

18. Zhang W. et al. Interfacial bonding strength of short carbon fiber/acrylonitrile-butadiene-styrene composites fabricated by fused deposition modeling //Composites Part B: Engineering. – 2018. – Т. 137. – С. 51-59.
19. Mari D., Schaller R. Mechanical spectroscopy in carbon nanotube reinforced ABS //Materials Science and Engineering: A. – 2009. – Т. 521. – С. 255-258.
20. Razin A. et al. The impact of dispersion on selective laser melting of titanium and niobium fine powders mixture //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2016. – Т. 1783. – №. 1. – С. 020190.
21. Ahmetshin R. G. et al. SLS setup and its working procedure //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications, 2016. – Т. 685. – С. 477-481.
22. Krinitcyn M. G., Pribytkov G. A., Durakov V. G. Structure and Properties of Electron-Beam Coatings, Overlaid of SHS Composite Powders" TiC–Ti", Synthesized in Air //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications, 2016. – Т. 685. – С. 719-723.
23. Klimenov V. et al. Structure and properties of parts produced by electron-beam additive manufacturing //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – Т. 1909. – №. 1. – С. 020085.
24. Constantin P., Foias C. Navier-stokes equations. – University of Chicago Press, 1988.
25. Fu Z. et al. Micro-and macroscopic design of alumina ceramics by robocasting //Journal of the European Ceramic Society. – 2017. – Т. 37. – №. 9. – С. 3115-3124.
26. Barakas G., Mitsoulis E. Numerical simulation of extrusion through orifice dies and prediction of Bagley correction for an IUPAC-LDPE melt a //Journal of rheology. – 1995. – Т. 39. – №. 1. – С. 193-209.

#### **СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ ВЫСОКОПОРИСТЫМ КРУГОМ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

*Л.Л. Кременецкий, аспирант, В.А. Носенко, д.т.н., проф.  
Волгоградский государственный технический университет  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. (8442)-23-00-76  
E-mail: kreleonid@yandex.ru*

Рассмотрен процесс глубинного шлифования титанового сплава Ti6Al4V высокопористым кругом из карбида кремния характеристики 64CF80H12V. Морфологию и химический состав поверхностей, полученных на скорости шлифования 20-30 м/с, исследовали на двухлучевом электронном микроскопе.

The process of creep-feed grinding Ti6Al4V titanium alloy by highly porous silicon carbide wheel 64CF80H12V is shown. The research of morphology and chemical composition of surfaces which were machined at 20-30 m/s grinding speed was carried out with using a twin-beam electron microscope.

Основной причиной плохой обрабатываемости титановых сплавов глубинным шлифованием является высокая адгезионная активность титана к абразивному материалу [1], что является причиной налипания обрабатываемого металла на вершины зерен и последующего переноса данного металла на обработанную поверхность [2, 3]. В наибольшей степени подходящим для обработки титановых сплавов шлифованием является именно инструмент из карбида кремния [4]. Негативным аспектом работы данного инструмента является шаржирование обрабатываемой поверхности продуктами износа [5]. В дальнейшем это влечет за собой ускоренное разрушение поверхностных слоев металла, что недопустимо для особо ответственных деталей [6]. В качестве мер обеспечения эффективности процесса рассматривают применение специальных СОЖ [7, 8], непрерывную правку [5, 9]. Одним из направлений повышения производительности шлифования так же является увеличение скорости резания.

**Цель работы:** исследование морфологии обработанной поверхности титанового сплава при различной скорости глубинного шлифования.

Методика исследования. Методом врезного встречного шлифования на профилешлифовальном станке-автомате модели SLS434 с ЧПУ обрабатывали заготовки из титанового сплава Ti6Al4V длиной 40 мм. В качестве абразивного инструмента использовали высокопористый шлифовальный круг характеристики 64CF80H12V производства ОАО «Волжский абразивный завод». Режимы обработки: скорость шлифования  $v$ : 20 м/с, 25 м/с и 30 м/с; скорость подачи стола 100 мм/мин, глубина шлифования 1 мм; подача правящего ролика 0,6 мкм/об. Смазочно-охлаждающую жидкость Castrol Syntilo 81 E под давлением 12 бар подавали с двух сторон круга: в зону правки и на гидроочистку круга. Расход жидкости – 200 л/мин. Морфологию и химический состав шлифованной поверхности исследовали на двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D. Химический состав определяли в микрообъеме поверхностного слоя сканированием по площади. Размер площади сканирования 1000×800 мкм, количество точек сканирования – 400.

Результаты исследований. При глубинном шлифовании, в отличие от маятникового, необходимо учитывать особенности формообразования на различных этапах процесса. Удаление материала начинается на этапе врезания. Обработанная поверхность формируется на этапе постоянной длины дуги контакта (ПДДК) и этапе выхода. На этапе врезания глубина шлифования возрастает практически от нуля до максимального значения, соответствующего заданной глубине обработки. На этапе ПДДК глубина шлифования не изменяется, на этапе выхода – снижается до нуля.

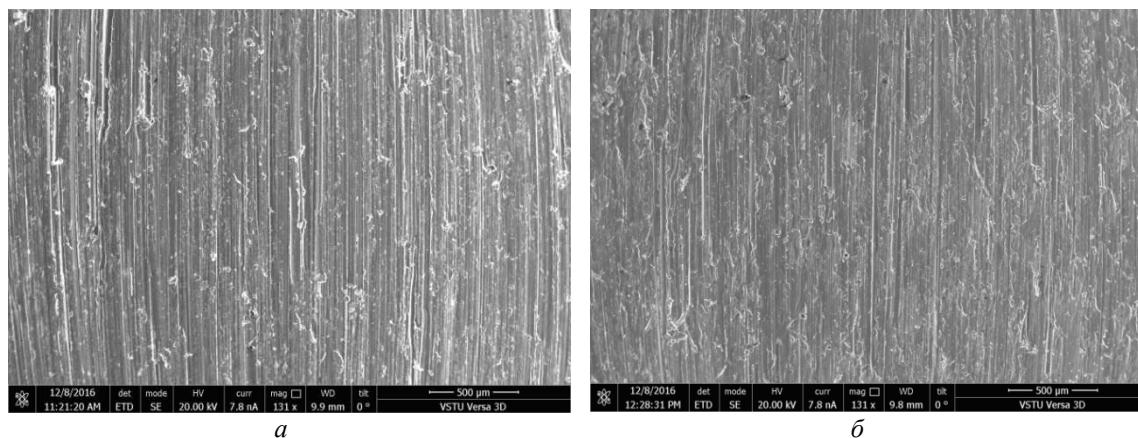


Рис. 1. Морфология обработанной поверхности,  $l=26,2$  мм,  $131\times$ :  $v=20$  м/с (а),  $v=30$  м/с (б)

Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. В результате адгезионного взаимодействия с абразивным материалом титановый сплав налипает на вершины зерен и на следующем обороте круга, в результате когезионного взаимодействия, переносится на обрабатываемую поверхность.

На этапе ПДДК морфология поверхности приблизительно одинакова, при  $l>22,3$  мм начинается этап выхода. Фактическая глубина резания зерен и длина дуги контакта инструмента с обрабатываемым материалом снижаются. В результате уменьшаются интенсивность налипания металла на вершины зерен шлифовального круга, и, соответственно, перенос этого металла на обработанную поверхность.

С увеличением скорости шлифования возрастает количество вершин, проходящих в единицу времени через рассматриваемое сечение обрабатываемой поверхности. Соответственно, увеличивается частота переноса металла на единицу площади обработанной поверхности (рис. 1). Поверхность, полученная на  $v=25$  м/с, по состоянию рельефа занимает промежуточное положение между скоростями  $v=20$  м/с и  $v=30$  м/с.

Результатом адгезионно-когезионного взаимодействия является не только перенос металла на вершину зерна и далее на обработанную поверхность, но и перенос кристаллов карбида кремния. В качестве примера приведена электронная фотография поверхности, полученной на скорости шлифования 20 м/с (рис. 2, а).

Выбраны два участка поверхности: на предполагаемом кристалле карбида кремния («Spot 1»); на относительно чистом участке шлифованной поверхности («Spot 2»). Микрорентгеноспектральный анализ относительно чистого участка поверхности показал присутствие таких основных легирующих элементов сплава, как алюминий и ванадий. На поверхности предполагаемого кристалла карбида кремния основными химическими элементами являются кремний ( $\approx 71$  % масс.) и углерод ( $\approx 23$  % масс.) (рис. 2, б). В пересчете на атомные проценты концентрации их почти уравниваются, что соответствует молекуле карбида кремния SiC. Концентрация титана достигает 2,3 % масс.

