

УДК 621.923.6.025  
DOI: 10.12737/17318

**А.С. Янышкин**, д.т.н., **П.В. Архипов**, к.т.н.,  
**Д.В. Лобанов**, д.т.н., **В.Ю. Попов**, к.т.н.,  
**Е.Д. Лосев**, старший преподаватель  
(Братский государственный университет, 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40)  
E-mail: yanyushkin@brstu.ru

## Качество поверхности после алмазной обработки безвольфрамовых твердых сплавов\*

*Рассмотрены основные преимущества и перспективы применения безвольфрамовых твердых сплавов в различных отраслях промышленности. Отмечены проблемы, связанные со сложностями их качественной обработки абразивными инструментами для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделий. Представлены результаты экспериментальных исследований качественного состояния поверхностных слоев твердосплавных изделий после комбинированной электроалмазной обработки материала марки ТН-20.*

**Ключевые слова:** безвольфрамовые твердые сплавы; шлифование; алмазный круг; металлическая связка; комбинированная обработка; инструментальные материалы.

**A.S. Yanyushkin**, d.en.s., **P.V. Arkhipov**, c.en.s.,  
**D.V. Lobanov**, d.en.s., **V.Yu. Popov**, c.en.s.  
**E.D. Losev**, senior lecturer  
(Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, 665709, Russia)

## Surface quality of tungstenfree hard alloys after diamond machining

*The quality parameters of TN-20 hard alloy after the diamond machining are determined. The technology of combined electro-diamond grinding, which allows resolving the problems of equipment modernization and definition of optimal machining conditions of tungstenfree hard alloys, is developed. The methods of metallographic and spectral analysis, which determined the reasons of low quality of surfaces of tungstenfree hard alloys after abrasive machining, are used. Based on the analysis of the research results, the combined electro-diamond grinding technology for improving the machining performance of parts from tungstenfree hard alloys, is recommended.*

**Keywords:** tungstenfreehard alloys; grinding; diamond wheel; metallic bond; combined machining; tool materials.

В связи с дефицитом вольфрама, как альтернатива вольфрамосодержащим, разработаны безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС). Они имеют ряд преимуществ по сравнению с вольфрамосодержащими твердыми сплавами по параметрам твердости, окалиностойкости, износостойкости при высоких температурах.

Безвольфрамовые твердые сплавы подразделяются на две группы:

– *первая* состоит из карбидов и карбонитридов титана с никельмолибденовой связкой. Они обозначаются буквами ТНМ или КТНМ, за которыми проставляется цифра, указывающая на содержание связки (ТНМ-20, ТНМ-25, КТНМ-30 и др.);

– *вторая* – карбидохромистые сплавы с никелевой связкой. Маркируются они буквами КХН с последующей цифрой, соответствующей содержанию никеля в процентах (КХН-20, КХН-30, КХН-35, КХН-40). Эти сплавы не окисляются на воздухе при нагреве до 1100 °С, хорошо сопротивляются износу, коррозионно-стойкие, обладают низкой склонностью к схватыванию.

Промышленность выпускает стандартные марки безвольфрамовых сплавов в соответствии с ГОСТ 26530-85. Наибольшее распространение получили БВТС марок ТН20 (на основе TiC) и КНТ16 (на основе TiCN), главным недостатком которых была невысокая прочность и нестабильность свойств.

В настоящее время для металлообработки

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-38-50624

создан целый ряд безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбида и карбонитрида титана, которые применяют в различных сферах производства. Широко используют твердые безвольфрамовые сплавы марок ТН20, ТН50, КТН16, ЛЦК20, ТВ4.

С учетом относительно низких значений теплостойкости и пластической прочности БВТС проведены исследовательские работы по улучшению их свойств за счет упрочнения связки или карбо-нитридной фазы. Результатом таких разработок стало появление новых марок БВТС с повышенными свойствами по хрупкой и пластической прочности.

Примером совершенствования БВТС могут служить сплавы ЛЦК20, карбо-нитридная фаза которых легирована цирконием, сплавы ТВ4, ЦТУ и НТН30, связки которых имеют заметно более высокую прочность и теплостойкость за счет легирования соответственно карбидом вольфрама, вольфрамом и карбидами титана и ниобия. Новая группа сплавов этого типа имеет повышенную эксплуатационную надежность и расширенную область применения.

Важной отличительной особенностью БВТС является их микроструктура, а именно присутствие так называемой К-фазы, представляющей собой сложный карбид, образующий оболочечную структуру вокруг каждой частицы карбонитрида и обеспечивающий прочную связь этих твердых частиц с пластичной металлической связкой. Также следует отметить низкий удельный вес этих материалов в сравнении с вольфрамовыми твердыми сплавами.

