



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Морфология и химический состав поверхности титанового сплава на начальном этапе шлифования кругом из кубического нитрида бора

Владимир Носенко^{a, *}, Александр Фетисов^b, Семен Кузнецов^c

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, 404121, Россия

^a <https://orcid.org/0000-0002-5074-1099>, vladim.nosenko2014@yandex.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7388-7931>, fetisov@volpi.ru,
^c <https://orcid.org/0000-0002-6924-3380>, cemen1894@yandex.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.92

История статьи:

Поступила: 20 марта 2020
 Рецензирование: 20 апреля 2020
 Принята к печати: 14 мая 2020
 Доступно онлайн: 15 июня 2020

Ключевые слова:

Морфология поверхности
 Химический состав
 Рентгеноспектральный микроанализ
 Шлифование
 Титановый сплав
 Кубический нитрид бора
 Корунд
 Керамическая связка

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №19-38-90322/19

АННОТАЦИЯ

Введение. Интенсивное адгезионное взаимодействие считается одной из основных причин плохой обрабатываемости титановых сплавов шлифованием и взаимопереноса контактируемых материалов. Продукты износа шлифовального круга, внедренные в обработанную поверхность, являются концентраторами напряжений, что при эксплуатации изделий в условиях знакопеременных нагрузок существенно снижает усталостную прочность материала. Данное направление исследований активно развивается и базируется на последних мировых достижениях в области контроля качества поверхности. В большей степени взаимоперенос материалов рассмотрен при шлифовании кругами из карбида кремния, в меньшей – кругами из сверхтвердых материалов. **Цель работы:** исследование морфологии и химического состава поверхности титанового сплава после шлифования кругом из кубического нитрида бора на керамической связке с использованием последних мировых достижений в области контроля качества поверхности. **Методы.** Состояние рельефа и химический состав обработанных поверхностей титанового сплава ВТ1-00 исследовали на растровом двухлучевом электронном микроскопе FEI Versa 3D LoVac непосредственно после правки шлифовального круга и после удаления заданного припуска. Шлифование выполняли на прецизионном профишлифовальном станке CHEVALIER мод. Smart-B1224III. **Результаты и обсуждение.** Состояние обработанной поверхности, полученное непосредственно после правки шлифовального круга, свидетельствует о достаточно интенсивном взаимодействии инструмента с обрабатываемым металлом. С увеличением продолжительности обработки состояние поверхности улучшается. На основании морфологических исследований на поверхности обнаружены продукты износа абразивного инструмента. Определены их размеры и отличительные характеристики. Методом микрорентгеноспектрального анализа установлен химический состав фрагментов кристаллов. По атомарному содержанию химических элементов объекты разделены на три группы. **Выводы.** Экспериментально доказано присутствие на поверхности титанового сплава продуктов износа абразивного инструмента из CBN на керамической связке: кристаллы CBN, наполнитель (корунд) и керамическая связка. Продукты износа внедрены в обработанную поверхность.

Для цитирования: Носенко В.А., Фетисов А.В., Кузнецов С.П. Морфология и химический состав поверхности титанового сплава на начальном этапе шлифования кругом из кубического нитрида бора // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 30–40. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-30-40.

Введение

Основной причиной плохой обрабатываемости титановых сплавов шлифованием является высокая адгезионная активность титана во взаимодействии с абразивным материалом

*Адрес для переписки

Носенко Владимир Андреевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВТО.
 Волжский политехнический институт (филиал)
 Волгоградского государственного технического университета
 ул. Энгельса, 42а,
 404121, г. Волжский, Россия
 Тел.: +7-904-403-31-74, e-mail: vladim.nosenko2014@yandex.ru

и склонность сплавов к образованию прижогов на обработанной поверхности [1–3]. Проблемы возникают и при обработке содержащих титан композитных материалов [4, 5]. Повышение эффективности обработки достигается использованием оптимальных (рациональных) характеристик абразивных инструментов, режимов шлифования и правки [6–8], введением в зону контакта заготовка – инструмент специальных СОТС [7, 9, 10]. В наибольшей степени влияние СОТС проявляется по сравнению со шлифованием без ее применения [11].

Одним из направлений повышения эффективности обработки титановых сплавов считается использование шлифовальных кругов из более инертных абразивных материалов. Интенсивность химического и адгезионного взаимодействия абразивных материалов с титаном уменьшается в направлении от корунда к карбиду кремния и сверхтвердым материалам: кубическому нитриду бора и алмазу [12]. Использование при шлифовании титанового сплава кругов из кубического нитрида бора (CBN) на керамической связке по сравнению, например, с кругами из карбида кремния обеспечивает повышение коэффициента шлифования почти на порядок, снижает силовую и тепловую напряженность в зоне резания, вероятность появления дефектов поверхностного слоя [7, 12–16].

В результате достаточно высокой адгезионной активности титана к карбиду кремния при шлифовании кругом из карбида кремния возможен перенос продуктов износа абразивного инструмента на обработанную поверхность [1, 6, 11, 17–19].

Особый интерес представляют исследования контактного взаимодействия алмаза и CBN с металлами. Показано, что CBN в экстремальных условиях вступает в реакции с ниобием, молибденом и хромом [20]. Наиболее существенные изменения химического состава контактируемых поверхностей происходят в тончайших поверхностных слоях на наноуровне. Поэтому без изучения химического состава в нанослоях контактируемых поверхностей с использованием современной приборной базы невозможно получить объективную картину взаимодействия инструментального и обрабатываемого материала в условиях трения-резания.

Цель работы: исследование морфологии и химического состава поверхности титанового сплава после шлифования кругом из CBN на керамической связке с использованием последних мировых достижений в области контроля качества поверхности.

