

УДК 621.793: 621.762  
МРНТИ 53.37.35  
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.37>

Комплексное использование  
минерального сырья. № 4.2018.  
ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

Ж. Б. ИЛЬМАЛИЕВ<sup>1,2,3</sup>, М. Т. АУБАКИРОВ<sup>1,2</sup>, В. Г. МИРОНОВ<sup>2</sup> Г. Т. ШИЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, \*e.mail: marat.aubakirov@gmail.com.

<sup>2</sup>Казахско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

## ВЛИЯНИЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ НАПЛАВОЧНОГО СПЛАВА ПГ-Ж40

Received: 11 June 2018 / Peer reviewed: 16 September 2018 / Accepted: 15 October 2018

**Резюме.** В статье рассмотрено влияние карбида вольфрама на структуру и фазовый состав композиционного наплавочного материала ПГ-Ж40, получаемых при газотермическом напылении на стальной подложке. Показано, что композиционные порошковые смеси системы на основе Ni-Fe-Cr с уменьшенным содержанием никеля и добавками Cu, Mn, Si, C, Ti, V и W являются перспективными наплавочными материалами. Они характеризуются высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, трещиностойкостью, более низкой стоимостью в сравнении с традиционными конструкционными сплавами на основе железа. Дальнейшее повышение износостойкости таких материалов может быть достигнуто за счет введения дисперсных карбидов, боридов, силицидов и других материалов с высокой твердостью. Получены композиционные порошки марки ПГ-Ж40, в состав которых введен порошок ВК8 в количестве 1 мас. %. Проведена наплавка слоя на подложку из стали Ст3 методом газотермического напыления предлагаемого порошка. Проведенные исследования показали, что при выбранных режимах наплавки обеспечивается сплавление исходных порошков, однако обнаруживаются флуктуации концентрации, сопоставимые по размерам с исходными порошками. Частицы карбида вольфрама как и металлического вольфрама вступают во взаимодействие с расплавом. Показано, что процесс реакционного взаимодействия происходит в две стадии, сначала карбид вольфрама разлагается с образованием карбида дивольфрама, который затем взаимодействуя с расплавом образует интерметаллическое соединение WCrFe. Кристаллы этого соединения выделяются в виде конгломератов и цепочек. В других фазах вольфрам практически не присутствует. В переходной зоне на границе контакта со стальной подложкой в составе твердого раствора вольфрам не обнаруживается. Он проявляется только в виде единичных вольфрамсодержащих выделений размером до 100 нм. Полученные данные позволили заключить, что карбид вольфрама ввиду высокой дисперсности может быть использован для введения в шихту ПГ-Ж40. Образующиеся в наплавленном слое дисперсные кристаллы интерметаллического соединения WCrFe характеризуются высокой твердостью, что повышает его износостойкость.

**Ключевые слова:** наплавочный сплав, армирование, карбид вольфрама, конгломерирование, зона сопряжения, сталь, элементный анализ.

**Введение.** Одной из постоянных инженерных задач является получение материалов с новыми физико-механическими свойствами улучшающими технико-экономические и эксплуатационные показатели оборудования по сравнению с существующими аналогами. Исследования и разработки композиционных материалов, используемых для наплавки, расширили возможности решения различных вопросов технологии и техники, в том числе при создании износостойких сплавов на основе карбидов и боридов [1-10]. Исследователи, подчеркивая их высокую прочность, отмечают такие недостатки как чувствительность боросодержащих материалов к образованию трещин в наплавочном слое,

возможностью его отрыва от основания в условиях динамической нагрузки [1]. Карбидосодержащие наплавочные материалы, являясь высокоуглеродистыми, после наплавки образуют сеть трещин на границе наплавленного металла и металла основы. Поэтому при тяжелых ударных нагрузках требуется предварительная наплавка на металл основы пластичного буферного слоя, соответственно возникает дополнительная операция. В тоже время, известны композиционные покрытия в виде сочетания двух разнородных материалов, которые обладают свойствами, присущими каждому из них. Поэтому с целью предотвращения трещинообразования на границе наплавочного слоя и основы и увеличения его

прочностных характеристик в условиях ударной нагрузки и абразивного износа при трении металлических пар нами разработан наплавочный материал на базе наплавочного порошка ПГ-Ж40 [2] путем армирования его карбидом вольфрама ВК8.

