

**В. С. Урбанович, Т. Д. Маликина, Е. О. Лавыш, Е. Н. Шлома, С. М. Карась**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН НА ИХ ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПАЙКУ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ**

**Аннотация.** Изучено влияние электроэрозионной обработки поверхности твердосплавных пластин на их фазовый состав и вакуумную пайку режущих элементов из сверхтвердой нитридной керамики. Проведены исследования качества поверхности и элементного состава твердосплавных пластин для пайки режущих элементов из сверхтвердых материалов. Поверхность пластин для напайки обработана методом электроэрозионной резки латунной проволокой в воде, а также методом электроэрозионного прямого прожога с использованием медного и графитового электродов в керосине. Микроструктура и элементный состав поверхностей твердосплавных пластин были исследованы методами электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии до и после их обработки. Анализ полученных данных свидетельствует, что наилучшие результаты при электроэрозионной обработке твердосплавной пластины и наиболее прочное сцепление спаиваемых материалов достигаются при использовании медного электрода и латунной проволоки, так как при этом обеспечиваются максимальное смачивание поверхности пластины припоем на основе Cu–Ti–Sn и отсутствие пор. Соединение твердосплавной резцовой пластины и керамического режущего элемента производилось методом высокотемпературной пайки в вакууме. Испытания пластин с напайными режущими элементами показали, что шероховатость обработанной поверхности заготовок из стали ХВГ с твердостью HRC 47–62 и из стали ШХ15 с твердостью HRC 57–58 соответствовала 6–8-му классам чистоты при скорости резания 155–170 м/мин. Критерием для оценки режущих свойств сверхтвердых материалов по результатам стойкостных испытаний служил износ резца по задней грани 0,4 мм.

**Ключевые слова:** электроэрозионная обработка, вакуумная пайка, сверхтвердая нитридная керамика, твердосплавные пластины, лезвийный инструмент

**Для цитирования:** Влияние электроэрозионной обработки поверхности твердосплавных пластин на их фазовый состав и пайку режущих элементов из нитридной керамики / В. С. Урбанович [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2019. – Т. 64, № 3. – С. 286–295. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-3-286-295>

**V. S. Urbanovich, T. D. Malikina, E. O. Lavysh, E. N. Shloma, S. M. Karas**

*Scientific and Practical Materials Research Center of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

## **THE EFFECT OF ELECTRO-EROSION TREATMENT OF THE SURFACE OF HARD ALLOY PLATES ON THEIR PHASE COMPOSITION AND SOLDERING OF NITRIDE CERAMICS CUTTING ELEMENTS**

**Abstract.** The effect of electroerosive treatment of the surface of carbide plates from superhard nitride ceramics on their phase composition and vacuum soldering of cutting elements is studied. Studies of the surface quality and elemental composition have been carried out. The surface of the plates for soldering is processed by the method of electroerosive cutting with brass wire in water, as well as by the method of electroerosive direct burn-through using copper and graphite electrodes in kerosene. The microstructure and elemental composition of the surfaces of hard-alloy plates were investigated by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy before and after their processing. The analysis of the obtained data indicates that the best results at electro-erosion treatment of the hard-alloyed plate and the strongest bonding of brazed materials are achieved using a copper electrode and brass wire, since this ensures maximum wetting of the plate surface with solder based on Cu–Ti–Sn and the absence of pores. The hard-alloy cutter plate and ceramic cutting element were joined by high-temperature brazing in vacuum. Tests of hard-alloy plates with brazed cutting elements showed that the roughness of the machined surface of workpieces made of ХВГ steel with hardness of HRC 47–62 and ШХ15 steel with hardness of HRC 57–58 corresponded to 6–8 purity class at cutting speed of 155–170 m/min. The wear of the cutter along the trailing edge of 0.4 mm served as a criterion for evaluation of the cutting properties of superhard materials according to the results of durability tests.

**Keywords:** electro-erosion treatment, vacuum soldering, superhard nitride ceramics, hard-alloyed plates, blade tool

**For citation:** Urbanovich V. S., Malikina T. D., Lavysh E. O., Shloma E. N., Karas S. M. The effect of electro-erosion treatment of the surface of hard alloy plates on their phase composition and soldering of nitride ceramics cutting elements. *Vesti Natsyonal'noi akademii nauk Belarusi. Seriya fizika-technichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019, vol. 64, no. 3, pp. 286–295 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-3-286-295>

**Введение.** В настоящее время существуют различные способы и технологии крепления режущих элементов из сверхтвердых материалов (СТМ) при изготовлении металлообрабатывающего инструмента, которые в значительной степени влияют на его эксплуатационные показатели. Основными методами являются: механическое крепление режущего элемента из СТМ в резцедержателе; крепление путем паяного соединения; комбинированное соединение в виде механического крепления твердосплавной сменной вставки с паяным режущим элементом из СТМ. Однако большая часть перечисленных методов крепления сверхтвердых материалов в лезвийном инструменте является трудоемкой, малопродуктивной и не обеспечивает надежности при эксплуатации [1].

Метод крепления режущего элемента из СТМ вакуумной пайкой на твердосплавную пластину используют ведущие зарубежные производители лезвийного инструмента, такие как Mitsubishi, Seco, Pramet, Korloy, Mikrobor, ZCC-Cutting Tools Europe GmbH [2–7]. Твердосплавная пластина с напайными режущими элементами из СТМ механически крепится в держателе, при этом обеспечивается жесткость соединения режущего элемента из СТМ с твердосплавной пластиной. Надежность соединения обеспечивается за счет равномерного нагрева и охлаждения при пайке, контроля температуры, отсутствия окислительных процессов, а также сохранения физико-механических свойств СТМ.

Одной из важных задач при изготовлении такого инструмента является подготовка поверхности твердосплавной пластины для пайки СТМ, которая во многом определяет надежность крепления такого материала. В литературе этот вопрос слабо освещен.

**Методы исследования.** В данной работе изучено влияние электроэрозионной обработки твердосплавных пластин на элементный состав, качество их поверхности и вакуумную пайку режущих элементов из СТМ «Беланит» для обработки твердозакаленных сталей и чугунов. Получение и свойства СТМ описаны нами ранее в [8, 9]. Для вакуумной пайки режущих элементов из сверхтвердой нитридной керамики использовались пластины из твердого сплава типа ВК производства ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» (Россия). Подготовка поверхности экспериментальных образцов твердосплавных пластин производилась методом электроэрозионного прямого прожога с использованием графитового и медного электродов в керосине, а также методом электроэрозионной резки латунной проволокой в воде.

