

УДК 621.025

DOI: 10.30987/article\_5c3db1111d2999.48755991

Л.С. Секлетина, А.С. Янющкин, В.А. Гартфельдер, А.Р. Янющкин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ КОНТАКТА ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ Х12М МИНЕРАЛОКЕРАМИКОЙ ВОК-71

Проведено исследование процесса точения закаленных сталей резцами из режущей керамики с привлечением современных физических методов, таких как растровая электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ. Установлено напряженно-деформированное состояние минералокерамических пластин. Сформулирована концепция механизма изнашивания, исследованы топография изнашиваемых участков и физико-

химические взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов при резании. Установлены пути повышения срока службы инструментов и рекомендованы условия обработки закаленных сталей.

**Ключевые слова:** точение, закаленная сталь, минералокерамика, зона контакта, механизм изнашивания.

L.S. Sekletina, A.S. Yanyushkin, V.A. Hartfelder, A.R. Yanyushkin

## INVESTIGATION OF CONTACT AREA AT STEEL C12M CUTTING BY MINERAL-CERAMICS VOK-71

At present there is synthesized a wide scale of tool synthetic materials and cutting ceramics. Basic regularities of a cutting process are insufficiently analyzed, the recommendations for their use are often too general and sometimes a contradictory have character. Some opinions widespread in technical literature contradict to industrial experience. In the paper there is carried out an investigation of hardened steel cutting by cutters having cutting ceramics with the use of modern physical methods such as a raster electronic microscopy and a microroentgenospectral analysis. The peculiarities of contact processes at hardened steel turning by the example of Ch12M hardened steel turning with

plates of VOK-71 mineral ceramics are theoretically substantiated and experimentally confirmed.

A concept of wear mechanism is formulated, a topography of worn areas and physical-chemical interactions of worked and tool material at cutting are investigated. Ways to increase tool life are defined and conditions for hardened steel working are recommended. It is established that at hardened steel turning with cutters of cutting ceramics the physical-stress-strain properties of tool material impact greatly tool wear-resistance.

**Key words:** turning, hardened steel, mineral-ceramics, contact area, mechanism of wear.

### Введение

Содержание вольфрама в земной коре неограничено и крайне недостаточно. На территории нашей страны потребление его в машиностроительном производстве растет. Поэтому широкое использование инструмента из недорогостоящих минералокерамических твердых сплавов является одним из путей сокращения применения дефицитного и дорогого вольфрамсодержащего сырья.

В работе [1] приводятся результаты многочисленных испытаний различных марок керамики при точении и фрезеровании широкой гаммы конструкционных материалов. По стойкости керамические инструменты не уступают, а иногда и превосходят такие сплавы, как Т15К6, Т30К4,

ВК6, ВК8.

В то же время на большинстве предприятий механообрабатывающей промышленности объемы применяемого инструмента из керамики крайне низки. На ряде предприятий укоренилось мнение о низкой надежности и стабильности механических свойств керамики. Последнее обстоятельство почти полностью исключает использование керамики на автоматических линиях, в ГПС и других системах с многоинструментальной наладкой. К тому же керамика из-за недостаточной прочности и плохой шлифуемости отнесена к классу труднообрабатываемых материалов. Изучение качества поверхностного слоя инструмента из керамики является

особенно перспективным направлением, поскольку большая его часть, ввиду несовершенства технологии изготовления, преждевременно выходит из строя и стой-

костные свойства керамических инструментов используются недостаточно [2-7].

### Методика проведения исследований

Исследование механизма взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов, определение состава продуктов, образующихся в зоне резания, позволяют глубже понять процесс изнашивания режущих инструментов [8-12]. С этой целью проводили изучение элементного и фазового состава контактных поверхностей, задней и передней поверхностей пластин ВОК-71 при обработке образцов из стали X12M твердостью HRC<sub>3</sub> 58...60. Для сравнения полученных результатов исследовались пластины в исходном состоянии.

Элементный состав продуктов взаимодействия изучали методом микрорентгеноспектрального анализа при помощи рентгеновского микроанализатора «Линк-860», входящего в состав растрового электронного микроскопа «Стереоскан-150». Кроме интегральной диаграммы элементного состава исследованных поверхностей были получены концентрационные кривые интенсивности распределения отдельных элементов вдоль линии сканирования с наложением на рельефное изображение сканируемых поверхностей (рис. 1). Качественную оценку получали в сравнении с эталонными образцами.