Методика исследований

Состояние рельефа и химический состав в нанослоях контактируемых поверхностей исследовали на растровом двухлучевом электронном микроскопе FEI Versa 3D LoVac. Микрорентгеноспектральный анализ объектов выполняли в камере микроскопа.

В качестве обрабатываемого материала выбран титановый сплав VT1-00, основным химическим элементом которого является титан – около 99,5 % (см. таблицу). Остальные химические элементы содержатся в виде примесей.

Для исследования подготовлены два типа заготовок. Размер обрабатываемой поверхности основной заготовки 100×10 мм. Для исследования морфологии и химического состава шлифованной поверхности на электронном микроскопе использовали заготовки малого размера с обрабатываемой поверхностью 10×8 мм (образец-свидетель).

Типоразмер и характеристика шлифовального круга из кубического нитрида бора: 1A1 350×20×127 CBN30 B251 K V. Правку круга осуществляли алмазной иглой 3908-0031 ГОСТ 17564–85. Режимы правки: осевая подача – 200 мм/мин, радиальная подача – 0,005 мм/ход, припуск на основном образце 0,5 мм, на образце-свидетеле – 0,02 мм.

Шлифование выполняли на прецизионном профишлифовальном станке CHEVALIER с числовым программным управлением мод. Smart-B1224III. Для охлаждения использовали полусинтетическую СОЖ Лукойл Фрео MS 3050 EP. Режим обработки: скорость шлифования – 35 м/с, скорость продольной подачи стола – 12 м/мин, радиальная подача – 0,01 мм/ход. Первый проход на каждом из образцов выполняли на встречной подаче.

Состояние и химический состав обработанной поверхности исследовали на образцах-свидетелях непосредственно после правки шлифовального круга и после удаления заданного припуска с основного образца.

Результаты химического анализа обрабатывали методами математической статистики.

Химический состав титанового сплава VT1-00, ГОСТ 19807 (Россия)

Chemical composition of titanium alloy VT1-00, GOST 19807 (Russia)

Ti	Al	C	Si	N	Fe	O	H	Прочие примеси
Основа	–	0,05	0,08	0,04	0,15	0,1	0,008	0,1

Результаты и их обсуждение

Первоначальное состояние рабочей поверхности абразивного инструмента формируется в процессе правки.

Согласно принятой методике исследований на образце-свидетеле, предназначенном для исследований морфологии и химического состава обработанной поверхности после правки абразивного инструмента, делали четыре прохода. За один проход на заготовке длиной 10 мм с учетом врезания шлифовальный круг совершает около 1,9 оборотов. На последнем четвертом проходе состояние обработанной поверхности формируется за 5,7–7,6 оборотов шлифовального круга. Допускаем, что за 6–8 оборотов шлифовального круга рабочая поверхность абразивного инструмента не претерпевает существенных изменений. Исходное состояние рабочей поверхности шлифовального круга и обработанной поверхности титанового сплава в данном случае определяется характеристикой инструмента, условиями правки и шлифования.

После шлифования образца-свидетеля переходили к шлифованию основной заготовки и завершали процесс шлифованием второго образца-свидетеля.

Состояние обработанной поверхности, полученное непосредственно после правки шлифовального круга, свидетельствует о достаточно интенсивном взаимодействии инструмента с обрабатываемым металлом (рис. 1, *а*). С увеличением продолжительности обработки состояние

поверхности улучшается (рис. 1, *б*). На обработанной поверхности, сформированной после удаления припуска с основной заготовки, хорошо различимы царапины, оставляемые вершинами зерен шлифовального круга.

Объемное представление о состоянии поверхности дают электронные фотографии, полученные при съемке под углом. В рассматриваемом примере (рис. 2) угол наклона составляет 45° . Базовое увеличение по сравнению с рис. 1 возросло в 12 раз. На фрагментах обработанных поверхностей почти нет следов царапания вершинами абразивных зерен, что свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии контактируемых поверхностей. При взаимодействии вершины зерна с обрабатываемым титановым сплавом металл налипает на вершину зерна и при последующих контактах в результате когезионного взаимодействия с основным металлом переносится на обработанную поверхность. В отдельных участках поверхности встречаются инородные тела 1 (рис. 2, *б*), которые, как будет показано далее, являются продуктами износа абразивного инструмента.

На рис. 3, *а* представлена электронная фотография предполагаемого кристаллического тела 1, изображенного на рис. 2, *б*. Фотография объекта сделана в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. Объект вдавлен в обработанную поверхность и состоит из нескольких кристаллов, покрытых трещинами. Периметр углубления, в котором расположены кристаллы,

