

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-100-106

Хурматуллин С.Р., Каменов Р.У.Альметьевский государственный нефтяной институт***E-mail: salikamirmama6@gmail.com)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУЖКИ

Аннотация. Современное машиностроение является одной из ключевых отраслей промышленности, определяющей технологический прогресс и конкурентоспособность производства.

При разработке и совершенствовании машин и оборудования в машиностроении важную роль играют исследования в области формирования стружки при лезвийной обработке. Формирование стружки – это процесс удаления материала с помощью режущего инструмента, который может быть лезвием или фрезой. Качество и характеристики стружки напрямую влияют на эффективность и качество обработки, а также на износ инструмента и стабильность процесса.

Изучение влияния скорости резания на формирование стружки при лезвийной обработке является одним из важных аспектов в улучшении производственных процессов. Скорость резания определяет скорость перемещения инструмента относительно обрабатываемого материала. При увеличении скорости резания происходит ускорение процесса формирования стружки и увеличение тепловыделения. Это может привести к повышению трения между инструментом и обрабатываемым материалом, что может негативно сказаться на качестве обработки и сроке службы инструмента.

Моделирование с использованием программного комплекса Deform-2D позволяет анализировать влияние скорости резания на характеристики стружки. Результаты моделирования показали, что при увеличении скорости резания происходит переход стружки от сливной формы к сегментной. Этот переход может быть связан с изменениями в контактом взаимодействии между инструментом и материалом, а также с изменением температуры резания.

Ключевые слова: моделирование, скорость резания, лезвийная обработка, формирование стружки, Deform-2D, сливная стружка, сегментная стружка.

Введение. К деталям предъявляют высокие требования по качеству, в частности к точности размеров и форм, и шероховатости обработанной поверхности. Существующий мировой опыт механической обработки титановых сплавов охватывает широкий круг вопросов, связанных с требованиями к металлорежущему оборудованию и инструменту, режимам обработки и т. д. [1, 2]. Механическая обработка титановых сплавов настолько важна, потому что эти материалы широко используются в авиации, медицинской промышленности, автомобилестроении, и других отраслях, где требуется высокая прочность и стойкость к коррозии. Работа с этими сплавами предъявляет большие вызовы из-за их материальных свойств, таких как низкая теплопроводность и высокая адгезия к режущему инструменту, что требует особого внимания при механической обработке.

Важным фактором при механической обработке титановых сплавов является точность размеров и формы, а также шероховатость обработанной поверхности. Для обеспечения этой точности требуются высокоточное металлорежущее оборудование и инструменты. Режимы обработки, такие как скорость резания, подача инструмента и глубина резания должны быть оптимально настроены, чтобы получить требуемые характеристики обработанных деталей.

В связи с этим, проведение исследований и опытных работ на предмет оптимизации процессов обработки титановых сплавов является важным направлением, заинтересовавшим множество специалистов в области машиностроения и материаловедения. Путем изучения влияния режимов обработки на качество изделий и шероховатость обработанной поверхности, а также разработкой новых методов и инструментов, можно улучшить процессы обработки и повысить качество изготавливаемой продукции.

В современном машиностроении вопросы оптимизации производственных процессов и повышения качества изделий играют решающую роль в конкурентной борьбе на рынке. Одним из важнейших аспектов является лезвийная обработка материалов, процесс, который играет ключевую роль в формировании деталей с заданными параметрами. Важным аспектом лезвийной обработки материалов является стремление к достижению заданных параметров изделий, таких как точность размеров, формы и шероховатости обработанных поверхностей. Точность и качество этих параметров оказывают существенное влияние на конечное качество продукции и ее конкурентоспособность на рынке.

Исследования показывают, что наиболее значимым фактором, влияющим на процесс формирования стружки при лезвийной обработке,

является скорость резания [3]. Именно скорость резания существенным образом определяет характеристики стружки и, как следствие, качество обработанной поверхности.