### Обсуждение результатов исследований

На поверхности эталонного образца режущей керамики ВОК-71 содержатся следующие элементы, являющиеся ее компонентами: Al, Si, Zr, Ti и небольшое количество Fe и W. При резании стали X12M (HRC<sub>3</sub> 58...60) пластинами из ВОК-71 во всем исследованном скоростном диапазоне на задней поверхности зоны износа надежно фиксируется появление новых элементов, не принадлежащих эталону. Этими элементами являются Mo, Cr. Значительно возрастает интенсивность отражений Fe

(рис. 1, 2). Появление на изношенных поверхностях керамики молибдена и хрома или их соединений вполне объяснимо, так как эти элементы входят в состав обрабатываемого материала. Наличие других элементов, например Ca, возможно, связано с их присутствием в стали в виде раскислителей. Наличие химических элементов на контактирующих поверхностях пластин ВОК-71 до и после обработки стали X12M представлено в таблице.

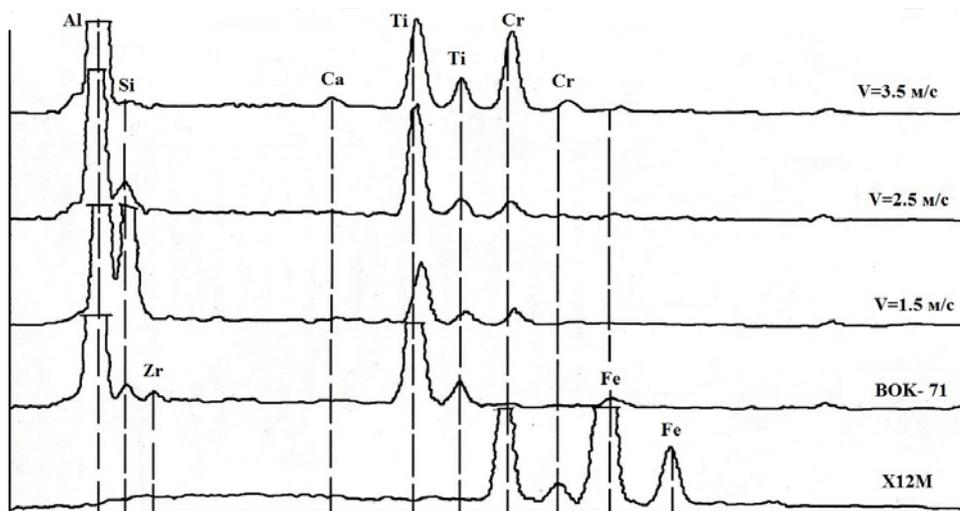


Рис. 1. Интегральная спектрограмма площадок износа пластины ВОК-71 при точении стали X12M твердостью HRC<sub>3</sub> 58...60

При резании стали X12M во всем скоростном диапазоне отсутствуют пики Zr, W (рис. 1). Во всех случаях с ростом скорости резания фиксируется возрастание пика кальция на изношенных поверхностях и снижение пика кремния. Этот эффект усиливается при использовании СОЖ. В зоне резания закаленных сталей режущей керамикой, обладающей низкой

теплопроводностью, возникают высокие температуры. При точении закаленной стали режущей керамикой в условиях достаточно высоких температур в зоне контакта происходят оплавление режущей кромки и термическая деструкция матричного материала (рис. 2, 3), тем больше, чем выше скорость резания.

