

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/WFLS4829>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., ассоц. профессор (главный редактор);
Сулейменов Ансаган Дюсембаевич – доктор PhD, (ответственный секретарь);
Омарова Айгерим Рымболатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Зарубежные члены редакционной коллегии:
Baigang Sun – доктор PhD, профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – доктор PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – доктор PhD, профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия);
Жунусов Аблай Каиртасович – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., доцент (Сафоново, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**Т. Л. Луб¹, *А. Ж. Касенов¹, Ж. К. Мусина¹,
А. С. Янюшкин², Л. Р. Мусина¹**

¹Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Чувашский государственный университет, Российская Федерация, г. Чебоксары

*e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ РОТАЦИОННОГО БЕЗВЕРШИННОГО ПОВОРОТНОГО ТОКАРНОГО РЕЗЦА

На сегодняшний день большая часть деталей машин подвергается механической обработке со снятием стружки, 70–80 % из которых приходится на токарную обработку. В связи с чем, актуальность совершенствования процесса и инструментов для токарной обработки стоит – одна из важных задач в современном машиностроении.

Токарная обработка ротационными резцами позволяет увеличивать период стойкости режущей пластины в несколько раз за счет равномерного распределения напряжения, температуры и износа в процессе резания.

В статье представлено компьютерное моделирование процесса точения поворотным ротационным резцом в программе COMSOL Multyphysics в модуле прочностного анализа «Solid Mechanics».

Моделирование заключается в исследовании стационарного положения круглой режущей пластины из твердого сплава T15K6 в зависимости от радиуса и угла наклона режущей кромки при обработке заготовки из Стали 45 с целью обоснования геометрических параметров резца. В ходе исследования установлено, что при увеличении угла наклона и диаметра твердосплавной пластинки уменьшается площадь контакта с обрабатываемой поверхностью и соответственно уменьшаются контактные напряжения, деформации, температура, износ.

Представлены наглядные изображения распределения напряжения в зоне резания, графики зависимостей максимального напряжения от угла поворота.

Ключевые слова: режущая кромка, круглая режущая кромка, компьютерное моделирование, процесс резания, COMSOL Multyphysics, точение.

Введение

Токарная обработка играет ключевую роль в современном машиностроении за счет возможности обработки различных материалов с широким диапазоном точностных и качественных характеристик, влияющих на эксплуатационные показатели.

Ротационное резание является более сложным процессом по сравнению с традиционной токарной обработкой, где, помимо вращения заготовки и перемещения резца, дополнительно появляется вращение режущей пластины.

В связи с появлением множества разнообразия программных продуктов по САЕ-моделированию, компьютерные виды исследований все больше привлекают внимание исследователей. Однако при изучении процесса резания, в отличие от большинства физических процессов, приходится вручную вписывать все условия.

Процесс ротационного резания, исследуемый многими авторами [1, 2–6], может потребовать больших ресурсов. Для уменьшения их потребления, было принято за основу стационарное исследование, которое показывает картину в определенный момент времени и может быть использовано для теоретических основ для изучения процесса резания поворотным ротационным резцом [7, 8].

На зону контакта значительное влияние оказывают технологический параметр – глубина резания [1], геометрические параметры – радиус режущей пластины и угол наклона [9] режущей кромки. В связи с чем исследование напряженного состояния режущей кромки исследовано с учетом этого.

Материалы и методы

В ходе исследования было задействовано компьютерное моделирование стационарного прочностного анализа в модуле Solid Mechanics методом конечных элементов (МКЭ) в программе COMSOL Multyphysics, а также эмпирические зависимости теории и режимов резания.

Результаты и обсуждения

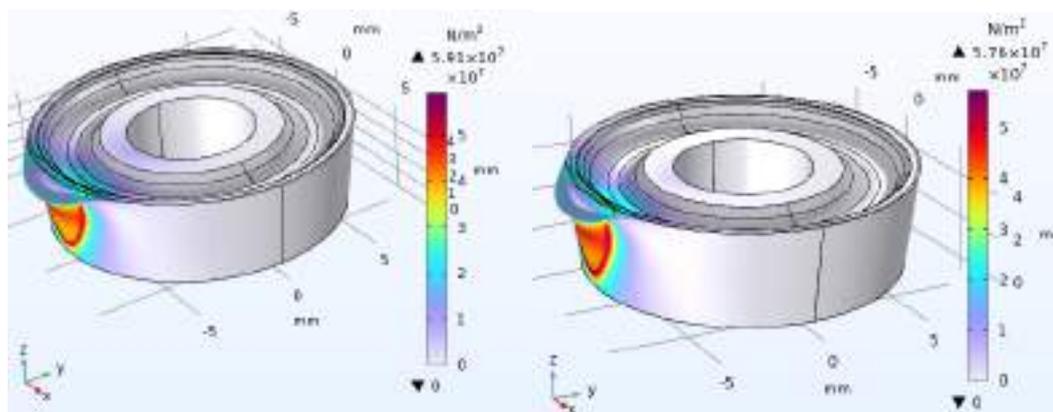
В качестве объекта исследования были выбраны пластины режущие сменные многогранные твердосплавные (Т15К6) круглой формы с задним углом по ГОСТ 19072-80. Диаметрами 15.875 мм; 19.050 мм; 25.4 мм.