Наплавочный сплав ПГ-Ж40 создан АО КБТУ [2] как аналог серийно выпускаемому в РФ сплаву ПГ-Ж14 на основе железоникелевого сплава ХН35ВТ методом механоактивации с введением легирующих элементов: хром, медь, ванадий, а также флюсоющих и упрочняющих элементов: бор, кремний, углерод с целью снижения доли дорогостоящих компонентов, в частности, никеля. Порошковый наплавочный сплав ПГ-Ж40 имеет следующий химический состав, масс. %: никель – 30,0-32,0; железо – 32,0-40,0; хром – 14,0-15,0; медь – 3,0-4,0; марганец – 0,9-1,4; кремний – 2,0-3,0; углерод – 1,1-1,4; титан – 1,0-1,1; вольфрам – 2,5 – 2,9; ванадий – 3,0-4,0; бор – 2,5-2,9.

Карбид вольфрама ВК8 выпускается серийно и широко используется при изготовлении бурового породоразрушающего инструмента [3]. ВК8 обладает высокой стойкостью при ударных и абразивных нагрузках. Размерность порошка 1-3 мкм позволяет использовать его без дополнительной обработки. Указанная характеристика предопределила выбор его как дополнительного элемента для упрочнения ПГ-Ж40.

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия карбида вольфрама, с элементами, входящими в состав наплавочного материала ПГ-Ж40, при газопламенном напылении их смеси на стальную подложку. Также приводятся результаты исследования различных участков формирующегося при этом слое.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Существующее оборудование для газопламенной наплавки требует применения наплавочных порошков размером 50-160 мкм. Поэтому ввод карбида вольфрама ВК8 в количестве до 1% в порошок ПГ-Ж40 был осуществлен путем конгломерирования на лабораторном планетарном грануляторе конструкции АО КБТУ. В качестве связующего при конгломерировании использовали органическую связку- фенольный лак ФЛ-98 в количестве 2-3 %, в качестве растворителя – этиловый спирт. Однородное распределение и смачивание компонентов достигали за счет обработки в смесителе в течение 10 мин. Для обеспечения прочности частиц порошка

дополнительно использовали высокотемпературное спекание (600-700 °С). Из полученного конгломерированного порошка просеиванием выделяли фракции 50-160 мкм. Полученный порошок с помощью газопламенной ацетилено-кислородной горелки наносился толщиной 1-3 мм на основу из стали Ст3 размером 30x45 мм и толщиной 11 мм в соответствии с ГОСТ 21448-75 «Порошки из сплавов для наплавки». Технологические режимы наплавки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические режимы наплавки:

|  |           |
|--|-----------|
| Давление кислорода на входе в горелку, кгс/см <sup>2</sup> | 4-4,5     |
| Давление пропана на входе в горелку, кгс/см <sup>2</sup>   | 0,6-0,8   |
| Расход кислорода, л/мин                                    | 9,3 – 9.5 |
| Расход пропана, л/мин                                      | 6.5- 9.0  |
| Расход наплавленного порошка, г/мин                        | до 30     |

Из полученных образцов были изготовлены поперечный и продольный шлифы размерами 15x10 мм и 30x30 мм соответственно. Микрондовый анализ выполнен с использованием электронного растрового микроскопа JXA-8230 (JEOL) с ускоряющим напряжением 20 кВ. Исследование структуры проводили при увеличении до 3000 крат, токе пучка: от 4нА до 10 нА в режимах фиксации вторичных и обратно-рассеянных электронов. Фазовый состав полученного слоя исследовали на продольном шлифе с применением рентгеновского дифрактометра D8 ADVANCE с  $\alpha$ -Cu излучением, напряжением на трубке 40 кВ, токе 40 мА. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводились по программе Search/match с использованием базы порошковых дифрактометрических данных. Твердость наплавленного слоя определяли на поверхности продольного шлифа по шкале Бринелля по ГОСТ 22761-77 с использованием твердомера НВВ-30А при нагрузке 30 кг. Определение изменения микротвердости по сечению переходной зоны проводилось методом Виккерса НВ по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 г.

