

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.9.02:621.01
doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-4-11

СОЗДАНИЕ КАНАВОЧНОГО И ОТРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА С КАНАЛАМИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сергей Семенович Кугаевский^{1✉}, Евгений Николаевич Пиженков², Владимир Михайлович Подгорбунских³

^{1,2,3} Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ s.s.kugaevskiy@urfu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8715-3699>

² e.n.pizhenkov@urfu.ru

³ vladimir.podgorbunskikh@mail.ru

Аннотация

Цель исследования заключается в разработке конструкции и технологии изготовления канавочных и отрезных резцов, имеющих внутренние каналы для подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) под высоким давлением. В конструкции предполагается использование обычных режущих сменных твердосплавных пластин (СТП), предлагаемых многими производителями. Ввиду того, что сверление узких каналов в теле резца весьма проблематично, предложено переднюю часть резца, крепящую режущую сменную твердосплавную пластину, изготавливать аддитивным способом. Задняя часть резца (державка) может быть изготовлена традиционными способами. При этом проведен анализ вариантов крепления режущих сменных твердосплавных пластин (СТП), базирования ее в державке, способ подведения СОЖ.

Рассмотрены варианты конструкции канавочных и отрезных резцов по критерию особенностей обработки. Особое внимание уделено конструкции резцов для токарной обработки узких глубоких канавок.

Новизна работы заключается в выполнении исследований, связанных с разработкой новой конструкции корпусов режущего инструмента с каналами для подвода СОЖ и метода его изготовления.

Методом исследования является конструкторское 3D-моделирование инструмента и компьютерный анализ напряженного состояния на опорной поверхности резцовой головки. Разработки конструкций канавочного и отрезного инструмента с каналами для охлаждения, изготовленными с помощью аддитивных технологий в настоящее время в литературе не описаны.

В результате исследования получены 3D-модели, чертежи резцов для прорезки радиальных и осевых канавок и резцов для отрезки заготовок. Проведены исследования напряженного состояния опорных поверхностей для СТП. Изготовлены опытные образцы соответствующих трех типов резцов. Выводы: проведенное исследование показывает перспективность применения метода.

Благодаря использованию разработанного инструмента создается возможность повышения производительности механической обработки деталей из труднообрабатываемого материала, в том числе титановых сплавов и жаропрочных сталей. В результате может быть решена задача создания отечественного режущего инструмента, превосходящего по своим свойствам импортные аналоги.

Ключевые слова: обработка, резец, пластина, каналы, технологии.

Ссылка для цитирования:

Кугаевский С.С. Создание канавочного и отрезного инструмента с каналами для охлаждения, изготовленными с помощью аддитивных технологий / С. С. Кугаевский, Е. Н. Пиженков, В. М. Подгорбунских // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 10. – С. 4 – 11. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-4-11.

CREATING A GROOVING AND CUTTING TOOL WITH COOLING CHANNELS MADE USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

Sergey Semenovich Kugaevsky^{1✉}, Evgeny Nikolaevich Pyzhenkov², Vladimir Mikhailovich Podgorbunskikh³

^{1,2,3} Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

¹ s.s.kugaevskiy@urfu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8715-3699>

² e.n.pizhenkov@urfu.ru

³ vladimir.podgorbunskikh@mail.ru

Abstract

The study objective is to develop the design and technology of manufacturing grooving and cutting tools with internal channels for supplying coolants under high pressure. The design assumes the use of conventional replaceable cutting carbide plates (CCP) offered by many manufacturers. Due to the fact that drilling of narrow channels in the cutter is very problematic, it is proposed to manufacture the front part of the cutter, which secures the replaceable cutting carbide plate, in an additive way. The back of the cutter (holder) can be made by traditional methods. At the same time, the options for fixing the replaceable cutting carbide plates (CCP) are analysed, as well as basing it in the holder and the method of coolant supply.

The variants of the design of grooving and cutting tools according to the criterion of treatment features are considered. Special attention is paid to the design of cutters for the surface treatment of narrow deep grooves. The novelty of the work is in carrying out research related to the development of a new design of cutting tools with channels for coolant supply and the method of its manufacture.

The research method is 3D modeling of the tool and computer analysis of the stress state on the support surface of the tool head. The development of designs of grooving and cutting tools with cooling channels made with the help of additive technologies is currently not described in the scientific literature.

Study result: 3D models, drawings of tools for cutting radial and axial grooves and tools for cutting the edges are obtained. Studies of the stressed state of the support surfaces for CCP are carried out. Prototypes of the corresponding three types of cutters are made. Conclusions: the conducted research proves the prospects of using the method.

