



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 669.66-9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030

 EDN: DCQJUC

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Артем Маратович Бадамшин¹, Владимир Степанович Ковивчак²,
Андрей Александрович Крутько³, Оксана Юрьевна Бургонова⁴

^{1,3,4} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

¹ Artembadamschin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6695-4945>

² Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, kvs_docent@mail.ru

³ A.A.Krutko@mail.ru

⁴ Oksbourg@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано влияния мощного ионного пучка наносекундной длительности на изменение морфологии, механических свойств и эксплуатационных характеристик металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16 (TiCN–Ni–Mo). Установлено, что воздействие мощного ионного пучка приводит к существенному изменению износостойкости режущих пластин при токарной обработке прутков из стали 40ХН. Определено оптимальное число импульсов облучения, при котором режущая пластина испытывает наименьший износ при проведении испытаний. С помощью растровой электронной микроскопии обнаружено, что воздействие мощного ионного пучка в диапазоне числа импульсов от 1 до 3 приводит к формированию однородного оплавленного поверхностного слоя образцов, что, в свою очередь, приводит к повышению их теплостойкости при температуре выдержки $T = 800$ °С. Исследовано влияние числа импульсов облучения мощного ионного пучка на микротвердость облученных образцов.

Ключевые слова: безвольфрамовые твердые сплавы, мощный ионный пучок, ионно-лучевая обработка, карбид титана, обработка металлов резанием, микротвердость, теплостойкость, морфология, поверхность.

Для цитирования: Модифицирование металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава КНТ16 мощным ионным пучком / А. М. Бадамшин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 237–244. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030. EDN: <https://elibrary.ru/DCQJUC>.

Original article

MODIFICATION OF METAL-CUTTING INSERTS FROM TUNGSTEN-FREE HARD ALLOY KNT16 POWERFUL ION BEAM

Artem M. Badamshin¹, Vladimir S. Kovivchak², Andrey A. Krutko³,
Oksana Yu. Burgonova⁴

^{1, 3, 4} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ Artembadamschin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6695-4945>

² Omsk State University F.M. Dostoevsky, kvs_docent@mail.ru

³ A.A.Krutko@mail.ru

⁴ Oksbourg@mail.ru

Abstract. *The influence of a powerful ion beam of nanosecond duration on the change in the morphology, mechanical properties and operational characteristics of metal-cutting inserts made of tungsten-free hard alloy grade KNT16 (TiCN-Ni-Mo) was studied in this work. It has been established that the impact of a powerful ion beam leads to a significant change in the wear resistance of cutting plates during turning of bars made of 40KhN steel. The optimal number of irradiation pulses is determined, at which the cutting plate experiences the least wear during testing. Using scanning electron microscopy, it was found that the impact of a powerful ion beam in the range of the number of pulses from 1 to 3 leads to the formation of a homogeneous melted surface layer of the samples, which, in turn, leads to an increase in their heat resistance at a holding temperature $T = 800$ °C. The effect of the number of high-power ion-beam irradiation pulses on the microhardness of irradiated samples has been studied.*

Keywords: *tungsten-free hard alloys, powerful ion beam, ion-beam machining, titanium carbide, metal cutting, microhardness, heat resistance, morphology, surface.*

For citation: Badamshin, A.M., Kovivchak, V.S., Krutko, A.A. & Burgonova, O.Yu. (2023). Modification of metal-cutting inserts from tungsten-free hard alloy KNT16 powerful ion beam. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 237-244. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030. EDN: <https://elibrary.ru/DCQJUC>.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск альтернативных аналогов традиционным вольфрамокобальтовым твердым сплавам является актуальной задачей современного материаловедения, что обусловлено высокой стоимостью и дефицитом их компонентов. Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе карбида или карбонитрида титана (TiC)/(TiCN), также именуемые керметами, находят всё более широкое распространение в качестве аналогов традиционных вольфрамокобальтовых твердых сплавов (ВКТС) для производства металлорежущего инструмента [1–2]. Их основное преимущество перед ВКТС заключается в более низкой стоимости, что обусловлено дефицитом и высокой стоимостью вольфрама [3]. Вместе с тем, известные в настоящее время марки БВТС наиболее распространены из которых являются КНТ16, ТН20, ТР1020, ТР1030, существенно уступают по прочностным и теплофизическим характеристикам

