

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИХ ОБЛУЧЕНИИ ГАЗОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПУЧКОМ ИОНОВ АРГОНА И ЦИРКОНИЯ

**В.В. Акимов¹, А.Ф. Мишуров¹, Д.А. Негров²,
Я.А. Сидорова¹, В.Ю. Путинцев²**

¹ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, Россия,

² Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Рассматривается способ повышения микротвердости поверхности безвольфрамового твердого сплава на основе карбида титана со связующей фазой из интерметаллида никелида титана (TiNi). Известно, что матрица в твердых композиционных материалах должна проявлять способность к произвольному формообразованию в процессе деформации композита, а также хорошо упрочняться и хорошо смачивать твердые частицы, обеспечивая прочную связь по границам фаз и высокую плотность при спекании. Повышение прочностных свойств и твердости композиционных материалов достигают совершенствованием микроструктуры, устранением дефектов в их строении при улучшении процессов смачивания связующей фазой. Экспериментально установлено, что процесс облучения поверхности отполированных образцов ионами Ag⁺ и Zr⁺ с энергией около 20 кэВ и дозой 10¹⁷ ион/см² твердого сплава приводит к значительному изменению микротвердости материала за счет образования закалочных точечных дефектов, возникающих при интенсивном нагреве и охлаждении образцов композита. В результате имплантации образцов твердых сплавов структура формируется в крайне неравновесных условиях взаимодействия поверхности безвольфрамового сплава с концентрированным потоком энергии и вещества. Поэтому этот метод повышения прочности и микротвердости является перспективным способом повышения износостойкости дезинтеграторных бил и металлокерамических зубьев, используемых в дорожно-строительных машинах для ремонта дорожного покрытия. Кроме того, изменение температуры, возникающей при облучении твердых сплавов системы TiC–TiNi, играет значительную роль в формировании его структуры и изменении микротвердости на поверхности образцов.

Ключевые слова: безвольфрамовый твердый сплав, тугоплавкие соединения, микротвердость, композит, имплантация, ионы, доза, связующая фаза, металлокерамические зубья.

Введение

Безвольфрамовые композиционные материалы обладают свойствами, уровень которых должен приближаться или достигать свойств традиционных вольфрамсодержащих твердых сплавов. Поэтому разработка новых или улучшение качества существующих твердых сплавов является актуальной задачей.

В настоящее время ведутся серьезные исследования по созданию новых композиционных материалов на основе тугоплавких соединений и созданию композиций с различными связующими фазами. Улучшение свойств твердых сплавов достигается за счет изменения карбидной составляющей, улучшения

прочностных свойств связующей матрицы при наличии хорошей смачиваемости карбидов жидкой связующей фазой.

Следует отметить, что матрица в твердых композиционных материалах должна проявлять способность к произвольному формообразованию в процессе деформации композита, а также хорошо упрочняться и смачивать твердые частицы, обеспечивая прочную связь по границам фаз и высокую плотность при спекании материала [1]. Причем выбор связующей фазы с выполнением перечисленных свойств позволяет значительно повысить вязкость твердого композита с сохранением высокой прочности и твердости.

Повышение прочностных свойств и твердости твердых сплавов достигают совершенствованием микроструктуры, устранением дефектов в их строении за счет улучшения процессов смачивания связующей фазой. Сейчас накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал по улучшению прочности, твердости и пластичности, но значительного улучшения свойств твердых сплавов таким образом не было достигнуто, что говорит о необходимости дальнейших исследований композиционных материалов с различными структурами и свойствами и методами их обработки.

В данной работе рассматривается способ повышения микротвердости поверхности безвольфрамового твердого сплава на основе карбида титана со связующей фазой из интерметаллида TiNi с использованием экспериментальной методики и метода расчета.

Установлено, что в процессе имплантации поверхности отполированных образцов ионами Ag^+ и Zr^+ энергией около 20 кэВ и дозой 10^{17} ион/см² твердого сплава происходит значительное изменение микротвердости материала за счет образования закалочных точечных дефектов, возникающих при интенсивном нагреве и охлаждении образцов композита. Распределение точечных дефектов согласуется с поверхностным изменением микротвердости образцов твердых сплавов.