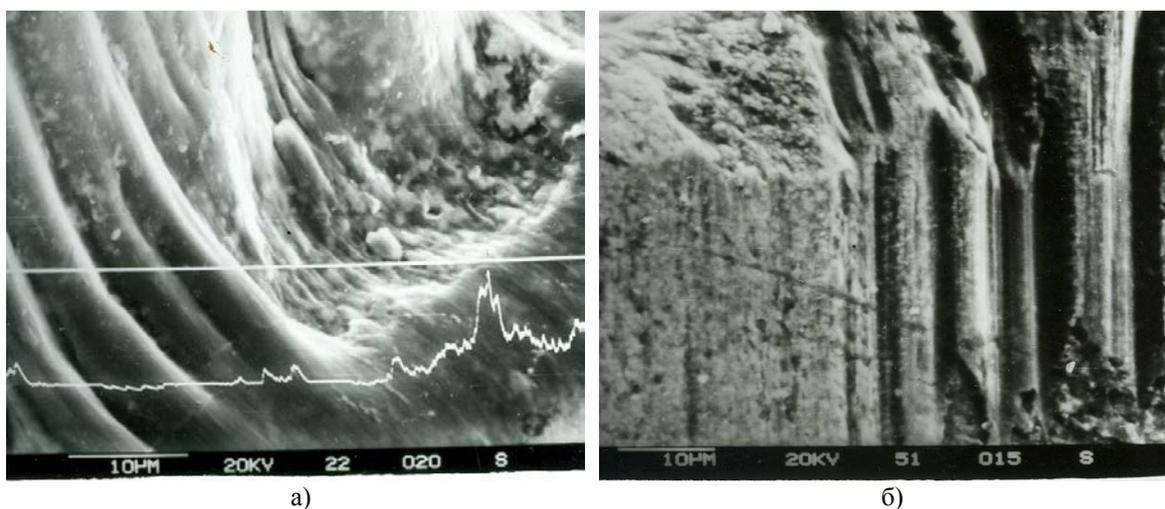


Рис. 2. Вид изношенных поверхностей пластин из ВОК-71 при точении стали X12M (HRCэ 58...60) при  $V = 3,5$  м/с,  $S = 0,075$  мм/об,  $t = 0,025$  мм:  
а - передняя поверхность с концентрацией Fe; б - вид задней поверхности

Таблица  
Наличие химических элементов на контактирующих поверхностях пластин ВОК-71 до и после обработки стали X12M твердостью HRCэ 58...60

Химические элементы Материал	Al	Si	Zr	Ti	Fe	W	Mo	Cr	Mn	V	B	C
ВОК-71 (до обработки)	+	+	+	+	+	+						
X12M (HRCэ 58...60)		+			+		+	+	+	+	+	+
ВОК-71 (после обработки)	+	+		+	+		+	+				

При анализе фотографий изношенных задних поверхностей пластин из ВОК-71 можно отметить характерную особенность – образование наплывов, нависание их над задней поверхностью, стекание вдоль вектора скорости, срывы и сколы этой массы на задней поверхности (рис. 3 а, б). Характер наплывов изменяется с ростом скорости резания (оценка визуальная). При скорости резания  $V = 1,5$  м/с наплывы

более массивные и смещаются при переходе на заднюю поверхность. Физическая природа образования наплывов неясна. Возможным вариантом является процесс образования аморфных стеклоподобных структур, содержащих в себе компоненты инструментального материала, с участием обрабатываемого материала и внешней среды.