Электроэрозионная обработка графитовым электродом производилась в Физико-техническом институте НАН Беларуси, а медным электродом и латунной проволокой – на ОАО «Промсвязь». Микроструктура и элементный состав поверхностей твердосплавных пластин был изучен в НПЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» с помощью электронной микроскопии и рентгено-спектрального микрозондового анализа. Пайка режущих элементов из сверхтвердой нитридной керамики производилась медным припоем с легирующими добавками в высокотемпературной вакуумной электропечи (СНВЭ-1.3.1/16 И4) в Научно-практическом центре НАН Беларуси по материаловедению.

**Обработка графитовым электродом.** Поверхность материала твердого сплава до и после обработки графитовым электродом показана на рис. 1. До обработки графитовым электродом твердосплавная пластина (состав шихты:  $TiO_2 + WC +$  сажа) имеет практически ровную и однородную по цвету поверхность. Границы кластеров заметны слабо (рис. 1, *a*). После обработки поверхность оплавилась, границы кластеров обозначены резко (рис. 1, *b*), но не имеют определенной структуры и разнородны по цвету. Это свидетельствует о том, что во время прожога на поверхности образца протекают химические реакции и фазовые превращения.

**Обработка медным электродом.** Перед обработкой медным электродом твердосплавная пластина (в составе отсутствует титан) имеет шероховатую поверхность (рис. 2, *a*) с мелкозернистой структурой и невыразительными границами кластеров. После обработки медным электродом оплавленная поверхность пластины обладает четко выраженной кластерной структурой. Границы кластеров – черного цвета со множеством микропрожогов и микротрещин (рис. 2, *b*).

Гексагональная и почти прямоугольная форма кластеров указывает на то, что на поверхности образца образовались как минимум два фазовых состава гексагональной и кубической сингонии (кубической больше).

**Резка проволокой.** Структура поверхности обработанного экспериментального образца твердого сплава, полученного резкой латунной проволокой, однородная и крупнозернистая. На поверхности отсутствуют трещины и кластеры. Как показали данные рентгеноспектрального

микронного анализа, поверхность образца покрыта слоем латуни (сплав меди и цинка), который образовался вследствие эмиссии ионов Cu и Zn из раскаленной проволоки. Вид поверхности твердого сплава после резки латунной проволокой представлен на рис. 3.

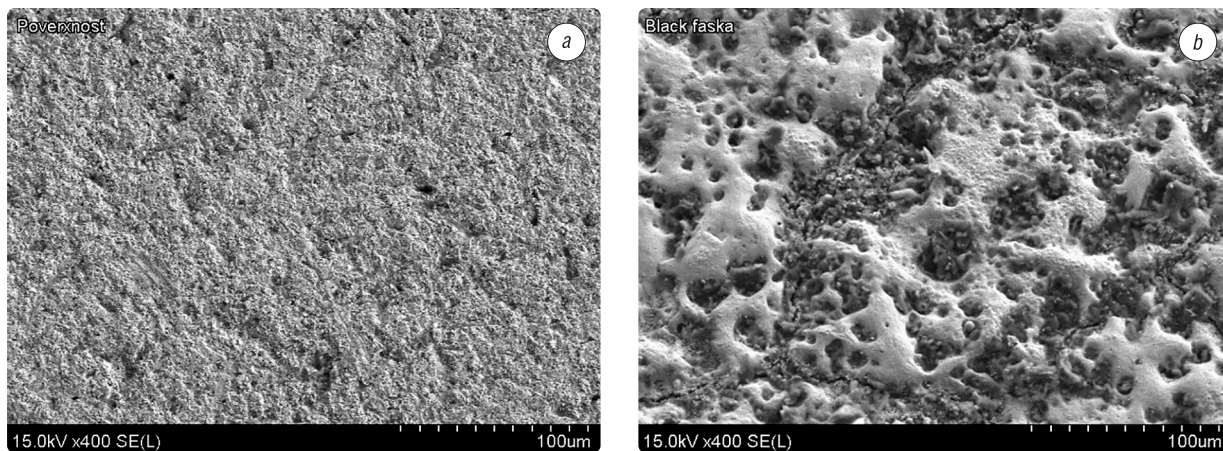


Рис. 1. Поверхность твердого сплава до (a) и после (b) обработки графитовым электродом,  $\times 400$

Fig. 1. The surface of the hard alloy before (a) and after (b) treatment with a graphite electrode,  $\times 400$

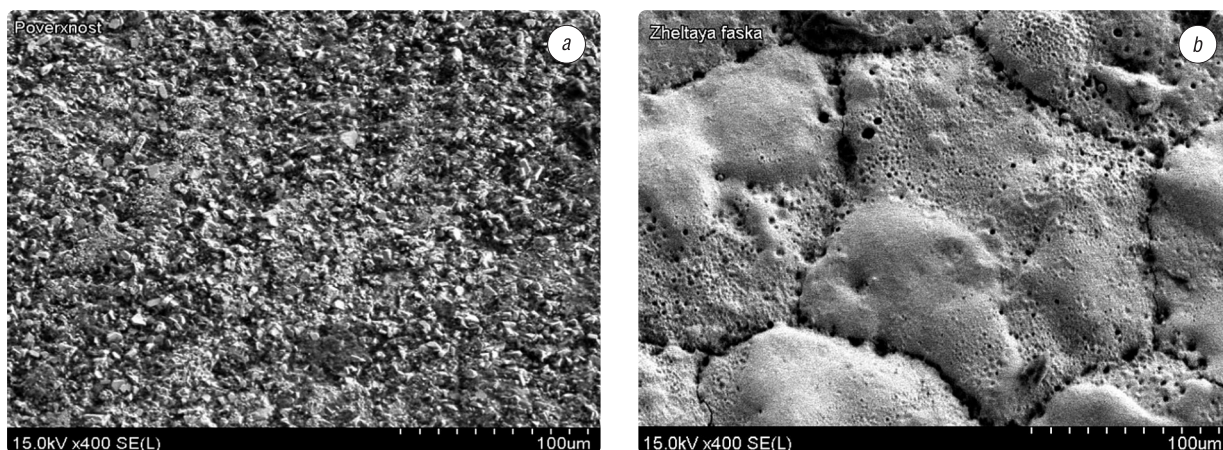


Рис. 2. Поверхность твердого сплава до (a) и после (b) обработки медным электродом,  $\times 400$