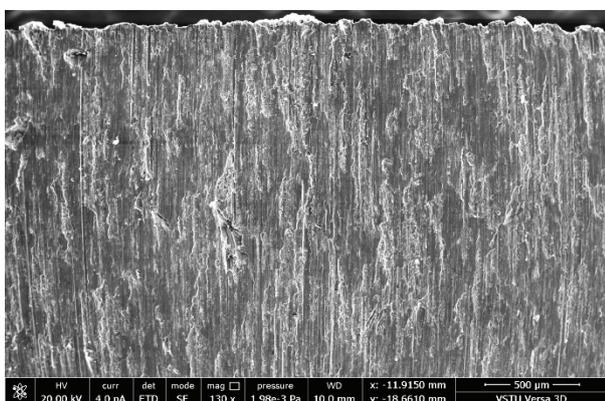
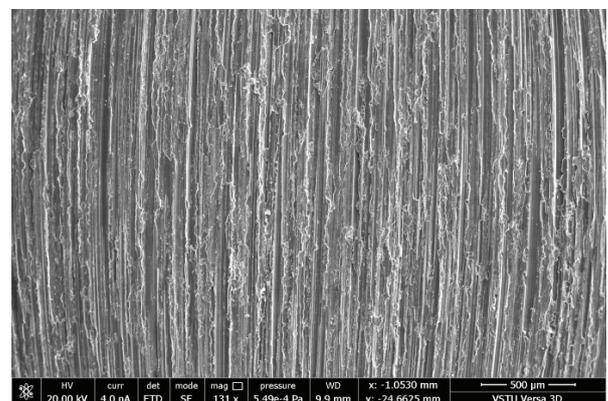
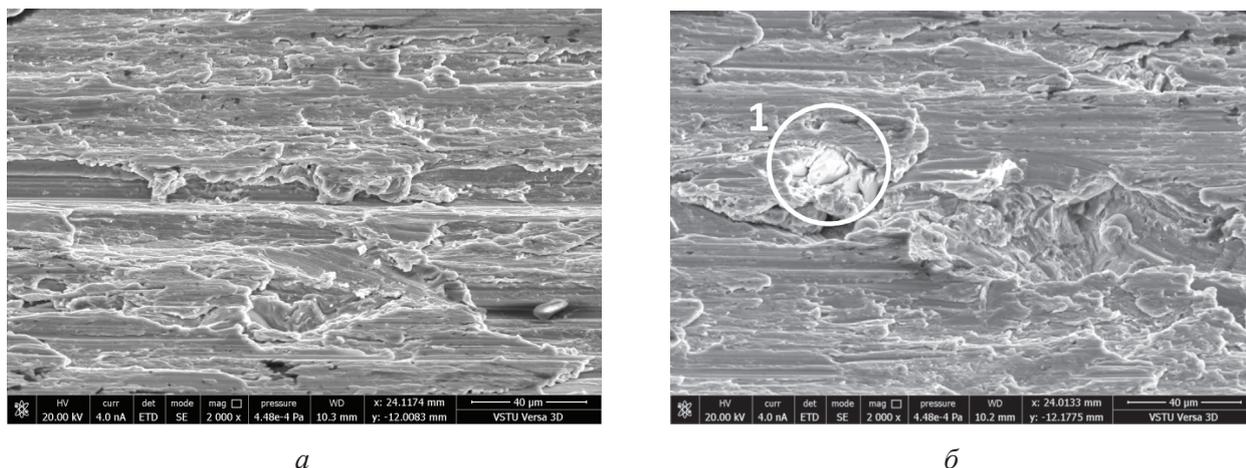

а

б

Рис. 1. Состояние обработанной поверхности, полученное непосредственно после правки шлифовального круга (*а*) и в конце периода обработки (*б*)

Fig. 1. The condition of the treated surface obtained immediately after the grinding wheel (*a*) and at the end of the processing period (*b*)

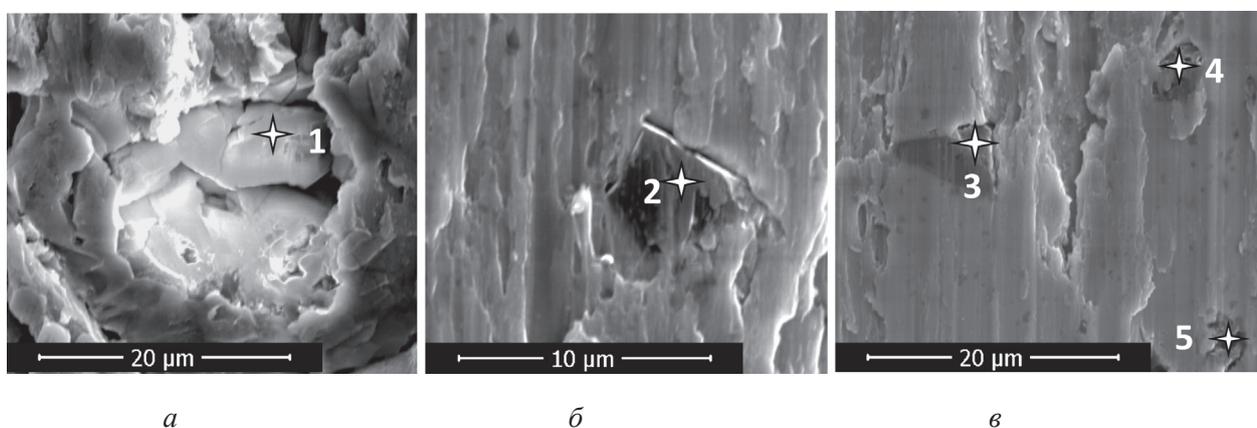


а

б

Рис. 2. Состояние обработанной поверхности при съемке под углом 45°, базовое увеличение

Fig. 2. The state of the treated surface when shooting at an angle of 45°, base magnification



а

б

в

Рис. 3. Электронные фотографии участков обработанной поверхности с предполагаемыми кристаллическими продуктами износа шлифовального круга

Fig. 3. Electronic images of areas of the treated surface with assumed crystalline wear products of the grinding wheel

по форме близок к окружности. Средний диаметр окружности составляет около 16 мкм.

Присутствие предполагаемых продуктов износа шлифовального круга обнаружено и на других участках обработанной поверхности (рис. 3, б и в).