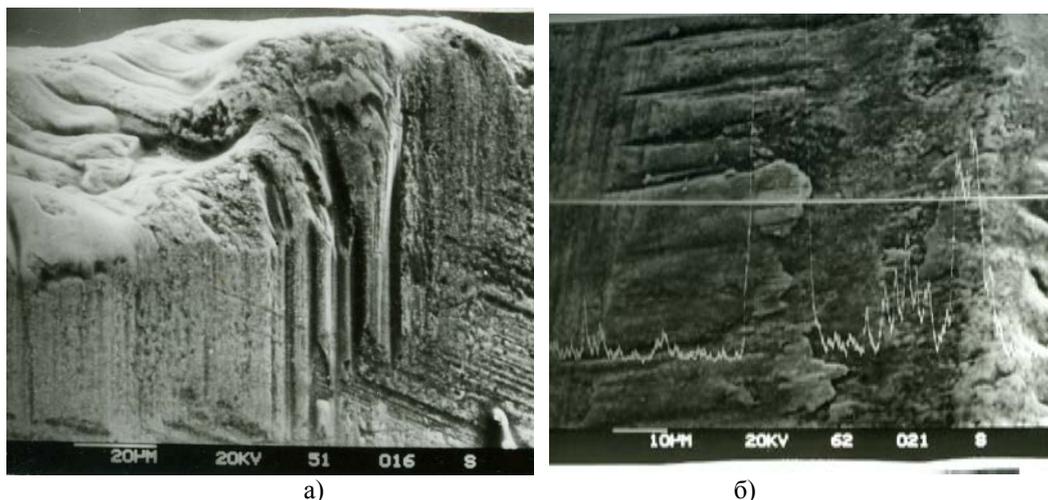


Рис. 3. Внешний вид контактных поверхностей минералокерамики ВОК-71 после обработки закаленной стали X12M (HRC<sub>3</sub> 58...60) при  $V = 3,5$  м/с,  $S = 0,075$  мм/об,  $t = 0,025$  мм:  
а - наплывы на контактных поверхностях; б - вид задней поверхности с концентрационной кривой Fe

На задней поверхности видны проточки и налипы обрабатываемого материала. Концентрационные кривые показывают снижение доли Al и Ti и резкое возрастание доли Fe при прохождении линии сканирования через налип (рис. 3б). При  $V=3,5$  м/с область наплывов распространяется на всю заднюю поверхность, слой наиболее тонкий, имеет вид остеклованной пленки, сквозь которую местами видна исходная поверхность керамики. Количество налипов обрабатываемого материала на контактных поверхностях незначительно. Складывается впечатление, что остеклованная масса при высоких скоростях резания была более жидкой. Подобные изменения внешнего вида изношенных поверхностей связаны, вероятно, с разной температурой в зоне резания.

Из литературы известно, что образование стеклофазы отмечалось при нагреве керамики на основе нитрида кремния в присутствии нитрида циркония [1], а образование разделительной жидкой фазы при точении закаленной стали описано в работах [5; 6].

В качестве аргумента авторы приводят сферическую форму образований, обнаруженных вблизи зоны резания и содержащих в своем составе элементы контактирующих материалов.

Подобные сферические образования видны на рис. 3б. Появление жидкой фазы, по-видимому, является особенностью при

резании закаленных сталей для пластин из керамики. Присутствием жидкой фазы могут быть обусловлены низкие коэффициенты трения, характерные для указанных инструментов.

При обработке закаленной стали минералокерамикой происходит интенсивное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов. На низких скоростях оно носит характер адгезионного взаимодействия, а на высоких скоростях под действием высоких температур возможны диффузионные и другие физические и химические процессы [3; 12-15].

Механизм изнашивания инструментов из режущей керамики представляется следующим образом. На первом этапе происходит взаимодействие обрабатываемого и инструментального материалов физико-химического характера. Под действием высоких температур происходит оплавление режущей кромки, циклический характер их воздействия провоцирует трещинообразование из-за различия коэффициентов линейного расширения фаз, входящих в состав керамики. С течением времени происходит деструкция инструментального материала, накапливаются усталостные явления. Силами адгезии ослабленные кристаллиты отрываются от матричного материала и пропахивают контактные поверхности. Конечный этап – абразивный износ, являющийся результатом всех предыдущих стадий.

## Выводы

1. При точении закаленных сталей резцами из режущей керамики наибольшее влияние на износостойкость инструмента оказывают физико-механические свойства инструментального материала. Изнашивание пластин из оксидно-карбидной керамики происходит в виде оплывания режущей грани под воздействием высокой температуры в зоне резания и, вероятно, процесса «остеклования» керамики. Циклическое воздействие этих факторов при различии коэффициентов линейного расширения фаз, входящих в состав керамики, вызывает усталостные явления и приводит к разрушению режущих кромок инструмента.

2. При использовании пластин из минералокерамики целесообразно подавать

СОТС в зону резания в распыленном виде. Полив недопустим, так как приводит к циклически повторяющимся тепловым ударам и разрушению пластин при резании.

