

УДК 621.923.4

doi:10.21685/2072-3059-2021-2-10

Центробежно-ротационная обработка сменных многогранных пластин режущего инструмента

А. В. Липов¹, Н. Н. Нырков², В. А. Липов³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹morsha58@yandex.ru, ²nikolai.nyrkov@gmail.com, ³s310.hwm@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования являются сменные многогранные пластины инструмента из твердого сплава с округленными режущими кромками для повышения их прочности. Предмет исследования – операция центробежно-ротационной обработки для округления режущих кромок пластин и повышения качества их рабочих поверхностей. Цель работы – повышение производительности процесса и определение рациональных режимов без сколов и выкрашиваний на режущих кромках пластин. *Материалы и методы.* Исследование процесса обработки проводилось с применением математического планирования экспериментов и статистической обработкой результатов с использованием двухуровневых дробных планов с логарифмическим преобразованием выходных параметров. *Результаты.* Получены эмпирические зависимости влияния на радиус округления режущих кромок пластин и шероховатость их рабочих поверхностей диаметра рабочей камеры центробежно-ротационного станка, частоты вращения ротора, угла заострения режущего клина пластин, длительности обработки, режущей способности абразивного наполнителя и применяемой технологической жидкости. *Выводы.* Проведенные исследования позволили повысить производительность процесса округления режущих кромок и качества рабочих поверхностей сменных многогранных пластин путем применения центробежно-ротационной обработки. Определены рациональные режимы обработки, которые исключают появление брака в виде сколов и выкрашиваний режущих кромок пластин.

Ключевые слова: сменные многогранные пластины, округление режущих кромок, центробежно-ротационная обработка, центробежно-ротационный станок, радиус округления, шероховатость рабочих поверхностей, рациональные режимы обработки

Для цитирования: Липов А. В., Нырков Н. Н., Липов В. А. Центробежно-ротационная обработка сменных многогранных пластин режущего инструмента // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 113–122. doi:10.21685/2072-3059-2021-2-10

A rotary centrifugal machining of replaceable multi-faceted cutting tool inserts

A.V. Lipov¹, N.N. Nyrkov², V.A. Lipov³

^{1,2,3}Penza State University, Penza, Russia

¹morsha58@yandex.ru, ²nikolai.nyrkov@gmail.com, ³s310.hwm@yandex.ru

Abstract. *Background.* The object of the research is replaceable multi-faceted carbide tool inserts with rounded cutting edges to increase their strength. The subject of the research is the operation of centrifugal-rotary processing for rounding the cutting edges of the plates and

improving the quality of their working surfaces. The purpose of the research is to increase the productivity of the process and determine the rational modes without chips and chipping on the cutting edges of the plates. *Materials and methods.* The study of the processing was carried out using mathematical planning of experiments and statistical processing of the results using two-level fractional designs with a logarithmic transformation of the output parameters. *Results.* Empirical dependences of the influence on the radius of rounding of the cutting edges of the plates and the roughness of their working surfaces of the working chamber diameter of a centrifugal rotary machine, the rotor speed, the angle of sharpening of the cutting wedge of the plates, the duration of processing, the cutting ability of the abrasive filler and the applied process fluid are obtained. *Conclusions.* The research carried out made it possible to increase the productivity of the rounding process of cutting edges and the quality of the working surfaces of replaceable multi-faceted plates by using centrifugal-rotary machining. Rational processing modes have been determined, which exclude the appearance of defects in the form of chips and chipping of the cutting edges of the plates.

Keywords: replaceable multifaceted inserts, rounding of cutting edges, centrifugal rotary machining, centrifugal rotary machine, rounding radius, roughness of working surfaces, rational processing modes

For citation: Lipov A.V., Nyrkov N.N., Lipov V.A. A rotary centrifugal machining of replaceable multi-faceted cutting tool inserts. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2021;2:113–122. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2021-2-10

Введение

Сменные многогранные пластины (СМП) из твердых сплавов получили широкое применение при изготовлении режущих инструментов. Объем инструментов с СМП составляет примерно 55 % всего используемого инструмента и обеспечивает формирование 50–60 % всего объема стружки, возникающей при механической обработке [1].