Исследование фазового состава нанесенного слоя показало, что он преимущественно образован твердыми растворами на основе железа и никеля, хрома и никеля (таблица 2).

Таблица 2 - Фазовый состав наплавленного слоя

| Compound Name   | Formula           | S-Q  |
|-----------------|-------------------|------|
| Iron Nickel     | (FeNi)            | 70.4 |
| Chromium Nickel | (CrNi)            | 21.7 |
| Nickel Carbide  | Ni <sub>3</sub> C | 6.8  |
| Carbon Tungsten | WC                | 1.1  |

Обнаруживается малое количество карбидов никеля и вольфрама. Твердость этого слоя составляет 740 НВ, что соответствует твердости 65 HRC.

Анализ структуры слоя показывает, что по его сечению формируются флуктуации концентрации элементов со средним размером неоднородных по составу областей ~120 мкм (рисунок 1).

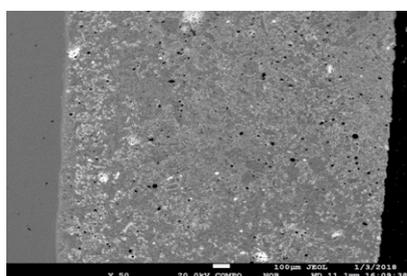


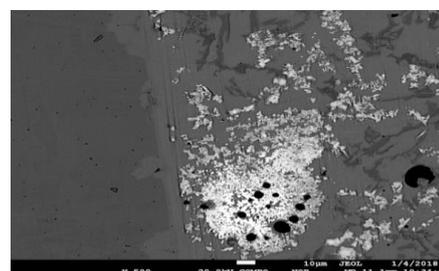
Рисунок 1 - Изменение структуры наплавленного слоя по глубине.

Ввиду того, что в процессе газопламенного напыления время до кристаллизации образующегося расплава не превышает нескольких секунд, это затрудняет диффузионное выравнивание концентрации. Поскольку неоднородности концентрации сопоставимы с размерами используемых при напылении порошков, то это указывает на не равномерное распределение элементов в них, что объясняется использованием многокомпонентной шихты при их получении. Структура материала слоя многофазна и представляет собой матрицу с распределенными в ней кристаллами различных по химическому составу фаз.

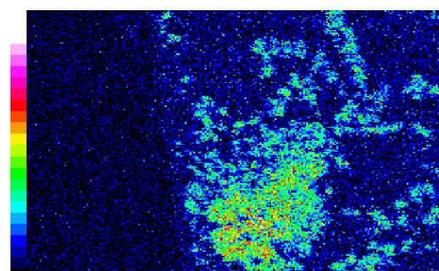
В структуре слоя выделяются области с повышенной концентрацией вольфрама (рисунок 2), сформированные как глобулярными скоплениями, так и протяженными цепочками кристаллов с размерами до 5 мкм.

В составе наплавочного материала вольфрам присутствовал в виде металлического вольфрама и его карбида. Исследование состава фаз, образующих слой, показало, что не зависимо от способа введения вольфрам образует только

кристаллы в которых присутствует большое количество железа и хрома.



а

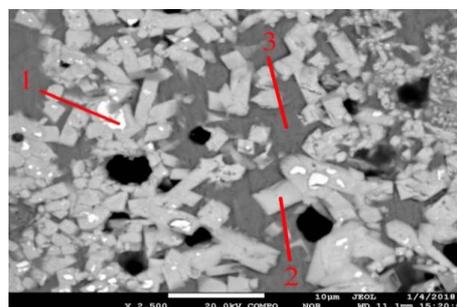


б

а - Структура в режиме COMPO; б - распределение вольфрама в области сканирования.

Рисунок 2 - Скопление кристаллов фаз с высоким содержанием вольфрама

Тетрагональная форма этих кристаллов позволяет заключить, что это интерметаллическое соединение WCrFe, в котором растворено порядка 5 ат. % V и 8 ат. % Ni (рисунок 3). Это соединение формируется непосредственно на границе контакта частиц вольфрама или карбида вольфрама с расплавом.