При облучении образцов твердых сплавов структура формируется в крайне неравновесных условиях взаимодействия поверхности безвольфрамового сплава с концентрированным потоком энергии и вещества. Изменение температуры, возникающей при облучении твердых сплавов системы TiC–TiNi, играет определенную роль в формировании его структуры и изменении микротвердости на поверхности образцов.

Анализ работ за последние 10–15 лет показывает, что в настоящее время необходимо вести исследования в области создания новых композиционных материалов, которые могли бы заменить дефицитные металлы, вольфрамодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы.

Цель работы

Самым распространенным методом изучения прочностных свойств материалов является определение микротвердости H_ц, который позволит исследовать локальные области малых размеров зерна, субзерна, прослойки

различных фаз в результате варьирования нагрузки на индентор [2–4].

Методика исследования

Твердые безвольфрамовые сплавы готовили из смеси спрессованных порошков карбида титана (ТУ-48-19-73) и никелида титана (ТУ-14-127-104-48). Размер исходных частиц карбида титана составляет 0,5–10 мкм, никелида титана – 5–50 мкм, ультрадисперсные порошки (УДП) TiC – 200–500 Нм, синтезированные в низкотемпературной плазме.

Аморфный бор марки ОЧ, вводимый в твердый сплав для раскисления примесей и улучшения взаимодействия интерметаллида TiNi с тугоплавким соединением TiC, имел размер частиц 0,05–1 мкм.

Порошки TiC, TiNi, TiC (УДП), В тщательно перемешивали с добавлением ацетона. Затем после их предварительной сушки в вакуумном шкафу смешивание компонентов осуществляли в механической мешалке в течение суток. Затем в хорошо перемешанную смесь порошков двух составов (50 TiC – 49,5 TiNi – 0,5 В) об. % и (40 TiC – 10 TiC (УДП) – 50 TiNi) об. %, добавляли 6%-ный раствор пластификатора (каучука) в чистом бензине. Затем, вновь перемешав смесь, сушили сутки при комнатной температуре с последующим просеиванием через сито с размером ячеек 800 мкм. Образцы для исследования получали методом холодного двухстороннего прессования под давлением 100–200 МПа в специальной пресс-форме, после чего проводили спекание в вакуумной лабораторной печи СШВ 1,25/25–И1–1Р00 при давлении не выше 0,1 МПа. Образцы готовили в виде цилиндров диаметром 18 мм и высотой 8–10 мм. Спекание проводили при быстром нагреве образцов до 1350 °С с малой выдержкой (3–10 мин) и последующим быстрым охлаждением. Таким способом можно достигнуть существенного измельчения структуры с одновременным снижением пористости и получением материала высокой прочности [5].

Плотность спеченного материала определяли гидростатическим взвешиванием. Фазовый состав сплавов контролировали на рентгеновской установке «Дрон-3,0» с фильтрованным Си-излучением [5–7].

Известно, что TiC так же, как и карбиды переходных материалов, обладает высокой хрупкостью, характерной для этого класса тугоплавких соединений. При обычных проч-

ностных испытаниях карбида титана при комнатной температуре имеет механизм хрупкого разрушения [7, 8]. Однако при относительно низких температурах он может обнаруживать способность к микротекучести, что определяется в процессе макромеханических испытаний вдавливанием [7–10].

В настоящей работе изучено изменение восстановленной микротвердости H_{μ} твердых безвольфрамовых сплавов на основе карбида титана с упрочняющей матрицей никелида титана в результате имплантации [11]. Ионная имплантация осуществлялась в вакууме ($\sim 10^{-4}$ торр) непрерывным газометаллическим пучком ионов аргона и циркония ($Ar^{+} + Zr^{+}$) с энергией в 20 кэВ, дозой 10^{17} ион/см², нескольких отполированных сторон образцов [12–20].

Результаты исследования и обсуждение

Имплантации подвергались твердые сплавы двух составов (50 TiC – 49,5 TiNi – 0,5 В) об. % и (40TiC – 10 TiC (УДП) – 50 TiNi) об. %. При помощи прибора измерения микротвердости ПМТ-3 определяли микротвердость отполированных образцов при постоянной нагрузке в 0,5 Н и времени приложения нагрузки в течение 10–15 с. Величина микротвердости H_{μ} вычислялась по формуле

$$H_{\mu} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (1)$$

где H_{μ} – микротвердость, ГПа; P – нагрузка на алмазную пирамиду, Н; d – диагональ отпечатка пирамиды, мкм.

Значения микротвердости образцов ТСКМ представлены в табл. 1–4.

Представленные экспериментальные значения микротвердости сплавов из 10 результатов измерений показали, что сплав состава (50 TiC – 49,5 TiNi – 0,5 В) об. % после имплантации поверхности образцов приводит к увеличению микротвердости на 2,65 ГПа. Аналогичные результаты измерений микротвердости твердого сплава (40 TiC – 10 TiC (УДП) – 50 TiNi) об. % после имплантации привели к увеличению микротвердости на 5,68 ГПа. А результаты измерения микротвердости вольфрамосодержащего сплава ВКЗМ после имплантации поверхности по 5 измерениям уменьшились на 3,91 ГПа, а у сплава Т30К4 уменьшились на 0,4 ГПа.

Таким образом, экспериментальное исследование микротвердости облученной поверхности образцов безвольфрамовых сплавов показало, что в тонком поверхностном слое (в несколько мкм) увеличение микротвердости составляет от (2,65–5,7) ГПа. Очевидно, в результате облучения материала образуются закалочные точечные дефекты, вызванные интенсивным нагревом и охлаждением образцов. После облучения поверхности исследуемых образцов газометаллическим пучком ионов аргона и циркония в вакууме происходит увеличение микротвердости. Это увеличение микротвердости скорее всего связано с увеличением концентрации неравновесных точечных дефектов в поверхностном слое. Из экспериментальных данных следует, что среднее значение микротвердости безвольфрамовых

Таблица 1

Изменение микротвердости твердого сплава (50 TiC – 49,5 TiNi – 0,5 В) об. %
после имплантации ионами аргона и циркония

№	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость до имплантации H_{μ} , ГПа	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость после имплантации H_{μ} , ГПа
1	32	9,25	28	12,16
2	30	10,57	27	13,28
3	39	6,26	28	12,16
4	34	8,29	26	14,20
5	35	7,65	30	10,57
6	36	7,29	31	9,91
7	34	8,29	32	9,25
8	32	9,25	30	10,57
9	32	9,25	31	9,91
10	30	10,57	29	11,23
		$H_{\mu_{cp}} = 8,67$		$H_{\mu_{cp}} = 11,32$

Таблица 2

Изменение микротвердости твердого сплава (40 TiC – 10 TiC (УДП) – 50 TiNi) об. % после имплантации ионами аргона и циркония

№	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость до имплантации Н μ , ГПа	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость после имплантации Н μ , ГПа
1	44	4,88	34	8,29
2	45	4,67	29	11,23
3	49	3,97	34	8,29
4	43	5,11	31	9,91
5	45	4,67	32	9,25
6	45	4,67	30	10,57
7	50	3,82	31	9,91
8	48	4,12	28	12,16
9	47	4,30	31	9,91
10	45	4,61	28	12,16
		Н μ_{cp} = 4,49		Н μ_{cp} = 10,17

Таблица 3

Изменение микротвердости вольфрамосодержащего твердого сплава ВКЗМ

№	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость до имплантации Н μ , ГПа	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость после имплантации Н μ , ГПа
1	24	16,70	27	13,28
2	25	15,38	23	18,02
3	21	21,64	26	14,20
4	20	23,69	29	11,29
5	22	19,58	21	21,65
		Н μ_{cp} = 19,40		Н μ_{cp} = 15,69

Таблица 4

Изменение микротвердости вольфрамосодержащего твердого сплава Т30К4

№	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость до имплантации Н μ , ГПа	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость после имплантации Н μ , ГПа
1	28	12,16	27	13,28
2	26	14,20	32	9,25
3	33	8,77	32	9,25
4	32	9,25	30	10,57
5	30	10,57	30	10,57
		Н μ_{cp} = 10,99		Н μ_{cp} = 10,57

твердых сплавов после имплантации поверхности образцов незначительно отличаются по микротвердости вольфрамосодержащих твердых сплавов ВКЗМ и Т30К4.

Проведенные исследования в работе позволяют сделать вывод, что безвольфрамовые твердые сплавы на основе TiC со связующей фазой из никелида титана обладают достаточно высокой микротвердостью вследствие их

имплантации пучком ионов аргона и циркония. Поэтому этот метод упрочнения сплавов является перспективным способом повышения прочности и твердости дезинтеграторных бил и металлокерамических зубьев, работающих в условиях интенсивного износа и значительных динамических нагрузок и абразивного износа в дорожно-строительных машинах, используемых для ремонта дорожного покрытия.

Литература

1. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, В.И. Данилов и др. – Новосибирск: Наука. Сибир. отд-ние, 1990. – С. 187–201.
2. Григорович, А.К. Твердость и микротвердость металлов / А.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
3. Акимов, В.В. Исследование микротвердости безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбида титана / В.В. Акимов // Вестник ИГТУ. – 2005. – № 3 (23). – С. 121–124.
4. Влияние термообработки на изменение микротвердости и фазовый состав твердых сплавов TiC–TiNi / В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, М.С. Корытов и др. // Омский научный вестник. – 2006. – № 9 (46). – С. 31–33.
5. Акимов, В.В. Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC–TiNi / В.В. Акимов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – № 6. – С. 33–35.
6. Брандон, Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан. – М.: Техносфера, 2004. – 384 с.
7. Раковский, В.С. Спеченные материалы в технике / В.С. Раковский. – М.: Металлургия, 1998. – 263 с.
8. Панов, В.С. Твердые сплавы WC–Co, легированные карбидом тантала. Обзор / В.С. Панов, А.А. Зайцев // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 2. – С. 44–48.
9. Андриевский, Р.А. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: справ. / Р.А. Андриевский, И.И. Спивак. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 368 с.
10. Андриевский, Р.А. Нанокмозиты на основе тугоплавких соединений: состояние разработок и перспективы / Р.А. Андриевский // Материаловедение. – 2006. – № 4. – С. 20–26.
11. Русинов, П.О. Структурные и технологические закономерности формирования поверхностных слоев из материала с эффектом памяти формы высокоскоростным газопламенным напылением / П.О. Русинов, Ж.Н. Бледнова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2014 – № 6. – С. 322–329.
12. Хейфец, М.Л. Физико-химический структурный анализ строения материалов от химической неупорядоченности к неравновесной термодинамике / М.Л. Хейфец, А.Г. Колмаков, С.А. Клименко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2017. – № 2 (39). – С. 65–72.
13. Мартенситные превращения в никелиде титана ионно-плазменного напыления TiN покрытия / В.В. Клубович, В.В. Рубаник и др. // Материалы, технологии, инструменты. – 2013. – Т. 18, № 2. – С. 47–51.
14. Блейхер, Г.А. Теплоперенос в твердом теле под действием мощных пучков заряженных частиц / Г.А. Блейхер, В.П. Кривобоков, О.В. Пащенко. – Новосибирск: Наука, 1999. – 176 с.
15. Постников, Д.В. Модель перераспределения элементов в сталях при облучении пучками заряженных частиц / Д.В. Постников // Омский научный вестник. – 2006. – № 9 (46). – С. 33–36.
16. Гулькин, А.В. Перераспределение элементов при импульсном облучении пучками заряженных частиц / А.В. Гулькин, Д.В. Постников, С.В. Плотников // Труды IV международной научной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». – Томск, 2004. – С. 354.
17. Изменение химического состояния и концентрации железа в углеродных нанотрубках, полученных методом CVD и подвергнутых импульсному ионному облучению / П.М. Корусенко, С.Н. Несов, В.В. Болотов и др. // Физика твердого тела. – 2017. – Т. 59, № 10. – С. 2019–2026.
18. Влияние импульсного ионного пучка на электронную структуру атомов азота в многостенных углеродных нанотрубках, легированных азотом / В.В. Болотов, П.М. Корусенко, С.Н. Несов и др. // Омский научный вестник. – 2016. – № 4 (148). – С. 119–122.
19. Модифицированные структуры фазового состава композитов с применением композитов на основе массивов МУНТ и оксида олова с применением мощного ионного облучения / С.Н. Несов, П.М. Корусенко, С.Н. Поворознюк, В.В. Болотов // Химия под знаком СИГМА: Исследования, инновации, технологии. Тезисы докладов V Всероссийской научно-молодежной школы-конференции. – 2016. – С. 257.
20. Changes of the electronic structure of the atoms of nitrogen in nitrogen – doped multiwalled carbon nanotubes under the influence of pulsed ion radiation. / P.M. Korusenko, V.V. Bolotov, S.N. Nesov et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions Materials and Atoms. – 2015. – Vol. 358. – P. 131–135. DOI: 10.1016/j.nimb.2015.06.009

Акимов Валерий Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры автомобилей, конструкционных материалов и технологий, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск.

Мишуров Александр Федорович, заведующий лабораториями кафедры автомобилей, конструкционных материалов и технологий, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск.

Негров Дмитрий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры машиностроения и материаловедения, Омский государственный технический университет, г. Омск.

Сидорова Яна Александровна, учебный мастер кафедры автомобилей, конструкционных материалов и технологий, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск.

Путинцев Виталий Юрьевич, ассистент кафедры машиностроения и материаловедения, Омский государственный технический университет, г. Омск, putintsev_vit@mail.ru.

Поступила в редакцию 19 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/met190403

CHANGING THE MICROHARDNESS OF ABSOLUTE SOLID ALLOYS WITH THEIR IRRADIATION OF A GAS-METALLIC BEAK OF ARGON AND ZIRCONIUM IONS

**V.V. Akimov¹, A.F. Mishurov¹, D.A. Negrov², Ya.A. Sidorova¹,
V.Yu. Putintsev², putintsev_vit@mail.ru**

¹ Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation,

² Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

In this paper, we consider a method for increasing the microhardness of the surface of a tungsten carbide based on titanium carbide with a titanium nickelide (TiNi) intermetallide. It is known that the matrix in solid composite materials should exhibit the ability to randomly form during the deformation of the composite, and also to harden and wet the solid particles well, providing a strong bond over the phase boundaries and a high density during sintering. The increase in the strength properties and hardness of composite materials is achieved by improving the microstructure, eliminating defects in their structure, while improving the wetting processes of the bonding phase. It has been experimentally established that the process of irradiating the surface of polished samples with Ar⁺ and Zr⁺ ions with an energy of about 20 keV and a dose of 10¹⁷ ion/cm² of a hard alloy leads to a significant change in the microhardness of the material due to the formation of quenching point defects that arise upon intensive heating and cooling of composite samples. As a result of the implantation of solid alloys, the structure is formed in highly nonequilibrium conditions of interaction of the surface of a non-slippery alloy with a concentrated flow of energy and matter. Therefore, this method of increasing strength and microhardness is a promising way to increase the wear resistance of disintegrator beams and cermet teeth used in road construction machines for repairing road surfaces. In addition, a change in the temperature arising upon irradiation of solid alloys of the TiC–TiNi system plays a significant role in the formation of its structure and in the change in microhardness on the surface of the samples.

Keywords: tungsten-free, refractory compounds, microhardness, composite, implantation, ions, dose, binding phase, cermet teeth.