Появлению сплавов способствовали научные исследования, установившие благоприятное влияние на свойства сплавов мелкозернистой структуры, получаемой при добавлении молибдена.

В научной литературе практически отсутствует обоснование причин, по которым в качестве цементирующего металла для карбида титана вместо широко применяющегося в других сплавах кобальта был выбран именно никель. Известно, что в ряде металлов Fe, Co, Ni, никель в большей степени смачивает карбид титана.

В том, что касается выбора в качестве составляющей сплавов молибдена, следует заметить, что из исследованных добавок различных металлов к никелю, только молибден снижает краевой угол смачивания карбида титана никелем до нуля. Совершенная смачиваемость карбида титана сплавом *Ni-Mo* обеспечивает образование мелкозернистой структуры сплавов.

Разработана технология производства высококачественных трибологических керметов ма-

рок КНТ16Трибо и КНТ20Трибо, отличающихся содержанием металлической связки и, как следствие, твердостью, износостойкостью и прочностью [1]. Они предназначены, прежде всего, для радиальных подшипников трения в насосах по перекачке разнообразных жидкостей, как при низких температурах, так и при температурах близких к кипению: морской воды, пластовой жидкости при добыче нефти и газа, загрязненной воды абразивными частицами, различных солевых растворов при условии относительно невысоких рабочих нагрузок.

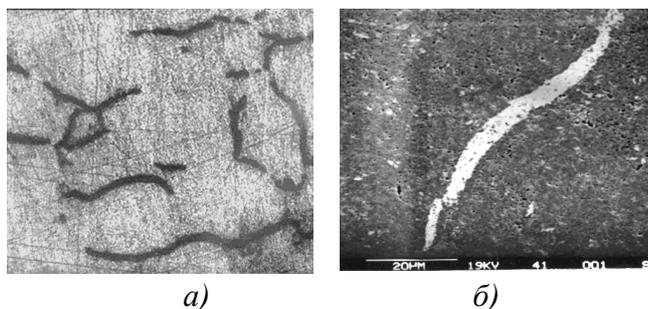
Однако уже созданные материалы типа ТН20, КНТ16 и другие обладают рядом недостатков по сравнению с традиционными твердыми сплавами. В частности при абразивной обработке на поверхности появляются микро- и макротрещины, и другие дефекты, снижающие их надежность и эксплуатационные свойства. Поэтому изучение БВТС, а также исследование качества поверхностей изделий из этих материалов после обработки имеет научно-практическое значение [1, 2].

**Материал и методика исследования.** В настоящей работе представлены экспериментальные исследования качества поверхностных слоев твердосплавных изделий после комбинированной электроалмазной обработки материала марки ТН20.

Электроалмазная обработка проводилась при следующих параметрах: скорость резания  $v = 35$  м/с; продольная подача  $S = 2,0$  м/мин; глубина резания  $t = 0,03$  мм/дв.ход; плотность тока электрохимического травления детали  $i_{тр} = 20$  А/см<sup>2</sup>; плотность тока электрохимической правки круга  $i_{пр} = 0,2$  А/см<sup>2</sup>. Обработывались быстросменные пластины алмазным кругом 1А1 200×10×76×5 АС6 D107 100 М 40 м/с. В качестве электролита использовался состав: NaNO<sub>3</sub> – 3 %, NaNO<sub>2</sub> – 2 %, NaCO<sub>3</sub> – 1 %, H<sub>2</sub>O – остальное. Подробно условия исследований представлены в работах [3, 4, 5]

Металлографические исследования с использованием микроанализатора Link-860, позволили выполнить локальный анализ химического состава образцов. При исследованиях микротвердости изучаемых поверхностей использованы особенности наконечника Кнуппа твердомера малых нагрузок фирмы Wolpert.

**Результаты и их обсуждение.** Во время металлографических исследований, с целью выявления качества обработки поверхностей, обнаружены кривые полосы («хвосты»), которые четко выделились на пластине (рис.1). В литературе аналогичное явление упоминается как неравномерное распределение цементирующей фазы [3].



**Рис. 1. Обработанная поверхность пластины ТН-20 ( $v = 35$  м/с;  $S = 2$  м/мин;  $t = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{тр} = 20$  А/см<sup>2</sup>;  $i_{пр} = 0,2$  А/см<sup>2</sup>):** *a* – после травления,  $\times 100$ ; *б* – вид «хвоста»,  $\times 850$

Были проведены детальные исследования названных «хвостов». Важно было выяснить причину их появления, фазовый, химический состав, сравнить эти данные с физико-химическими свойствами основного материала и влияние их на качество изделий.

