

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/65TVN617.pdf>

Статья опубликована 22.01.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Носенко В.А., Буренина А.П., Кременецкий Л.Л., Сердюков Н.Д., Кузнецов С.П. Параметры шероховатости поверхности при шлифовании титановых сплавов высокопористыми кругами из карбида кремния // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/65TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 621.923**

**Носенко Владимир Андреевич**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Филиал в г. Волжский, Россия, Волжский<sup>1</sup>

Зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [nosenko@volpi.ru](mailto:nosenko@volpi.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=171385](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=171385)

**Буренина Анастасия Павловна**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Филиал в г. Волжский, Россия, Волжский

Магистрант

E-mail: [anburenina@mail.ru](mailto:anburenina@mail.ru)

**Кременецкий Леонид Леонидович**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград

Аспирант

E-mail: [kreleonid@yandex.ru](mailto:kreleonid@yandex.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=743718](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=743718)

**Сердюков Никита Денисович**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград

Аспирант

E-mail: [serdyukov-nikita@mail.ru](mailto:serdyukov-nikita@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=927003](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927003)

**Кузнецов Семен Павлович**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград

Аспирант

E-mail: [cemen1894@yandex.ru](mailto:cemen1894@yandex.ru)

**Параметры шероховатости поверхности  
при шлифовании титановых сплавов высокопористыми  
кругами из карбида кремния**

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния режимов шлифования титанового сплава на высотные, шаговые, а также связанные с формой неровности профиля

---

<sup>1</sup> 404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а

параметры шероховатости обрабатываемой поверхности. Исследование влияния твердости кругов из карбида кремния с характеристиками 64CF100G12V и 64CF100I12V на значения параметров шероховатости было осуществлено путем анализа экспериментальных данных, обработанных методами математической статистики. На основе полученных данных были построены диаграммы зависимости между исследуемыми параметрами и режимами шлифования. Повышение твердости абразивного инструмента в большей степени оказывает влияние на высотные параметры шероховатости. Значения параметров шероховатости снижаются с уменьшением подачи на глубину и уменьшением скорости подачи стола. Все высотные параметры шероховатости при шлифовании кругами различной твердости в равной степени реагируют на изменение режима. Изменение твердости круга не оказывает влияния на шаговые параметры  $L$ ,  $L_0$ ,  $S$ . Наибольшее изменение шагового параметра  $\lambda q$  происходит с переходом от получистового к чистовому режиму вне зависимости от твердости круга. Коэффициент корреляции между параметрами шероховатости при шлифовании кругами различной твердости определяет связь как высокую.

**Ключевые слова:** шлифование; режим обработки; титановый сплав; карбид кремния; твердость круга; шероховатость; параметры шероховатости

Шлифование – это процесс абразивной обработки, необходимый для получения ответственных деталей из титановых сплавов, применяемых в авиационной и судостроительной промышленности. В качестве мер обеспечения эффективности процесса рассматривают выбор оптимальных режимов шлифования [7, 13], применение высокопористого абразивного инструмента [10] и использование смазочно-охлаждающих жидкостей [2, 4]. Соблюдение данных мер необходимо в условиях высокой адгезионной активности титановых сплавов [3, 12, 14], затрудняющей получение поверхности с заданными параметрами шероховатости.

Ключевое влияние на шероховатость оказывает режим шлифования. Некоторые научные работы содержат результаты исследования влияния условий обработки на параметр  $Ra$  [1, 5, 8, 11], когда исследование прочих высотных, а также шаговых и гибридных параметров так же находится в сфере интересов научного сообщества [6, 9]. Актуальным видится дальнейший анализ влияния таких факторов, как твердость круга и режим обработки, на параметры шероховатости поверхности титанового сплава.

### Материал и методы исследования

В качестве обрабатываемого материала выбран титановый сплав ВТ9. Размер образцов  $46,5 \times 38 \times 16$  мм. Шлифование проводили на прецизионном плоскошлифовальном станке с ЧПУ CHEVALIER модели «Smart-B1224III». Для обработки использовались высокопористые круги из карбида кремния 64CF100G12V и 64CF100I12V производства ОАО «Волжский абразивный завод» (далее круги  $G$  и  $I$ ). Каждый опыт повторяли три раза.