References

1. Panin V.E., Grinyaev Yu.V., Danilov V.I. et al. *Strukturnyye urovni plasticheskoy deformatsii i razrusheniya* [Structural levels of plastic deformation and fracture]. Novosibirsk, Nauka, Sib. otделение Publ., 1990, pp. 187–201.
2. Grigorovich A.K. *Tverdost' i mikrotverdost' metallov* [Hardness and microhardness of metals]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 230 p.
3. Akimov V.V. [Investigation of microhardness of hard alloys based on titanium carbide]. *Vestnik IGTU*, 2005, no. 3 (23), pp. 121–124. (in Russ.)
4. Akimov V.V., Mishurov A.F., Korytov M.S. et al. [Effect of heat treatment on the change in microhardness and phase composition of solid TiC–TiNi alloys]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2006, no. 9 (46), pp. 31–33. (in Russ.)
5. Akimov V.V. [Mechanism of liquid-phase sintering of carbide composites TiC–TiNi]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 2006, no. 6, pp. 33–35. (in Russ.)
6. Brandon D., Kaplan U. *Mikrostruktura materialov. Metody issledovaniya i kontrolya* [Microstructure of materials. Methods of research and control]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2004, 384 p.
7. Rakovsky V.S. *Spechennyye materialy v tekhnike* [Sintered materials in engineering]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1998, 263 p.
8. Panov V.S., Zaitsev A.A. [Solid alloys WC–Co, doped with tantalum carbide]. *Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya*, 2015, no. 2, pp. 44–48. (in Russ.)
9. Andrievsky R.A., Spivak I.I. *Prochnost' tugoplavkikh soyedineniy i materialov na ikh osnove: spravochnik* [Strength of refractory compounds and materials based on them: reference]. Chelyabinsk, Metallurgiya Publ., 1989, 368 p.
10. Andrievsky R.A. [Nanocomposites based on refractory compounds: the state of development and prospects]. *Materialovedenie*, 2006, no. 4, pp. 20–26. (in Russ.)
11. Rusinov P.O., Blednova Zh.N. [Structural and technological regularities in the formation of surface layers from a material with shape memory effect by high-speed gas-flame spraying]. *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*, 2014, no. 6. pp. 322–329. (in Russ.)
12. Kheifets M.L., Kolmakov A.G., Klimenko S.A. [Physicochemical structural analysis of the structure of materials from chemical disorder to nonequilibrium thermodynamics]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2017, no. 2 (39), pp. 65–72. (in Russ.)
13. Klubovich V.V., Rubanik V.V. [Martensitic transformations in titanium nickelide of ion-plasma deposition of a TiN coating]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty*, 2013, vol.18, no. 2, pp. 47–51. (in Russ.)
14. Bleicher, V.P. Krivobokov, Pashchenko O.V. *Teplomassoperenos v tverdom tele pod deystviyem moshchnykh puchkov zaryazhennykh chastits* [Heat and mass transfer in a solid under the action of powerful beams of charged particles]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 176 p.
15. Postnikov D.V. [Model of the redistribution of elements in steels when irradiated with beams of charged particles]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2006, no. 9 (46), pp. 33–36. (in Russ.)
16. Gulkin A.V., Postnikov D.V., Plotnikov S.V. [Redistribution of elements during pulsed irradiation by beams of charged particles]. *Proceedings of the 4th Int. scientific conf. "Radiation-thermal effects and processes in inorganic materials"*, Tomsk, 2004, pp. 354. (in Russ.)
17. Korusenko P.M., Nesov S.N., Bolotov V.V., Povoroznyuk S.N., Pushkarev A.I., Knyazev E.V. Change in the chemical state and concentration of iron in carbon nanotubes obtained by the CVD method and subjected to pulsed ion irradiation. *Physics of the Solid State*, 2017, vol. 59, iss. 10, pp 2045–2052. DOI: 10.1134/s1063783417100249
18. Bolotov V.V., Korusenko P.M., Nesov S.N., Povoroznyuk S.N., Stenkin Yu.A. [Influence of a pulsed ion beam on the electronic structure of nitrogen atoms in multiwalled carbon nanotubes doped with nitrogen]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2016, no. 4 (148), pp. 119–122. (in Russ.)
19. Nesov S.N., Korusenko P.M., Povoroznyuk S.N., Bolotov V.V. [Modified structures of the phase composition of composites using composites based on MWNT and tin oxide using powerful ion irradiation]. *In the book: Chemistry under the sign of SIGMA: Research, innovation, technology. Abstracts of the V All-Russian Scientific and Youth School-Conference*, 2016, p. 257. (in Russ.)

20. Korusenko P.M., Bolotov V.V., Nesov S.N., Povoroznyuk S.N., Khailov T.P. Changes of the electronic structure of the autos of nitrogen in nitrogen – doped multiwalled carbon nanotubes under the influence of pulsed ion radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions Materials and Atoms*, 2015, vol. 358, pp. 131–135. DOI: 10.1016/j.nimb.2015.06.009

Received 19 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Изменение микротвердости безвольфрамовых твердых сплавов при их облучении газометаллическим пучком ионов аргона и циркония / В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, Д.А. Негров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 19–26. DOI: 10.14529/met190403

FOR CITATION

Akimov V.V., Mishurov A.F., Negrov D.A., Sidорова Ya.A., Putintsev V.Yu. Changing the Microhardness of Absolute solid Alloys with Their Irradiation of a Gas-Metallic Beak of Argon and Zirconium ions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 19–26. (in Russ.) DOI: 10.14529/met190403