Fig. 2. The surface of the hard alloy before (a) and after (b) treatment with a copper electrode,  $\times 400$

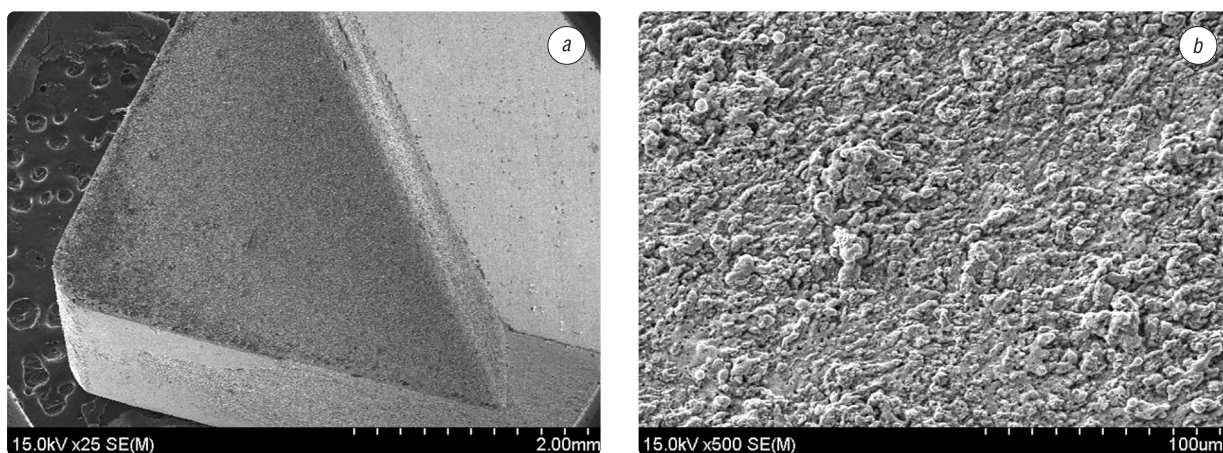


Рис. 3. Поверхность твердого сплава после электроэрозионной резки латунной проволокой при различном увеличении:  $a - \times 25$ ,  $b - \times 500$

Fig. 3. The surface of a hard alloy after electro-erosion cutting with brass wire at different magnifications:  $a - \times 25$ ,  $b - \times 500$

**Результаты исследования.** Рентгеноспектральный микрозондовый анализ дает возможность определить элементный состав исходного образца твердого сплава типа ВК и после его обработки несколькими методами, объяснить изменения структуры и состава поверхностей после обработки, а также позволяет сделать выводы о выборе метода электроэрозионной обработки.

На рис. 4–6 представлены диаграммы рентгеноспектрального микрозондового анализа и элементный состав поверхности твердосплавных пластин до и после электроэрозионной обработки.

На рис. 7 показано изменение соотношений концентрации элементов на поверхности твердосплавных пластин до и после обработки. В таблице приведены численные значения элементного состава поверхности до и после электроэрозионной обработки.

После обработки поверхности твердого сплава графитовым электродом наблюдается перераспределение элементного состава. Увеличение концентрации углерода обусловлено его