Thanks to the use of the developed tool, it is possible to increase the productivity of machining parts made of hard-to-machine material, including titanium alloys and heat-resistant steels. As a result, the task of creating a domestic cutting tool that surpasses imported analogues in its properties can be solved.

Keywords: machining, cutter, plate, channels, technologies.

Reference for citing:

Kugaevsky SS, Pyzhenkov EN, Podgorbunskikh VM. Creating a grooving and cutting tool with cooling channels made using additive technologies. *Transport Engineering*. 2022; 10: 4–11. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-4-11.

Введение

В данной работе предложены конструкции канавочного и отрезного резца, имеющие внутренние каналы для подачи смазочно-охлаждающей жидкости под высоким давлением.

Обработка цилиндрических канавок и отрезка заготовок на токарных станках являются одними из наиболее сложных операций обработки заготовок на токарных станках. Это происходит потому, что резец находится в стесненных условиях и сложно обеспечить надежное удаление стружки без задигов на обработанной поверхности. При этом в зоне резания возни-

кает резкое повышение температуры, что негативно сказывается на стойкости режущей кромки резца. Чем больше глубина канавки, которую нужно получить, тем большие проблемы возникают при обработке. Обычно эту проблему решают подбором оптимальной геометрии резца и рациональным выбором режимов резания. Для уменьшения температуры в зоне резания применяют многократный вывод резца и подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) методом свободного полива. Однако применение СОЖ для снижения температуры на режущей кромке также

затруднено из-за недостатка свободного места в зоне резания.

Решению проблем, связанных с операциями отрезки и обработки канавок на токарных станках, уделяется большое внимание в технической литературе. В первую очередь большое внимание уделяется созданию СТП с оптимальной геометрией, позволяющей эффективно удалять стружку из зоны резания [1]. Операции обработки канавок весьма близки к операциям отрезки заготовок на токарных станках и часто могут использовать один и тот же инструмент. Однако имеется специфика как в части геометрии режущей кромки, так и в части конструкции державки резца. Различают следующие типы канавок: узкие и широкие канавки, неглубокие и глубокие канавки, внутренние и наружные, цилиндрические и торцевые. Узкие канавки обрабатываются за одно врезание. При этом выбирается ширина резца, равная ширине канавки. Стандартными пластинами можно обработать канавки шириной до 8 мм. Широкие канавки могут обрабатываться многопроходным врезанием в радиальном направлении, точением вразгонку,

врезанием под углом с чистовой доработкой. Для внутренних и торцевых канавок могут применяться те же СТП, но конструкция державки резца будет отличаться. Державка резца должна точно базировать и надежно закреплять СТП для обеспечения качества обработки. Важно установить режущую кромку СТП по высоте центров станка. Отклонение от линии центров станка не должно превышать 0,1 мм. Также важно расположить резец строго перпендикулярно оси детали. Если перпендикулярность не обеспечивается, то это может привести к возникновению вибраций вследствие несбалансированности сил резания. Одним из важнейших требований, предъявляемым к конструкции резца является обеспечение жесткости инструмента. Для отрезных операций часто применяются плоские отрезные лезвия, которые устанавливаются в базовом блоке с возможностью настройки вылета резца. Но для повышения надежности и жесткости целесообразно применять крепления СТП винтом (рис.1). Подробно классификация крепления СТП в токарных державках представлена в работе [2].

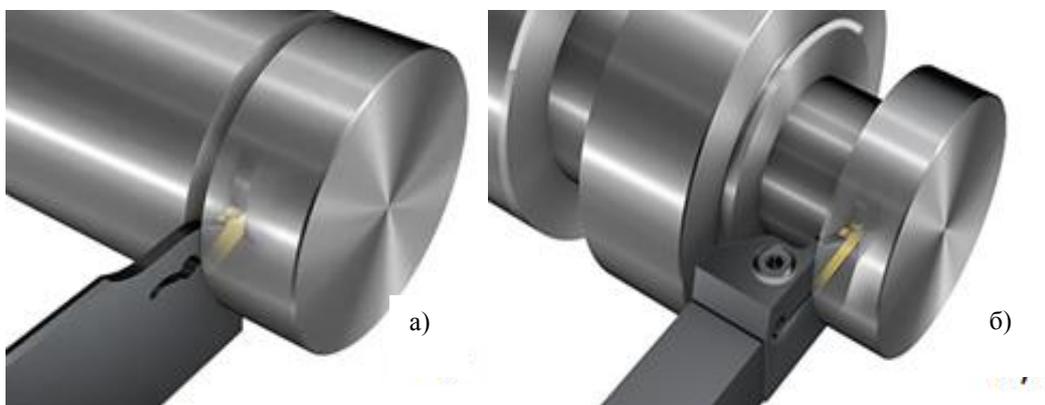


Рис.1. Крепление СТП: а – пружинящие свойства корпуса; б – крепление винтом [1]
Fig.1. Fastening of the STP due to the spring properties of the body (a) and fastening with a screw (b)