Одним из недостатков твердосплавного инструмента является повышенная хрупкость, которая приводит к появлению сколов и выкрашиваний на режущих кромках, особенно в условиях прерывистого и чернового резания. Так, для инструмента с СМП количество отказов, связанных с разрушением кромок пластин, составляет 70–75 % от общего числа отказов [2]. При этом наиболее характерными причинами отказов инструментов являются сколы, выкрашивания кромок и поломки пластин, которые в основном происходят при превышении напряжений в режущем клине допустимых значений, что связано с недостаточной прочностью пластин.

1. Способы повышения прочности твердосплавного режущего инструмента

Существуют различные способы повышения прочности режущего клина твердосплавных пластин инструмента: создание отрицательной фаски на режущей кромке, применение специальных покрытий и термообработки, округление режущих кромок и т.д. [3, 4]. При этом установлено, что создание сжимающих напряжений в поверхностном слое или их определенного соотношения с растягивающими положительно сказывается на повышении прочности. Это связано с тем, что допустимые значения напряжений сжатия для пластин из твердого сплава значительно превышают допустимые значения напряжений растяжения.

Одним из наиболее распространенных способов повышения прочности твердосплавного инструмента является округление режущих кромок пластин. При этом направление результирующей силы резания смещается в сторону биссектрисы угла заострения режущего клина, что способствует более симметричному его нагружению, а следовательно, увеличению прочности. Однако необходимо учитывать, что при этом могут значительно повыситься силы резания и температура элементов инструмента, что отрицательно сказывается на процессе резания.

В ГОСТ 19086-80 «Пластины сменные многогранные твердосплавные» указано, что все СМП со стружколомающими канавками и необработанными ленточками, кроме пластин из твердого сплава марки Т30К4, должны подвергаться виброабразивной обработке для округления режущих кромок. Рекомендуемая величина радиуса округления r зависит от материала и диаметра вписанной окружности СМП.

Анализ результатов виброабразивной обработки СМП показал, что происходит не только округление режущих кромок пластин, но и снижается шероховатость их рабочих (опорных и режущих) поверхностей по параметру R_a . Однако значительная длительность процесса обработки (до 4 ч), необходимая для обеспечения требуемых качественных характеристик СМП, часто становится неприемлемой, особенно в производственных условиях.

2. Центробежно-ротационная обработка сменных многогранных пластин

В работах [5, 6] предложено для отделочно-зачистной обработки СМП применять объемную центробежно-ротационную обработку (ЦРО), которая обеспечивает производительность, многократно (в 5–10 раз) превышающую производительность виброабразивной обработки деталей из различных материалов [7]. Объемная ЦРО, при которой пластины и абразивный наполнитель свободно загружаются в рабочую камеру, отличается более высокой производительностью по сравнению с другими разновидностями – шпиндельной и в емкостях [8–10].

При объемной ЦРО абразивный наполнитель, вместе с обрабатываемыми СМП, приводится во вращательное движение ротором вокруг вертикальной оси рабочей камеры станка таким образом, что формируется поток рабочей загрузки, который приобретает форму тора, при этом наполнитель и пластины движутся по спиральным траекториям. Создание тороидально-винтового потока обеспечивается конструкцией рабочей камеры центробежно-ротационного станка (ЦРС), образованной неподвижной обечайкой 1 и вращающимся ротором 4, выполненным обычно в форме тарели (рис. 1). При этом абразивный наполнитель 2 и СМП 3 находятся в технологической жидкости, непрерывно подаваемой в рабочую камеру ЦРС.

Абразивный наполнитель применяют в виде гранул различной формы (шар, конус, параллелепипед, пирамида, цилиндр и др.). По составу наполнитель может быть на керамической или полимерной связке. Жидкость, подаваемая в рабочую камеру станка, служит для очистки и сохранения режущих свойств абразивного наполнителя, ускорения процесса обработки, защиты поверхности обрабатываемых деталей и др.