1 - W<sub>2</sub>C; 2 - интерметаллическое соединение WCrFe (в ат. % W - 32, Cr - 30, Fe - 25, V - 5, Ni - 8);  
3 - твердый раствор на основе Fe и Ni (в ат. % Ni - 44, Fe - 40, Cr - 8, Cu - 4, Si - 3, V - 1)

Рисунок 3- Взаимодействие частиц карбида вольфрама с компонентами расплава с образованием промежуточных фаз

Исследование состава частиц карбида вольфрама показало, что не смотря на малый период контакта с расплавом произошел их переход из модификации WC в W<sub>2</sub>C. Это указывает, что при контакте с расплавом карбид вольфрама WC на первом этапе разлагается с выделением углерода и карбида дивольфрама и на втором карбид дивольфрама в результате реакционной диффузии образует соединение WCrFe.

Исследование переходной зоны между стальной подложкой и наплавленным слоем показало, что на нее не оказывает влияние вводимый в наплавочный материал карбид вольфрама, поскольку вольфрам не входит в состав формирующихся твердых растворов (рисунок 4). В ее структуре обнаруживаются единичные точечные выделения фазы с повышенным содержанием вольфрама размером ~100 нм (рисунок 3).

Таким образом, анализ выше изложенного, а именно, отсутствие интерметаллидов WCrFe в переходной зоне на границе стали и наплавленного слоя возможно предотвращает образование трещин в сплаве.

Рассматривая поведение карбида вольфрама, следует отметить, что, даже при небольших размерах (1-3мм), его частицы растворяясь по периферии, все же остаются в центральной части в исходном виде. Повидимому, используя частицы больших размеров, можно увеличить прочность наплавки.

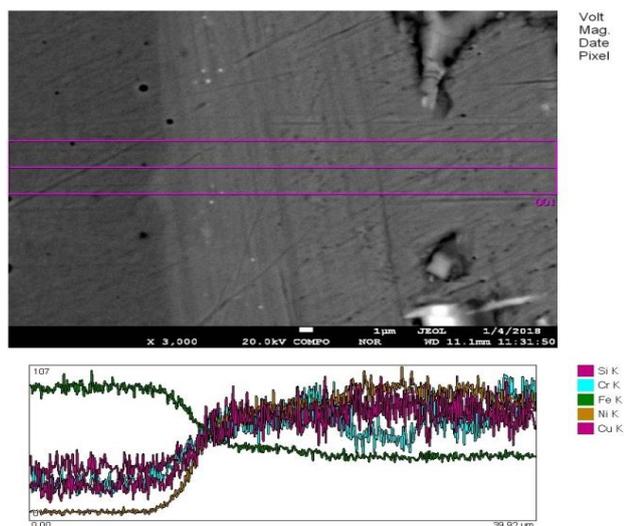


Рисунок 4- Распределение элементов в переходной зоне на границе подложки из стали и наплавленного слоя.

**Выводы.** Установлено, что частицы карбида вольфрама при введении их в наплавочный порошок марки ПГ-Ж40 при газотермическом напылении вступает во взаимодействие с расплавом. Процесс реакционного взаимодействия происходит в две стадии, сначала карбид вольфрама разлагается с образованием карбида дивольфрама, который затем, взаимодействуя с расплавом, образует интерметаллическое соединение WCrFe. Кристаллы этого соединения выделяются в виде конгломератов и цепочек. В других фазах вольфрам практически не присутствует;

- введение карбида вольфрама в наплавочный порошок марки ПГ-Ж40 не оказывает влияния на формирование переходной зоны на границе раздела со стальной подложкой;

- образующиеся в наплавленном слое дисперсные кристаллы интерметаллического соединения WCrFe имеют твердость 65 HRC, что возможно обеспечит повышение его износостойкости. Низкая растворимость вольфрама в железо-никель-хромовой матрице позволяет сохранять ее свойства. Это делает перспективным использование вольфрама в качестве легирующего элемента в порошках ПГ-Ж40;

- карбид вольфрама ввиду высокой дисперсности может быть использован для введения в шихту ПГ-Ж40.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Sapate S.G. and Raut J. Investigations on Wear by Slurry Abrasion of Hardfaced Low Alloy Steel // AMAE International Journal on Production and Manufacturing Engineering. – 2012. – №3. – P. 31-35.