Таблица 1 – Свойства используемых материалов [10]

	Модуль Юнга, МПа E·10 ³ МПа	Коэффициент Пуансона	Плотность, ρ кг/м ³
Сплав Т15К6	525	0.29	11 500

В качестве исходных данных для исследования была принята обрабатываемая заготовка – Сталь 45, диаметр 40 мм. Изменяющийся технологический параметр – глубина резания (0,5 мм; 1 мм; 2 мм), геометрический (помимо радиуса) – углы наклона режущей кромки (00, 50, 150, 250).

При моделировании использовались следующие силы резания по координатным осям при глубине 0,5 мм – 0,5 мм – P_z=200 Н, P_y=60 Н, P_x=20 Н; при глубине 1 мм – P_z=400 Н, P_y=120 Н, P_x=40 Н; при глубине 2 мм – P_z=800 Н, P_y=240 Н, P_x=80 Н. Исходя из рисунка 1, следует, что напряжение сконцентрировано в зоне резания и реагирует на изменения угла, значения параметров адекватные.



а) б)

Рисунок 1 – Результат исследования пластины (d=15.875 мм) поворот режущей кромки 0⁰(а) и 5⁰(б) при глубине резания 0.5 мм

В ходе проведения всех опытов были построены графики на рисунках 2, 3, 4. Рассмотрим каждый график по отдельности:

Опыт 1 – Глубина резания 0.5 мм (рисунок 2)

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 5.6...5.9 ($\times 10^7$ Н/мм²), значение напряжения при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла.

На диаметре 19.05 мм напряжение колеблется от 5.3...5.6 ($\times 10^7$ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм колебание напряжения имеет более стабильный вид от 4.8...4.9 ($\times 10^7$ Н/мм²).

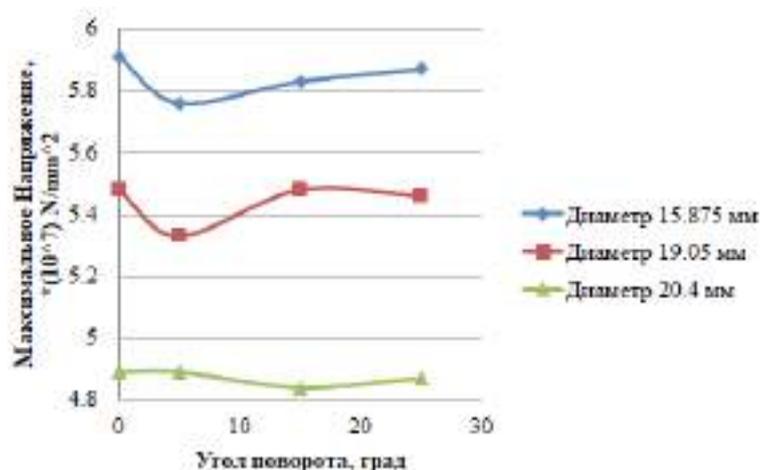


Рисунок 2 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 0.5 мм для пластин различных диаметров

Опыт 2 – Глубина резания 1 мм (рисунок 3):

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 6.6...7.2 ($\times 10^7$ Н/мм²), значение напряжения при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла аналогично глубине резания 0.5 мм.

На диаметре 19.05 мм напряжение колеблется от 6.4...7.5 ($\times 10^7$ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм колеблется значение напряжения (от 7.1...8.7 $\times 10^7$ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла до 15°, далее следует спад.