Режимы обработки выбраны с учетом производственного опыта: подача на глубину  $S_t = 0,15$  мм, число проходов  $n = 12$ , скорость подачи стола  $v_s = 400$  мм/мин. (режим 1, черновой);  $S_t = 0,1$  мм,  $n = 12$ ,  $v_s = 500$  мм/мин. (режим 2, получистовой);  $S_t = 0,05$  мм,  $n = 12$ ,  $v_s = 500$  мм/мин. (режим 3, чистовой);  $S_t = 0$  мм,  $n = 2$ ,  $v_s = 500$  мм/мин (режим 4, выхаживание). Скорость шлифования – 25 м/с.

Перед каждым опытом периферию абразивного круга правили алмазно-металлическим карандашом 3908-0051 ГОСТ 607-80: вертикальная подача 0,010 мм/ход, поперечная скорость перемещения – 150 мм/мин.

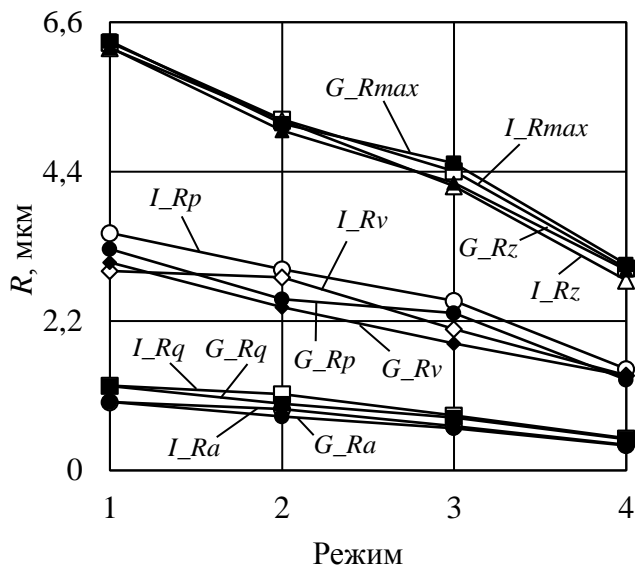
Использовали СОЖ на водной основе: натрий фосфорнокислый трехзамещенный  $Na_3PO_4$  – 4 %, гексаметафосфат натрия  $(NaPO_3)_6$  – 0,8 %, сода кальцинированная  $Na_2CO_3$  – 0,3 %. Расход СОЖ – 14 л/мин.

Шероховатость поверхности измеряли профилографом-профилометром «СЕЙТРОНИК ПШ8-3 С.С.». Предел допускаемой основной относительной погрешности прибора  $\pm 5$  %. Контроль шероховатости поверхности осуществляли в 10 сечениях, равномерно распределенных по всей длине образца. Длина базовой линии  $l = 2,5$  мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

На рисунках приняты следующие обозначения: первая прописная латинская буква означает твердость инструмента, далее указан параметр шероховатости обработанной поверхности. Например,  $G\_Rmax$  означает, что заготовку титанового сплава обрабатывали кругом твердостью  $G$ , анализируемый параметр шероховатости обработанной поверхности  $Rmax$  – наибольшая высота неровности профиля.

Значения всех высотных параметров шероховатости поверхности при обработке кругами различной твердости отличаются несущественно – в 0,8-0,9 раза. При обработке кругом  $I$ , с переходом от черногового режима 1 к чистовому режиму 3, высотные параметры  $Rmax$ ,  $Rz$ ,  $Rp$  снижаются в 1,2 раза;  $Ra$ ,  $Rv$  и  $Rq$  – в 1,1-1,4 раза (рис. 1). Существенно значения параметров снижаются с переходом от режима 3 к режиму 4 (выжигание) – в 1,5-1,7 раза. При обработке кругом  $G$  с переходом от режима 1 к режиму 3 все параметры снижаются в 1,1-1,3 раза, с переходом от режима 3 к режиму 4 происходит снижение в 1,3-1,7 раза.