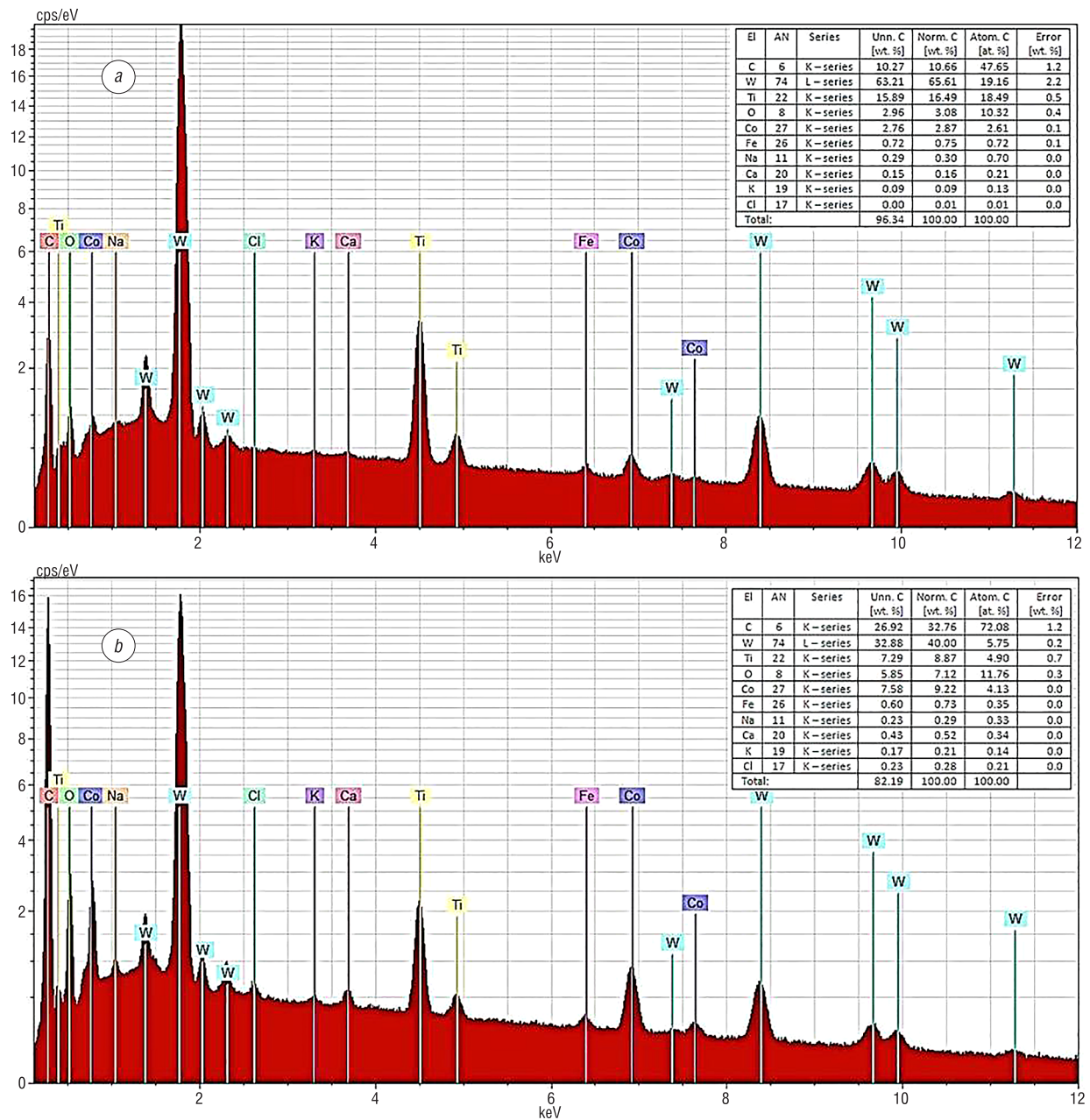


Рис. 4. Диаграмма рентгеноспектрального микрозондового анализа до (a) и после (b) обработки поверхности графитовым электродом

Fig. 4. Diagram of X-ray microprobe analysis before (a) and after (b) surface treatment with a graphite electrode

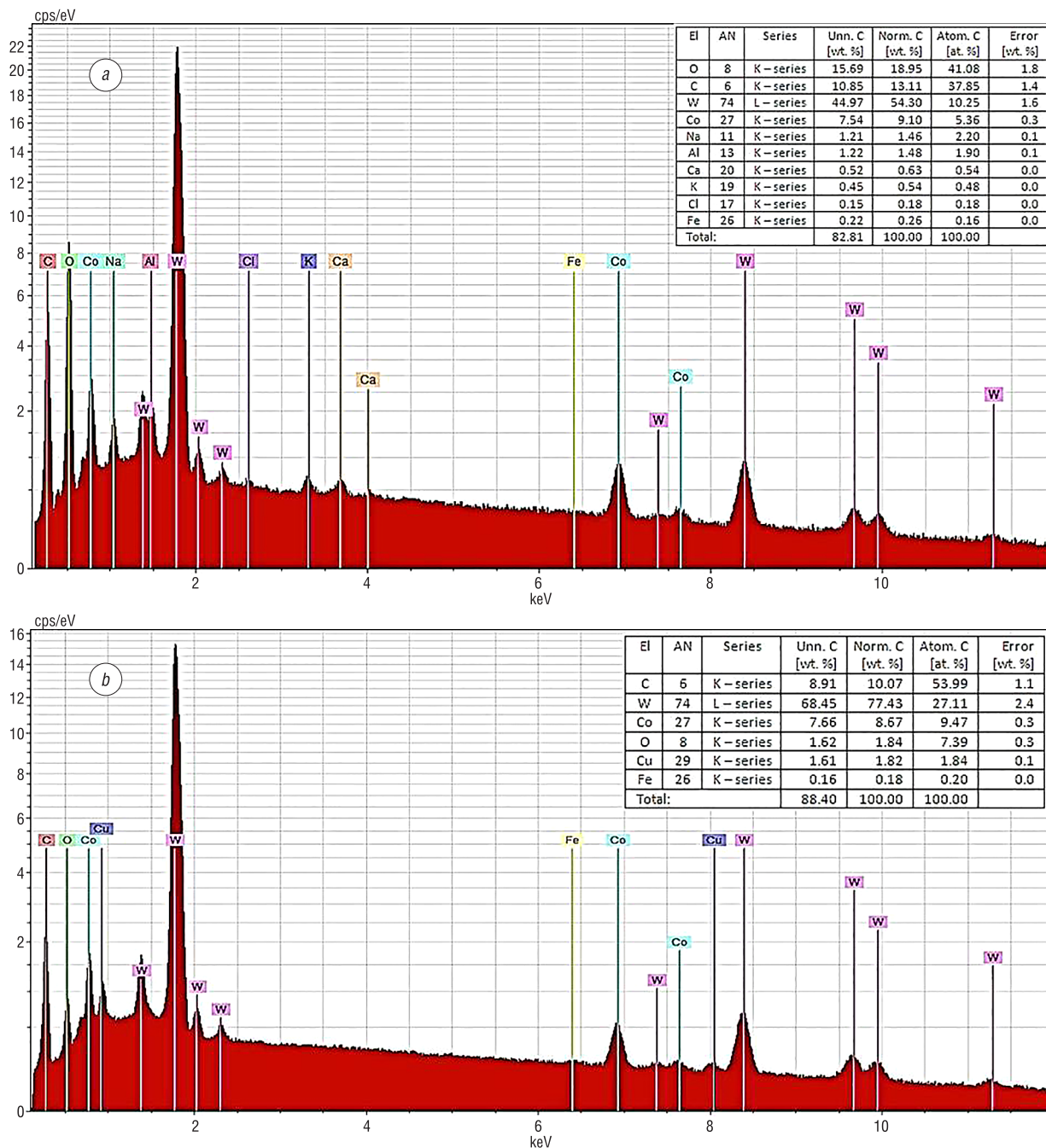


Рис. 5. Диаграмма рентгеноспектрального микрозондового анализа до (a) и после (b) обработки поверхности медным электродом

Fig. 5. Diagram of X-ray microprobe analysis before (a) and after (b) surface treatment with a copper electrode

диффузией в материал при прожоге. При этом происходит частичное разрушение самого электрода. Переизбыток углерода в верхних слоях образца может отрицательно сказаться на качестве пайки, так как снижается адгезия припоя к материалу пластины

Изменение концентрации титана объясняется образованием карбида титана. На основании литературных данных [10] появление фазы карбида титана начинается при температурах выше 1200 °С с использованием состава шихты TiO<sub>2</sub> + WC + сажа с некоторым избытком сажи против стехиометрического количества. Поэтому в поверхностном слое обработанного материала присутствует диоксид титана и карбид титана.

В процессе прожога температура образцов может достигать порядка 1000 °С. При такой температуре в материале пластины могут протекать фазовые превращения.