Наибольшие размеры кристалла 2 (см. рис. 3, б) по осям координат равны соответственно 5,9 и 6,3 мкм. На рис. 3, в выделены три кристалла. Размеры кристалла 3 по осям координат соответственно составляют 9,5 и 7 мкм, 4,4 и 5,2 мкм, кристалла 5 – 3,3 и 4,8 мкм. Кристаллы 2–5 окрашены в темно-серый цвет. Группа кристаллов, показанных на рис. 3, а, отличается светлой окраской и более округлыми гранями.

Электронные фотографии посторонних включений на поверхности титановых сплавов

и композитов, содержащих титан, после шлифования кругами из CBN на керамической связке приведены также в работах [20–22]. На основании преимущественно морфологического анализа включений их относят к кристаллам кубического нитрида бора.

Абразивный инструмент из кубического нитрида бора в общем случае состоит из порошков кубического нитрида бора, наполнителя и связки. В процессе спекания связка превращается в кристаллоподобную массу. В качестве наполнителей могут быть использованы порошки, например корунда, карбида кремния или их смеси. Таким образом, продуктами износа абразивного инструмента из CBN на керамической связке являются кристаллы CBN, наполнителя (корунд, карбид кремния, другие материалы, их смеси)

и связка. В наших исследованиях в круге из кубического нитрида бора в качестве наполнителя использован корунд.

Рентгеноспектральный анализ выбранных объектов выполнен в точках 1–5 (номера точек совпадают с номерами выбранных объектов). По внешнему виду рентгенограмм (рис. 4) объекты можно разделить на три группы. К первой группе относится объект 1, где обнаружено только два химических элемента: кислород и алюминий (рис. 4, а). Вторая группа представлена объектами 2–4, в которой выделено восемь химических элементов: В, N,

С, O, Ti, Mg, Al, Si. Вторая группа объектов представлена двумя диаграммами объектов 2 (рис. 4, б) и 4 (рис. 4, в). Третья группа включает объект 5, содержащий пять химических элементов: Na, O, Ti, Al, Si (рис. 4, г).

Содержание кислорода и алюминия в объекте 1 соответственно 61,8 и 38,2 Atomic % (рис. 5, а), что в пересчете на количество атомов с погрешностью до одной десятой доли атома соответствует молекуле корунда Al_2O_3 . Таким образом, на основании результатов рентгеноспектрального анализа объект 1 следует считать кристаллом корунда.

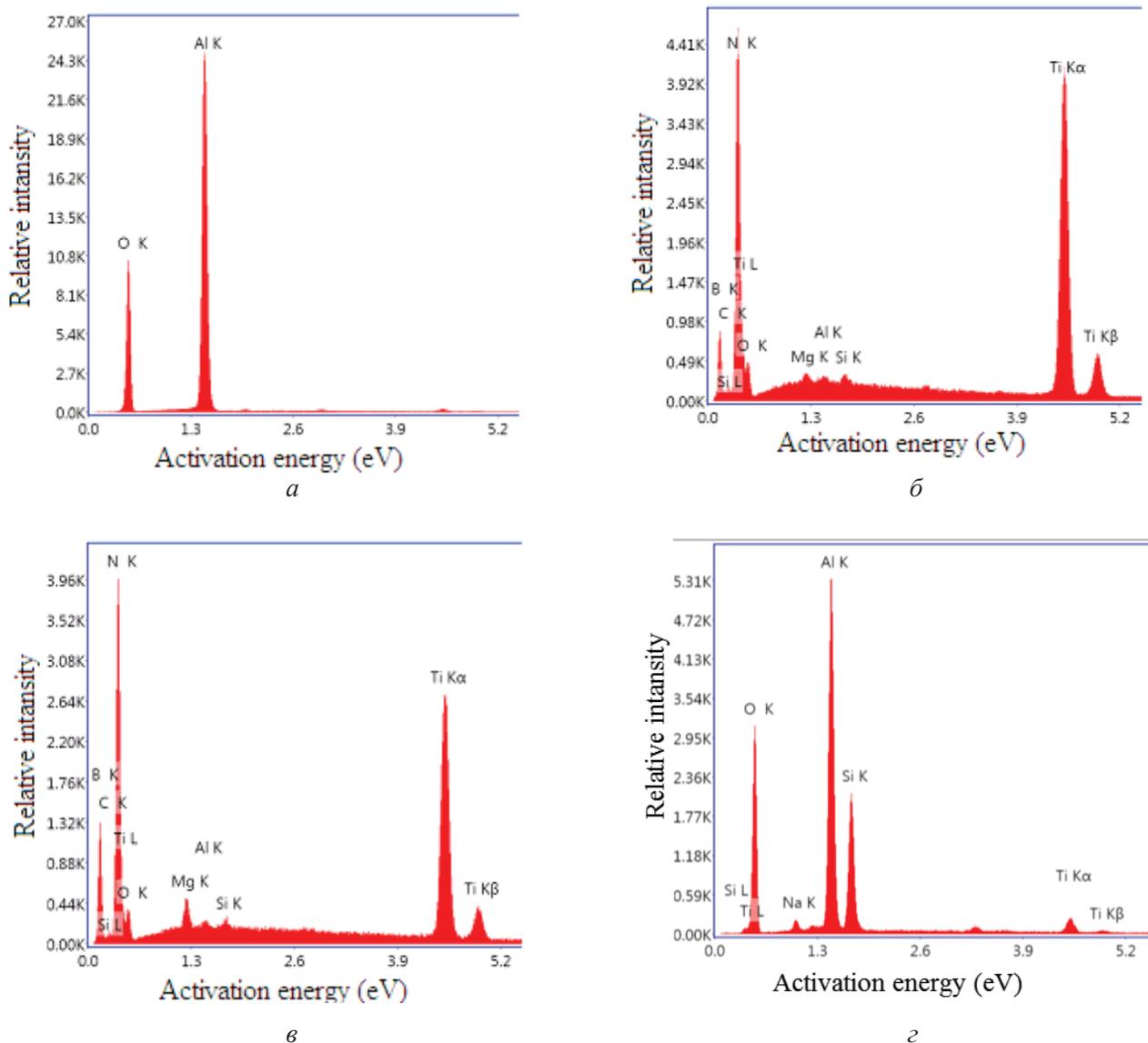


Рис. 4. Рентгенограммы продуктов износа шлифовального круга:
а – точка 1; б – точка 2; в – точка 4; г – точка 5

Fig. 4. Radiographs of grinding wheel wear products:
а – spot 1; б – spot 2; в – spot 4; г – spot 5

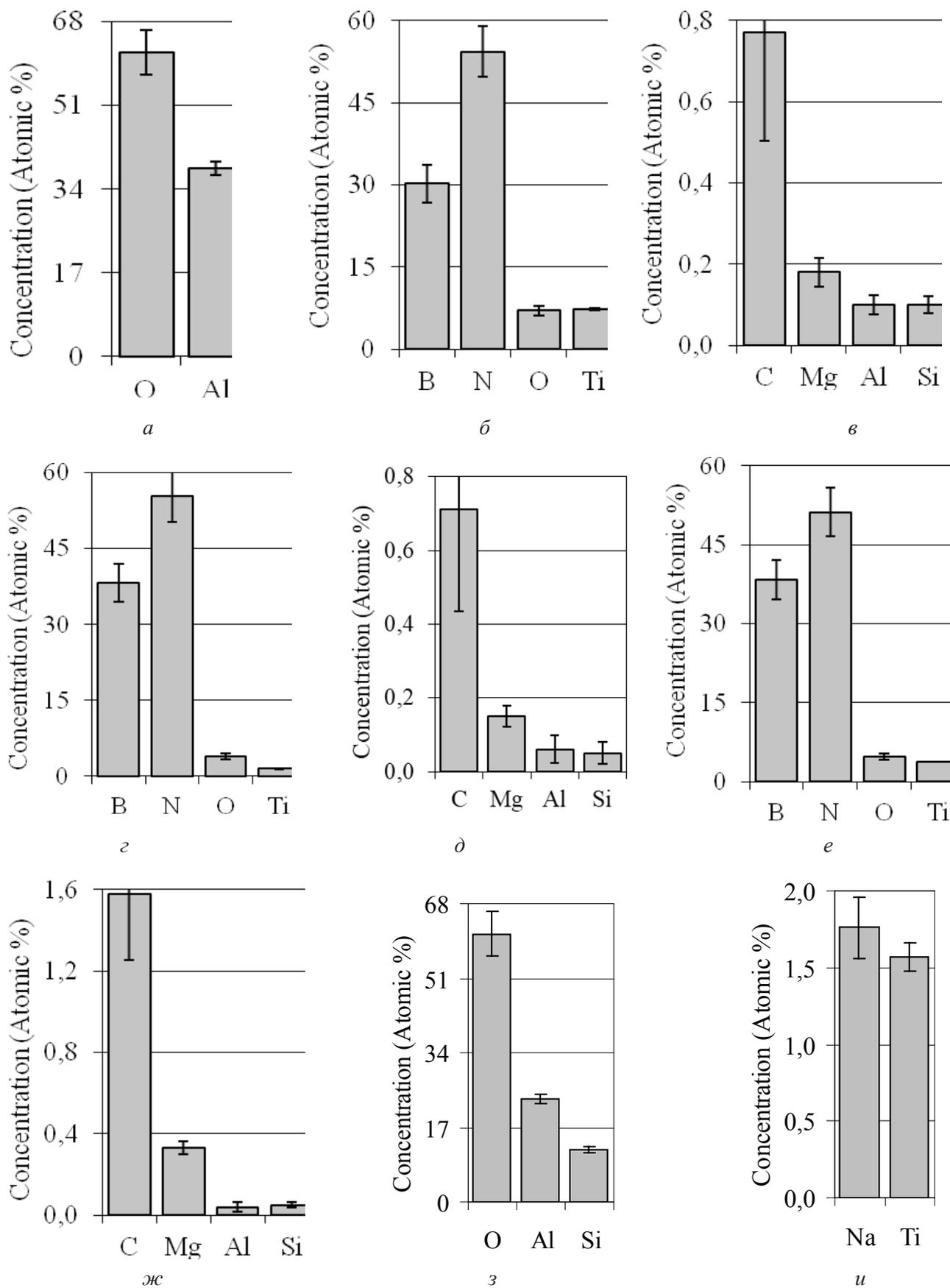


Рис. 5. Концентрация химических элементов в исследуемых объектах:

a – точка 1; *б, в* – точка 2; *з, д* – точка 3; *е, ж* – точка 4; *з, и* – точка 5

Fig. 5. Concentration of chemical elements in the studied objects:

a – spot 1; *б, в* – spot 2; *з, д* – spot 3; *е, ж* – spot 4; *з, и* – spot 5

Неоднозначная ситуация по концентрации химических элементов наблюдается в материале объектов 2–4 (рис. 5, б–ж). О возможности отнесения материала данных объектов к кубическому нитриду бора (CBN) свидетельствует достаточно большая концентрация атомов бора и азота, соответственно 30–38 и 51–55 Atomic %.

Суммарная концентрация атомов бора и азота в общем количестве атомов других элементов составляет 85...90 %. Если к данному количеству атомов добавить атомы титана, концентрация элементов достигает 92...95 %. Около 4...7 % приходится на атомы кислорода и около 0,7...1,6 % – на атомы углерода, что в сумме с атомами В, N, Ti и O составит 99,6...99,7 %. Оставшаяся часть (около 0,4 %) приходится на Mg, Al и Si. Концентрация Mg, Al и Si в некоторых объектах настолько мала, что доверительный интервал на среднюю концентрацию атомов превышает 50 %. Из этого следует, что основными химическими элементами объектов 2–4 являются В, N, Ti, O, C. Результаты морфологического анализа и высокая концентрация бора и азота позволяют считать данные объекты кристаллами CBN.

Химический состав объекта 5 представлен на диаграммах, изображенных на рис. 5, з и и. Более 60 % концентрации составляют атомы кислорода, около 23 и 12 Atomic % – атомы соответственно алюминия и кремния, около 2 Atomic % – атомы натрия и титана.

Относительно высокое содержание кремния в совокупности с алюминием и кислородом позволяет предположить, что объект 5 является фрагментом керамической связки. Точный элементный состав современных керамических связок является коммерческой тайной. Об их химическом составе можно судить на основании, например, работ [23, 24]. В состав связок кроме SiO₂ и Al₂O₃, являющихся основными компонентами, могут входить окислы щелочноземельных (Mg, Ca, Ba), щелочных (K, Na, Li) и d-переходных металлов (Ti, Zr). Исходя из этого источником алюминия, кремния и магния в объектах 2–4 может быть связка, присутствующая на кристаллах CBN.

Выводы

Интенсивность адгезионного взаимодействия абразивного инструмента с обрабатываемым материалом в рассмотренных условиях

обработки в начальный период шлифования значительно больше, чем после удаления всего объема металла.

При шлифовании титанового сплава в первый период шлифования на 6–8 оборотах круга происходит перенос продуктов износа абразивного инструмента: кристаллов кубического нитрида бора, наполнителя (электрокорунд), керамической связки.

Присутствие кристаллов кубического нитрида бора, наполнителя (электрокорунд) и керамической связки подтверждено результатами морфологического и микрорентгеноспектрального анализа.

Список литературы

1. Носенко В.А. К вопросу об интенсивности контактного взаимодействия d-переходных металлов с карбидом кремния при шлифовании // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 5. – С. 78–84.
2. Xu X., Yu Y., Huang H. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys // Wear. – 2003. – Vol. 255. – P. 1421–1426. – DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00163-7.
3. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys / D. Curtis, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, A. Mantle // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 45. – P. 47–50. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.343.
4. Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A. Machining of metal matrix composites: effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2008. – Vol. 48. – P. 1613–1625. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2008.07.008.
5. Liu J., Li J., Xu C. Interaction of the cutting tools and the ceramic-reinforced metal matrix composites during micro-machining: a review // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2014. – Vol. 7, iss. 2. – P. 55–70. – DOI: 10.1016/j.cirpj.2014.01.003.
6. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Koryazhkin A.A. The effect of the operating speed and wheel characteristics on the surface quality at creep-feed grinding titanium alloys // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 369–374. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.369.
7. Справочник технолога / под общ. ред. А.Г. Суцова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с. – ISBN 978-5-907104-23-5.
8. Реченко Д.С. Обработка титановых и жаропрочных сплавов высокоскоростным шлифова-

нием // Омский научный вестник. – 2008. – № 4. – С. 59–61.

9. Митрофанов А.П., Носенко В.А. Исследование технологии микродозированной подачи смазочных композиций с наночастицами при шлифовании жаропрочного сплава с дополнительным воздушным охлаждением // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 6–18. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.4-6-18.

10. Ермолаев В.К. Развитие техники подачи СОЖ при шлифовании // РИТМ машиностроения. – 2019. – № 7. – С. 12–18.

11. Surface-layer composition of titanium alloy after dry grinding by a silicon-carbide wheel / S.V. Nosenko, V.A. Nosenko, A.A. Krutikova, L.L. Kremenetskii // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35, iss. 7. – P. 554–557. – DOI: 10.3103/S1068798X15070163.

12. Бокучава Г.В. Трибология процесса шлифования. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1984. – 238 с.

13. Кремень З.И., Юрьев В.Г. Шлифование суперпластиками высокопластичных сплавов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 167 с.

14. Макаров В.Ф., Сакаев А.Х. Профильное глубинное шлифование лопаток турбин на станке с ЧПУ с непрерывной правкой круга // Вестник УГАТУ. – 2012. – № 4. – С. 52–58.

15. Полетаев В.А., Цветков Е.В. Качество поверхностного слоя лопаток компрессоров из титана при многокоординатном глубинном шлифовании // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 12. – С. 15–19.

16. Фёдоров Д.Г., Скуратов Д.Л. Экспериментальное исследование качества поверхностного слоя и сил резания при плоском шлифовании титанового сплава ВТ6 // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2014. – № 3. – С. 400–408. – DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-3-400-408.

17. Investigation of the effect of grinding parameters on surface quality in grinding of TC4 titanium alloy / Z. Tao, Y. Shi, L. Sampsa, J. Zhou // Procedia

Manufacturing. – 2017. – Vol. 11. – P. 2131–2138. – DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.344.

18. Grinding of Ti₂AlNb intermetallics using silicon carbide and alumina abrasive wheels: tool surface topology effect on grinding force and ground surface quality / X. Xi, T. Yu, W. Ding, J. Xu // Precision Engineering. – 2018. – Vol. 53. – P. 134–145. – DOI: 10.1016/j.precisioneng.2018.03.007.