Имеющиеся решения для уменьшения температуры в зоне резания

Возможно организовать подачу СОЖ сверху для охлаждения передней грани и снизу для охлаждения задней грани резца. Верхний подвод СОЖ улучшает отвод стружки из зоны резания и уменьшает процесс наростобразования на режущей кромке. Нижний подвод СОЖ уменьшает температуру и износ по задней грани резца. При этом существенно повышается стойкость режущей кромки. Выше было

сказано, что на операциях отрезки и обработки канавок при наружной подаче СОЖ фактическое количество жидкости, попадающее в зону резания очень мало.

Для повышения эффективности охлаждения применяют системы внутренней подачи СОЖ под давлением через тело резца. Особенно эффективно применение этого метода при обработке титановых сплавов, жаропрочных и нержавеющей

сталей. Также эффект наблюдается при обработке мягких материалов, склонных к налипанию к режущей поверхности резца. Подробно вопросы трибологии при резании металлов изложены в работе [3].

Эффективность применения подачи СОЖ под давлением обоснована многочисленными исследованиями при обработке труднообрабатываемых сплавов Inconel 718 [4] и Ti-6Al-4V [5, 6]. В работе [7] представлены исследования влияния направления и подачи СОЖ в зону резания на процесс обработки.

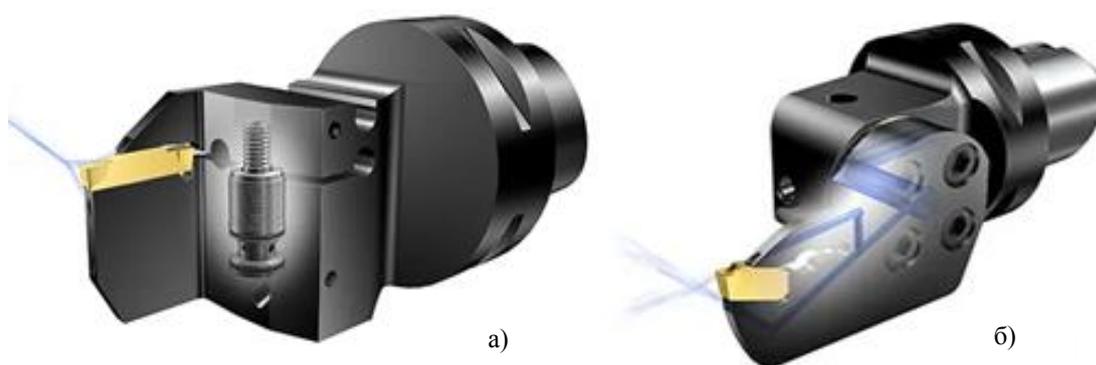


Рис. 2. Применение охлаждающих каналов: а - просверленных в теле канавочного резца; б - отрезного резца фирмы Sandvik Coromant [1]

Fig. 2. Application of cooling channels drilled in the body of a grooving tool (a) and parting tool (b) from Sandvik Coromant

Материалы, модели, эксперименты и методы

В нашем исследовании рассмотрены наиболее сложные с точки зрения технологии операции: отрезка заготовок и обработка узких канавок средней и большой глубины. Перечисленные проблемы могут быть решены за счет применения аддитивной SLM-технологии (Selective Laser Melting) благодаря уникальным возможностям и заложенным в ее основу физическим процессам.

Во-первых, исходный материал (сфероидальный порошок) имеет строго определенный химический состав с необходимыми механическими характеристиками (прочность, ударная вязкость, твердость). При лазерном сплавлении образуется однородная мелкозернистая структура без дефектов (раковин, посторонних включе-

Представленные на рис. 2 конструкции известных производителей инструмента весьма эффективны, но достаточно дороги из-за их высокой сложности. Изготовление каналов для подачи СОЖ в теле резца методом сверления – процесс трудоемкий и не позволяет обрабатывать отверстия менее 1 мм. К тому же он не может обеспечить плавное скругление подводящих каналов внутри державки. Это значительно снижает скорость движения жидкости на выходе в зону резания.