Скорость резания играет критическую роль в процессе механической обработки материалов, особенно при лезвийной обработке. Она влияет на формирование стружки и, как следствие, на качество обработанной поверхности. Исследования показывают, что увеличение скорости резания сопровождается увеличением тепловых нагрузок на зону резания, что приводит к изменению характеристик стружки и обработанной поверхности. Например, увеличение скорости резания приводит к более интенсивному пластическому деформированию материала, что влияет на формирование различных типов стружки. При этом, важно отметить, что при низких скоростях резания преобладает образование сливной стружки, в то время как увеличение скорости резания может привести к формированию элементной стружки, которая обладает более благоприятными характеристиками для удаления и переработки.

В процессе исследования было установлено, что изменение скорости резания приводит к существенным изменениям в форме и структуре образующейся стружки. Ранее проведенные исследования также указывали на нелинейную зависимость между скоростью резания и формой стружки [4].

Цель настоящего исследования заключается в моделировании влияния скорости резания на процесс формирования стружки при лезвийной обработке с использованием программного комплекса Deform-2D [5]. Программа Deform-2D предназначена для моделирования процессов с объёмным напряженным состоянием, таких как ковка, объёмная штамповка, волочение, прокатка, прессование и др. [6]. Deform-2D представляет собой мощный инструмент для моделирования процессов металлообработки с учетом объёмного напряженного состояния. Она разрабатывалась с целью анализа различных типов металлообрабатывающих процессов, включая ковку, объёмную штамповку, волочение, прокатку и прессование. За счет использования данной программы можно более детально проанализировать процессы формирования стружки, различных типов напряжений и тепловых полей, возникающих в процессе лезвийной обработки материалов. Когда мы говорим о лезвийной обработке, программа Deform-2D позволяет создавать модели, чтобы понять, как изменения в режимах резания, включая скорость и подачу инструмента, могут повлиять на процесс образования стружки и на формирование напряжений в обрабатываемом

материале. Это важно для понимания влияния острой геометрии режущего инструмента на конечное качество обработки и производительность. Результаты данного исследования могут способствовать оптимизации производственных процессов и повышению качества обработки материалов.

Следовательно, данное исследование имеет не только теоретическое, но и практическое значение для современного машиностроения, что подчеркивает актуальность и значимость данной проблематики в современном контексте [7].

Данная информация говорит о важности точности и качества механической обработки титановых сплавов в современном машиностроении. Она подчеркивает, что формирование деталей с заданными параметрами имеет критическое значение для конкурентоспособности на рынке.

Исследования, упомянутые в тексте, выявляют, что скорость резания играет решающую роль в формировании стружки при лезвийной обработке, влияя на характеристики стружки и, как следствие, на качество обработанной поверхности. Это свидетельствует о важности оптимального режима резания для получения требуемых результатов. Установлено, что изменение скорости резания приводит к существенным изменениям в форме и структуре стружки, что подтверждает нелинейную зависимость между скоростью резания и формой стружки.

Цель проводимого исследования заключается в моделировании влияния скорости резания на процесс формирования стружки с использованием программного комплекса Deform-2D, призванного оптимизировать производственные процессы и повысить качество обработки материалов. Таким образом, это исследование представляет не только теоретическую, но и практическую значимость для современного машиностроения, подчеркивая актуальность и важность решаемой проблематики в современном контексте.

Материалы и методы. Исследование процесса формирования стружки является важным аспектом в контексте лезвийной обработки материалов. Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на этот процесс, является скорость резания. Повышение скорости резания ведет к неоднородному тепловому воздействию на материал и более интенсивному пластическому деформированию, что в свою очередь приводит к изменениям в форме и структуре образующейся стружки.

Стружкой называется не крупная фракция какого-либо материала, в том числе дерева, пластмассы, металла, являющаяся собой неширо-

кий филигранный слой, снятый с заготовки посредством строгального оборудования, ножей либо других инструментов. [8] При резании выделяют несколько видов стружек, которые образуются при некой обработке. Сливная стружка представляет собой непрерывную ленту, которая в зависимости от условий схода по передней поверхности инструмента может быть прямой, спиральной или в виде хаотических завитков [9]. Сегментная стружка характеризуется колеблющимся профилем с видными вершинами чешуек на вершине [10]. Стружка надлома образуется при резании мало пластичных материалов (чугуна, бронзы) и состоит из отдельных кусочков [11].