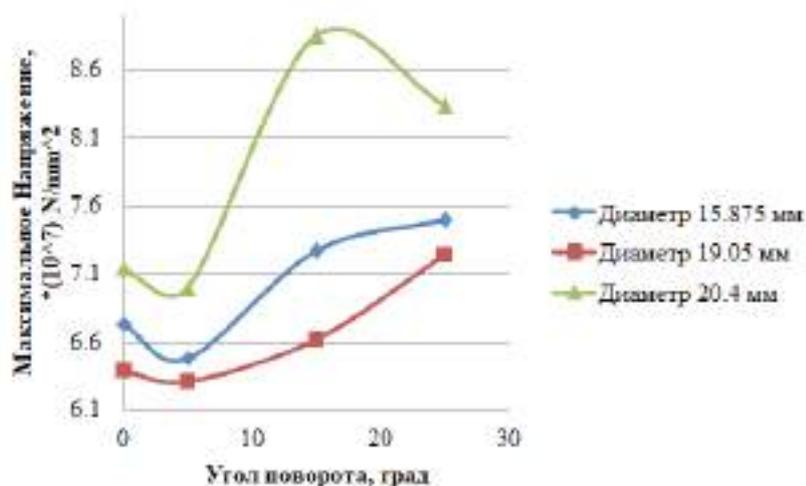


Рисунок 3 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 1 мм для пластин различных диаметров

Опыт 3 – Глубина резания 2 мм (рисунок 4):

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 6.4...7.5 ($\times 10^7$ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла до 15°, далее следует спад.

На диаметре 19.05 мм наблюдается плавное увеличение напряжения от 6.4...7.9 ($\times 10^7$ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм напряжение колеблется от 4.4...4.9 ($\times 10^7$ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла.

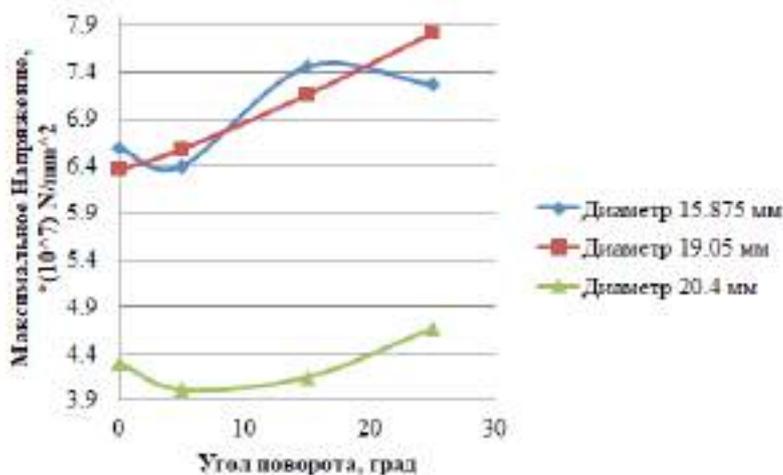


Рисунок 4 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 2 мм для пластин различных диаметров

Таким образом, для пластины диаметром 15.875 мм при всех глубинах резания возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 2 мм – при угле поворота 15° начинается повторный спад напряжения.

Для пластины диаметром 19.05 мм на глубинах 0.5 и 1 мм возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 2 мм добавление угла производит негативный эффект.

Для пластины диаметром 20.04 мм при всех глубинах резания возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 1 мм – при угле поворота 15° начинается повторный спад напряжения.

Информация о финансировании

Исследования выполнены в рамках грантового финансирования молодых ученых на 2023-2025 годы по проекту ИРН АР19678887 «Исследование триботехнических характеристик ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки МОН РК.

Выводы

Анализируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что при увеличении угла наклона диаметра режущей кромки уменьшается площадь контакта с обрабатываемой поверхностью, что уменьшает контактные напряжения, температуру и износ. Таким образом увеличивается период стойкости режущей кромки, что на качестве [11] обрабатываемой поверхности.

Поскольку исследование проходит в статике, то в динамике с учётом вращения твёрдосплавной пластины напряжение будет равномерно распределяться по всей режущей кромке. Однако, для полной картины следует провести дополнительно экспериментальные исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования / А. С. Бинчуров, Ю. И. Гордеев, В. Б. Ясинский [и др.] // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74–79. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-2-74-79>. – EDN KARADU.

2 **Молочков, В. А.** Повышение эффективности процесса точения винтовыми ротационными резцами : специальность 05.03.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Молочков Василий Александрович. – Могилев. – 1984. – 323 с.

3 **Hadzhiyski, P.** Knives for rotary dies with variable geometry / P. Hadzhiyski // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – №. 4. – P. 131–135.

4 **Индаков, Н. С.** Исследование метода ротационного точения многогранными резцами / Н. С. Индаков, А. С. Бинчуров // СТИН. – 2013. – № 6. – С. 21–24.

5 **Индаков, Н. С.** Особенности ротационного точения многогранными резцами / Н. С. Индаков, А. С. Бинчуров // Вестник машиностроения. – 2013. – № 10. – С. 56–58.