3. В целом износ пластин из минералокерамики происходит путем деструкции матричного материала, адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом, вырыва и уноса частиц инструментального материала стружкой и обрабатываемой поверхностью. Процесс изнашивания в конечном счете является актом механического разрушения режущей кромки и контактных поверхностей при различии причин, вызывающих такое разрушение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гартфельдер, В.А. Физико-технологические особенности процесса точения конструкционных материалов инструментами из СТМ: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Гартфельдер. - Куйбышев, 1990. - 23 с.
2. Степанов, Ю.С. Моделирование микрорельефа абразивного инструмента и поверхности детали: монография / Ю.С. Степанов, Е.А. Белкин, Г.В. Барсуков. - М.: Машиностроение-1, 2004. - 214 с.
3. Янюшкин, А.С. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.Ю. Скиба, В.А. Гартфельдер, Л.С. Секлетина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2017. - № 3 (76). - С. 17-27.
4. Худобин, Л.В. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л.В. Худобин, А.Н. Унянин. - Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2007. - 298 с.
5. Гогоци, Ю.Г. Окисление спеченной керамики на основе нитрида кремния с добавкой карбонитрида титана и нитрида циркония / Ю.Г. Гогоци, В.К. Казаков [и др.] // Сверхтвердые материалы. - 1988. - № 1. - С. 27-33.
6. Клименко, С.А. К вопросу об износе инструмента из кубического нитрида бора / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз [и др.] // Сверхтвердые материалы. - 1988. - № 2. - С. 42-45.
7. Костецкая, Н.Б. Механизмы деформирования и разрушения поверхностей трения при трибоокислительных процессах / Н.Б. Костецкая // Сверхтвердые материалы. - 1986. - № 1. - С. 48-54.
8. Братан, С.М. Моделирование съема материала при шлифовании поверхностей с введением в зону обработки дополнительной электрической энергии / С.М. Братан, Д.Е. Сидоров, Д.В. Ревенко // Вісник СевНТУ. - 2011. - № 118. - С. 6-14.
9. Козлов, А.М. Моделирование совмещенной абразивной обработки / А.М. Козлов, Д.В. Боглов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - № 2. - С. 50-53.
10. Лобанов, Д.В. Совершенствование технологии затачивания твердосплавного дереворежущего инструмента: дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Лобанов. - Братск, 2005. - 148 с.
11. Носенко, В.А. Влияние контактных процессов на износ круга при шлифовании / В.А. Носенко // Инструмент и технологии. - 2004. - № 17-18. - С. 162-167.
12. Mogilnikov, V.A. Diamond-ECM Grinding of sintered hard alloys of WC-Ni / V.A. Mogilnikov, M.Y. Chmir, Y.S. Timofeev, V.S. Poluyanov // Procedia CIRP. - 2016. - Vol. 42. - P. 143-148.
13. Strelchuk, P.M. The energy intensity analysis of the diamond-spark grinding of the WolKar nanostructural hard alloy / P.M. Strelchuk, M.D. Uzunyan // Journal of Superhard Materials. - 2010. - Vol. 32. - P. 50-54.
14. Kim, C.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC-Co Composites / C.S. Kim, T.R. Massa, G.S. Rohrer // Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater. - 2006. - № 24 (1-2). - P. 89-100.
15. Yanyushkin, A. Contact processes in grinding / A. Yanyushkin, D. Lobanov, P. Arkhipov, V. Ivanovskiy // Applied Mechanics and Materials. - 2015. - T. 788. - P. 17-21.