Современные исследования указывают на нелинейную зависимость между скоростью резания и процессом стружкообразования [12]. Увеличение скорости резания обычно сопровождается увеличением тепловых нагрузок на зону резания, что, в свою очередь, приводит к интенсивному пластическому деформированию материала и изменению характеристик стружки. При увеличении скорости резания: количество тепла, уходящего в стружку, возрастает, а в деталь и инструмент – уменьшается [13].

Изменения в процессе стружкообразования при увеличении скорости резания можно интерпретировать через изменение типа стружки. При низких скоростях резания преобладает образование сливной стружки, которая обладает определенными характеристиками и особенностями [14]. Однако, с увеличением скорости резания, структура стружки может претерпевать изменения, приводя к формированию сегментной стружки, что характеризуется более сложным поведением стружки и влияет на процесс лезвийной обработки.

Важность изучения процесса стружкообразования и его связи со скоростью резания в кон-

тексте лезвийной обработки материалов не может быть недооценена. Имеющиеся данные указывают на нелинейную зависимость между скоростью резания и процессом стружкообразования, что подчеркивает значимость дополнительных исследований для более глубокого понимания этих явлений.

Согласно современным исследованиям, увеличение скорости резания сопровождается увеличением тепловых нагрузок на зону резания, в результате чего происходит интенсивное пластическое деформирование материала. Это влияет на изменение характеристик стружки, приводя к формированию различных типов стружки в зависимости от условий и параметров резания. Дополнительные исследования в этой области будут направлены на анализ изменений в структуре и форме образующейся стружки при различных скоростях резания. Выявление особенностей формирования различных типов стружки в условиях изменения скорости резания поможет определить оптимальные параметры резания для достижения требуемых характеристик обработанной поверхности. Это подчеркивает актуальность проведения моделирования, предполагающего изучение воздействия различных скоростей резания на процесс формирования стружки при лезвийной обработке.

Таким образом, важно изучить и понять явления, происходящие в процессе стружкообразования при увеличении скорости резания, что позволит разработать более эффективные методы лезвийной обработки материалов [15].

Для того, чтобы определить влияние скорости резания на формирование стружки при лезвийной обработке, нужно произвести 3 моделирования, с различными скоростями резания (50, 150 и 250 м/мин) и одинаковой глубиной резания ($t = 0,05$ мм). Схема моделирования представлена на рисунке 1.

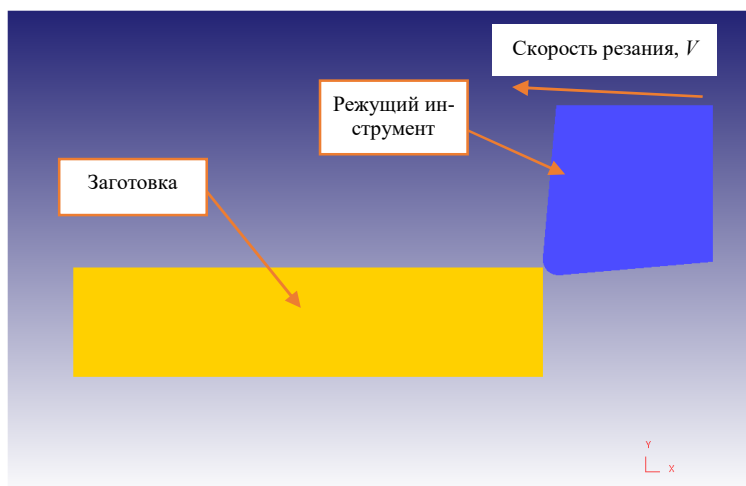


Рис. 1. Схема моделирования

При моделировании для заготовки использовался материал Ti-5553, для инструмента – WC.

Для подтверждения результатов моделирования также был проведен натурный эксперимент с режимами резания аналогичными используемым в моделировании (50 и 250 м/мин). Материал заготовки – титановый сплав BT-3. Сам процесс резания был заснят при помощи высокоскоростной камеры EoSens CL.