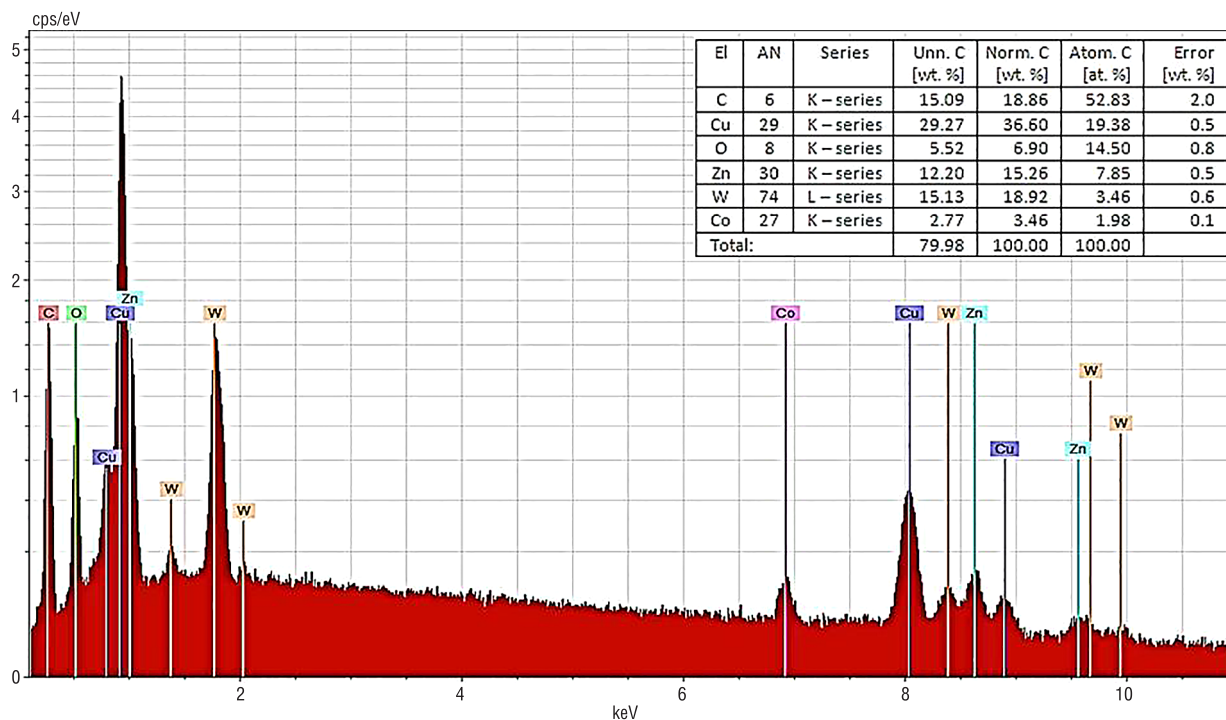


Рис. 6. Диаграмма рентгеноспектрального микрозондового анализа поверхности твердого сплава после резки латунной проволокой

Fig. 6. Diagram of X-ray microprobe analysis of the surface of a hard alloy after cutting with brass wire

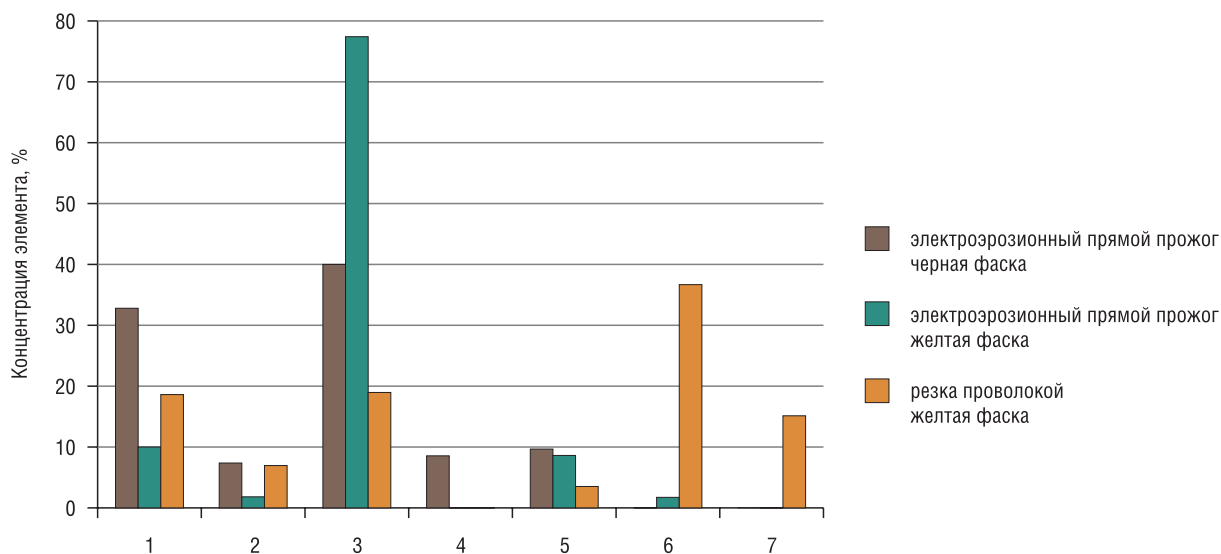


Рис. 7. Диаграмма элементного состава поверхностей твердого сплава после электроэрозионной обработки графитовым и медным электродами и латунной проволокой. Элементы: 1 – C, 2 – O, 3 – W, 4 – Ti, 5 – Co, 6 – Cu, 7 – Zn

Fig. 7. Diagram of the elemental composition of the surface of a hard alloy after electro-erosion treatment with graphite and copper electrodes and brass wire. Elements: 1 – C, 2 – O, 3 – W, 4 – Ti, 5 – Co, 6 – Cu, 7 – Zn

В структуре твердосплавной пластины присутствует кобальт с гексагональным типом решетки ( $\alpha$ -кобальт), карбид вольфрама ( $WC$ ,  $W_2C$ ). В интервале 600–800 °C происходит превращение гексагональной решетки кобальта в ОЦК-решетку. Кроме того, фиксируется появление соединения вольфрама и кобальта  $Co_6W_6C$ . В диапазоне температур 800–1000 °C происходит замена соединения  $Co_6W_6C$  на  $CO_3W_3C$ . Образовавшаяся фаза устойчива до температуры выше 1200 °C вплоть до появления жидкой фазы. Процесс химического взаимодействия сопровождается полным исчезновением карбида вольфрама состава  $W_2C$ . Исчезновение карбида такого типа

**Элементный состав поверхности твердого сплава до и после электроэрозионной обработки**  
**The elemental composition of the surface of a hard alloy before and after electro-erosion treatment**

Химический элемент	Графитовый электрод		Медный электрод		Резка латунной проволокой, после обработки
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	
C	10,27	26,92	10,85	8,91	15,09
O	2,96	5,85	15,69	1,62	5,52
W	63,21	32,88	44,97	68,45	15,13
Ti	15,89	7,29	–	–	–
Co	2,76	7,58	7,54	7,66	2,77
Cu	–	–	–	1,61	29,27
Zn	–	–	–	–	12,20

остаться до полного охлаждения заготовки. А это, в свою очередь, отрицательно скажется на механических свойствах обработанной пластины. Подтверждение этому выводу – увеличение концентрации кобальта в поверхностном слое твердосплавной пластины.

При обработке твердосплавной пластины медным электродом изменение концентраций элементов незначительно по сравнению с графитовым электродом. Как видно из таблицы, в поверхностном слое пластины появилась медь. Но так как она не образует сплавов с вольфрамом, то это не приведет к образованию новых фазовых составов. Этот слой при пайке в вакууме припоем может способствовать увеличению адгезии припоя к материалу ВК. Увеличение концентрации вольфрама после обработки свидетельствует о том, что в данном случае не было избытка углерода и, согласно реакции (1), после остывания обработанной пластины в поверхностном слое опять присутствует исходный состав пластины типа ВК с долей соединения  $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$  [11].

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что использование медного электрода для электроэрозионного прожога является более целесообразным, поэтому именно данный способ применялся для подготовки поверхности под пайку. Электроэрозионная резка латунной проволокой использовалась для углового крепления режущего элемента из СТМ.

Пластины из СТМ (рис. 8, *a*) крепились на твердосплавные пластины различной конфигурации (рис. 8, *b*) методом высокотемпературной пайки в вакууме. В качестве припоя использовался медно-титановый припой с легирующими добавками олова, свинца и никеля. Микрофотография припоя состава  $\text{Cu-Ti-Sn}$ , а также соединение твердосплавной режущей пластины и керамического режущего элемента показаны на рис. 8, *c*. Режущие пластины после пайки и механической обработки представлены на рис. 8, *d*.

Из рис. 8, *c* видно, что паяный шов однородный по плотности и структуре. Толщина шва составляет порядка 18–20 мкм. Припой (рис. 9) обеспечивает хорошее смачивание и адгезию к спаиваемым материалам. В процессе пайки не происходит появления посторонних структурных образований. Присутствие примесей стронция и серы объясняется близким расположением дифракционных максимумов этих элементов к элементам припоя.

Испытания режущих пластин с напайными режущими элементами проводили на ОАО «Оршанский инструментальный завод» на токарно-винторезном станке 16К20 (рис. 10, *a*) на заготовках из стали ХВГ с твердостью HRC в пределах 47–62 и из стали ШХ15 с твердостью HRC 57–58 при чистовом точении. Внешний вид заготовок после испытаний представлен на рис. 10, *b*.

Режимы резания варьировались в следующих пределах: продольная подача – 0,1 мм/об; глубина резания – 0,2–0,3 мм; скорость резания – 155–170 м/мин. Критерием для оценки режущих свойств СТМ по результатам стойкостных испытаний служил износ резца по задней грани 0,4 мм. Шероховатость обработанной поверхности заготовок соответствовала 6–8-му классам чистоты.

возможно только при наличии в смеси свободного углерода, который мог образоваться в результате взаимодействия кобальта с карбидом вольфрама по предположительной реакции



Образовавшийся свободный углерод приводит к увеличению его концентрации в карбиде  $\text{W}_2\text{C}$  и появлению монокарбида вольфрама  $\text{WC}$ . Так как избыточный углерод аморфного типа, то этим объясняется бесструктурный вид поверхности пластины после прожога. Углерод, появившийся в результате этой реакции, необходим для протекания этой реакции в обратном направлении. В случае его нехватки в процессе охлаждения фаза  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  может

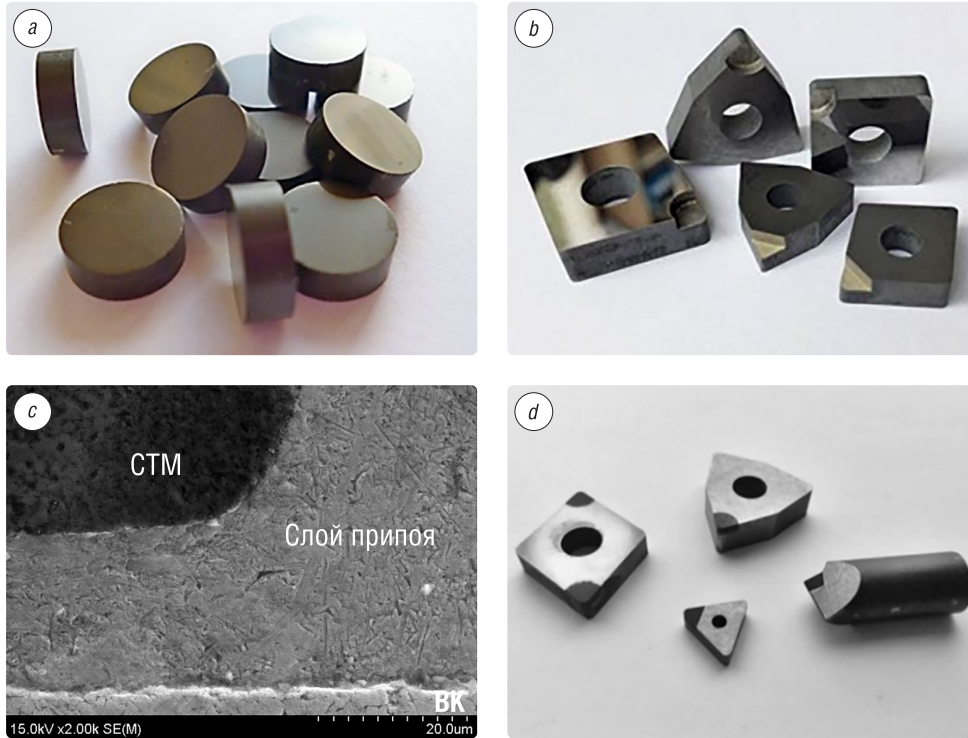


Рис. 8. Внешний вид режущих элементов из ШМ (a); твердосплавные пластины различной конфигурации после электроэрозионной обработки (b); соединение твердосплавной режущей пластины и керамического режущего элемента,  $\times 2000$  (c); режущие пластины после механической обработки (d)

