

УДК 621.929

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-2-8-19>



Повышение эффективности демпфирования вибраций резцов

В. В. Малыхин ¹ ✉, С. Г. Новиков ²

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Курский государственный аграрный университет им. И.И.Иванова
ул. Карла Маркса, д. 70, г. Курск 305009, Российская Федерация

✉ e-mail: malykhin1946@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Среди множества способов формообразования поверхностей, применяемых в машиностроении, существенную часть занимают процессы обработки деталей резанием в том числе точением. Процесс резания металлов в большинстве случаев сопровождается вибрациями и колебаниями инструмента, которые дестабилизируют обработку, уменьшают ее качество, стойкость инструмента и производительность процесса. Снизить негативное влияние вибрации возможно использованием элементов, поглощающих или снижающих колебания рабочей части инструмента. Известны конструкции резцов, называемых демпфирующими, способных уменьшить отрицательное влияние вибраций при точении. Однако основным их недостатком является жесткая связь с установочно-зажимными элементами станка, через которые передается вибрация на инструмент. Решение данной проблемы возможно совершенствованием конструкции инструмента с целью повышения устойчивости процесса резания. Конструкции токарных резцов, увеличивающих их стойкость, снижающих вибрации, возникающие в процессе резания, и повышающих качество обработанной поверхности представляют практический и научный интерес. Цель исследования состоит в создании инновационных моделей инструмента, в частности, токарных резцов, способных улучшить качество поверхностного слоя обрабатываемой детали, ее эксплуатационные свойства, а также стойкость режущей части инструмента.

Методы. Проектирование и изготовление новых резцов с державкой, которая имеет элементы, изолирующие рабочую часть резца от контакта с крепежной частью суппорта станка, а также различными жесткостями и размерами.

Результаты. Увеличение эффективности демпфирования колебаний резца, снижение его материалоемкости, т.к. размеры упругих элементов меньше половины длины державки резца, улучшение качества поверхностного слоя обрабатываемой детали, ее эксплуатационных свойств, а также стойкости режущей части инструмента.

Заключение. Предлагаемые демпфирующие резцы отвечают поставленным цели и задачам. Теоретические исследования и промышленные испытания, простота конструкций и технологий изготовления новых демпфирующих резцов позволяют рекомендовать их для внедрения в производство. Резцы могут применяться при токарной обработке различных конструкционных материалов.

Ключевые слова: резец; вибрации; демпфирующие полувставки; жесткость.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Малыхин В. В., Новиков С. Г. Повышение эффективности демпфирования вибраций резцов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №2. С. 8-19. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-2-8-19>.

Поступила в редакцию 30.11.2023

Подписана в печать 12.02.2024

Опубликована 25.06.2024

Increasing the efficiency of vibration damping of cutters

Vitaly V. Malykhin ¹ ✉, Sergey G. Novikov ²

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov
70, Karl Marks str., Kursk 305009, Russian Federation

✉ e-mail: malykhin1946@mail.ru

Abstract

Purpose of research. Among the many methods of surface shaping used in mechanical engineering, a significant part is occupied by the processes of processing parts by cutting, including turning. The process of cutting metals in most cases is accompanied by vibrations and oscillations of the tool, which destabilize the processing, reduce its quality, tool life and process productivity. It is possible to reduce the negative impact of vibration by using elements that absorb or reduce vibrations of the working part of the tool. There are known designs of cutters, called damping ones, that can reduce the negative impact of vibrations during turning. However, their main disadvantage is the rigid connection with the mounting and clamping elements of the machine, through which vibration is transmitted to the tool. This problem can be solved by improving the design of the tool in order to increase the stability of the cutting process. Designs of turning cutters that increase their durability, reduce vibrations that occur during the cutting process, and improve the quality of the machined surface are of practical and scientific interest. Purpose of research is to create innovative tool models, in particular turning cutters, that can improve the quality of the surface layer of the workpiece, its performance properties, as well as the durability of the cutting part of the tool.

Methods. Design and production of new cutters with a holder, which has elements that isolate the working part of the cutter from contact with the fastening part of the machine support, as well as various rigidities and sizes.

Results. Increasing the efficiency of damping vibrations of the cutter, reducing its material consumption, because the dimensions of the elastic elements are less than half the length of the cutter holder, improving the quality of the surface layer of the workpiece, its operational properties, as well as the durability of the cutting part of the tool. The cutters can be used for turning various structural materials.

Conclusion. The proposed damping cutters meet the stated goals and objectives. Theoretical studies and industrial tests, simplicity of designs and manufacturing technologies of new damping cutters allow us to recommend them for implementation in production. The cutters can be used for turning various structural materials.

Keywords: cutter; vibration; damping half-inserts; rigidity.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the

For citation: Malykhin V. V., Novikov S. G. Increasing the efficiency of vibration damping of cutters. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(2): 8-19 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-2-8-19>.