Результаты эксперимента. Скорость резания является ключевым фактором в процессе лезвийной обработки материалов. Результаты моделирования, представленные на рисунке 2, позволяют визуализировать влияние скорости резания на образование стружки во время процесса обработки.

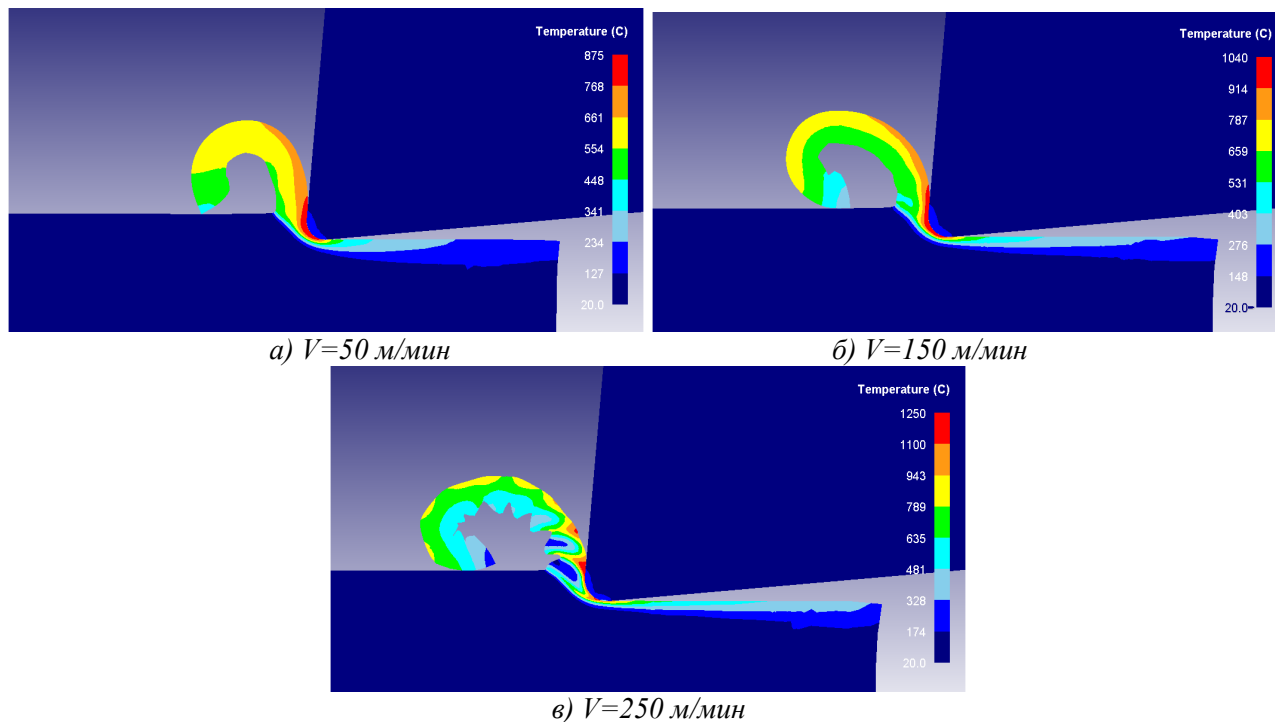


Рисунок 2 – Результаты моделирования

Результаты эксперимента приведены на рисунке 3.



Рис. 3. Результаты эксперимента

Обсуждение результатов. Результаты моделирования и эксперимента явно указывают на связь между скоростью резания и типом образующейся стружки. При скоростях резания от 50 до 150 м/мин наблюдается образование сливной стружки, в то время как при скоростях резания от 250 м/мин и выше формируется элементная стружка.

Это наблюдение позволяет сделать вывод о более благоприятном типе стружки с точки зрения удаления и переработки. Элементная

стружка, образующаяся при более высоких скоростях резания, представляет собой более компактный и удобный для удаления материал. Этот тип стружки также обеспечивает более эффективную переработку и повторное использование материала, что в свою очередь способствует сокращению отходов и повышению эффективности производственных процессов.