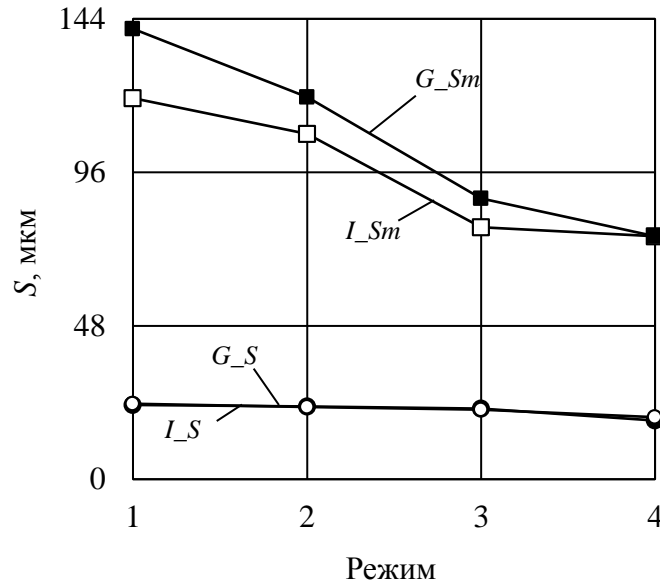


**Рисунок 1.** Влияние режима шлифования и твердости круга на высотные параметры шероховатости (составлено авторами)

Все высотные параметры шероховатости поверхности при шлифовании кругами различной твердости в равной степени реагируют на изменение режима.

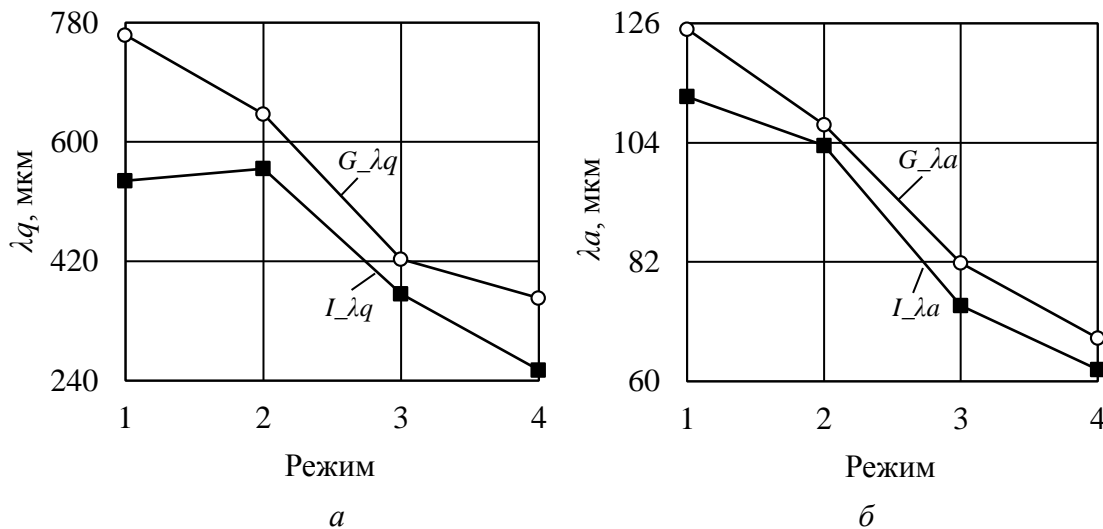
Значения шагового параметра  $Sm$ , определяющего среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины, при обработке кругом  $G$  превышают значения параметра при круге  $I$  в 1,1-1,2 раза; значения шагового параметра  $S$ , определяющего среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины, одинаковы и отличаются менее чем на 1 % (рис. 2). Параметр  $S$  практически не реагирует на изменение твердости инструмента.

Группа шаговых параметров  $L$  (длина растянутого профиля) и  $L_0$  (относительная длина профиля) не изменяется при обработке кругами различной твердости, значения параметров шероховатости остаются неизменными при переходе от одного режима к другому. Параметр плотности выступов профиля  $D$ , определяющий число выступов профиля на единицу длины, имеет значения, обратные параметру  $Sm$ , и изменяется аналогично ему.