Применение специального травителя (смесь плавиковой и азотной кислот) [3, 4] позволило установить четкие контуры и расположение «хвостов».

При более широком металлографическом исследовании было отмечено, что характерным месторасположением «хвостов» является область вдоль края пластины. В середине их, как правило, нет, или их количество и размеры минимальны.

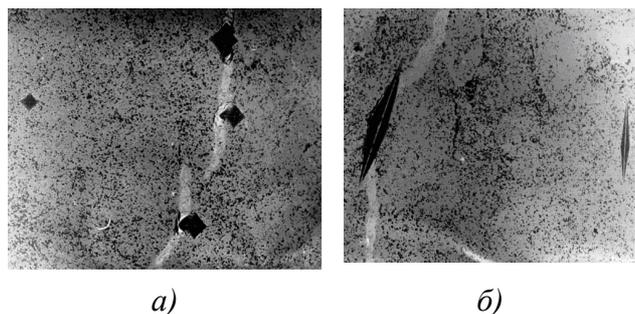
Необходимо отметить также тот факт, что на образцах, обработанных на разных режимах, количество и размеры «хвостов» существенно отличаются. Так как количественный критерий оценки подобрать трудно, то зависимость установленных «хвостов» от режимов резания невозможно представить в виде графика или таблицы. Поэтому на данном этапе выполнен лишь сравнительный качественный анализ.

В связи с этим стоит упомянуть известный факт, что при увеличении параметров шлифования: скорости круга, продольной и поперечной подач в зоне обработки возрастает контактная температура [3, 4, 5]. Вполне возможно, что именно она ответственна за образование наблюдаемых «хвостов», хотя здесь возможно и проявление других эффектов и контактных процессов.

Целью дальнейших исследований стало изучение состояния обнаруженных «хвостов», их химического состава, прочности и объяснение природы их появления.

Определение микротвердости «хвоста» и исходной поверхности производилось по Вик-

керсу. Этот способ несет определенную информацию, но дает большую погрешность, т.к. размеры диагонали отпечатка пирамиды получаются искаженными из-за того, что «хвост» слишком узок, пирамида упирается в твердосплавную основу и она сдерживает распространение отпечатка (рис. 2, *a*). Поэтому более информативные результаты получены с помощью наконечника Кнуппа твердомера малых нагрузок фирмы Wolpert (рис. 2, *б*). Из рисунков видно, что микротвердость материала «хвоста» ниже микротвердости исходной пластины более чем в 2 раза.

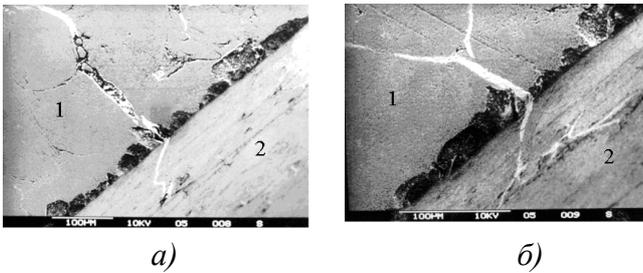


**Рис. 2. Микротвердость на различных участках пластины ТН-20:**

*a* – отпечатки пирамиды Виккерса,  $\times 400$ ;  
*б* – отпечатки наконечника Кнуппа,  $\times 850$

Известно, что карбид титана имеет невысокую прочность на скалывание, а инструментальные материалы с высоким содержанием карбида титана хрупки и склонны к излому [3]. Поэтому неравномерное содержание связки по объему обработанной пластины из твердого сплава будет создавать наиболее слабые области, снижающие эксплуатационные свойства изделия (рис. 3). Кроме того, высокие температуры, сопровождающие процесс лезвийной обработки, приводят к возникновению внутренних напряжений [3]. Так как коэффициенты линейного расширения карбидов и цементирующей фазы различны между собой, возникают объемные изменения по глубине пластины и, как следствие этого, высокие напряжения, являющиеся причиной трещинообразования. Вышеперечисленные дефекты не позволяют формировать режущие элементы инструмента требуемого качества.

Обработка таких инструментальных материалов даже на щадящих режимах шлифования не позволяет обеспечить качественного режущего лезвия (см. рис. 3), что в дальнейшем снижает эксплуатационные характеристики инструмента и сказывается на эффективности его применения.