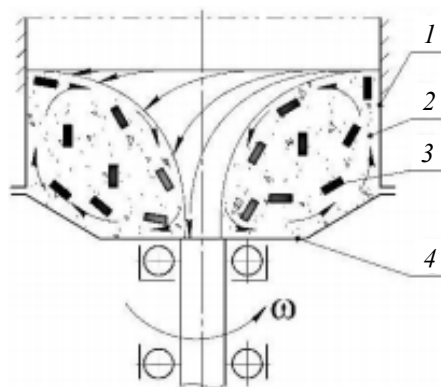


Рис. 1. Схема центробежно-ротационной объемной обработки:
1 – обечайка; 2 – абразивный наполнитель; 3 – обрабатываемые детали; 4 – ротор

3. Экспериментальные исследования и обработка их результатов

С учетом сложности процесса объемной ЦРО СМП с абразивным наполнителем в рабочей камере ЦРС для исследования режимов и условий обработки на радиус округления ρ и шероховатость рабочих поверхностей пластин по параметру R_a применялся метод математического планирования экспериментов со статистической обработкой полученных результатов [11, 12]. Значительное количество переменных факторов, а также учет их взаимодействий и нелинейности требует проведения большого числа экспериментов. Поэтому для снижения трудоемкости экспериментальных исследований применялись двухуровневые дробные планы с логарифмическим преобразованием выходных параметров, которые позволяют провести фиксацию части факторов на некоторых близких к оптимальным значениях. Для оценки величин этих постоянных были проведены поисковые исследования, в ходе которых определялись и диапазоны варьирования каждого переменного фактора.

Исследования проводились на двух ЦРС с разными диаметрами рабочих камер при изменении частоты вращения роторов. В качестве привода роторов использовались асинхронные электродвигатели. Регулирование частоты вращения обеспечивалось частотным преобразователем модели VFD 037E43A и преобразователем интерфейсов модели AC-4, который позволяет производить управление электродвигателями с компьютера.

При проведении исследований величины ρ измерялись на инструментальном микроскопе модели ММИ-2 с блоком цифровой индикации модели УЦП-1М, а параметр R_a – на профилометре модели 283 с унифицированной электронной системой. Кроме того, для оценки влияния ЦРО на физико-механические характеристики поверхностного слоя СМП проводились рентгенографические исследования с использованием дифрактометра модели ДРОН-3.

Измерения величин ρ и R_a проводились после каждых 5 мин обработки при общей длительности процесса 60 мин для различных условий и режимов обработки.

Постоянные и переменные факторы с диапазоном их варьирования, полученные при проведении поисковых экспериментальных исследований:

– исследования проводились на ЦРС с диаметрами рабочих камер D 225 и 425 мм;

– диапазон изменения частоты вращения n ротора ЦРС следует устанавливать в интервале от 130 до 220 мин⁻¹, так как при меньшем ее значении не формируется тороидально-винтовой поток, а при большем – отмечались отдельные выкрашивания и сколы на режущих кромках СМП при их соударениях;

– величина коэффициента соотношения объемов обрабатываемых СМП и наполнителя, загружаемых в рабочую камеру, была принята 0,04;

– при проведении экспериментальных исследований использовались гранулы на керамической связке размерами от 5 до 10 мм из электрокорунда белого с зерном 40 мкм;

– в качестве технологической жидкости применялся 3 % раствор соды кальцированной;

– обработке подвергались пластины из однокарбидного твердого сплава марки ВК-8 и двухкарбидного сплава марок Т15К6 и Т14К8;

– угол заострения режущего клина β пластин задавался от 75 до 115°, а масса пластин составляла от 8 до 16 г;

– степень заполнения рабочей камеры ЦРС составляла 0,2;

– время обработки t задавалось от 5 до 60 мин;

– температура технологической жидкости была принята равной 70 °С.