19. Surface grinding of Ti-6Al-4V Surface grinding of Ti-6Al-4V alloy with SiC abrasive wheel at various cutting conditions / A. Mello, R.B. de Silva, A.R. Machado, R.V. Gelamo, A.E. Diniz, R.F.M. de Oliveira // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 10. – P. 590–600. – DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.057.

20. On chemical and diffusional interactions between PCBN and superalloy Inconel 718: imitational experiments / V. Bushlya, A. Bjerke, V.Z. Turkevich, F. Lenrick, I.A. Petrussha, K.A. Cherednichenko, J.-E. Ståhl // Journal of the European Ceramic Society. – 2019. – Vol. 39. – P. 2658–2665. – DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2019.03.002.

21. Grinding behavior and surface appearance of (TiCp+TiBw)/Ti-6Al-4V titanium matrix composites / W. Ding, B. Zhao, J. Xu, Ch. Yang, Y. Fu, H. Su // Chinese Journal of Aeronautics. – 2014. – Vol. 27. – P. 1334–1342. – DOI: 10.1016/j.cja.2014.08.006.

22. Effect of grain wear on material removal behaviour during grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy with single aggregated cBN grain / B. Zhao, W. Ding, Y. Zhou, H. Su, J. Xu // Ceramics International, – 2019. – Vol. 45. – P. 14842–14850. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.04.215.

23. Macerol N., Franca L.F.P., Krajnik P. Effect of the grit shape on the performance of vitrified-bonded CBN grinding wheel // Journal of Materials Processing Technology. – 2019. – Vol. 277. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116453.

24. Herman D., Krzos J. Influence of vitrified bond structure on radial wear of cBN grinding wheels // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Vol. 209. – P. 5377–5386. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2009.03.013.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Morphology and Chemical Composition of the Titanium Alloy Surface at the Initial Stage of Grinding with a Cubic Boron Nitride Wheel

Vladimir Nosenko^{a, *}, Aleksandr Fetisov^b, Semen Kuznetsov^c

Volzhsky Polytechnic Institute (Branch), Volgograd State Technical University, 42a Engelsa Street, Volzhsky, 404121, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0002-5074-1099>, vladim.nosenko2014@yandex.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7388-7931>, fetisov@volpi.ru,
^c <https://orcid.org/0000-0002-6924-3380>, cemen1894@yandex.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 March 2020

Revised: 20 April 2020

Accepted: 14 May 2020

Available online: 15 June 2020

Keywords:

Surface morphology
 chemical composition
 X-ray spectral microanalysis
 Grinding
 Titanium alloy
 Cubic boron nitride
 Corundum
 Ceramic bond

Funding

The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90322/19

ABSTRACT

Introduction. Intensive adhesive interaction is considered to be one of the main reasons for poor machining of titanium alloys by grinding and mutual transfer of materials in contact. Wear products of the grinding wheel embedded in the treated surface are stress concentrators, which significantly reduces the fatigue strength of the material when operating products under alternating loads. This research area is actively developing and is based on the latest world achievements in the field of surface quality control. To a greater extent, the mutual transfer of materials is considered when grinding wheels made of silicon carbide, to a lesser extent – with wheels made of superhard materials. **Objective.** Investigation of the morphology and chemical composition of the surface of a titanium alloy after grinding with a wheel of cubic boron nitride on a ceramic bond using the latest world achievements in the field of surface quality control. **Methods.** The state of the relief and chemical composition of the treated surfaces of the titanium alloy VT1-00 are studied using a FEI Versa 3D LoVac raster two-beam electron microscope immediately after the grinding wheel was corrected and after the specified allowance was removed. Grinding is performed on a precision profile grinding machine CHEVALIER mod. Smart-B1224III. **Results and discussion.** The condition of the treated surface, obtained immediately after the grinding wheel is corrected, indicates a fairly intensive interaction of the tool with the metal being processed. As the processing time increases, the surface condition improves. Based on morphological studies, wear products of the abrasive tool are found on the surface. Its sizes and distinctive characteristics are determined. By the method of microprobe analysis the chemical composition is established fragment of crystals. According to the atomic content of chemical elements, objects are divided into three groups. **Conclusions.** The presence of wear products of CBN abrasive tools on a ceramic bundle on the surface of a titanium alloy is experimentally proved: CBN crystals, filler (corundum) and a ceramic bundle. Wear products are embedded in the treated surface.

For citation: Nosenko V.A., Fetisov A.V., Kuznetsov S.P. Morphology and chemical composition of the titanium alloy surface at the initial stage of grinding with a cubic boron nitride wheel. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 30–40. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-30-40. (In Russian).

References

1. Nosenko V.A. K voprosu ob intensivnosti kontaktnogo vzaimodeistviya d-perekhodnykh metallov s karbidom kremniya pri shlifovanii [On contact interaction intensity of d-transition metals with silicon carbide in grinding]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin = Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2002, no. 5, pp. 78–84. (In Russian).
2. Xu X., Yu Y., Huang H. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys. *Wear*, 2003, vol. 255, pp. 1421–1426. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00163-7.