2 Пат. 27499 РК, Наплавочный сплав для газотермического нанесения и способ его получения / Бейсембетов И.К., Кенжалиев Б.К., Сулейменов Э.Н., Миронов В.Г., Шилов Г.Т. опубл. 15.10.2013. Бюл. №10.

3 Пат. 32993 РК. Буровое долото типа пикобур / Аубакиров М.Т., Косьминов С.Г., Федоров Б.В., опубл. 06.08.2018. Бюл. № 29.

4 Лобовиков Д.В., Матыгуллина Е.В. Получение композиционных гранулированных материалов в планетарном грануляторе // Перм. гос. техн. Университет. – 2008. – С. 153.

5 Рябцев И.А., Панфилов А.И., Бабенец А.А., Рябцев И.И., Гордань Г.Н., Бабичук И.Л. Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов. // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5-6. (742). – С. 84-88.

6 Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф., Федосенко А.С. Закономерности формирования механически легированных порошков на основе металлов для газотермических покрытий // Вестник Белорусско - Российского университета. – 2017. – №2. – С. 56-68.

7 Федосенко А.С, Ловшенко В.Г, Ловшенко Г.С. Оптимизация условий получения механический легированных композиционных порошковых материалo для напыления износостойких плазменных покрытий.// Вестник Белорусско Российского университета. – 2016. – №3. – С. 51.

8 Оковитый В.А, Пантелеенко Ф.И, Оковитый В.В, Асташинский В.М. Получение композиционного керамического материала для газотермического напыления. 2017 Белорусский национальный технический университет. Минск. // Наука и техника . – 2017. –Т. 16. – №3. – С. 181-188.

9 Волков В.А., Чулкина А.А., Ельки И.А. Закономерности образования карбидных фаз при механосинтезе сплава  $(Fe_{0.93}Cr_{0.07})_{75}C_{25}$  в сравнении с другими карбидообразующими процессами.// Физика металлов и материаловедение. – 2016. – Т.117. – № 2. – С. 186-195.

10 Миронов В.Г, Шилов Г.Т, Ильмалиев Ж.Б, Омурбекова К.Р. Оптимизация состава и способа получения нового наплавочного самофлюсующегося сплава на основе железа с введением лигатуры хром бор. // Журнал Упрочняющие технологии и покрытия. Москва. – 2015. – №2. – С. 10.

## REFERENCES

1 Sapate S.G. and Raut J. Investigations on Wear by Slurry Abrasion of Hardfaced Low Alloy Steel. *AMAE International Journal on Production and Manufacturing Engineering*. **2012**. 03.01. 31-35. (in Eng.).

2 Pat. 27499 RK., *Naplavochnyy splav dlya gazotermicheskogo naneseniya i sposob yego polucheniya* (Surfacing alloy for gas-thermal application and method of its production) Beysembetov I.K., Kenzhaliyev B.K., Suleymenov E.N., Mironov V.G., Shilov G.T. opubl. 15.10. **2013**. Byul. 10. (in Russ.).

3 Pat. 32993 RK. *Burovoye doloto tipa pikobur* (Chisel type chisel). Aubakirov M.T., Kos'minov S.G., Fedorov B.V., opubl. 06.08. **2018**. Byul. № 29. (in Russ.).

4 Lobovikov D.V., Matyugullina Ye.V. *Polucheniye kompozitsionnykh granulirovannykh materialov v planetarnom granulatore*. (Preparation of composite granular materials in a planetary granulator) Perm. gos. tekhn. un-ta, **2008**. – 153 s. (in Russ.).

5 Ryabtsev I.A., Panfilov A.I., Babenets A.A., Ryabtsev I.I., Gordan' G.N., Babichuk I.L. *Struktura i*

*iznosostoykost' pri abrazivnom iznashivaniy naplavlennogo metalla, uprochnennogo karbidami razlichnykh tipov*. (Structure and abrasion resistance in abrasive wear of welded metal, hardened by carbides of various types.) *Avtomaticheskaya svarka*. (Automatic welding). **2015**. 5-6 (742). 84-88. (in Russ.).