ний), которая и обеспечивает получение заданных механических свойств.

Во-вторых, для SLM-технологий практически не существует ограничений в получении сложных форм изделий, которые традиционными методами механической обработки материалов зачастую невозможны. В нашем случае таким сложным элементом является гнездо под пластину (канавочную или отрезную). Важно только правильно расположить в пространстве модель будущего резца.

В-третьих, одна из самых уникальных возможностей SLM-технологий – это возможность получать любые формы внутренних поверхностей. Это позволяет получить в теле резца систему каналов для подачи СОЖ в зону резания (рис. 3).

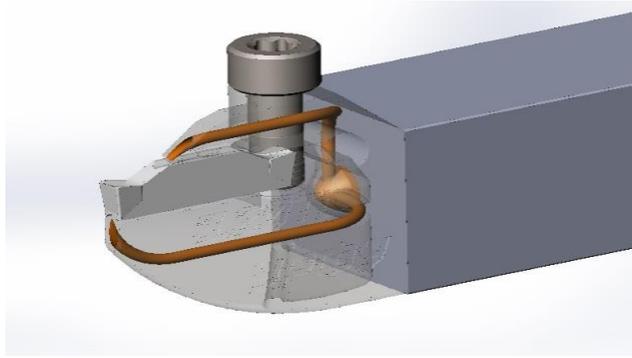


Рис. 3. Внутренние каналы для подачи СОЖ в теле резцовой головки
Fig.3. Internal coolant channels in the body of the cutting head

Каналы могут иметь любую форму продольного и поперечного сечения. Это позволяет получить минимальные гидравлические потери, оптимальную форму и направление струи СОЖ и при этом не уменьшить прочность державки.

В-четвертых, для изготовления державки не требуется изготовление специального режущего инструмента 2-го порядка и другой технологической оснастки. Это позволяет изготавливать инструмент

Проведены исследования напряженного состояния опорных поверхностей для СТП.

Выполнены рабочие чертежи каждого из смоделированных инструментов с целью изготовления опытных образцов для натурных испытаний.

Результаты

В Уральском федеральном университете ведутся разработки конструкций режущего инструмента с внутренними каналами для подачи СОЖ в зону резания [8, 9, 10]. В описываемом проекте авторами раз-

любыми партиями с минимальными затратами времени и средств на подготовку производства. Требуемое время между разработкой 3D-модели и изготовлением готового изделия составляет две-три смены.

В ходе исследований были выполнены следующие работы:

Разработаны 3D-модели резцов для прорезки радиальных и осевых канавок и резцов для отрезки заготовок.

Изготовлены опытные образцы соответствующих трех типов резцов.

Проведены натурные испытания для проверки работоспособности изготовленных образцов при токарной обработке канавок и при отрезке заготовок.

работана методика построения 3D-моделей и проведено компьютерное исследование напряженного состояния конструкции (рис. 4).

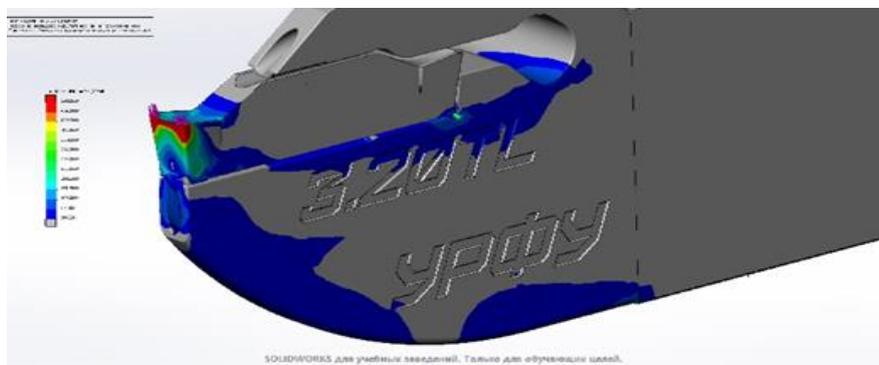


Рис. 4. Результат проведения исследований напряженного состояния на опорной плоскости резцовой головки
Fig.4. The result of the study of the stress state on the support plane of the cutting head

Были разработаны конструкции резца для прорезки радиальных канавок шириной 3 мм на глубину до 15 мм для режущих пластинок производства Taegu Tec (рис. 5).