С учетом этих результатов рекомендуется использовать скорости резания, обеспечивающие

формирование элементной стружки, для повышения эффективности и улучшения процессов удаления стружки от станка, а также ее последующей переработки. Это позволит минимизировать производственные отходы и расход материалов, повысив при этом эффективность и экологическую устойчивость производственных процессов.

Выводы и заключения. Исходя из результатов исследований, явно проявляется важность оптимального выбора скорости резания для обеспечения формирования более благоприятной стружки.

На основании упомянутых данных, где подчеркивается связь между скоростью резания и типом образующейся стружки, можно сделать вывод о необходимости уделения внимания оптимизации параметров резания для повышения качества обработки материалов.

Полученные результаты указывают, что скорость металлорежущего инструмента должна превышать 250 м/мин для достижения более благоприятной стружки. Однако, необходимо провести дополнительные исследования, чтобы установить оптимальные значения скорости резания для конкретных материалов и условий обработки, поскольку эти параметры могут варьироваться в зависимости от типа материала, его свойств и требуемых характеристик обрабатываемой поверхности.

Разработана универсальная методика теоретического анализа процесса стружкообразования для любой пары обрабатываемый материал — режущий инструмент.

Исследования показали, что стружкообразование при резании пластичных материалов имеет циклический характер, что подтверждается наличием выступов на наружной поверхности стружки.

Большое влияние на формирование стружкообразования также оказывает передний угол резца режущего инструмента. По мере износа резца радиус скругления увеличивается, что вызывает снижение частоты стружкообразования. Появление на резце нароста может снизить частоту стружкообразования в разы.

Исходя из этого, дальнейшие исследования в данной области могут привести к разработке более точных рекомендаций по выбору оптимальной скорости резания для различных материалов, что в итоге способствует повышению эффективности процессов механической обработки и улучшению качества изготовления деталей.

Полученные результаты явствуют о важности оптимального выбора скорости резания в процессе механической обработки материалов.

Учитывая связь между скоростью резания и типом образующейся стружки, становится ясно, что оптимизация параметров резания играет решающую роль в обеспечении высокого качества обработки материалов. Глубокий анализ и дополнительные исследования в этой области могут привести к формированию стандартов и рекомендаций, способствующих улучшению и оптимизации процессов механической обработки различных материалов, что, в конечном итоге, сыграет ключевую роль в повышении качества и конкурентоспособности производимой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Uzun T., Aslantas K., Bedir F. An experimental investigation of the effect of coating material on tool wear in micro milling of Inconel 718 super alloy // *Wear*. 2013. Vol. 300 (1-2). Pp. 8–19. DOI: 10.1016/j.wear.2013.01.103.
2. Jaffery S.I., Mativenga P.T. Assessment of the machinability of Ti-6Al-4V alloy using the wear map approach // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2009. Vol. 40 (7–8). Pp. 687–696. DOI: 10.1007/s00170-008-1393-9.
3. Камалов В.С., Корнеев С.С., Корнеева В.М. Теплофизика лезвийной обработки металлов со сверхвысокими скоростями // *Вестник машиностроения*. 1993. № 5-6. С. 26–27.
4. Корнеева В.М., Корнеев С.С. Разработка модели процесса стружкообразования в условиях сверхвысоких скоростей резания // *Технология машиностроения*. 2014. № 11. С. 54–58.
5. Лежнев С., Панин Е. Использование программного комплекса DEFORM 2D/3D в научной работе и учебном процессе // *САПР и графика*. 2009. №. 5. С. 92–93.
6. Сотов А.В., Смелов В.Г., Агаповичев А.В., Карташов Р.Д., Проничев Н.Д. Моделирование процессов ОМД в программе Deform-2D, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 2017, 51 с.
7. Полосаткин Г.Д., Калашникова М.П. Изучение процесса резания при сверхвысоких скоростях // *Физика металлов и металловедение*. 1960. Т. 10. Вып. 3. С. 425–435.
8. Обработка металлов резанием: виды стружек при ОМР. URL: <https://textman.ru/news/2018/12/02/139892/> (дата обращения: 12.01.2024)
9. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Институт Машиностроения. Резание материалов, методичка. URL: <https://studfile.net/preview/3392295/> (дата обращения: 12.01.2024)

10. Элементное стружкообразование: современное состояние проблемы. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13113> (дата обращения: 13.01.2024)

11. Процесс стружкообразования и классификация стружки. URL: <http://weldworld.ru/theory/obrab-rezaniem/teoriya-rezaniya/process-struzhkoobrazovaniya-i-klassifikaciya-struzhki.html> (дата обращения: 14.01.2024)

12. Бобров В.Ф. Основы теории о резании металлов. М.: Машиностроение, 1975. 343 с.

13. Юлия Кузнецова, Глава 4. Тепловыделение при резании. URL: <https://pan-dia.ru/text/80/150/43588.php>

14. Зорев Н.Н. О взаимозаменяемости процессов в зоне стружкообразования и в зоне контакта передней поверхности инструмента // Вестник машиностроения. 1963. №12. С. 42–51.

15. Ипатов Н.С., Паокина Л.С. Влияние высокоскоростного резания на качество поверхности и размерную точность детали. Рыбинск, 1992. 16 с.

Информация об авторах:

Хурматуллин Салават Рамилович, бакалавр кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. E-mail: salikamirmama6@gmail.com. Альметьевский государственный нефтяной институт. Россия, 423452, Альметьевск, ул. Ленина, д. 2.

Каменов Ренат Уахитович, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела. E-mail: renatkaменов@mail.ru. Альметьевский государственный нефтяной институт. Россия, 423452, Альметьевск, ул. Ленина, д. 2

Поступила 10.01.2024 г.

© Хурматуллин С.Р., Каменов Р.У. 2024

***Khurmatullin S.R., Kamenov R.U.**

Almetyevsk State Oil Institute

**E-mail: salikamirmama6@gmail.com*

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING SPEED DURING BLADE MACHINING ON CHIP FORMATION

Abstract. *Modern mechanical engineering is one of the key industries determining technological progress and competitiveness of production. In the development and improvement of machinery and equipment in mechanical engineering, research in the field of chip formation during blade processing plays an important role. Chip forming is the process of removing material using a cutting tool, which can be a blade or a milling cutter. The quality and characteristics of the chips directly affect the efficiency and quality of processing, as well as tool wear and process stability. Studying the effect of cutting speed on chip formation during blade processing is one of the important aspects in improving production processes. The cutting speed determines the speed of movement of the tool relative to the material being processed. As the cutting speed increases, the chip formation process accelerates and heat generation increases. This can lead to increased friction between the tool and the material being processed, which can negatively affect the quality of processing and the service life of the tool. Modeling using the Deform-2D software package allows you to analyze the effect of cutting speed on chip characteristics. The simulation results showed that with an increase in the cutting speed, the chip transitions from a drain shape to a segmented one. This transition may be associated with changes in the contact interaction between the tool and the material, as well as with a change in the direction of chip movement.*

Keywords: *modeling, cutting speed, blade processing, chip formation, Deform-2D, drain chips, segment chips.*

REFERENCES

1. Uzun T., Aslantas K., Bedir F. An experimental investigation of the effect of coating material on tool wear in micro milling of Inconel 718 super alloy. *Wear*. 2013. Vol. 300 (1-2). Pp. 8–19. DOI: 10.1016/j.wear.2013.01.103

2. Jaffery S.I., Mativenga P.T. Assessment of the machinability of Ti-6Al-4V alloy using the wear map approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2009. Vol. 40 (7–8). Pp. 687–696. DOI: 10.1007/s00170-008-1393-9

3. Kamalov V.S., Korneev S.S., Korneeva V.M. Thermophysics of blade processing of metals with ultrahigh speeds. Bulletin of mechanical engineering [Теплофизика лезвийной обработки металлов со сверхвысокими скоростями]. 1993. No. 5-6. Pp. 26–27. (rus)