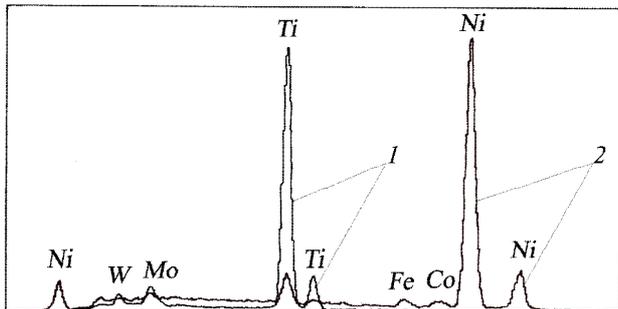


**Рис. 3. Вид «хвостов» и состояние режущей кромки, отображенных на передней и задней поверхностях:**

1 – передняя поверхность,  $\times 200$ ; 2 – задняя шлифованная поверхность,  $\times 300$

Для определения химического состава «хвостов» проводился спектральный анализ с помощью микроанализатора Ling-860, который показал, что их основу составляет компонент связки твердого сплава – никель (рис. 4).

На спектре, снятом с «хвоста», пик никеля находится на максимуме, а линии титана и молибдена на минимальном уровне. Спектр, снятый с соседней с «хвостом» области, показывает нормальное содержание титана и молибдена, а количество никеля резко снижено и находится на нулевом уровне.



**Рис. 4. Спектр с поверхности сплава ТН-20:**

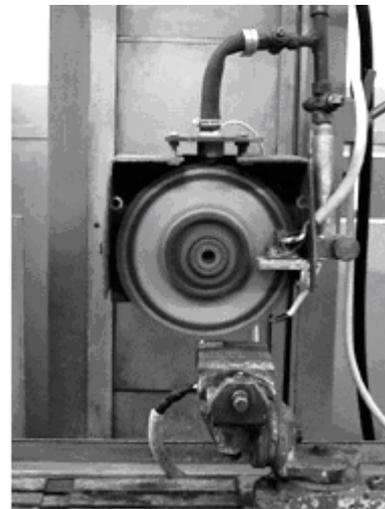
1 – «хвост»; 2 – основа

Следовательно, никель, который должен быть равномерно распределенным в исследованных образцах, служащий связкой карбидам титана и частично образовавшимся карбидам молибдена, выделился в самостоятельные образования, ослабив при этом близлежащие области твердого сплава.

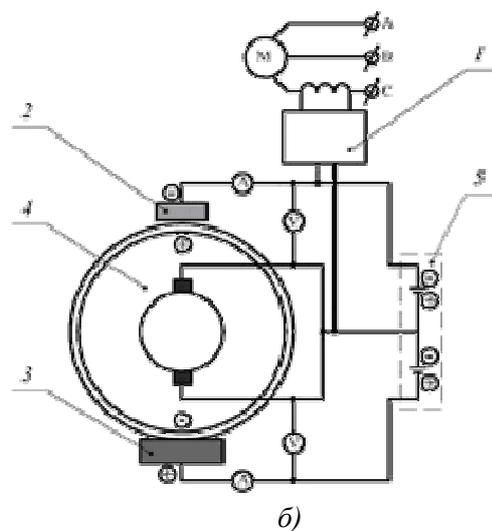
Использование технологий электрохимической обработки, комплексной абразивно-упрочняющей или нанесение покрытий на поверхности изделий из безвольфрамовых твердых сплавов также не всегда обеспечивают высокие точностные и эксплуатационные показатели [6, 7]. Необходимо применение технологии, позволяющей обеспечить невысокие температуры и усилия в зоне резания, в сочетании с повышенной эффективностью обработки высокопрочных материалов.

Таким требованиям удовлетворяет разработанная авторами технология комбинированной электроалмазной обработки, сочетающая в себе электрохимическое алмазное шлифование и одновременную электрохимическую правку поверхности алмазного круга на металлической связке [8]. Для практического применения имеются рекомендации по реализации технологии на различных видах шлифовального оборудования [9]. В качестве примера представлены схема процесса комбинированной обработки и общий вид узлов плоскошлифовального станка 3E711 с модернизацией под предложенную технологию (рис. 5, а).

Комбинированная обработка включает в себя анодное растворение обрабатываемого материала и одновременную непрерывную электрохимическую правку круга на металлической связке (рис. 5, б) [10].



а)



б)

**Рис. 5. Общий вид модернизированных узлов станка 3E711 (а,  $\times 200$ ) и схема процесса комбинированной обработки (б,  $\times 300$ )**

## Выводы

Реализация предлагаемой технологии при обработке безвольфрамовых твердых сплавов позволяет свести к минимуму образование дефектов, снижающих эксплуатационные свойства изделий без потери качества и с высокой производительностью процесса.