4. Анализ результатов исследований

В результате обработки результатов экспериментальных исследований по известной методике были получены зависимости для определения величин ρ и R_a в следующем виде:

$$\rho = 4,05 \cdot 10^{-4} D^{0,619} n^{0,299} t^{0,357} \beta^{1,324} K_{ра} K_{отс} K_{рж};$$

$$R_a = \frac{277}{D^{0,575} n^{0,469} t^{0,24} K_{ра} K_{отс} K_{рж}}.$$

Влияние качественных параметров ЦРО (вид абразивного наполнителя, марка твердого сплава и состав технологической жидкости) на величины ρ и R_a приближенно оценивают коэффициентами, входящими в эти зависимости: $K_{ра}$ – учитывает режущую способность абразива, $K_{отс}$ – обрабатываемость твердого сплава и $K_{рж}$ – влияние применяемой рабочей жидкости на интенсивность обработки. Величины этих коэффициентов могут быть определены эмпирическим путем, например по методике, изложенной в работе [7]. В выполненных нами исследованиях величины коэффициентов были приняты равными 1. Полученные зависимости позволяют оценить влияние каждого из переменных факторов на формирование значений ρ и R_a .

Проверка значимости коэффициентов уравнений регрессии проводилась по t -критерию Стьюдента, а проверка адекватности модели – с использованием F -критерия Фишера. Было установлено, что масса пластин является статистически незначимым переменным фактором при получении зависимостей для определения ρ и R_a . Это объясняется сравнительно небольшим диапазоном изменения частоты вращения ротора ЦРС, ограниченным условием проведения обработки пластин без появления выкрашиваний и сколов на ре-

жущих кромках. Угол заострения режущего клина β является статистически незначимым переменным фактором только при получении зависимости для определения параметра R_a .

На рис. 2 показан характер изменения величин ρ и R_a от времени ЦРО t . Графические зависимости, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что интенсивность съема материала с рабочих поверхностей СМП более высокая в начальный период обработки, а с течением времени замедляется. Это объясняется тем, что в начальный период радиус округления формируется в основном за счет сколов зерен карбидов твердых сплавов и частичного межзеренного разрушения, которое в дальнейшем становится преобладающим. Величина параметра R_a , как и при всех видах объемной обработки, с течением времени уменьшается и приближается к предельно допустимому значению для данных режимов и условий обработки.