4. Korneeva V.M., Korneev S.S. Development of a model of the chip formation process under conditions of ultrahigh cutting speeds [Razrabotka modeli processa struzhkoobrazovaniya v usloviyah sverhvysokih skorostej rezaniya]. Mechanical engineering technology. 2014. No. 11. Pp. 54–58. (rus)

5. Lezhnev S., Panin E. The use of the DEFORM 2D/3D software package in scientific work and educational process [Ispol'zovanie programmnogo kompleksa DEFORM 2D/3D v nauchnoj rabote i uchebnom processe]. CAD and graphics. 2009. No. 5. Pp. 92–93. (rus)

6. Sotov A.V., Smelov V.G., Agapovichev A.V., Kartashov R.D., Pronichev N.D. Modeling of OMD processes in the Deform-2D program, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, 2017. 51c

7. Polosatkin G.D., Kalashnikova M.P. Studying the cutting process at ultrahigh speeds [Izuchenie processa rezaniya pri sverhvysokih skorostyah]. Physics of metals and metallovedenie. 1960. Vol. 10. Iss. 3. Pp. 425–435. (rus)

8. Metal cutting: types of chips at ovr. [Obrabotka metallov rezaniem: vidy struzhek pri ovr]. URL: <https://textman.ru/news/2018/12/02/139892/> / (date of treatment:12.01.2024)

9. St. Petersburg State Polytechnic University Institute of Mechanical Engineering. Cutting of ma-

terials, a manual [Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet Institut Mashinostroeniya. Rezanie materialov, metodichka]. URL: <https://studfile.net/preview/3392295/> / (date of treatment:12.01.2024) (rus)

10. Elemental chip formation: the current state of the problem [Elementnoe struzhkoobrazovanie: sovremennoe sostoyanie problemy]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13113> (date of treatment:13.01.2024) (rus)

11. Chip formation process and chip classification [Process struzhkoobrazovaniya i klassifikaciya struzhki]. URL: <http://weldworld.ru/theory/obrabrezaniem/teoriya-rezaniya/process-struzhkoobrazovaniya-i-klassifikaciya-struzhki.html> (date of treatment:14.01.2024) (rus)

12. Bobrov V.F. Fundamentals of the theory of metal cutting [Osnovy teorii o rezanii metallov]. M.: Mashinostroenie, 1975. 343 p. (rus)

13. Yulia Kuznetsova, Chapter 4. Heat dissipation during cutting. URL: <https://pan-dia.ru/text/80/150/43588.php>

14. Zorev H.H. On the interchangeability of processes in the chip formation zone and in the contact zone of the front surface of the tool [O vzaimozamenyaemosti processov v zone struzhkoobrazovaniya i v zone kontakta perednej poverhnosti instrumenta]. Bulletin of Mechanical Engineering. 1963. No. 12. Pp. 42–51. (rus)

15. Ipatov N.S., Paokina L.C. The effect of high-speed cutting on the surface quality and dimensional accuracy of the part [Vliyanie vysokoskorostnogo rezaniya na kachestvo poverhnosti i razmernuyu tochnost' detali]. Rybinsk, 1992. 16 p. (rus)

Information about the author

Khurmatullin, Salavat R. Bachelor student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas fields. E-mail: salikamirmama6@gmail.com. Almet'yevsk State Oil Institute. 2 Lenin Street, Almet'yevsk, 423452, Russia

Kamenov, Renat U. Candidate of Technical Sciences, Head of the Research Department. E-mail: renatkamenov@mail.ru. Almet'yevsk State Oil Institute. Russia, 423452, Almet'yevsk, Lenin str., 2

Received 10.01.2024

Для цитирования:

Хурматуллин С.Р., Каменов Р.У. Моделирование влияния скорости резания при лезвийной обработке на формирование стружки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №4. С. 100–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-100-106

For citation:

Khurmatullin S.R., Kamenov R.U. Simulation of the influence of cutting speed during blade machining on chip formation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 4. Pp. 100–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-100-106