Также были сконструированы отрезные резцы шириной 3 мм для отрезки заготовок диаметром до 50 мм (рис. 6).

Для проведения испытаний были изготовлены опытные образцы державок канавочного и отрезного резцов. В целях экономии средств рабочая часть державок с гнездом под СТП и каналами для подачи СОЖ были изготовлены аддитивным способом. Материал – порошок марки Bohler. Фракция 15...45 мкм. Хвостовик державки сечением 20×20 мм были изготовлены из конструкционной стали 45 традиционным способом. После этого рабочая часть была приварена к хвостовику. Гнезда под СТП механически не дорабатывались. Испытания проводились на токарном станке мод. СТХ 310 Ecoline фирмы DMG MORY (рис.7). Применялась смазочно-охлаждающая жидкость Blaser.

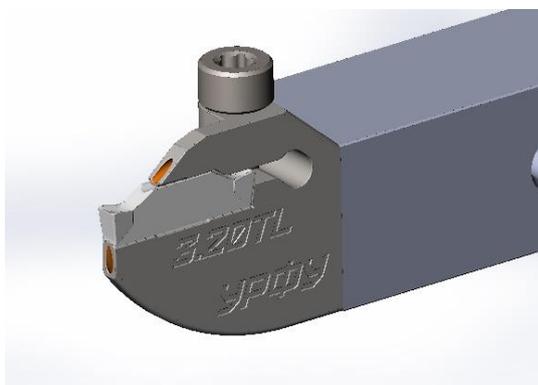


Рис. 5. Резец для прорезки радиальных канавок
Fig.5. Cutter for cutting radial grooves

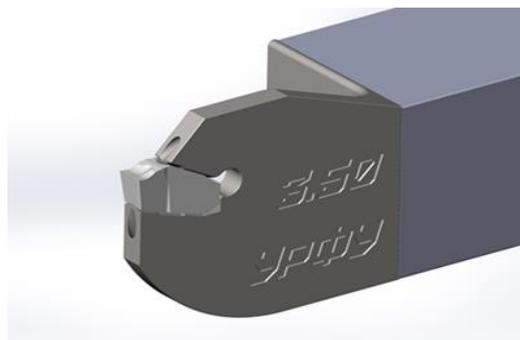


Рис. 6. Резец для отрезки заготовок
Fig.6. Parting tool

При испытаниях обрабатывался пруток из стали 45 со следующими режимами обработки:

Скорость резания $V=150$ м/мин. Подача варьировалась по уровням 0,05 мм/об, 0,1 мм/об, 0,15 мм/об, 0,2 мм/об. Материал режущей пластины фирмы Taegu Tec. Обе державки работали последовательно на всех перечисленных подачах по 10 мин.



Рис.7. Установка резца в револьверную головку токарного станка
Fig.7. Installing a cutter in the turret of a lathe

Обсуждение/Заключение

В результате выполненных исследований:

1. Разработаны конструкции канавочного и отрезного резцов с каналами для охлаждения, изготовленными с помощью аддитивных технологий. Конструкция резцов содержит базовую державку, к которой крепится резцовая головка, изготовленная методом аддитивных SLM технологий

2. На основании построенных 3D-моделей изготовлены опытные образцы

резцовых головок методом селективного лазерного сплавления – SLM

3. Проведены испытания опытных образцов при обработке деталей из стали 45.

Результаты наблюдений показали, что повреждений поверхностей державок нет, износ режущей части пластин крайне незначительный, стружкообразование нормальное, вибрации отсутствовали. Таким образом, испытания опытных образцов канавочных и отрезных резцов,

изготовленных с применением аддитивных SLM-технологий показали их работо-

способность и эффективность при обработке с заданными режимами резания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sandvik.coromant. Отрезка и обработка канавок [электронный ресурс] URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/parting-and-grooving-tools.aspx> (дата обращения 23.05.22).
2. Попок Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки.* 2012;3. URL: <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/491>.
3. Astakhov V.P. Tribology of Cutting Tools. In: Davim J. (eds) *Tribology in Manufacturing Technology. Materials Forming, Machining and Tribology.* Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31683-8_1.
4. Çolak O. Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering.* 2012;58(11):683-690. doi:10.5545/sv-jme.2012.730.
5. Khan A., Mia M., Ranjan N. Dhar High-pressure coolant on flank and rake surfaces of tool in turning of Ti-6Al-4V: investigations on forces, temperature, and chips. *Int J Adv Manuf Technol.* 2017;90:1977–1991. doi: 10.1007/s00170-016-9511-6

6. Cayli T., Klocke F., Döbbeler B. Increasing Energy Efficiency in Turning of Aerospace Materials with High-Pressure Coolant Supply. *Procedia Manufacturing.* 2018;21:405-412. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.138
7. Gariani S., Shyha I., Inam F., Huo D. Experimental analysis of system parameters for minimum cutting fluid consumption when machining Ti-6Al-4V using a novel supply system. *Received: 3 July 2017. Accepted: 13 October 2017. Published online: 29 November 2017.*
8. Kugaevskii S.S., Gamberg A.E., Pizhenkov E.N. The effectiveness of additive SLM-technologies in the manufacture of cutting tools. *Materials Today: Proceedings.* July 2019. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.055 p.1977–1981.
9. Kugaevskii S.S., Gamberg A.E., Kulpina K.A. Development of Modular Later Cutter with the Application of Additive Technologies. *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020).* April 2021. doi: 10.1007/978-3-030-54814-8_14.
10. Pizhenkov E.N., Podgorbunskikh V.M., Roshchin V.A. Using of SLM 3D printing technology in the manufacture of high-performance drilling heads. *Polish Science Journal.* 2018;9:63-66.

REFERENCES

1. Sandvik.coromant. Cutting and grooving [Internet]. [cited 2022 May 23]. Available from: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/parting-and-grooving-tools.aspx>
2. Попок NN. Analysis of trends in the design of tool systems [Internet]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki.* 2012;3. Available from: <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/491>
3. Astakhov VP. Tribology of Cutting Tools. In: Davim J, editor. *Tribology in Manufacturing Technology. Materials Forming, Machining and Tribology.* Springer, Berlin, Heidelberg; 2012. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31683-8_1
4. Çolak O. Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering.* 2012;58(11):683-690. doi:10.5545/sv-jme.2012.730.
5. Khan A, Mia M, Ranjan N. Dhar High-pressure coolant on flank and rake surfaces of tool in turning of Ti-6Al-4V: investigations on forces, temperature, and chips. *Int J Adv Manuf Technol.* 2017;90:1977–1991. doi: 10.1007/s00170-016-9511-6.

6. Cayli T, Klocke F, Döbbeler B. Increasing Energy Efficiency in Turning of Aerospace Materials with High-Pressure Coolant Supply. *Procedia Manufacturing.* 2018;21:405-412. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.138
7. Gariani S, Shyha I, Inam F, Huo D. Experimental analysis of system parameters for minimum cutting fluid consumption when machining Ti-6Al-4V using a novel supply system. 2017.
8. Kugaevskii SS, Gamberg AE, Pizhenkov EN. The effectiveness of additive SLM-technologies in the manufacture of cutting tools. *Materials Today: Proceedings;* 2019 July. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.055.
9. Kugaevskii SS, Gamberg AE, Kulpina KA. Development of Modular Later Cutter with the Application of Additive Technologies. *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020);* 2021April. doi: 10.1007/978-3-030-54814-8_14.
10. Pizhenkov EN, Podgorbunskikh VM, Roshchin VA. Using of SLM 3D printing technology in the manufacture of high-performance drilling heads. *Polish Science Journal.* 2018;9:63-66.

Информация об авторах:

Кугаевский Сергей Семенович – кандидат технических наук, доцент, тел. +7-912-247-27-62, доцент кафедры «Технологии машиностроения и станки и инструменты».

Пиженков Евгений Николаевич - тел. +7- 904-388-17-73, старший преподаватель кафедры «Тех-

нологии машиностроения и станки и инструменты».

Подгорбунских Владимир Михайлович – тел. +7-982-716-23-98, аспирант кафедры «Технологии машиностроения и станки и инструменты».

Kugaevsky Sergey Semenovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machines and Tools, phone: +7-912-247-27-62.

Pyzhenkov Evgeny Nikolaevich - Senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machines and Tools, phone: +7- 904-388-17-73.

Podgorbunskikh Vladimir Mikhailovich – Postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machines and Tools, phone: +7-982-716-23-98.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 22.05.2022; одобрена после рецензирования 30.05.2022; принята к публикации 26.09.2022. Рецензент – Киричек А.В., доктор технических наук, профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 22.05.2022; approved after review on 30.05.2022; accepted for publication on 26.09.2022. The reviewer is Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Long-term Development at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.