6 Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования / А. С. Бинчуров, Ю. И. Гордеев, В. Б. Ясинский [и др.] // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74–79. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-2-74-79>.

7 **Евтушенко, Т. Л.** Проблемы конструкций ротационных резцов при эксплуатации / Т. Л. Евтушенко, А. С. Янюшкин, А. Ж. Касенов // Инновационные технологии в машиностроении : Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции, Юрга, 26–28 мая 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2022. – С. 17–19.

8 Анализ конструкций ротационных резцов / Т. Л. Евтушенко, А. Ж. Касенов, Ж. К. Мусина [и др.] // СТИН. – 2022. – № 11. – С. 12–15.

9 **Бычковский, В. С., Филиппенко, Н. Г., Попов, С. И., Каргапольцев, С. К.** Исследование свойств и обрабатываемости сварных соединений комбинированным ротационным резцом со стружколомом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – №1 (57).

10 **Грубый, С. В.** Расчет параметров стружкообразования и сил резания пластичных материалов. // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2017. (1). – С. 25–37. – <https://doi.org/10.24108/aplts.0117.0000058>.

11 **Петровский, Э. А.** Обеспечение качества поверхностного слоя деталей подшипников скольжения на основе планетарного точения / Э. А. Петровский, К. А. Башмур // Вестник машиностроения. – 2023. – № 10. – С. 873–876. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-10-873-876>.

REFERENCES

1 Vliyanie rezhima rezaniya pri rotacionnom tochenii mnogogrannymi rezcami na temperaturno-silovye harakteristiki formoobrazovaniya [The influence of the cutting mode during rotary turning with multi-faceted cutters on the temperature and force characteristics of shaping] / A. S. Binchurov, Yu. I. Gordeev, V. B. Yasinsky [et al.] // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2022. – № 2. – P. 74–79. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-2-74-79>. – EDN KARADU.

2 **Molochkov, V. A.** Povyshenie effektivnosti processa tocheniya vintovymi rotacionnymi rezcami [Improving the efficiency of the turning process with screw rotary cutters] : specialty 05.03.01 : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Molochkov Vasily Alexandrovich. – Mogilev, 1984. – 323 p.

3 **Hadzhiyski, P.** Knives for rotary dies with variable geometry / P. Hadzhiyski // Problems of mechanical engineering and automation. – 2011. – No. 4. – P. 131–135.

4 **Indakov, N. S.** Issledovanie metoda rotacionnogo tocheniya mnogogrannymi rezcami [Investigation of the method of rotary turning with polyhedral incisors] / N. S. Indakov, A. S. Binchurov // STIN. – 2013. – No. 6. – P. 21–24.

5 **Indakov, N. S.** Osobennosti rotacionnogo tocheniya mnogogrannymi rezcami [Features of rotary turning with multi-faceted cutters] / N. S. Indakov, A. S. Binchurov // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2013. – № 10. – P. 56–58.

6 Vliyanie rezhima rezaniya pri rotacionnom tochenii mnogogrannymi rezcami na temperaturno-silovye harakteristiki formoobrazovaniya [The influence of the cutting mode during rotary turning with multi-faceted cutters on the temperature and force characteristics of shaping] / A. S. Binchurov, Yu. I. Gordeev, V. B. Yasinsky [et al.] // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2022. – № 2. – P. 74–79. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-2-74-79>.

7 **Yevtushenko, T. L.** Problemy konstrukcij rotacionnyh rezcov pri ekspluatacii [Problems of rotary cutter designs during operation] / T. L. Yevtushenko, A. S. Yanushkin, A. J. Kasenov // Innovative technologies in mechanical engineering : Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, Jurga, May 26-28, 2022. – Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2022. – P. 17–19.

8 Analiz konstrukcij rotacionnyh rezcov [Analysis of designs of rotary cutters] / T. L. Yevtushenko, A. J. Kasenov, J. K. Musina [et al.] // STIN. – 2022. – No. 11. – P. 12-15.

9 **Bychkovsky, V. S., Filippenko, N. G., Popov, S. I., Kargapol'tsev, S. K.** Issledovanie svojstv i obrabatyvaemosti svarnyh soedinenij kombinirovannym rotacionnym rezcom so struzhkolomom [Investigation of properties and machinability of welded joints with a combined rotary cutter with a chip breaker] // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2018. – № 1 (57).

10 **Grubiy, S. V.** Raschet parametrov struzhkoobrazovaniya i sil rezaniya plastichnyh materialov [Calculation of chip formation parameters and cutting forces of plastic materials] // Machines and installations: design, development and operation. – 2017 № – (1) № – P. 25–37. – <https://doi.org/10.24108/aplts.0117.0000058>.