Таким образом, в ходе исследований микроструктуры БВТС после электроалмазного шлифования установлены дефекты в виде полос, представляющие собой скопления связки твердого сплава, что, очевидно, и является одной из причин низкой стабильности свойств и работоспособности БВТС. Для увеличения эксплуатационных свойств изделий рекомендуется использовать технологию комбинированной электроалмазной обработки, сочетающую в себе электрохимическое алмазное шлифование обрабатываемого материала с одновременной электрохимической правкой поверхности алмазного круга на металлической связке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Вирнал» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.virial.ru/materials/93>. Дата обращения 05.10.2015.
2. Шлишевский Б.Э., Ларина Т.В. Безвольфрамовые твердые сплавы и перспектива их использования в оптической отрасли приборостроения // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. Т. 4. № 1. С. 133–138.
3. Янюшкин А.С. Технология электроалмазного заточивания режущих инструментов и методы ее реализации. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2013. 336 с.
4. Янюшкин А.С., Якимов С.А., Петров Н.П., Архипов П.В. Исследование поверхности безвольфрамового твердого сплава, шлифованного комбинированным методом // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 2. С. 70–77.
5. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Ереско С.П. Качество поверхности твердого сплава при комбинированном электроалмазном шлифовании с непрерывной правкой круга // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. № 5. С. 26–31.
6. Рахмьянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В., Красильников Д.Б. Электрохимическая обработка безвольфрамовых твердых сплавов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2010. № 3. С. 3–7.
7. Верещака А.А., Хожаев О. Повышение эксплуатационных характеристик инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов с помощью наноструктурированных многослойно-композиционных покрытий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 20–25.
8. Пат. 2304504 РФ. № 2005102264/02. Метод автоматического управления процессом непрерывной электрохимической правки круга и устройство для его осуществления

// А.С. Янюшкин, А.А. Сурьев, Р.А. Иващенко, П.В. Архипов, С.А. Якимов, А.Б. Лосев: заявл. 31.01.2005; опубл. 20.08.2007. Бюл. № 23.

9. Архипов, П.В., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 2 (22). С.32–37.

10. Абсадыков Б.Н., Архипов П.В., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Повышение эффективности обработки высокопрочных твердосплавных материалов алмазным инструментом на металлической связке // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1 (25). С. 30–37.

## REFERENCES

1. «Virial» [Electronic resource]. <http://www.virial.ru/materials/93>. Date of access: 05.10.2015.
2. Shlishevskiy B.E., Larina T.V. Tungstenfreehard alloys and the prospects of their application in optical field of instrument-making industry. Interekspo Geo-Sibir'. 2007, Vol. 4, No. 1, pp. 133 – 138.
3. Yanyushkin A.S. Technology of electro-diamond sharpening of cutting tools and methods of its implementation. Star'yiOskol: TNT, 2013. 336 p.
4. Yanyushkin A.S., Yakimov S.A., Petrov N.P., Arkhipov P.V. Research of surface of tungstenfreehard alloys, polished by combined method. Systems. Methods. Technologies. 2009. No. 2. Pp. 70 – 77.
5. Yanyushkin A.S., Arkhipov P.V., Eresko S.P. Surface quality of carbide material in combined electric diamond grinding with continuous dressing. Science intensive technologies in mechanical engineering. 2012. No 5. Pp. 26 – 31.
6. Rakhimyanov Kh.M., Krasil'nikov B.A., Yanpol'skiy V.V., Krasil'nikov D.B. Electrochemical processing of tungsten-freehard alloys. Metal working (technology, equipment, tools). 2010. No. 3., Pp. 3 – 7.
7. Vereshchaka A.A., Khozhaev O. Improvement of performance characteristics of tool from tungstenfreehard alloys using nanostructured multilayer composite coatings. Vestnik of Bryansk State Technical University. 2014. No. 3. Pp. 20 – 25.
8. Patent of Russian Federation 2304504. A method of automatic process control continuous electrochemical wheel dressing and device for its implementation. Yanyushkin A.S., Sur'ev A.A., Ivashchenko R.A., Arkhipov P.V., Yakimov S.A., Losev A.B. № 2005102264; declared 31.01.2005; published 20.08.2007, Bulletin № 23.
9. Arkhipov P.V., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Improvement of equipment for combined machining processes. Vestnik of Tadjikistan Technological University. 2013. No. 2 (22). Pp. 32 – 37.
10. Absadykov B.N., Arkhipov P.V., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Improving of processing efficiency of high-strength hard alloys materials by diamond tool on metal bond. Systems. Methods. Technologies. 2015. No. 1 (25). Pp. 30 – 37.

Рецензент д.т.н. В.В. Иванцовский