2. Hartfelder, V.A. Physical-technological peculiarities of structural material turning with STM tools: *Author's Abstract of Thesis for Can. Sc. Tech. Degree* / V.A. Hartfelder. – Kuibyshev, 1990. – pp. 23.
3. Stepanov, Yu.S. *Simulation of Microrelief of Abrasive Tool and Part Surface*: monograph / Yu.S. Stepanov, E.A. Belkin, G.V. Barsukov. – M.: Mechanical Engineering – 1, 2004. – pp. 214.
4. Yanyushkin, A.S. Effectiveness increase of diamond tool metal bonded at high-strength material grinding / A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, V.Yu. Skiba, V.A. Hartfelder, L.S. Sekletina // *Metal Processing (Technology, Equipment, Tools)*. – 2017. – No.3 (76). – pp. 17-27.
5. Khudobin, L.V. *Minimization of Grinding Disk Glazing* / L.V. Khudobin, A.N. Unyanin. – Uliyanovsk: Publishing House of UISTU, 2007. – pp. 298.
6. Gogotsy, Yu.G. Oxidation of cintered ceramics based on silicium nitride with addition of titanium carbonitride and zirconium nitride / Yu.G. Gogotsy, V.K. Kazakov [et al.] // *Superhard Materials*. – 1988. – No.1. – pp. 27-33.
7. Klimenko, S.A. To the wear problem of cubic boron nitride tool / S.A. Klimenko, Yu.A. Mukovoz [et al.] // *Superhard Materials*. – 1988. – No.2. – pp. 42-45.
8. Kostetskaya, N.B. Deformation and destruction mechanisms of friction surfaces at tribo-oxidizing processes / N.B. Kostetskaya // *Superhard Materials*. – 1986. – No.1. – pp. 48-54.
9. Bratan, S.M. Simulation of material removal at surface grinding with additional electric energy introduced into area of processing / S.M. Bratan, D.E. Sidorov, D.V. Revenko // *Bulletin of SevNTU*. – 2011. – No.118. – pp. 6-14.
10. Kozlov, A.M. Simulation of combined abrasive processing / A.M. Kozlov, D.V. Boglov // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. – 2010. – No.2. – pp. 50-53.
11. Lobanov, D.V. Technology Improvement for sharpening hard-alloy wood-cutting tool: *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree* / D.V. Lobanov. – Bratsk, 2005. – pp. 148.
12. Nosenko, V.A. Contact process impact upon disk wear at grinding / V.A. Nosenko // *Tool and Technologies*. – 2004. – No.17-18. – pp. 162-167.
13. Mogilnikov, V.A. Diamond-ECM Grinding of sintered hard alloys of WC-Ni / V.A. Mogilnikov, M.Y. Chmir, Y.S. Timofeev, V.S. Poluyanov // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 143-148.
14. Strelchuk, P.M. The energy intensity analysis of the diamond-spark grinding of the WolKar nanostructural hard alloy / P.M. Strelchuk, M.D. Uzunyan // *Journal of Superhard Materials*. – 2010. – Vol. 32. – P. 50-54.
15. Kim, C.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC-Co Composites / C.S. Kim, T.R. Massa, G.S. Rohrer // *Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater.* – 2006. – № 24 (1-2). – P. 89-100.
16. Yanyushkin, A. Contact processes in grinding / A. Yanyushkin, D. Lobanov, P. Arkhipov, V. Ivanovskiy // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – T. 788. – P. 17-21.

Статья поступила в редакцию 02.11.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного  
технического университета

Киричек А.В.

Статья принята к публикации 25.12.18.

#### Сведения об авторах:

**Секлетина Лариса Станиславовна**, доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины» Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: [larsek@list.ru](mailto:larsek@list.ru).

**Янюшкин Александр Сергеевич**, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения», гл. науч. сотрудник Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: [yanyushkinas@mail.ru](mailto:yanyushkinas@mail.ru).

**Sekletina Larisa Stanislavovna**, Assistant Prof. of the Dep. "Wheel- and Caterpillar Machinery", Uliyanov State University of Chuvashia, Cheboksary, e-mail: [larsek@list.ru](mailto:larsek@list.ru).

**Yanyushkina Alexander Sergeevich**, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. "Engineering Technique", Chief research assistant of Uliyanov State University of Chuvashia, Cheboksary, e-mail: [yanyushkinas@mail.ru](mailto:yanyushkinas@mail.ru).

**Гартфельдер Виктор Адольфович**, к.т.н., профессор, декан машиностроительного факультета Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: [harvik48@list.ru](mailto:harvik48@list.ru).

**Янюшкин Андрей Романович**, студент Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: [andreyyanyushkin@gmail.com](mailto:andreyyanyushkin@gmail.com).

**Hartfelder Victor Adolfovich**, Can. Sc. Tech., Prof., Dean of the Faculty of Mechanical Engineering, Uliyanov State University of Chuvashia, Cheboksary, e-mail: [harvik48@list.ru](mailto:harvik48@list.ru).

**Yanyushkin Andrey Romanovich**, Student of Uliyanov State University of Chuvashia, Cheboksary, e-mail: [andreyyanyushkin@gmail.com](mailto:andreyyanyushkin@gmail.com).