**Рисунок 2.** Влияние режима шлифования и твердости круга на шаговые параметры шероховатости  $Sm$  и  $S$  (составлено авторами)

Значения параметра  $\lambda q$ , определяющего среднюю квадратическую длину волны профиля, по кругу  $G$  выше в 1,1-1,4 раза, чем при обработке кругом  $I$  (рис. 3а). При обработке кругом  $I$  значение  $\lambda q$  с переходом от режима 1 к режиму 2 несущественно возрастает на 1 %, затем снижается с переходом от режима 2 к режиму 3 в 1,5 раза, и снижается с переходом от режима 3 к режиму 4 еще в 1,44 раза. При шлифовании кругом  $G$  с переходом от режима 1 к режиму 2  $\lambda q$  снижается на 18 %, затем снижается с переходом от режима 2 к режиму 3 в 1,5 раза, и снижается с переходом от режима 3 к режиму 4 на 18 %. Таким образом, наибольшее изменение  $\lambda q$  происходит с переходом от полуступенчатого к чистовому режиму вне зависимости от твердости круга.



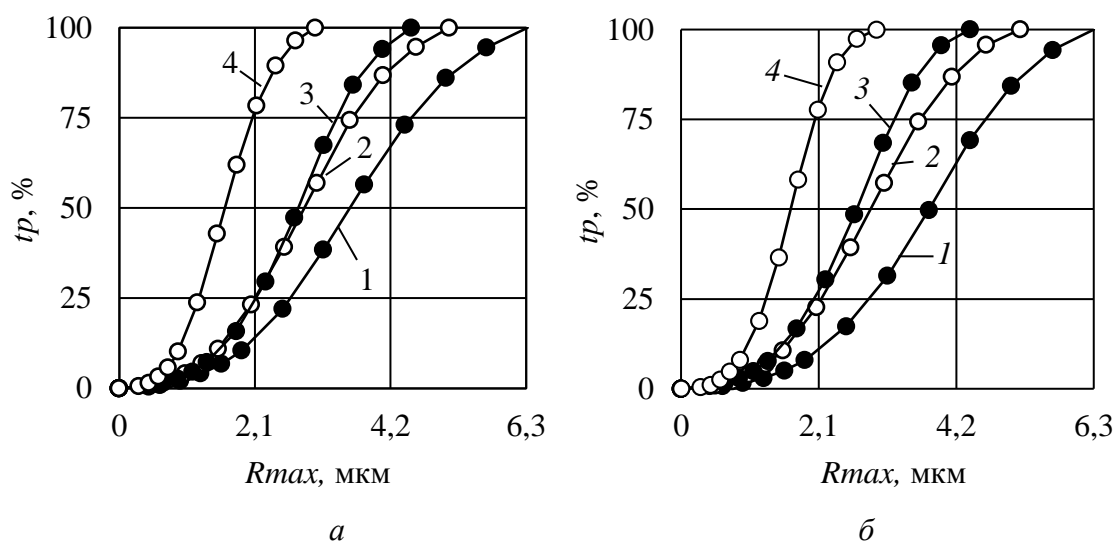
**Рисунок 3.** Влияние режима шлифования и твердости круга на шаговые параметры шероховатости  $\lambda q$  (а) и  $\lambda a$  (б) (составлено авторами)

Значения средней длины волны профиля  $\lambda_a$  при обработке кругом  $G$  в среднем в 1,08 раза больше значений  $\lambda_a$  при круге  $I$  (рис. 3б). При обработке кругом  $I$  значение  $\lambda_a$  с переходом от режима 1 к режиму 2 снижается на 16 %, с переходом от режима 2 к режиму 3  $\lambda_a$  снижается на 31 %, с переходом от режима 3 к режиму 4 параметр снижается еще на 20 %. При шлифовании кругом  $G$  значение  $\lambda_a$  с переходом от режима 1 к режиму 2 снижается на 8 %, с переходом от режима 2 к режиму 3  $\lambda_a$  снижается на 40 %, с переходом от режима 3 к режиму 4 параметр снижается еще на 19 %.

Относительная опорная дина профиля  $tp$  характеризует фактическую опорную площадь поверхности детали, поэтому данный показатель имеет большое значение для определения величины начального износа, износостойкости подвижных соединений, прочности посадок, величины деформации, коррозионной стойкости и др.

Данные представлены в натуральной величине, то есть они показывают, какое количество материала находится на уровне  $p$ , где в качестве 100%-го значения взято значение наибольшей высоты профиля  $R_{max}$ . Переход от круга  $G$  к кругу  $I$  оказывает незначительное влияние на изменение  $tp$  – менее 1 %. Сравнивая значения  $tp$ , полученные при шлифовании в различных условиях можно сказать, что значения данного параметра с переходом от режима 1 к режиму 4 для каждого круга изменяются одинаково (рис. 4).