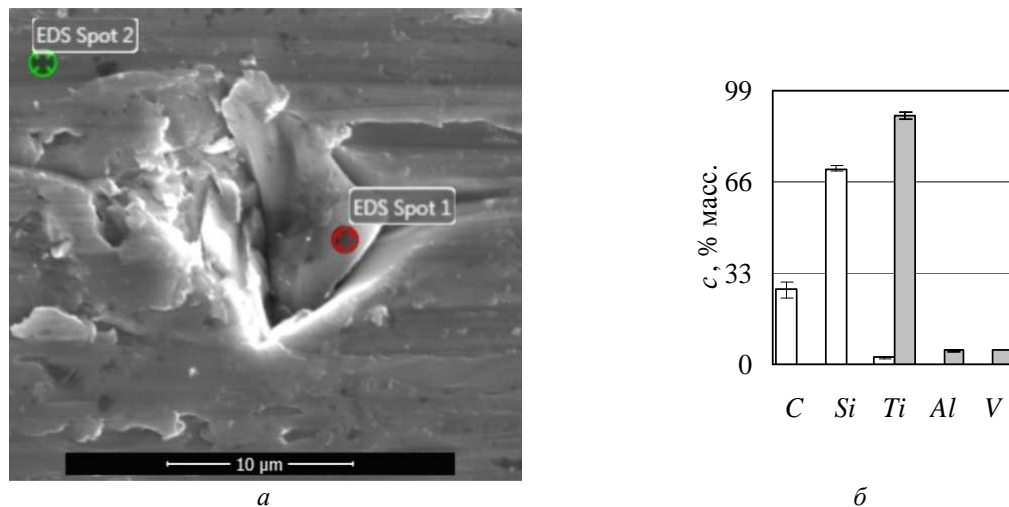


Рис. 2. Электронная фотография поверхности (а) и концентрация химических элементов в микрообъемах «Spot 1» и «Spot 2» (б): □ – «Spot 1»; ■ – «Spot 2»

Для оценки общего количества переносимого абразивного материала осуществляли сканирование обработанной поверхности по площади. С увеличением скорости шлифования в 1,5 раза концентрация кремния на поверхности титанового сплава возрастает в 1,6-1,8 раза.

Основные выводы. Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. Установлен факт переноса кристаллов карбида кремния на поверхность титанового сплава. С увеличением скорости шлифования возрастает интенсивность шаржирования поверхности абразивным материалом.

#### Список литературы

1. Xu X., Yu Y., Huang H. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC<sub>4</sub>) and nickel (K<sub>417</sub>) alloys // *Wear*. 2003. Vol. 255(7). P. 1421-1426.
2. Носенко С.В. Морфология и химический состав поверхности сплава ВТ3-1 при шлифовании без СОТС / С.В. Носенко, В.А. Носенко, Л.Л. Кременецкий // *Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»*. 2014. № 21 (148). С. 32-35.
3. D.T. Curtis, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, A.L. Mantle. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys // *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 45. P. 47-50.
4. Носенко В.А., Носенко С.В. Технология шлифования металлов: монография / Старый Оскол : ТНТ, 2013. 613 с.
5. Носенко С.В. Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном глубинном шлифовании / С.В. Носенко, В.А. Носенко, Л.Л. Кременецкий // *Вестник машиностроения*. 2014. № 7. С. 64-68.
6. Планковский С.И. Анализ существующих методов очистки поверхности лопаток турбин в газотурбинных двигателях / С.И. Планковский, И.И. Головин, Ф.Ф. Сиренко // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2013. № 6. С. 8-14.
7. А.с. 211717 СССР, МКИ С 10 М 173/02. СОЖ для шлифования титановых сплавов / Л. Д. Павловская, К. Д. Ульчонок, Б. Л. Мальвинов и др. - № 1082812/23-4 ; заявл. 09.06.66 ; опубл. 19.11.68, Бюл. № 8. - 6 с. (описание под заглавием).
8. Галкин А.В. Создание новой смазочно-охлаждающей жидкости для шлифования титановых сплавов / А.В. Галкин, Ю.С. Дубровский, В.Т. Процишин // *Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф (г. Волжский)*. 1997. С. 169-170.
9. R. Hood, F. Lechner, D.K. Aspinwall, W. Voice. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2007. Vol. 47(9). P. 1486-1492.