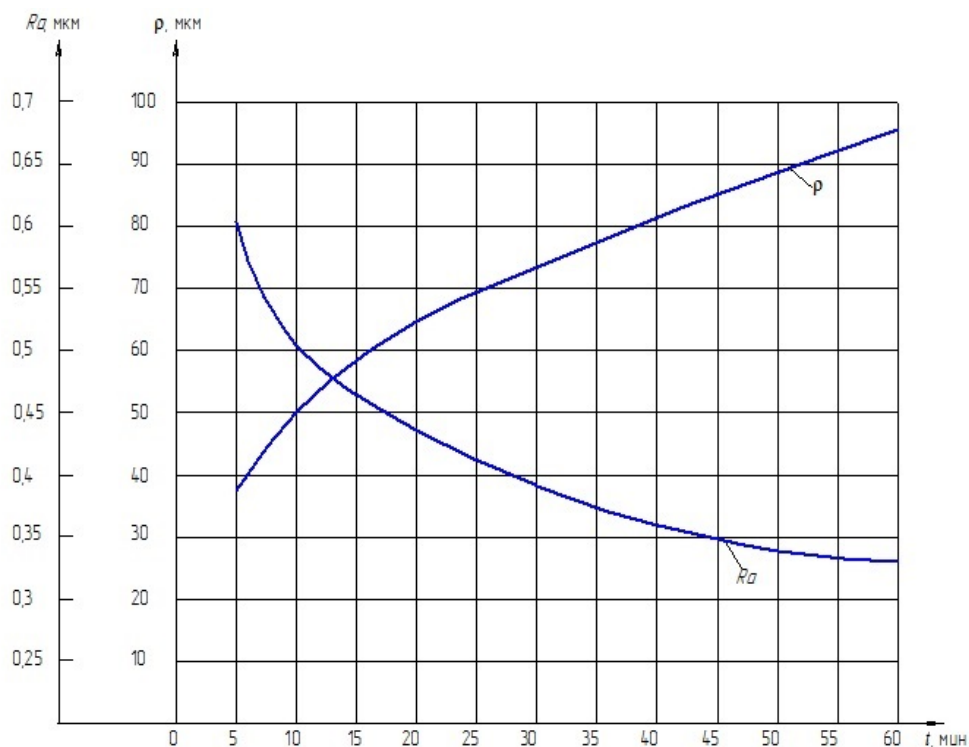


Рис. 2. Влияние времени обработки t на радиус округления режущих кромок ρ и шероховатость рабочих поверхностей R_a твердосплавных пластин ($D = 425$ мм, $\beta = 75^\circ$, $n = 125$ мин $^{-1}$)

На рис. 3 приведены графические зависимости изменения величин ρ и R_a при варьировании частоты вращения ротора n (для $D = 425$ мм, $\beta = 75^\circ$ и $t = 20$ мин). С увеличением величины n повышается интенсивность съема материала с поверхности СМП, что связано с ростом контактных давлений в потоке обрабатываемой среды. Однако при этом повышается расход абразивного наполнителя и возникает опасность появления сколов и выкрашиваний на режущих кромках СМП при их взаимных соударениях в рабочей камере ЦРС.

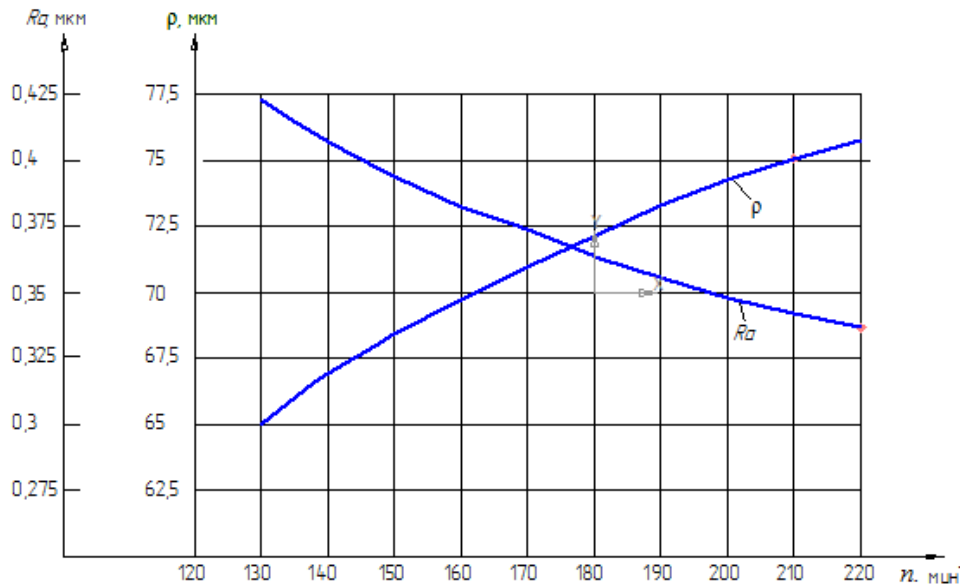


Рис. 3. Влияние частоты вращения ротора станка n на радиус округления режущих кромок ρ и шероховатость рабочих поверхностей СМП R_a

Увеличение диаметра рабочей камеры ЦРС также приводит к повышению контактных давлений в тороидально-винтовом потоке абразивного наполнителя и обрабатываемых пластин, что увеличивает интенсивность съема твердого сплава. Однако это приводит не только к увеличению потребного количества абразивного наполнителя, но и сопровождается его интенсивным износом.

При одних и тех же условиях и режимах обработки с увеличением величины заострения режущего клина β увеличивается радиус округления режущих кромок ρ . Это обусловлено тем, что при одной и той же величине съема твердого сплава у СМП с большей величиной β образуется больший радиус ρ .