Со сменой режимов параметр  $tp$  изменяется в 1,2-1,5 раза, в большей степени значения параметра отличаются при режимах 1 и 4. Так, значения параметра  $tp$  при режиме 4 достигают максимального значения в 2,4 раза быстрее, чем при обработке на режиме 1. Это свидетельствует о том, что суммарная площадь опорной длины на каждом из заданных уровней быстрее достигает максимального значения, равного базовой длине. Это значит, что при шлифовании на режиме 4, в сравнении с режимами 1-3, обеспечивается большая заполняемость материалом заданных уровней, что, в свою очередь, позволяет сделать вывод о меньшем количестве микронеровностей.



**Рисунок 4.** Влияние режима шлифования на гибридный параметр  $tp$  при обработке кругом  $G$  (а) и кругом  $I$  (б) (составлено авторами)

Значения среднеарифметического наклона профиля  $\Delta_a$  при обработке кругом  $I$  в 1,1-1,2 раза больше, чем по кругу  $G$ . Значения данного гибридного параметра со сменой режимов при обработке кругом  $G$  снижаются в 1,1-1,4 раза. При обработке кругом большей твердости значения  $\Delta_a$  начинают существенно снижаться при переходе от режима 3 к режиму 4 – в 1,5 раза.

Значения среднеквадратического наклона профиля  $\Delta q$  при шлифовании кругами различной твердости отличаются, в среднем, в 1,4 раза. При обработке кругом  $G$  значения данного параметра, связанного с формой неровности профиля, с переходом от режима 1 к режиму 2 снижаются в меньшей степени – в 0,8-1,1 раза, с переходом от режима 3 к режиму 4 – в 1,5 раза. При обработке кругом  $I$  со сменой режимов значения снижаются, в среднем, в 1,1 раза.

Для выявления взаимосвязи между параметрами шероховатости воспользовались шкалой Чеддока, которая ранжирует коэффициент корреляции по степени взаимосвязи.

При обработке кругом  $I$   $Ra$  имеет функциональную связь практически со всеми параметрами – значения коэффициента корреляции находятся в диапазоне  $r = 0,91-1,00$ . Коэффициенты корреляции с шаговым  $L_0$  и гибридными  $\Delta q$ ,  $\Delta a$  состоят в пределах  $r = 0,8-0,87$ , что позволяет говорить о тесной связи данных параметров с высотным параметром  $Ra$ .

По результатам корреляционного анализа данных, полученных в результате экспериментов по шлифованию кругом  $G$ , можно говорить о преобладающей функциональной связи между параметрами. Резкого снижения или увеличения взаимосвязи не наблюдается – коэффициент корреляции между  $Ra$  и прочими высотными, шаговыми параметрами находится в пределах  $r = 0,96-1,00$ . Коэффициент корреляции между  $Ra$  и гибридными параметрами свидетельствует о заметной ( $\Delta q$ ) и тесной ( $\Delta a$ ) связях. Следует вывод, что связь между исследуемыми параметрами для кругов различной твердости достаточно высокая.

### Выводы

Значения параметров шероховатости снижаются с уменьшением подачи на глубину и уменьшением скорости подачи стола. Наибольшее влияние на шероховатость оказывает переход на режим с выхаживанием, наименьшее влияние на шероховатость оказывает переход с черного на получистовой режим. В большей степени со сменой режимов изменяются высотные параметры. Изменение твердости круга не оказывает влияния на шаговые параметры  $L$ ,  $L_0$ ,  $S$ . Наибольшее изменение шагового параметра  $\lambda q$  происходит с переходом от получистового к чистовому режиму вне зависимости от твердости круга.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богуцкий Б. В. Влияние технологических факторов на параметры шероховатости поверхности при обработке абразивными инструментами / Б. В. Богуцкий, Р. Н. Дзюбаба, Ю. К. Новоселов // Механика XXI века. – 2017. – № 1. – С. 33-37.
2. Васенко Н. П. Исследование влияния процесса шлифования с использованием импортных СОЖ на эксплуатационные характеристики деталей / Н. П. Васенко, Ю. П. Головня // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9341>.
3. Носенко В. А. К вопросу об интенсивности контактного взаимодействия d-переходных металлов с карбидом кремния при шлифовании / В. А. Носенко // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 5. – С. 78-84.
4. Носенко С. В. Влияние СОТС и твердости круга на коэффициент шлифования и шероховатость поверхности при обработке титанового сплава / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Л. Л. Кременецкий, Н. Д. Сердюков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12-3 (54). – С. 156-161.

5. Носенко С. В. Влияние твердости высокопористого круга на износ инструмента и шероховатость поверхности при шлифовании титанового сплава / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Н. Д. Сердюков, Л. Л. Кременецкий // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград, 2016. – № 14 (193). – С. 29-33.
6. Носенко С. В. Влияние твердости круга из карбида кремния и состава СОЖ на параметры шероховатости поверхности при шлифовании титанового сплава / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Л. Л. Кременецкий, А. П. Буренина, Н. Д. Сердюков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 9. – С. 53-57.
7. Полетаев В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин / В.А. Полетаев, Д.И. Волков // М: Машиностроение. – 2009. – 272 с.
8. Солер Я.И. Выбор абразивных кругов при маятниковом шлифовании деталей из титанового сплава ВТ22 по высотным параметрам шероховатости / Я. И. Солер, Д.Ш. Май // Обработка металлов. – 2015. – № 4 (69). – С. 18-30.
9. Солер Я. И. Прогнозирование опорной площади микрорельефа деталей переменной жесткости при плоском шлифовании / Я. И. Солер, Д. Ю. Казимиров // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2006. – № 3. – С. 69-75.
10. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами / В. К. Старков // М: Машиностроение. – 2007. – 688 с.
11. 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, pp. 47-50.
12. D. Novovic, D. K. Aspinwall, R. C. Dewes, P. Bowen. The effect of surface and subsurface condition on the fatigue life of Ti–25V–15Cr–2Al–0.2C %wt alloy. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2016, vol. 65, pp. 523-528.
13. 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, no. 9, pp. 1486-1492.
14. Xipeng Xu., Yiqing Yu. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys. *Wear*, 2003, vol. 255, no. 7, pp. 1421-1426.

**Nosenko Vladimir Andreevich**

Volgogradsky state technical university  
Volzhsky polytechnical institute (Branch), Russia, Volzhsky  
E-mail: nosenko@volpi.ru

**Burenina Anastasiya Pavlovna**

Volgogradsky state technical university  
Volzhsky polytechnical institute (Branch), Russia, Volzhsky  
E-mail: anburenina@mail.ru

**Kremenetskiy Leonid Leonidovich**

Volgogradsky state technical university, Russia, Volgograd  
E-mail: kreleonid@yandex.ru

**Serdyukov Nikita Denisovich**

Volgogradsky state technical university, Russia, Volgograd  
E-mail: serdyukov-nikita@mail.ru

**Kuznetsov Semen Pavlovich**

Volgogradsky state technical university, Russia, Volgograd  
E-mail: cemen1894@yandex.ru

## **Surface roughness parameters at grinding titanium alloys by highly porous silicon carbide wheels**

**Abstract.** The article is dedicated to the research of effect of grinding titanium alloy modes on amplitude, slope, spacing and counting parameters of surface roughness. The research of effect of the grade of «64CF100G12V» and «64CF100I12V» silicon carbide wheels on values of roughness parameters was implemented through analysis of experimental data which was calculated with methods of mathematical statistics. Figures of relations between investigated parameters and grinding modes are shown. It is shown that increase of grade of abrasive instrument has the greatest impact on amplitude parameters of surface roughness. The values of roughness parameters decrease with reduction of depth feed and table feed. All amplitude roughness parameters at grinding by wheels of different grades respond equally at change of machining mode. It is shown that change of grade of abrasive wheel doesn't have an effect on slope parameters  $L$ ,  $L_0$ ,  $S$ . The greatest change of  $\lambda q$  slope parameter occurs with transition from semi-finishing machining mode to finishing machining mode regardless of grade of abrasive instrument. Correlation coefficient at grinding by wheels of different grades defines quality characteristic between roughness parameters as high.

**Keywords:** grinding; processing mode; titanium alloy; silicon carbide; grade of abrasive instrument; surface roughness; roughness parameters