ВКТС, что понижает их ресурс и ограничивает область применения. Для решения данной проблемы в последние десятилетия активно проводятся исследования в области совершенствования состава и технологии изготовления БВТС [4–6]. Помимо этого, перспективным является и ряд альтернативных методов совершенствования эксплуатационных свойств БВТС, основанных на облучении пучками заряженных частиц (ионов и электронов). В результате подобных видов воздействия тонкие поверхностные слои твердосплавных материалов могут претерпевать существенные изменения морфологии, химического и фазового состава [7]. Это, в свою очередь, изменяет их физико-механические свойства.

Стоит отметить, что технология радиационно-пучкового модифицирования (РПМ) хорошо себя зарекомендовала в области совершенствования структуры и свойств традиционных ВКТС, о чём свидетельствует ряд работ [8–12]. Процессы, происходящие при модификации

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

БВТС, в настоящий момент изучены недостаточно, однако их исследование представляет большой научно-практический интерес.

Целью настоящей работы является комплексное исследование изменений морфологии, механических свойств и эксплуатационных характеристик металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16 при воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности (МИП).

МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были использованы трёхгранные съёмные металлорежущие пластины из БВТС марки КНТ16 (TiCN–Ni–Mo), химический состав и область применения которых нормированы в ГОСТ 26530-85.

Облучение образцов мощным ионным пучком проводилось с использованием ускорителя «ТЕМП» (ОмГУ им. Ф.М. Достоевского). Состав пучка: 30 % H⁺ + 70 % C⁺. Средняя энергия частиц E ~ 250 кэВ. Плотность тока пучка ~ 150 А/см². Число импульсов (n) составляло 1, 3, 5, 10.

Стойкостные испытания исходных и облученных пластин проводились на токарно-винторезном станке 1К62. Токарной обработке подвергались прутки из стали 40ХН (твердость материала в состоянии поставки составляла 19 HRC) диаметром d = 55 мм и длиной l = 0,8 м. Режимы точения были следующие: скорость резания – V = 70 м/мин.; глубина резания – t = 1 мм.; подача – S = 0,3 мм/об. Для снижения эффекта «биения» при токарной обработке был использован специальный люнет.

Исследование характера разрушения пластин проводилось с использованием оптического металлографического микроскопа Carl Zeiss (Carl Zeiss, Германия) при увеличении x 50 крат. Теплостойкость образцов в термической печи СНОЛ (СНОЛ, Россия) при температуре 800 °С в течение времени t = 20 минут. Образцы переносились в разогретую печь, а после выдержки охлаждались на спокойном воздухе. После выдержки образцов проводилось исследование их микроповерхности и определялось значение микротвердости. Исследование морфологии поверхности образцов БВТС проводилось методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе Jeol JCM-5700 (JEOL Ltd., Япония) в режиме вторичных электронов. Микротвердость образцов определялась с использованием микротвердомера Shimadzu HNV-2 (Shimadzu, Япония). Нагрузка на индентор составляла 0,98 Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены микрофотографии передних поверхностей исходной (а) и облученных с различным числом импульсов (б–д) пластин из сплава КНТ16 после проведения токарной обработки. На рисунке 1 (а) видно, что после токарной обработки с применением исходной пластины на поверхности образовалась развитая лунка длиной ~ 0,3 мм. Причина её образования, по всей видимости, связана с адгезионным взаимодействием стружки и инструмента и последующим её сходом вместе с частицами инструмента [13]. Анализ микрофотографий передних поверхностей пластин, облученных МИП, свидетельствует о значительном изменении их стойкостных характеристик. Испытания показали, что передняя поверхность пластины, однократно облученной МИП (рис. 1 (б)), имеет очаги разрушения в области стружколома, однако ярко выраженной лунки, как у исходной пластины, обнаружено не было.

На пластине, облученной МИП с числом импульсов n = 3 (рис. 1 (в)), ярко выраженных очагов разрушения не обнаружено. Дальнейшее увеличение числа импульсов МИП до 5 (рис. 1 (г)) и особенно до 10 (рис. 1 (д)) приводит к образованию крупных сколов, локализованных вблизи режущей кромки.

В таблице 1 представлены средние значения результатов определения микротвердости исследуемых образцов по девяти точкам. По данным таблицы видно: в результате однократного облучения МИП значение микротвердости возрастает незначительно. Наибольшее увеличение данного параметра происходит в результате трёхкратного облучения МИП. Дальнейшее увеличение числа импульсов приводит к резкому снижению микротвердости, причиной чего может служить рост микротрещин и охрупчивание поверхностных слоёв твердого сплава [8].

Таблица 1 – Среднее значение микротвердости исследуемых образцов

Table 1 - Mean microhardness of the studied samples

Образец	Среднее значение микротвердости HV, ед.
Исходный	1410
МИП n = 1	1483
МИП n = 3	1857
МИП n = 5	1156
МИП n = 10	1024

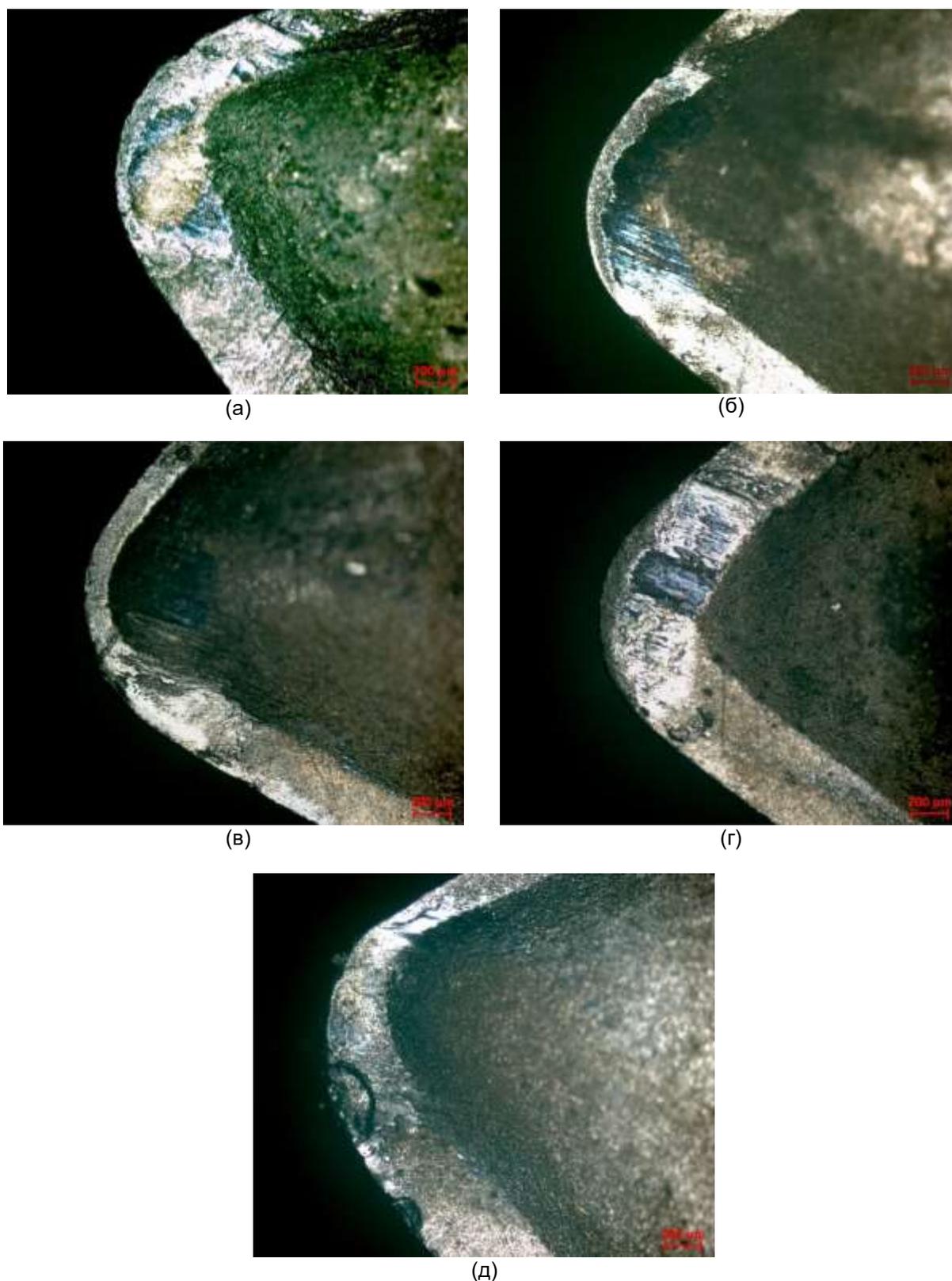


Рисунок 1 – Передняя поверхность исходной пластины (а), пластин, облученных МИП: (б) – 1 импульс; (в) – 3 импульса; (г) – 5 импульсов; (д) – 10 импульсов

Figure 1 - Front surface of the initial plate (a), plates irradiated with HPIB: (b) - 1 pulse, (c) - 3 pulses, (d) - 5 pulses, (e) - 10 pulses

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО
ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

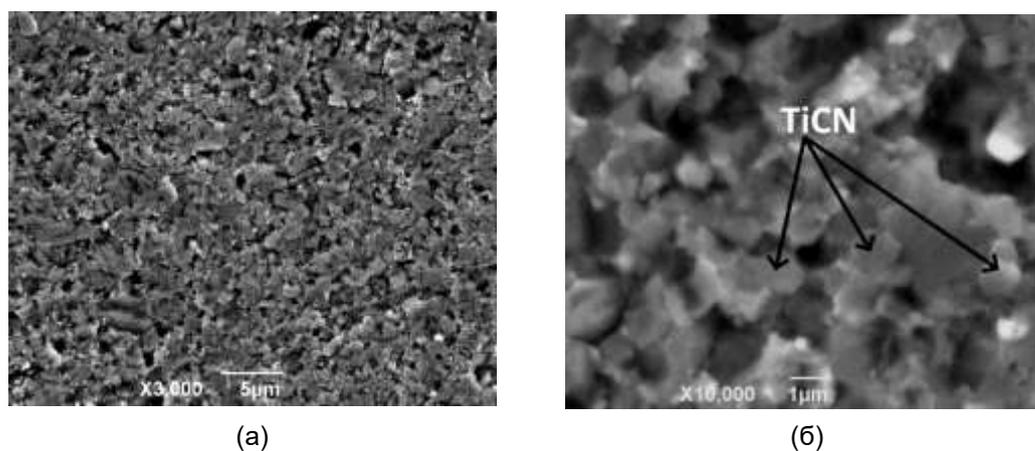


Рисунок 2 – РЭМ-изображение исходной поверхности сплава КНТ16:
(а) – x 3000, (б) – x 10000

Figure 2 - SEM-image of the initial surface of the KNT16 alloy:
(a) - x 3000, (b) - x 10000

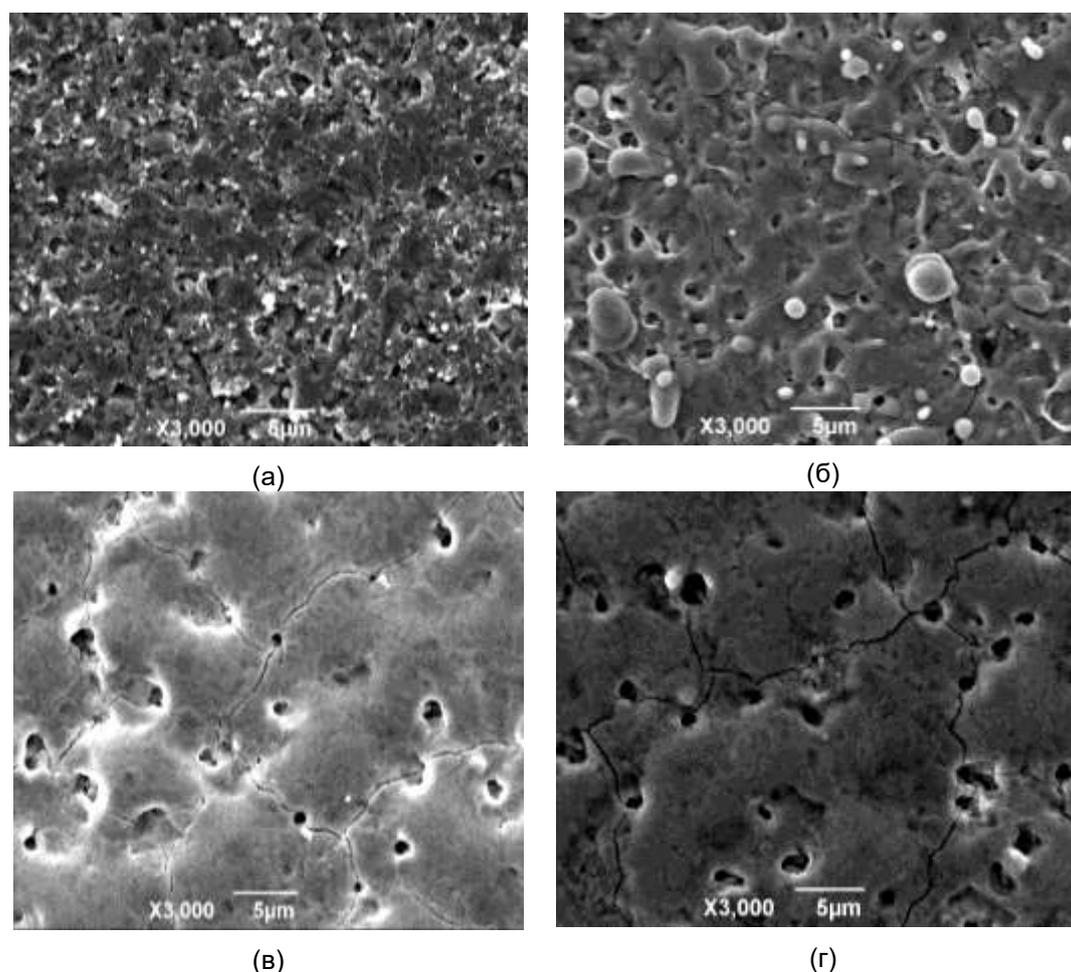


Рисунок 3 – РЭМ-изображения поверхности сплава КНТ16 после воздействия МИП:
(а) – 1 импульс; (б) – 3 импульса; (в) – 5 импульсов; (г) – 10 импульсов

Figure 3 - SEM images of the surface of the KNT16 alloy after exposure to HPIB:
(a) - 1 pulse, (b) - 3 pulses, (c) - 5 pulses, (d) - 10 pulses

РЭМ изображения поверхности образцов свидетельствуют о существенном изменении морфологии поверхности БВТС КНТ16 после ионной обработки. На рисунке 2 представлены РЭМ изображения поверхности твердого сплава в исходном состоянии. Поверхность данного образца представляет собой гетерогенную систему карбонитридных зёрен TiCN и никель-молибденовой связки. Ввиду мелкой дисперсности частиц БВТС идентификация зёрен (их характерный размер составляет ~ 1 мкм.) возможна лишь при весьма больших увеличениях (~ 10000 крат.). Помимо этого, по всей поверхности образца присутствуют поры размером ~ 1–2 мкм.

РЭМ изображения, модифицированных с различным числом импульсов МИП поверхностей БВТС, представлены на рисунке 3. Видно, что воздействие одного импульса МИП (рис. 3 (а)) приводит лишь к частичному оплавлению поверхности твердого сплава, что проявляется в

локальном появлении тёмных однородных участков с меньшей концентрацией пор.

Воздействие трёх импульсов МИП (рис. 3 (б)) приводит к формированию более однородного оплавленного слоя и снижению пористости.

Помимо формирования оплавленного слоя, на поверхности образуются трещины причиной появления, которых является фазовая неоднородность мишени и чрезвычайно высокие градиенты термомеханических напряжений в условиях термоударного нагружения при воздействии пучка [8]. Воздействие 5 и 10 импульсов МИП (рис. 3 (в, г)) приводит к ещё большему сглаживанию поверхности. При данных режимах обработки наблюдается ещё большее повреждение поверхностных слоёв, что проявляется в увеличении плотности микротрещин и ширины пор, что и приводит к хрупкому разрушению пластин в процессе резания.

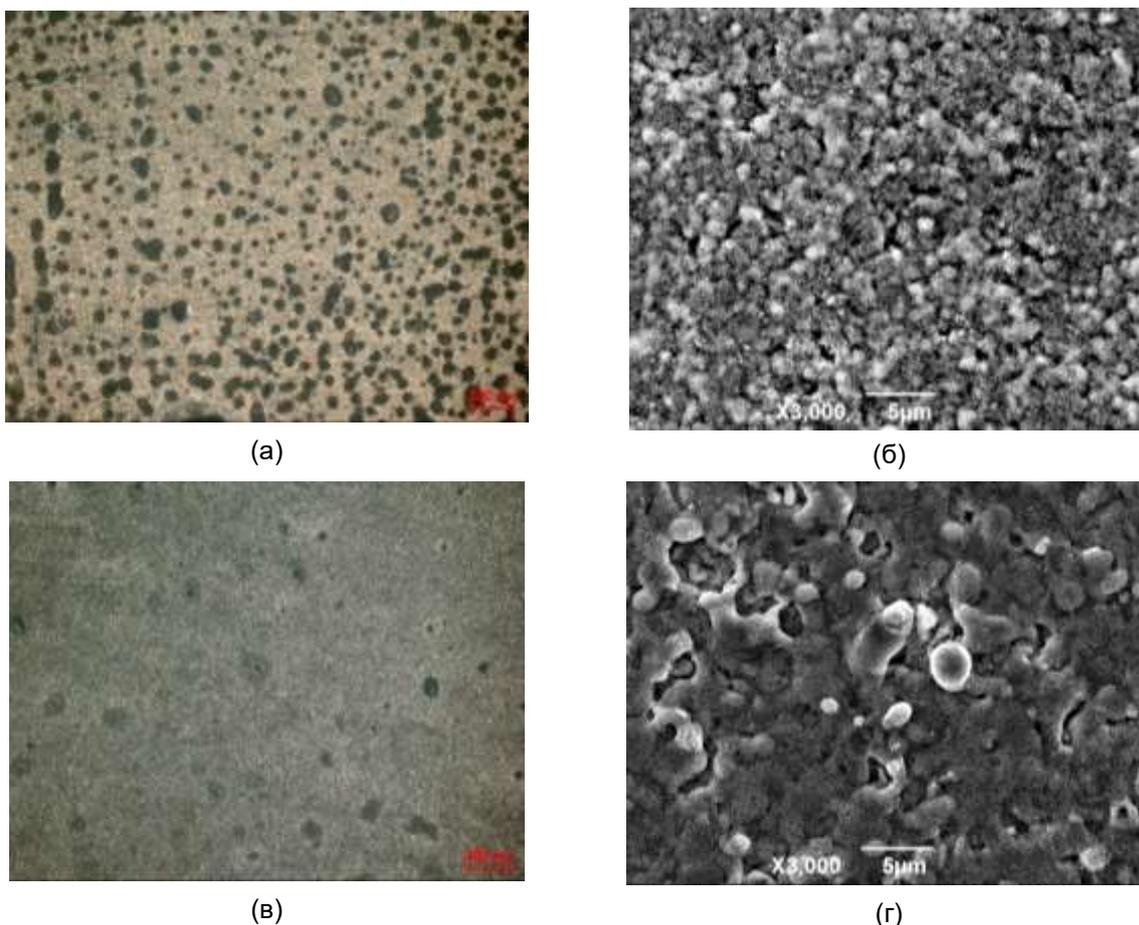


Рисунок 4 – Микроизображения изображения поверхности сплава КНТ16 после испытаний на теплостойкость: (а, б) – исходный образец; (в, г) – МИП 3 импульса; (а, в) – оптическая микроскопия; (б, г) – электронная микроскопия

Figure 4 - Microimages of the image of the surface of the KNT16 alloy after heat resistance tests: (a, b) - the original sample, (c, d) - HPiB 3 pulses. (a, c) - optical microscopy, (b, d) - electronic microscopy

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

На рисунке 4 представлены микроизображения поверхностных слоёв исходного (рис. 8 (а, б) и облученного тремя импульсами МИП (рис. 8 (в, г) образцов БВТС после испытаний на теплостойкость. На поверхности исходного образца (рис. 8 (а) видно образование коррозионных язв, средний размер которых составляет ~ 50–100 мкм. При этом на поверхности облученного образца (рис. 8 (в) количество язв существенно ниже, а их размеры и форма аналогичны. РЭМ-изображения БВТС свидетельствуют о том, что поверхность исходного образца является пористой, в то время как поверхность облученного образца более однородная.

Следует отметить, что средние значения микротвердости исходного и облученного образцов после проведения испытаний на теплостойкость существенно отличаются. Микротвердость исходного образца находилась в диапазоне ~ 980–1100 ед. HV. Примечательно, что в «коррозионных язвах» данное значение было существенно выше и составляло ~ 1400–1600 ед. HV. Значение микротвердости по поверхности облученного образца находилось в диапазоне ~ 1450–1600 ед. HV.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что воздействие мощного ионного пучка наносекундной длительности с числом импульсов $n = 3$ приводит к повышению износостойкости металлорежущих пластин из твердого сплава марки КНТ16 при проведении токарной обработки стали 40ХН. Обнаружено что данный режим облучения также приводит к повышению теплостойкости и микротвердости БВТС. Дальнейшее увеличение числа импульсов облучения негативно сказывается на данных свойствах из-за повреждения поверхностных слоёв БВТС при облучении.

Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности импульсной ионной модификации инструментов из безвольфрамовых твердых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние ионного облучения на микротвердость композиционного материала / В.В. Акимов [и др.] // Металлообработка. 2020. № 2(116). С. 31–36.
2. Изменение структурно-фазового состояния и физико-химических свойств безвольфрамовых твердых сплавов TiC-TiNi после различных видов ионно-лучевой обработки / В.В. Акимов [и др.] // Омский научный вестник. 2021. № 2(176). С. 5–9.
3. Панов В.С. Безвольфрамовые твердые сплавы: аналитический обзор // Материаловедение. 2019. № 10. С. 33–39.

4. Структура, фазовый состав и характер разрушения спеченных композиционных материалов TiC-NiTi / С.Н. Кульков, Т.М. Полетика, В.Е. Панин // Порошковая металлургия. 1983. № 7. С. 54–59.

5. Кульков С.Н., Рудай В.В. Микроструктура композиционного материала TiC-TiNi с микроградиентной структурно-неустойчивой матрицей // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. № 5–2(55). С. 166–169

6. Бурков П.В. Исследование свойств безвольфрамового твердого сплава при частичной замене титана молибденом // Перспективные материалы. 2002. № 3. С. 61.

7. Влияние ионного облучения на морфологию, элементный и химический состав поверхностных слоев безвольфрамовых твердых сплавов / А.М. Бадамшин [и др.] // Письма в Журнал технической физики. 2021. № 15(47). С. 19–22. DOI 10.21883/PJTF.2021.15.51228.18783.

8. Модификация твердого сплава T15K6 мощными импульсными ионными пучками и компрессионными плазменными потоками / В.В. Углов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 3. С. 63–68.

9. Получение градиентных композиций повышенной коррозионной стойкости и твердости методами ионной имплантации и химического модифицирования / В.Ф. Борбат [и др.] // Вестник Омского университета. 2004. № 3(33). С. 60–62.

10. Модификация твердых сплавов мощными ионными пучками и послерадиационной термической обработкой / Н.П. Калистратова [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 1999. № 1. С. 10–14.

11. Механизмы модификации структуры твердых сплавов / Г.И. Геринг [и др.] // Вестник Омского университета. 1997. № 2. С. 29–31

12. Упрочнение инструментальных материалов имплантацией ионов (Zr, b, n) и (Zr, b, Kr) / А.К. Кулешов [и др.] // Вакуумная техника и технология. 2011. № 4(21). С. 231–236.

13. Виды износа твердосплавных пластин при лезвийной обработке и методы борьбы с ними / Д.С. Реченко [и др.] // Омский научный вестник. 2015. № 3(143). С. 83–87.

Информация об авторах

А. М. Бадамшин – ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

В. С. Ковивчак – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и экспериментальной физики Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского.

А. А. Крутько – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

О. Ю. Бургонова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Akimov, V.V. [et al.]. (2020). The effect of ion irradiation on the micro-hardness of a composite material. *Metalloobrabotka*. 2(116). 31-36. (In Russ.).
2. Akimov, V.V. [et al.]. (2021). Changes in the structural-phase state and physicochemical properties of tungsten-free TiC-TiNi hard alloys after various types of ion-beam treatment. *Omsk Scientific Bulletin*. 2(176). 5-9. (In Russ.).
3. Panov, V.S. (2019). Tungsten-free hard alloys: an analytical review. *Materials Science*. (10). 33-39. (In Russ.).
4. Kulkov, S.N., Poletika, T.M. & Panin, V.E. (1983). Structure, phase composition and character of destruction of sintered composite materials TiC-NiTi. *Powder metallurgy*. (7). 54-59. (In Russ.).
5. Kulkov, S.N. & Rudai, V.V. (2012). Microstructure of a composite TiC-TiNi material with a microgradient structurally unstable matrix. *News of higher educational institutions*. *Phiz*. 5-2(55). 166-169. (In Russ.).
6. Burkov, P.V. (2002). Investigation of properties of a tungsten-free hard alloy with partial replacement of titanium with molybdenum. *Perspective materials*. (3). 61. (In Russ.).
7. Badamshin, A.M., Nesov, S.N., Kovivchak, V.S. (2021). The effect of ion irradiation on the morphology, elemental and chemical composition of the surface layers of tungsten-free solid alloys. *Letters to the Journal of Technical Physics*. 15(47). 19-22. (In Russ.). DOI 10.21883/PJTF.2021.15.51228.18783.
8. Uglov, V.V., Kuleshov, A.K., Remnev, G.E. [et al.]. (2011). Modification of the T15K6 hard alloy by powerful pulsed ion beams and compression plasma flows. *News of higher educational institutions*. *Powder metallurgy and functional coatings*. (3). 63-68. (In Russ.).

9. Borbat, V.F., Mukhin, V.A., Kozorog, I.B. [et al.]. (2004). Obtaining gradient compositions of increased corrosion resistance and hardness by ion implantation and chemical modification methods. *Bulletin of Omsk University*. 3(33). 60-62. (In Russ.).
10. Kalistratova, N.P., Poleshchenko, K.N., Goering, G.I. [et al.]. (1999). Modification of hard alloys by powerful ion beams and post-radiation thermal treatment. *Physics and Chemistry of materials processing*. (1), 10-14. (In Russ.).
11. Goering, G.I., Kalistratova, N.P. & Poleshchenko, K.N. (1997). Mechanisms of modification of the structure of hard alloys. *Bulletin of the Omsk University*. (2). 29-31. (In Russ.).
12. Kuleshov, A. K., Uglov, V.V. & Bryukhov, V.V. (2011). Hardening of instrumental materials by implantation of ions (Zr, b, n) and (Zr, b, Kg). *Vacuum technique and technology*. 4(21). 231-236. (In Russ.).
13. Rechenko, D.S., Yezhov, A.A., Balova, D.G. [et al.]. (2015). Types of wear of carbide plates during blade processing and methods of combating ni-mi. *Omsk Scientific Bulletin*. 3(143). 83-87. (In Russ.).

Information about the authors

A.M. Badamshin - Assistant of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

V.S. Kovivchak - Ph.D, Associate Professor of the Department of General and Experimental Physics, Dostoevsky Omsk State University.

A.A. Krutko - Ph.D, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

O.Yu. Burgonova - Ph.D, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 07 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.