* Corresponding author

Nosenko Vladimir A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
 Volzhsky Polytechnic Institute (Branch), Volgograd
 State Technical University,
 42a Engelsa Street,
 404121, Volzhsky, Russian Federation
 Tel.: +7-904-403-31-74, e-mail: vladim.nosenko2014@yandex.ru

3. Curtis D., Soo S.L., Aspinwall D.K., Mantle A. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 45, pp. 47–50. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.343.
4. Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A. Machining of metal matrix composites: effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2008, vol. 48, pp. 1613–1625. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2008.07.008.
5. Liu J., Li J., Xu C. Interaction of the cutting tools and the ceramic-reinforced metal matrix composites during micro-machining: a review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2014, vol. 7, iss. 2, pp 55–70. DOI: 10.1016/j.cirpj.2014.01.003.
6. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Koryazhkin A.A. The effect of the operating speed and wheel characteristics on the surface quality at creep-feed grinding titanium alloys. *Solid State Phenomena*, 2018, vol. 284, pp. 369–374. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.369.
7. Suslov A.G., execut. ed. *Spravochnik tekhnologa* [Technologist's reference]. Moscow, Innovative Engineering Publ., 2019. 800 p.
8. Rechenko D.S. Obrabotka titanovykh i zharoprochnykh splavov vysokoskorostnym shlifovaniem [Machine processing of titanium and heat-resistant alloys with high-speed grinding]. *Omskii nauchnyi vestnik = Omsk Scientific Bulletin*, 2008, no. 4 (73), pp. 59–61. (In Russian).
9. Mitrofanov A.P., Nosenko V.A. Issledovanie tekhnologii mikrodozirovannoi podachi smazochnykh kompozitsii s nanochastitsami pri shlifovanii zharoprochnogo splava s dopolnitel'nym vozdushnym okhlazhdeniem [Research of technology of microdosed supply of lubricant compositions with nanoparticles during grinding of a heat-resistant alloy with additional air cooling]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 4, no. 21, pp. 6–18. DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.4-6-18. (In Russian).
10. Ermolaev V.K. Razvitie tekhniki podachi SOZh pri shlifovanii [Development of coolant delivery techniques for grinding]. *RITM mashinostroeniya = Rhythm of Machinery*, 2019, no. 7, pp. 12–18.
11. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Krutikova A.A., Kremenetskii L.L. Surface-layer composition of titanium alloy after dry grinding by a silicon-carbide wheel. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, iss. 7, pp. 554–557. DOI: 10.3103/S1068798X15070163.
12. Bokuchava G.V. *Tribologiya protsessa shlifovaniya* [Tribology of the grinding process]. Tbilisi, Sabchota Sakartvelo Publ., 1984. 238 p.
13. Kremen' Z.I., Jur'ev V.G. *Shlifovanie superabrazivami vysokoplastichnykh splavov* [Super abrasive grinding of superplastic alloys]. Saint Petersburg, St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2013. 167 p. ISBN 978-5-7422-1034-1.
14. Makarov V.F., Sakaev A.Kh. Profil'noe glubinnoe shlifovanie lopatok turbin na stanke s ChPU s nepreryvnoi pravkoi kruga [Research of quality of grinding of profile surfaces of blades of the turbine on the turning-front machine tool and at multicoordinate depth grinding]. *Vestnik UGATU = Bulletin of USATU*, 2012, vol. 16, no. 4 (49), pp. 52–58.
15. Poletaev V.A., Tsvetkov E.V. Kachestvo poverkhnostnogo sloya lopatok kompressorov iz titana pri mnogokoordinatnom glubinnom shlifovanii [Surface layer quality in compressor titanium blades at multiaxes deep grinding]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2017, no. 12, pp. 15–19.
16. Fedorov D.G., Skuratov D.L. Eksperimental'noe issledovanie kachestva poverkhnostnogo sloya i sil rezaeniya pri ploskom shlifovanii titanovogo splava VT6 [Experimental research of the surface layer quality and cutting forces in flat grinding of the BT6 titanium alloy]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta = Vestnik of Samara University: Aerospace and Mechanical Engineering*, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 400–408. DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-3-400-408.
17. Tao Z., Shi Y., Sampsa L., Zhou J. Investigation of the effect of grinding parameters on surface quality in grinding of TC4 titanium alloy. *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 11, pp. 2131–2138. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.344.
18. Xi X., Yu T., Ding W., Xu J. Grinding of Ti₂AlNb intermetallics using silicon carbide and alumina abrasive wheels: tool surface topology effect on grinding force and ground surface quality. *Precision Engineering*, 2018, vol. 53, pp. 134–145. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2018.03.007.
19. Mello A., Silva R.B. de, Machado A.R., Gelamo R.V., Diniz A.E., Oliveira R.F.M. de. Surface grinding of Ti-6Al-4V alloy with SiC abrasive wheel at various cutting conditions. *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 10, pp. 590–600. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.057.

20. Bushlya V., Bjerke A., Turkevich V.Z., Lenrick F., Petrusha I.A., Cherednichenko K.A., Ståhl J.-E. On chemical and diffusional interactions between PCBN and superalloy Inconel 718: imitational experiments. *Journal of the European Ceramic Society*, 2019, vol. 39, pp. 2658–2665. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2019.03.002.
21. Ding W., Zhao B., Xu J., Yang Ch., Fu Y., Su H. Grinding behavior and surface appearance of (TiCp+TiBw)/Ti-6Al-4V titanium matrix composites. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2014, vol. 27, pp. 1334–1342. DOI: 10.1016/j.cja.2014.08.006.
22. Zhao B., Ding W., Zhou Y., Su H., Xu J. Effect of grain wear on material removal behaviour during grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy with single aggregated cBN grain. *Ceramics International*, 2019, vol. 45, pp. 14842–14850. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.04.215.
23. Macerol N., Franca L.F.P., Krajnik P. Effect of the grit shape on the performance of vitrified-bonded CBN grinding wheel. *Journal of Materials Processing Technology*, 2019, vol. 277. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116453.
24. Herman D., Krzos J. Influence of vitrified bond structure on radial wear of cBN grinding wheels. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209, pp. 5377–5386. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2009.03.013.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2019 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).