11 Petrovsky, E. A. Obespechenie kachestva poverhnostnogo sloya detalej podshipnikov skolzheniya na osnove planetarnogo tocheniya [Ensuring the quality of the surface layer of sliding bearing parts based on planetary turning] / E. A. Petrovsky, K. A. Bashmur // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2023. – No. 10. – P. 873–876. – <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-10-873-876>.

Поступило в редакцию 14.06.24.

Поступило с исправлениями 14.06.24.

Принято в печать 15.06.2024.

*Т. Л. Луб¹, *А. Ж. Касенов¹, Ж. К. Мусина¹,
А. С. Янюшкин², Л. Р. Мусина¹*

¹Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

²Чуваш мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Чебоксары қ.

14.06.24 ж. баспаға түсті.

14.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

15.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

РОТАЦИЯЛЫҚ ТӨБЕСІЗ БҰРЫЛМАЛЫ ЖОНУ КЕСКІШ ПЛАСТИНАНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

Бүгінгі таңда машина бөлшектерінің көп бөлігі жоңқаларды алып тастаумен өңделеді, оның 70–80 %-ы токарлық өңдеуге жатады. Осыған байланысты токарлық өңдеуге арналған процесс пен құралдарды жетілдірудің өзектілігі қазіргі заманғы машина жасаудағы маңызды міндеттердің бірі.

Айналмалы кескіштермен токарлық өңдеу кесу процесінде кернеуді, температураны және тозуды біркелкі бөлу арқылы кескіш пластинаның төзімділік кезеңін бірнеше есе арттыруға мүмкіндік береді.

Мақалада «Solid Mechanics» беріктігін талдау модуліндегі COMSOL Multyphysics бағдарламасында айналмалы ротациялық кескішпен ұштау процесін компьютерлік модельдеу ұсынылған.

Модельдеу кескіштің геометриялық параметрлерін негіздеу мақсатында 45 болаттан жасалған дайындаманы өңдеу кезінде кесу жиегінің радиусы мен көлбеу бұрышына байланысты дөңгелек қатты қорытпалы (Т15К6) кескіш пластинаның стационарлық орналасуын зерттеуден тұрады. Зерттеу барысында карбидті пластинаның көлбеу бұрышы мен диаметрі ұлғайған кезде өңделетін бетпен жанасу аймағы азаятыны және тиісінше жанасу кернеулері, деформациялар, температура, тозу азаятыны анықталды.

Кесу аймағындағы кернеудің таралуының көрнекі суреттері, максималды кернеудің айналу бұрышына тәуелділігінің графиктері ұсынылған.

Кілтті сөздер: кесу жиегі, дөңгелек кесу жиегі, компьютерлік модельдеу, кесу процесі, COMSOL Multyphysics, ұштау.

*T. L. Lub¹, *A. Zh. Kasenov¹, Zh. K. Musina¹,
A. S. Yanyushkin², L. R. Musina¹*

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Chuvash State University, Russian Federation, Cheboksary

Received 14.06.24.

Received in revised form 14.06.24.

Accepted for publication 15.06.24.

JUSTIFICATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CUTTING PLATE OF THE ROTARY PEAKLESS TURNING CUTTER

Today, most of the machine parts are machined with chip removal, 70–80 % of which are turning. In this regard, the relevance of improving the process and tools for turning is one of the important tasks in modern mechanical engineering.

Turning with rotary cutters allows you to increase the durability period of the cutting plate several times due to the uniform distribution of voltage, temperature and wear during the cutting process.

The article presents a computer simulation of the turning process with a rotary cutter in the COMSOL Multiphysics program in the Solid Mechanics strength analysis module.

The simulation consists in studying the stationary position of a round cutting plate made of T15K6 hard alloy, depending on the radius and angle of inclination of the cutting edge when processing a workpiece made of 45 Steel in order to substantiate the geometric parameters of the cutter. During the study, it was found that with an increase in the angle of inclination and diameter of the carbide plate, the contact area with the treated surface decreases and, accordingly, contact stresses, deformations, temperature, and wear decrease.

Visual images of the voltage distribution in the cutting area, graphs of the dependence of the maximum voltage on the angle of rotation are presented.

Keywords: cutting edge, round cutting edge, computer modeling, cutting process, COMSOL Multiphysics, turning.

Теруге 07.06.24 ж. жіберілді. Басуға 28.06.24 ж. қол қойылды.

Электрондық басылым

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс № 4246

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz