого матеріалу TeroCote[®] 7888 T до наплавлення складається з нікелевого сердечника, який покритий композиційним матеріалом (рис. 1, в, табл. 1), що вміщує велику кількість колотих карбідів вольфраму неправильної форми, розмір яких знаходиться в межах від 0,7 мм до декількох мікрон (їх кількість в об’ємі становить < 65 %) і розподілені вони в матриці сплаву на базі системи Ni–Cr–Fe–Si.

Вивчення структури зразків з надтвердого матеріалу ВК10 з наплавленими абразивнотривкими покриттями на основі заліза Diamax M і стрічкового реліту марки АН ЛЗ-11-7 показали, що на окремих ділянках напавленого шару (переважно в гальтєвній зоні) утворюються тріщини (рис. 2, а, б).

Це можна пояснити значною різницею коефіцієнтів термічного розширення основного металу, матриці напавленого сплаву (на основі нікелю) та карбідної фази (для WC становить $3 \cdot 10^{-6}$ град

Таблиця 1. Склад досліджуваних фаз абразивного матеріалу TeroCote[®] 7888 T

Номер спектру	Хімічні елементи, мас. %					
	C*	Si	Cr	Fe	Ni	W
1	8,46	1,60	7,00	2,84	70,19	9,91
2	8,27	1,56	6,88	2,77	68,80	11,71
3	10,75	0,00	1,76	0,51	27,89	59,09
4	10,47	0,00	1,51	0,43	32,47	55,11
5	11,24	0,00	0,00	0,00	0,00	88,76
6	11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	88,88
7	8,78	0,18	0,00	0,00	91,04	0,00
8	8,94	1,60	6,61	2,81	71,35	8,69

Примітка: C* – визначено якісно.

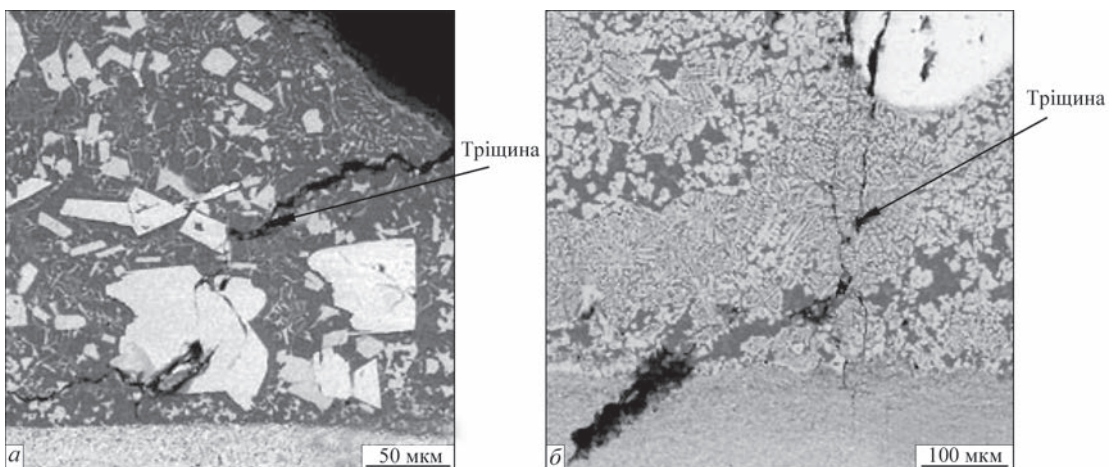


Рис. 2. Мікроструктура напавленого абразивнотривкого матеріалу Diamax M (а) і стрічкового реліту марки АН ЛЗ-11-7 (б) на підкладці надтвердого матеріалу ВК10

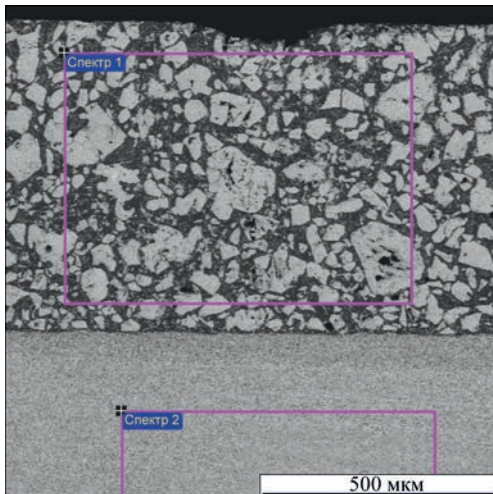


Рис. 3. Наплавлений шар Diamax M на надтвердому матеріалі BK10

Таблиця 2. Склад наплавленого шару Diamax M

Номер спектру	Хімічні елементи, мас. %				
	C*	Mn	Fe	Co	W
1	13,19	0,89	27,60	–	58,32
2	11,70	–	–	12,17	76,13

Примітка. C* – визначено якісно.

[13], що призводить до виникнення напружень і, відповідно, до формування тріщин в процесі охолодження.

В центральній зоні наплавленого шару зносостійкого матеріалу Diamax M (на надтвердому матеріалі BK 10) спостерігається формування доволі однорідної структури з великою кількістю карбідів вольфраму в залізній матриці (рис. 3, табл. 2).

При дослідженні структури металу, наплавленого стрічковим релітом АН ЛЗ-11-7 на підкладку з надтвердого матеріалу BK10, встановлено присутність значної доли карбідів вольфраму, які характеризуються глобулярною формою і великим розміром (до 1 мм). Виділяються вони на тлі залізної матриці (рис. 4, а), в деяких ділянках спостерігаються пори (рис. 4, б).

Структура зносостійкого шару TeroCote[®] 7888 T, наплавленого на надтвердий матеріал BK10 ха-

рактеризується формуванням чистої міжфазної границі (рис. 5, а), дефекти у вигляді пор і тріщин відсутні. Дифузійні шари вздовж міжфазної границі наплавлений матеріал – сплав BK10 не спостерігаються. Карбідна фаза у вигляді білих частинок неправильної геометричної форми різних розмірів розподіляється в нікель-хромовій матриці, яка містить кобальт 2,69...4,53 % та близько 2 % заліза (рис. 5, а, табл. 3). За розмірами вона значно відрізняється від описаних вище. На тлі нікель-хромової матриці спостерігаються включення голкоподібної фази, вона також виділяється в вигляді дисперсних часточок по периметру карбідів вольфраму. Дана фаза збагачена нікелем (10,96 %) і містить 2,93 % хрому.

Такий хімічний склад обумовлений наявністю градієнту концентрацій хімічних елементів на міжфазній границі і свідчить про протікання дифузійних процесів [14] під час наплавлення та про насичення нікелевої матриці кобальтом та іншими складовими компонентами підкладки і наплавленого металу.

При наплавленні абразивотривкого матеріалу TeroCote[®] 7888 T на сталь 30X дефекти теж відсутні (рис. 5, б). Локальним мікрорентгеноспектральним аналізом визначено, що мікроструктура наплавленого металу складається з нікелевої матриці, яка збагачена залізом і містить також хром (2,62...3,7 %) та незначну кількість інших елементів (табл. 4).

Часточки карбиду вольфраму розподіляються хаотично у пластичній нікелевій матриці, яка містить 15,43...25,27 % заліза. Слід зауважити, що концентрація заліза плавно підвищується при наближенні до основного металу. В даній зоні зосереджені доволі крупні карбідні часточки (розміром до 500 мкм) та голковидні дисперсні, довжина яких знаходиться в межах 3...15 мкм, а ширина від 1 до 3 мкм [15].

Слід зазначити, що при дослідженні зносостійкості наплавлених шарів абразивотривких мате-

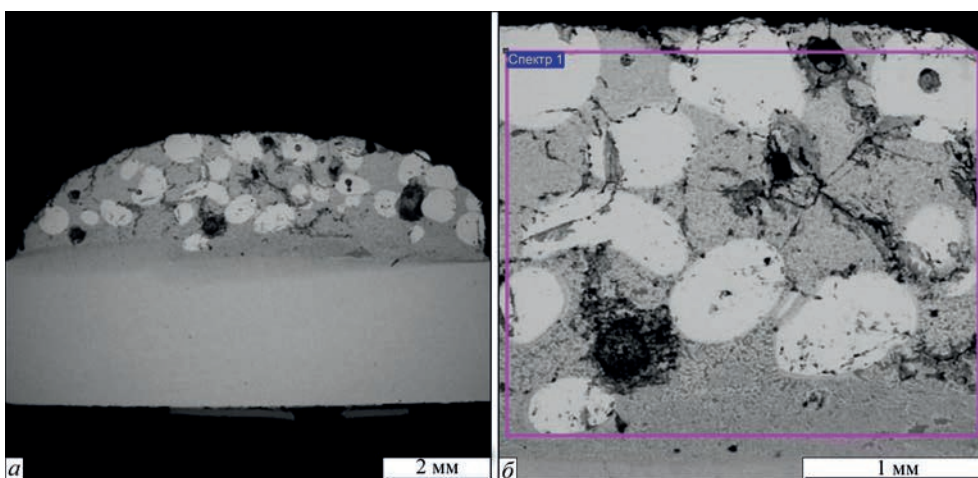


Рис. 4. Загальний вигляд наплавленого металу (а) і ділянка з порами (б) при застосуванні стрічкового реліту АН ЛЗ-11-7

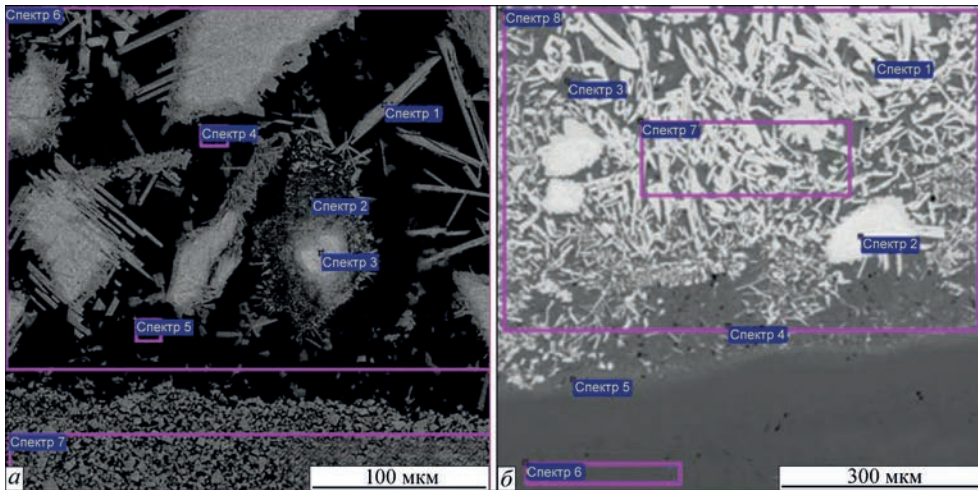


Рис. 5. Мікроструктура шару TeroCote 7888[®] Т, наплавленого на сплав ВК10 (а) і сталь 30Х (б)

Таблиця 3. Результати мікрорентгеноспектрального аналізу наплавленого матеріалу TeroCote 7888[®] Т на сплав ВК10

Номер спектру	Хімічний склад, мас. %						
	C*	Si	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	10,25	–	2,93	–	–	10,96	75,87
2	9,69	–	4,36	1,17	2,02	42,43	40,32
3	10,15	–	–	–	–	–	89,85
4	7,73	1,50	5,07	1,81	2,69	71,34	9,86
5	7,86	1,14	4,25	1,97	4,53	69,65	10,60
6	9,31	–	3,62	1,15	2,04	33,49	50,38
7	9,71	–	1,61	–	2,00	15,12	71,56

Примітка. C* – визначено якісно.

Таблиця 4. Результати мікрорентгеноспектрального аналізу зразка зі сталі 30Х з наплавленим шаром TeroCote[®] 7888 Т

Номер спектру	Хімічний склад, мас. %						
	C*	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1	10,48	0,00	2,69	0,00	3,15	9,33	74,35
2	10,27	0,00	0,00	0,00	0,22	0,23	89,28
3	9,00	1,67	3,70	0,13	15,43	66,46	3,60
4	8,99	1,05	3,02	0,18	23,39	56,96	6,41
5	8,48	0,99	2,62	0,10	25,27	55,38	7,16
6	7,03	0,38	0,92	0,60	90,67	0,15	0,25
7	9,00	0,00	3,13	0,16	5,94	25,73	56,04
8	8,33	0,00	3,15	0,18	8,24	31,24	48,87

Примітка. C* – визначено якісно.

ріалів встановлено перспективність зносостійкого матеріалу TeroCote 7888[®] Т [16]. Результати проведених металографічних, мікрорентгеноспектральних досліджень наплавленого шару абразивотривкого матеріалу TeroCote 7888[®] Т лягли в основу технології ремонту бурових доліт [16], які оснащені алмазно-твердосплавними різцями (АТР).

Висновки

Локальним мікрорентгеноспектральним аналізом і металографічними дослідженнями вивчено структуру абразивотривких матеріалів у вихідному стані та після наплавлення на надтвердий сплав ВК10 і сталь 30Х. Показано, що в досліджених абразивотривких матеріалах карбідна фаза значно відрізняється за морфологією

і розміром. На основі отриманих результатів досліджень встановлено, що більш перспективним є композиційний зносостійкий матеріал TeroCote 7888[®] Т, який забезпечує формування якісного бездефектного наплавленого шару та чистої міжфазної границі абразивотривкий матеріал – основний метал. Часточки карбиду вольфраму обмеженої морфології, що характеризуються різними розмірами, рівномірно розподілені в пластичній матриці нікелевого сплаву. Отримані результати досліджень лягли в основу розробки технології ремонту бурових доліт.

Список літератури

1. Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Саржанов Б. А., Гапонова О. П. (2020) Оценка гидроабразивной износостойкости конструкционных материалов с функциональными покрытиями, сформированными ресурсосберегающими и экологическими технологиями. *Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки», Одеса, Одеська державна академія будівництва та архітектури*, Україна, 336–340.
2. Bartkowski D., Matysiak W. and Wojtko K. (2018) Stellite-6 surface layers reinforced with hard and refractory WC particles produced on steel for metal forming. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 393 012093. DOI:10.1088/1757-899X/393/1/012093
3. Xie Z., Zhang Ch., Wang R., Li D., Zhang Y., Li G., Lu X. (2021) Microstructure and wear resistance of WC/Co-based coating on copper by plasma cladding. *Journal of materials research and technology*, 15, 821–833. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.114>
4. Linmin Wu, Xingye Guo and Jing Zhang. (2014). Abrasive Resistant Coatings-A Review. *Lubricants*, 2, 66–89. DOI:10.3390/lubricants2020066
5. Борисова А.Л., Капорик Н.И., Цымбалистая Т.В., Васильковская М.А. (2019) Диффузионные жаростойкие покрытия для нержавеющей и углеродистой сталей. *Автомат. сварка*, 10, 28–35.
6. Ющенко К. А., Яровицин А.В., Червяков Н.О. (2017) Влияние энергетических показателей режимов на склонность к образованию трещин при микроплазменной порошковой наплавке никелевого сплава ЖС32. *Автомат. сварка*, 2, 3–7. <https://doi.org/10.15407/as2017.02.01>
7. Рябцев І.О., Бабінець А.А., Ленігоров І.П. (2023) Зварювально-технологічні властивості порошкового дроту, шхфта якого містить лігатуру з бором. *Автомат. зварювання*, 9, 17–20. <https://doi.org/10.37434/as2023.09.03>

8. Ryabtsev I.A., Senchenkov I.K., and Turyk E.V. (2015) *Materials, Technologies, Mathematical Modeling*, Silesian Publishing House of Polytechnic Institute, Gliwice.
9. Khorunov V.F., Maksymova S.V., Stefaniv B.V. (2010) Manufacture of drill bits for production of dispersed methane in mine working. *The Paton Welding J.*, **6**, 41–43.
10. Фрумин Е. И., Пашченко М. А. Жудра А. П. (1977) Ленточный релит для наплавки буровых долот. *Сварочное производство*, **2**, 16–18.
11. Материалы компании Postalloy (США) для наплавки защитных покрытий. [Электронный ресурс] <http://www.postle.com>. Дата доступа 8.08.2023
12. *Materials for brazing and surfacing TeroCote[®]*. [Electronic resource] <http://www.castolin.com.ua>. Дата доступа 8.08.2023
13. Кудинова Е. В. (2016) Синтез ультрадисперсных модифицированных слоев на твердых сплавах плазменной обработкой. *Дисс. канд. техн. наук.: 05.03.07 – процессы физико-технической обработки*. Мариуполь.
14. Maksymova S. V. (2023) Influence of Diffusion Processes on the Structure of Brazed Joints of Titanium Aluminides. Chapter 2 in the book *Current Topics and Emerging. I.M.S. BP Internat*, **2**: 14–29. DOI: 10.9734/bpi/cteims/v2/5554A
15. Максимова С.В., Стефанив Б.В. (2017) Микроструктура и химическая неоднородность защитных покрытий. *Сб. трудов международной научной конференции «Материалы для работы в экстремальных условиях»*, Киев, КПИ, Украина, 163–165.
16. Stefaniv B.V. (2016) Investigation of wear resistance of protective coatings under conditions of hydroabrasive wear. *The Paton Welding J.*, **9**, 26–29. DOI: 10.15407/tpwj2016.09.05
3. Xie Z., Zhang Ch., Wang R., Li D., Zhang Y., Li G., Lu X. (2021) Microstructure and wear resistance of WC/Co-based coating on copper by plasma cladding. *Journal of materials research and technology*. **15**, 821–833. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.114>
4. Linmin Wu, Xingye Guo and Jing Zhang. (2014). Abrasive Resistant Coatings-A Review. *Lubricants*, **2**, 66–89; doi:10.3390/lubricants2020066
5. Borisova A.L., Kaporik N.I., Tsymbalistaya T.V., Vasilkovskaya M.A. (2019) Diffusion heat-resistant coatings for stainless and carbon steels. *Automatic Welding*, **10**, 28–35.
6. Yushchenko K. A., Yarovitsin A.V., Chervyakov N.O. (2017) Influence of energy parameters of modes on the tendency to crack formation during microplastic powder surfacing of ZhS32 nickel alloy. *Automatic Welding*, **2**, 3–7. <https://doi.org/10.15407/as2017.02.01>
7. Ryabtsev I.O., Babinets A.A., Lentuyugov I.P. Welding technological properties of flux-cored wire with boron-containing binder in the charge. <https://doi.org/10.37434/as2023.09.03>
8. Ryabtsev I.A., Senchenkov I.K., and Turyk E.V. (2015) *Materials, Technologies, Mathematical Modeling*, Silesian Publishing House of Polytechnic Institute, Gliwice.
9. Khorunov V.F., Maksymova S.V., Stefaniv B.V. (2010) Manufacture of drill bits for production of dispersed methane in mine working. *The Paton Welding J.*, **6**, 41–43.
10. Frumin, E. I., Pashchenko, M. A. Zhudra, A. P. (1977) Tape relite for surfacing drill bits. *Welding production*, **2**, 16–18.
11. Materials of the Postalloy company (USA) for surfacing protective coatings. [Electronic resource] <http://www.postle.com>. Дата доступа 8.08.2023
12. *Materials for brazing and surfacing TeroCote[®]*. [Electronic resource] <http://www.castolin.com.ua>. Дата доступа 8.08.2023
13. Kudinova, E. V. (2016) Synthesis of ultradisperse modified layers on hard alloys by plasma treatment. Dissertation cand. of Tech. Sci. Degree. Mariupol: PSTU.
14. Maksymova S. V. (2023) *Influence of Diffusion Processes on the Structure of Brazed Joints of Titanium Aluminides*. Chapt. 2 in the book «Current Topics and Emerging». *Issues in Materials Sciences. BP International*, **2**: 14–29. DOI: 10.9734/bpi/cteims/v2/5554A
15. Maksymova S.V., Stefaniv B.V. (2017) Microstructure and chemical heterogeneity of protective coatings. *Proceedings of the international scientific conference "Materials for work in extreme conditions"*, Kyiv, KPI, Ukraine, 163–165.
16. Stefaniv B.V. (2016) Investigation of wear resistance of protective coatings under conditions of hydroabrasive wear. *The Paton Welding J.*, **9**, 26–29. DOI: 10.15407/tpwj2016.09.05

References

STRUCTURE OF NICKEL AND IRON BASED ABRASION-RESISTANT MATERIALS

S.V. Maksymova

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: maksymova.svitlana15@ukr.net

Wear-resistant materials containing tungsten carbides are used to improve the performance of various products. This work presents generalized results of investigations on producing wear-resistant layers of abrasion-resistant materials deposited on super hard VK10 material and 30Kh steel. The results of metallographic investigations and local micro-X-Ray spectral analysis to determine the chemical heterogeneity and microstructure of abrasion-resistant materials based on: nickel TeroCote[®] 7888 T (Castolin Company); iron Diamax M (Castolin Company); iron – tungsten carbide strip of AN LZ-11-7 grade (Ukraine) in as-delivered condition and after deposition on the base material are given. Chemical composition of individual phases was determined, and it was shown that the main abrasion-resistant phase of these materials (tungsten carbide) is characterized by different morphology and different dimensions. Wear-resistant material of TeroCote[®] 7888 T grade (Ni–Cr–Fe–Si) in the form of flexible wire consists (before deposition) of a nickel core, coated by a composite material, containing a large amount of tungsten carbides of a polyhedral shape. The interface of base metal – abrasion-resistant deposited material, which forms during deposition on the base metal, was studied, and it was shown that after deposition the tungsten carbides are chaotically distributed in the nickel matrix, forming a heterogeneous alloy. Ref. 16, Tabl. 4, Fig. 5.

Keywords: microstructure, tungsten carbide, deposited abrasion-resistant material, super hard VK10 material, 30Kh steel

Надійшла до редакції 18.11.2023