6 Lovshenko F.G., Lovshenko G.F., Fedosenko A.S. *Zakonomernosti formirovaniya mekhanicheski legirovannykh poroshkov na osnove metallov dlya gazotermicheskikh pokrytiy*. (Regularities in the formation of mechanically alloyed powders based on metals for gas-thermal coatings) *Vestnik Belorussko -Rossiyskogo universiteta*. (Bulletin of the Belarusian-Russian University). **2017**. 2(55). 56-68. (in Russ.).

7 Fedosenko A.S, Lovshenko V.G, Lovshenko G.S. *Optimizatsiya usloviy polucheniya mekhanicheskiy legirovannykh kompozitsionnykh poroshkovykh materialo dlya napyleniya iznosostoykikh plazmennyykh pokrytiy*. (Optimization of the conditions for obtaining mechanical alloyed composite powder materials for deposition of wear-resistant plasma coatings) *Vestnik Belorussko -Rossiyskogo universiteta*. (Bulletin of the Belarusian-Russian University) **2016**. 3. 51. (in Russ.).

8 Okovityy V.A, Panteleyenko F.I, Okovityy V.V, Astashinskiy V.M. Polucheniye kompozitsionnogo keramicheskogo materiala dlya gazotermicheskogo napyleniya. (Production of composite ceramic material for gas-thermal spraying). **2017**. *Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskiy universitet. Minsk*. (Belarusian National Technical University. Minsk.). *Nauka i tekhnika* (Science and Technology). **2016**, 3. 181-188. (in Russ.).

9 Volkov V.A. Chulkin A.A, Yel'ki I.A. *Zakonomernosti obrazovaniya karbidnykh faz pri mekhanosinteze splava  $(Fe_{0.93}Cr_{0.07})_{75}C_{25}$  v sravnennii s drugimi karbidoobrazuyushchimi protsessami*. (Regularities in the formation of carbide phases during alloy mechanosynthesis  $(Fe_{0.93}Cr_{0.07})_{75}C_{25}$  in comparison with other carbide-forming processes). *Fizika metallov i metallovedeniye*. (Physics of metals and metalscience). **2016**. 117.2. 186-195. (in Russ.).

10 Mironov V.G, Shilov G.T, Il'maliyev ZH.B, Omurbekova K.R. *Optimizatsiya sostava i sposoba polucheniya novogo naplavochnogo samoflyusuyushchegosya splava na osnove zheleza s vvedeniyem ligatury khrom bor*. (Optimization of composition and method of obtaining a new surfacing self-fluxing alloy based on iron with the introduction of chromium boron master alloy). *Zhurnal Uprochnayayushchiye tekhnologii i pokrytiya*. (Journal of Strengthening Technologies and Coatings). Moscow **2015**. (in Russ.).

Ж. Б. ИММАЛИЕВ<sup>1,2,3</sup>, М. Т. АУБАКИРОВ<sup>1,2</sup>, В. Г. МИРОНОВ<sup>2</sup>, Г. Т. ШИЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан, \*e.mail: marat.aubakirov@gmail.com.

<sup>2</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

## ПГ-Ж40 БАЛҚЫМА ҚОРТПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ МЕН ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫНА ВОЛЬФРАМ КАРБИДІНІҢ ӘСЕРІ