Для оценки влияния ЦРО на физико-механические характеристики поверхностного слоя СМП были проведены исследования на пластинах из сплава ВК-8 с использованием вышеописанного дифрактометра модели ДРОН-3. ЦРО проводилась при следующих режимах и условиях: $D = 425$ мм, $n = 220$ мин⁻¹, $t = 35$ мин, абразивный наполнитель – электрокорунд белый с зерном 40 мкм, технологическая жидкость – 3 % раствор кальцированной соды. По измеренным значениям межплоскостных расстояний и сумм главных напряжений в поверхностных слоях необработанных и после ЦРО СМП установлено, что данный вид обработки не приводит к их значительным изменениям, что свидетельствует о стабильности физико-механических характеристик до и после обработки.

Заключение

Показано, что объемная ЦРО СМП с абразивным наполнителем в рабочей камере ЦРС характеризуется высокой производительностью процесса,

однако при такой схеме ее проведения может возникать значительное количество пластин с браком в виде сколов и выкрашиваний на их режущих кромках.

Приведены результаты экспериментальных исследований объемной ЦРО СМП инструмента для округления режущих кромок и повышения качества обработки режущих и опорных поверхностей пластин.

Получены эмпирические зависимости для определения рациональных режимов обработки СМП, которые исключают возможность появления брака в виде сколов и выкрашиваний на режущих кромках твердосплавных пластин.

Список литературы

1. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов : учебник для вузов. 2-е изд. М. : Машиностроение, 2012. 304 с.
2. Артамонов Е. В. Повышение работоспособности сборных режущих инструментов на основе исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сменных твердосплавных пластин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2003. 34 с.
3. Хаэт Г. Л., Гах В. Л., Громаков К. Г. [и др.]. Сборный твердосплавной инструмент / под общ. ред. Г. Л. Хаэта. М. : Машиностроение, 1989. 256 с.
4. Ящерицын П. И., Фельдштейн Е. Э., Корниевич М. А. Теория резания : учебник. 2-е изд. Минск : Новое знание, 2006. 512 с.
5. Липов А. В., Нырков Н. Н. Центробежно-ротационная обработка сменных многогранных пластин режущего инструмента // Проблемы исследования и проектирования машин. Новые химические технологии, защитные и специальные покрытия: производство и применение : сб. ст. по материалам XII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2019. С. 6–11.
6. Нырков Н. Н. Совершенствование технологии объемной финишной обработки неперетачиваемого твердосплавного инструмента : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 1999. 176 с.
7. Трилисский В. О. Повышение эффективности отделочно-зачистных операций путем создания теории, оборудования и технологии объемной центробежно-ротационной обработки деталей : дис. ... д-ра техн. наук. 1992. 259 с.
8. Липов А. В., Павловский П. Г., Леонов А. А. Отделочно-зачистная обработка твердосплавного режущего инструмента // Техника и технология современного производства : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2019. С. 108–112.
9. Липов А. В., Павловский П. Г., Липов В. А. Особенности центробежно-ротационной обработки сменных многогранных пластин режущего инструмента // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : сб. ст. VI Всерос. науч.-техн. конф. для молодых ученых и студентов с междунар. участием (Пенза, 19–20 марта 2020). Пенза : РИО ПГАУ, 2020. С. 100–102.
10. Липов А. В., Павловский П. Г., Липов В. А. Исследование центробежно-ротационной обработки концевых твердосплавных режущего инструмента // Вестник Пензенского государственного университета. 2020. № 4. С. 89–94.
11. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М. : Машиностроение, 1974. 231 с.
12. Грачев Ю. П., Плаксин Ю. М. Математические методы планирования экспериментов : учеб. пособие. М. : ДеЛиПринт, 2005. 296 с.

References

1. Kozhevnikov D.V., Kirsanov S.V. *Rezanie materialov: uchebnik dlya vuzov. 2-e izd = Cutting materials: : textbook, the 2nd edition.* Moscow: Mashinostroenie, 2012:304.