Fig. 8. The appearance of the cutting elements of the SHM (a); hard-alloyed plates of various configurations after electro-erosion treatment (b); join hard-alloyed plate and ceramic cutting element,  $\times 2000$  (c); cutting plates after machining (d)

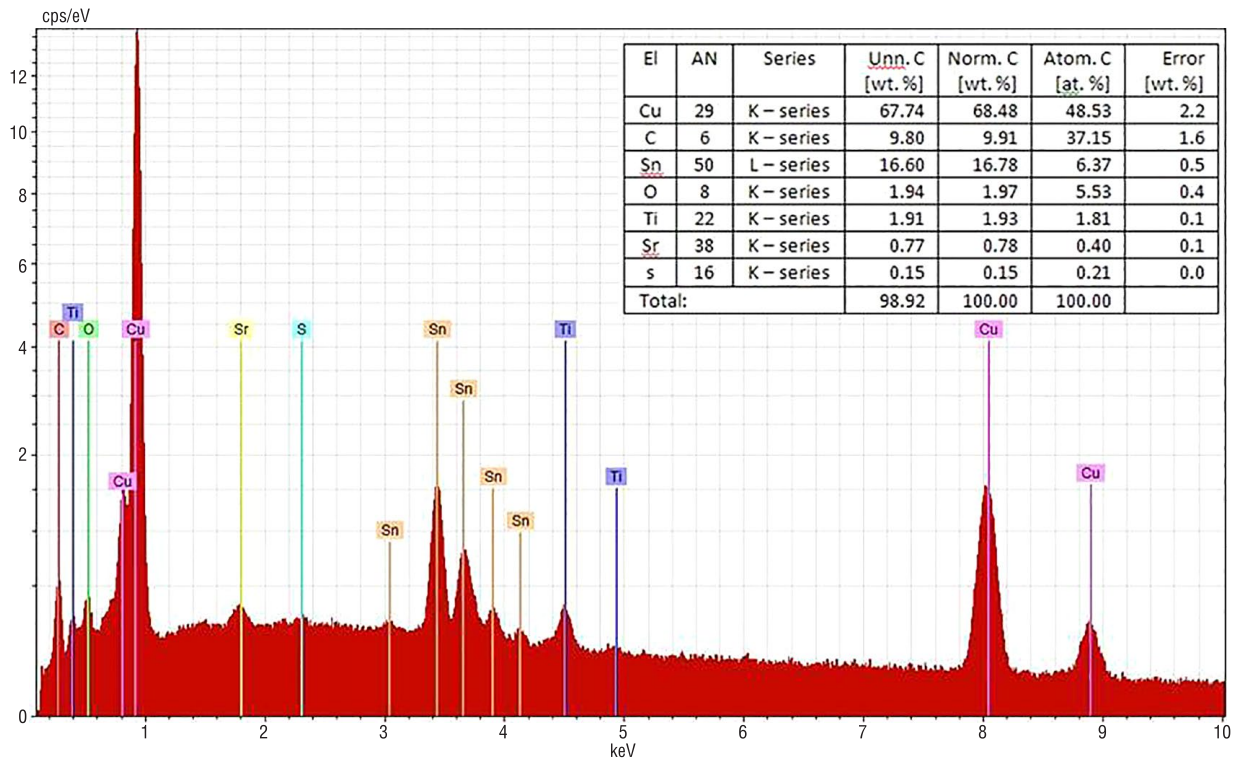


Рис. 9. Диаграмма рентгеноспектрального микрозондового анализа припоя состава Cu-Ti-Sn  
 Fig. 9. Diagram of X-ray microprobe analysis of Cu-Ti-Sn solder composition





Рис. 10. Проведение испытаний режущего инструмента (а); внешний вид заготовок после испытаний (b)

Fig. 10. Testing the cutting tool (a); the appearance of the blanks after the test (b)

**Заключение.** Таким образом, использование медного электрода и латунной проволоки при электроэрозионной обработке твердосплавной пластины для подготовки поверхности и применение припоя на основе Cu–Ti–Sn позволяют получить надежное паяное соединение с отсутствием в нем пор и остатков флюса, вызывающих коррозию. Применение этих составляющих в технологии высокотемпературной вакуумной пайки обеспечивает максимальную смачиваемость поверхности твердосплавной пластины припоем, что приводит к получению наилучших результатов и наиболее прочного сцепления спаиваемых материалов.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке ГНТП «Ресурсосбережение, новые материалы и технологии-2015, 2020», подпрограмма «Алмазы и сверхтвердые материалы» (Договор № 84/3.69).

Авторы выражают благодарность доктору технических наук Л. И. Поболу (Физико-технический институт НАН Беларуси) за оказание помощи в электроэрозионной обработке твердосплавной пластины графитовым электродом.

### Acknowledgements

The work was carried out with the financial support of SSTP “Resource Saving, New Materials and Technologies-2015, 2020”, subprogram “Diamonds and superhard materials” (Agreement № 84/3.69).

The authors are grateful to Dr. Sc. (Engineering) L. I. Pobol (Physics-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus) for assisting in the electro-erosion treatment of hard-alloyed plate with graphite electrode.

### Список использованных источников

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.: ил. (Б-ка инструментальщика).
2. Общий каталог MITSUBISHI, 2016–2018 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mitsubishimaterials.ru/page445957.html>
3. Каталоги Seco (инструмент Секо). Токарная обработка, 2015 [Электронный ресурс] // Твердый сплав. – Режим доступа: <http://tverdysplav.ru/katalogi-seco-instrument-seco/>
4. Металлорежущий станочный инструмент [Электронный ресурс] // Каталог инструмента Pramet, 2017. – Режим доступа: <http://utpk-instrument.kharkov.ua/producers-promo.html>
5. Cutting Tools [Электронный ресурс] // Каталог фирмы Korloy, 2013. – Режим доступа: <http://www.helmacnc.com/korloy-cutting-tools-catalogue/>
6. Металлорежущий инструмент [Электронный ресурс] // Каталог фирмы Microbor, 2010. – 135 с. – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1296189/>
7. Основной каталог по токарной обработке [Электронный ресурс] // ZCC Cutting Tools Europe GmbH, 2018. – Режим доступа: <https://www.zccst-europe.net/web/index.php/ru/produkte-ru/drehen-ru/441-hauptkatalog-drehen-3>
8. Новый сверхтвердый нанокompозит на основе кубического нитрида бора и тугоплавких соединений // В.С. Урбанович [и др.] // Наноструктурные материалы – 2014: Беларусь – Россия – Украина (НАНО-2014): материалы IV Междунар. науч. конф., Минск, 7–10 окт. 2014 г. / редкол.: П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2014. – С. 196–197.
9. Новый сверхтвердый нанокompозит на основе тугоплавких нитридов: получение, свойства, применение / В.С. Урбанович [и др.] // Наноструктурные материалы: технологии, свойства, применение: сб. науч. ст. – Минск: Беларус. наука, 2017. – С. 128–143.
10. Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувилин. – М.: МИСИС, 2001. – 428 с.
11. Исследование физико-химических взаимодействий, протекающих в вольфрамокобальтовых порошковых смесях при жидкофазном спекании / А.Г. Тюрин [и др.] // Ползунов. вестн. – 2012. – № 3/1. – С. 92–95.

## References

1. Bogatyreva G. P., Burykin V. V., Gargin V. V., Novikov N. V., Klimentko S. A. (et al.). *Tools from Superhard Materials*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2014. 608 p. (in Russian).
2. *General Catalog MITSUBISHI, 2016–2018*. Available at: <http://mitsubishimaterials.ru/page445957.html>
3. Seco Catalogs (Seco Tool). Turning, 2015. *Turning*. Available at: <http://tverdysplav.ru/katalogi-seco-instrument-seco/>
4. Metal-Cutting Machine Tool. *Pramet Tool Catalog*, 2017. Available at: <http://utpk-instrument.kharkov.ua/products-promo.html>
5. Cutting Tools. *Korloy Company Catalog*, 2013. Available at: <http://www.helmancnc.com/korloy-cutting-tools-catalogue/>
6. Metal Cutting Tools. *Catalog of Companies Microbor*, 2010. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1296189/>
7. The Main Catalog for Turning. *Company ZCC Cutting Tools Europe GmbH*, 2018. Available at: <https://www.zccct-europe.net/web/index.php/ru/produkte-ru/drehen-ru/441-hauptkatalog-drehen-3>
8. Urbanovich V. S., Solonenko T. D., Lavysh E. O., Lutay V. F., Matyushevskii S. I., Gameza L. M. New superhard nanocomposite based on cubic boron nitride and refractory compounds. *Nanostrukturnyye materialy–2014: Belarus' – Rossiya – Ukraina (NANO-2014): materialy IV Mezhdunar. nauch. konf.* [Nanostructured Materials – 2014: Belarus – Russia – Ukraine (NANO-2014): Proceedings IV International scientific conference]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2014, pp. 196–197 (in Russian).
9. Urbanovich V. S., Malikina T. D., Lavysh E. O., Shloma E. N., Grigor'ev S. V., Jaworska L., Klimczyk P., Rosmus M., Cygan S., Volosatnikov V. I., Matyushevskii S. I., Altunin S. V., Shemet A. D. New superhard nanocomposite based on refractory nitrides: production, properties, application. *Nanostrukturnyye materialy: tekhnologii, svoystva, primeneniye: sb. nauch. statey* [Nanostructured Materials: Technologies, Properties, Application: Coll. scientific articles]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2017, pp. 128–143 (in Russian).
10. Panov V. S., Chuvilin A. M. *Technology and Properties of Sintered Hard Alloys and Products from them*. Moscow, MISIS, 2001. 428 p. (in Russian).
11. Tyurin A. G., Losinskaya A. A., Popelyukh P. A., Veselov S. V. Study of physico-chemical interactions occurring in tungsten-cobalt powder mixtures during liquid-phase sintering. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky vestnik], 2012, no. 3/1, pp. 92–95 (in Russian).

## Информация об авторах

*Урбанович Владимир Степанович* – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией тугоплавкой керамики и наноматериалов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [urban@physics.by](mailto:urban@physics.by)

*Маликина Татьяна Дмитриевна* – научный сотрудник лаборатории тугоплавкой керамики и наноматериалов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [slonik\\_66@tut.by](mailto:slonik_66@tut.by)

*Лавыш Елена Осиповна* – ведущий инженер лаборатории тугоплавкой керамики и наноматериалов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь).

*Шлома Елена Николаевна* – ведущий инженер лаборатории тугоплавкой керамики и наноматериалов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [shloma@physics.by](mailto:shloma@physics.by)

*Карась Светлана Михайловна* – научный сотрудник лаборатории тугоплавкой керамики и наноматериалов, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [cryciansm@gmail.com](mailto:cryciansm@gmail.com)

## Information about the authors

*Vladimir S. Urbanovich* – Ph. D. (Physics and Mathematics), Head of the Laboratory of Refractory Ceramics and Nanomaterials, Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [urban@physics.by](mailto:urban@physics.by)

*Tatiana D. Malikina* – Researcher of the Laboratory of Refractory Ceramics and Nanomaterials, Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [slonik\\_66@tut.by](mailto:slonik_66@tut.by)

*Elena O. Lavysh* – Leading engineer of the Laboratory of Refractory Ceramics and Nanomaterials, Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

*Elena N. Shloma* – Leading engineer of the Laboratory of Refractory Ceramics and Nanomaterials, Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [shloma@physics.by](mailto:shloma@physics.by)

*Svetlana M. Karas* – Researcher of the Laboratory of Refractory Ceramics and Nanomaterials, Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [cryciansm@gmail.com](mailto:cryciansm@gmail.com)