**Түйіндеме.** Мақалада, болат төсендісіне газтермиялық тозаңдату кезінде алынатын композиттік еріп дәнекерленген ПГ-Ж40 материалының құрылымы мен фазалық құрамына вольфрам карбидінің әсері қарастырылған. Ni-Fe-Cr негізіндегі композитті ұнтақтың құрамында никель мен Cu, Mn, Si, C, Ti, V және В қоспалардың мөлшерлерін азайған сайын, олар перспективті балқытқыш материал болып табылатыны көрсетілген. Сонымен қатар болат негізіндегі дәстүрлі конструкциялық қорытпалармен салыстырғанда, бұндай материалдардың бағасы төмен, бұзылуға тұрақты, коррозияға берік, тозуға өте тұрақты болып сипатталады. Осындай материалдардың одан ары тозуға тұрақтылығын арттыру үшін майда ұнтақты карбид, борид, силицид және басқа да қаттылығы жоғары материалдарды қосу арқылы жоғарлатуға болады. 1 мас.% көлемде VK8 ұнтағы енгізілген ПГ-Ж40 маркадағы композиционды ұнтақ алынған. Осы ұнтаққа газплазмалық тозаңдандыру әдісімен Ст3 болат төсемеге балқыту жүргізілді. Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, ерітіп дәнекерлеудің тандалған режимінде бастапқы ұнтақтардың балкуы қамтамасыз етіледі, алайда бастапқы ұнтақтармен салыстырмалы мөлшерде қандай да бір флукуациялар концентрациясы байқалады. Карбид вольфрамның түйірлері, металды вольфрамның түйірлері сияқты балқымамен өзара әсерлеседі. Реакциялық әсерлесу процесі екі сатыдан тұрады, бірінші карбид вольфрам ыдырап дифольфрам карбиді пайда болады, содан кейін қорытпамен әсерлесіп нәтижесінде WCrFe интерметалды қосылыс пайда болатыны көрсетілген. Осы қосылыстың кристалдары конгломерат және тізбек түрінде бөлінеді. Басқа фазаларда вольфрам кездеспейді. Болат төсеме мен байланысқан өтпелі зона аумағында вольфрамның қатты ерітіндісі байқалмайды. Ол 100 нм дейінгі өлшемде жалғыз түрде вольфрам құрайтын бөлінулерде көрінеді. Алынған нәтижелер сүйене отырып вольфрам карбидінің дисперстілігі жоғары болғандықтан ПГ-Ж40 шихтасына енгізуге болатыны көрсетілді. Балқытылған қабатта пайда болған интерметалды қосылыстың WCrFe дисперсті кристалдары жоғары қаттылықпен сипаттайды яғни тозуға тұрақтылығы жоғары болады.

**Түйін сөздер:** балқыту қорытпасы, арматуралау, вольфрам карбиді, конгломераттау, жанасу аймағы, болат, элементтік талдау.

Zh. B. Immaliev<sup>1,2,3</sup>, M. T. AUBAKIROV<sup>1,2</sup>, V. G. MIRONOV<sup>2</sup>, G. T. SHILOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan, \*e.mail: marat.aubakirov@gmail.com.

<sup>2</sup>Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

## INFLUENCE OF WOLFRAM CARBIDE ON STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF FLOATING ALLOY PG-J40

**Abstract.** In order to study the influence of tungsten carbide, inserted into the composite filler powder PG-F40, on the structure of layers obtained at geothermal deposition on a steel substrate, their structure and phase composition were studied. It is shown that composite powder mixtures of the Ni-Fe-Cr system with reduced nickel content and additions of Cu, Mn, Si, C, Ti, V and B are promising surfacing materials. They are characterized by high wear resistance, corrosion resistance, crack resistance, lower cost in comparison with traditional structural alloys based on iron. Further increase in wear resistance of such materials can be achieved by the insertion of dispersed carbides, borides, silicides and other materials with high hardness. Composite powders of PG-J40 grade were obtained, in the composition of which VK8 powder was added in an amount of 1% by weight. The method of gas-thermal spraying of this powder was used to deposit the layer on a substrate of steel St3. The studies have shown that the fusion of the initial powders is provided at the selected deposition modes, but the concentration fluctuations comparable in size with the initial powders are detected. Particles of tungsten carbide and tungsten metal are exposed to the melt. It is shown that the process of the reaction of the interaction proceeds in two stages, first, tungsten carbide decomposes with the formation of carbide devilray, which is then interacting with the melt forms an intermetallic compound WCrFe. Crystals of this compound are allocated in the form of conglomerates and chains. In other phases, tungsten is practically not present. In the transition zone at the interface with the steel substrate in the solid solution, tungsten is not detected. It manifests itself only in the form of single tungsten-containing precipitates up to 100 nm in size. The obtained data allowed us to conclude that tungsten carbide, due to its high dispersion, can be used for the introduction of tungsten and carbon into the charge. The dispersed crystals of the intermetallic compound WCrFe formed in the deposited layer are characterized by high hardness, which increases its wear resistance.

**Key words:** surfacing alloy, armouring, tungsten carbide, conglomeration, coupling zone, steel, elemental analysis.

Поступила 11.06.2018.