2. Artamonov E.V. *Povyshenie rabotosposobnosti sbornykh rezhushchikh instrumentov na osnove issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i prochnosti smennykh tverdospilnykh plastin: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk = Improving the performance of prefabricated cutting tools based on the study of the stress-strain state and strength of replaceable carbide inserts: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of engineering sciences.* Tomsk, 2003:34.
3. Khaet G.L., Gakh V.L., Gromakov K.G. [et al.]. *Sbornyy tverdospilnoy instrument = Assembled carbide tool.* Moscow: Mashinostroenie, 1989:256.
4. Yashcheritsyn P.I., Fel'dshteyn E.E., Kornievich M.A. *Teoriya rezaniya: uchebnik. 2-e izd. = Cutting theory: textbook, the 2nd edition.* Minsk: Novoe znanie, 2006:512.
5. Lipov A.V., Nyrkov N.N. Rotary centrifugal machining of replaceable multi-faceted cutting tool inserts. *Problemy issledovaniya i proektirovaniya mashin. Novye khimicheskii tekhnologii, zashchitnye i spetsial'nye pokrytiya: proizvodstvo i primeneniye: sb. st. po materialam XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Research and design issues of machines. New chemical technologies, protective and special coatings: production and application: proceedings of the 12th International scientific and engineering conference.* Penza: Privolzhskiy Dom znaniy, 2019:6–11.
6. Nyrkov N.N. *Sovershenstvovanie tekhnologii ob"emnoy finishnoy obrabotki nepere-tachivaemogo tverdospilnogo instrumenta: dis. kand. tekhn. nauk = Improvement of the technology of "removable finishing of non-regrind carbide tools: dissertation to apply for the degree of the candidate of engineering sciences.* Penza, 1999:176.
7. Trilisskiy V.O. *Povyshenie effektivnosti otdelchno-zachistnykh operatsiy putem sozdaniya teorii, oborudovaniya i tekhnologii ob"emnoy tsentrobezhno-rotatsionnoy obrabotki detaley: dis. d-ra tekhn. nauk = Improving the efficiency of finishing and protective operations by creating a theory, equipment and technology for volumetric centrifugal-rotary processing of parts: dissertation to apply for the degree of the doctor of engineering sciences.* 1992:259.
8. Lipov A.V., Pavlovskiy P.G., Leonov A.A. Finishing and deburring of carbide cutting tools. *Tekhnika i tekhnologiya sovremennogo proizvodstva: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf. = Technique and technology of modern production: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference.* Penza: Privolzhskiy Dom znaniy, 2019:108–112.
9. Lipov A.V., Pavlovskiy P.G., Lipov V.A. Features of centrifugal-rotary machining of replaceable multifaceted cutting tool inserts. *Innovatsii tekhnicheskikh resheniy v mashinostroenii i transporte: sb. st. VI Vseross. nauch.-tekhn. konf. dlya molodykh uchenykh i studentov s mezhdunar. uchastiem (Penza, 19–20 marta 2020) = Innovation of technical solutions in mechanical engineering and transport: proceedings of the 5th All-Russian scientific and engineering conference for young scientists and students with international participation.* Penza: RIO PGAU, 2020:100–102.
10. Lipov A.V., Pavlovskiy P.G., Lipov V.A. Research of centrifugal-rotary machining of end carbide cutting tool. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Penza State University.* 2020;4:89–94.
11. Katsev P.G. *Statisticheskie metody issledovaniya rezhushchego instrumenta = Statistical research methods for cutting tools.* Moscow: Mashinostroenie, 1974:231.
12. Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov: ucheb. posobie = Mathematical methods for planning experiments: textbook.* Moscow: DeLiPrint, 2005:296.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Викторович Липов

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры технологий
и оборудования машиностроения,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: morsha58@yandex.ru

Aleksandr V. Lipov

Candidate of engineering sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of technologies
and equipment for mechanical engineering,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Николай Николаевич Нырко

кандидат технических наук, инженер
кафедры компьютерного проектирования
технологического оборудования,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: nikolai.nyrkov@gmail.com

Nikolay N. Nyrkov

Candidate of engineering sciences, engineer
of the sub-department of computer design
of technological equipment, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Виталий Александрович Липов

магистрант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: s310.hwm@yandex.ru

Vitaliy A. Lipov

Master's degree student, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 17.02.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 12.03.2021

Принята к публикации / Accepted 02.04.2021