Received 30.11.2023

Accepted 12.02.2024

Published 25.06.2024

Введение

Среди множества способов формообразования поверхностей, применяемых в машиностроении, существенную часть занимают процессы обработки деталей резанием, в том числе точением. Процесс резания металлов в большинстве случаев сопровождается вибрациями и колебаниями инструмента, которые дестабилизируют обработку, уменьшают ее качество, стойкость инструмента и производительность процесса. Снизить негативное влияние вибрации возможно использованием элементов, поглощающих или снижающих колебания рабочей части инструмента. Известны конструкции резцов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], называемых демпфирующими, способных уменьшить отрицательное влияние вибраций при точении. Однако основным их недостатком является жесткая связь [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] с установочно-зажимными элементами станка, через которые передается вибрация на инструмент. Повысить устойчивость процесса резания уменьшением вибраций и колебаний возможно модернизацией конструкции инструмента.

Анализ и исследование новых видов токарных резцов с устройствами, которые увеличивают их стойкость, снижают вибрации, возникающие в процессе реза-

ния, и повышают качество обработанной поверхности, представляют практический и научный интерес [12].

Цель исследования состоит в создании инновационных моделей инструмента, в частности, токарных резцов, способных улучшить качество поверхностного слоя обрабатываемой детали, ее эксплуатационные свойства, а также повысить стойкость режущей части инструмента.

Материалы и методы

В настоящее время известны демпфирующие резцы [1-21], позволяющие уменьшить вибрации при точении. Однако, основным их недостатком является жесткая связь с установочно-зажимными элементами станка [1-14], через которые передается вибрация на инструмент. Решение данной проблемы возможно совершенствованием конструкции инструмента с целью повышения устойчивости процесса резания. Рассмотрим новые резцы с державкой, которая имеет элементы, изолирующие рабочую часть резца от контакта с крепежной частью суппорта станка, а также различными жесткостями и размерами упругих вставок.

Резец с державкой в упругих полувставках показан на рис. 1.

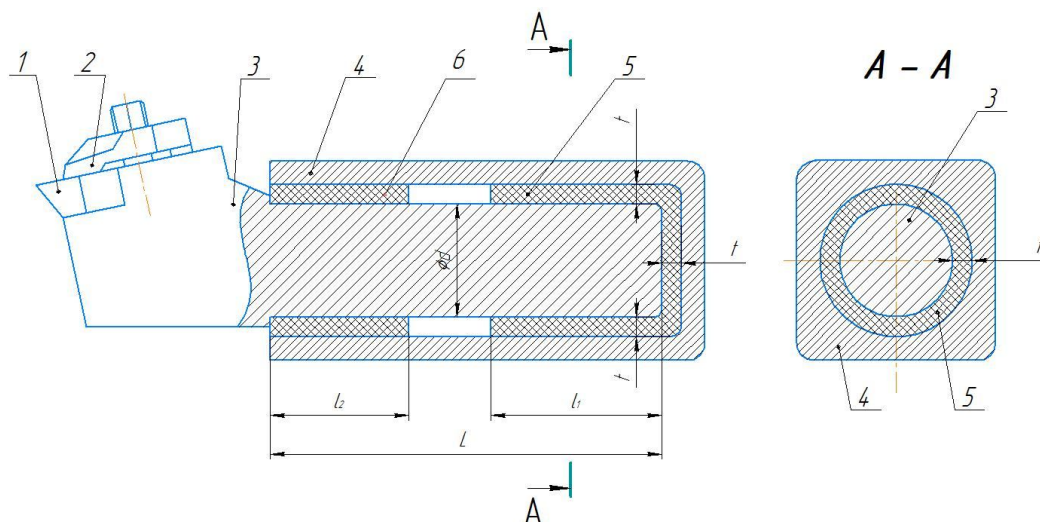


Рис. 1. Резец с демпфирующими полувставками различной жесткости: 1 – режущая пластина; 2 – узел крепления пластины; 3 – державка; 4 – стакан; 5, 6 – полувставки демпфирующие

Fig. 1. Cutter with damping half-inserts of varying rigidity: 1 – cutting plate; 2 – plate fastening unit; 3 – holder; 4 – glass; 5, 6 – damping half-inserts

В предлагаемом резце вставка сформирована из цилиндрических полувставок 5, 6 из материалов со свойствами высокого демпфирования различных жесткостей ($j_1 > j_2$), при этом размеры l_1 , l_2 полувставок 5, 6 меньше половины длины L выборки ($l_1 < L/2$, $l_2 < L/2$). Соответственно, в полувставках действуют восстанавливающие параллельные силы, направленные в противоположные стороны и не равные по модулю, при этом модули сил в полувставке 5 больше модулей сил в полувставке 6. Поэтому, кроме момента от пары сил, равных по модулю силам в полувставках 5 и 6, в полувставке 5 действуют еще силы, равные величине разности модулей сил в полувставках и создающие дополнительный восстанавливающий момент, что повышает эффектив-

ность демпфирования колебаний резца. Таким образом, происходит высокоэффективное демпфирование продольных, поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих при точении, повышается устойчивость и надежность процесса резания. Подбором разных жесткостей материалов в полу вставках 5, 6 возможно минимизировать вибрации резца до необходимого уровня и достигнуть требуемого качества обработки.

Рассмотрим конструкцию универсального демпфирующего резца (УДР) со специальной вставкой [17, 18, 19, 20] на рабочей части (рис. 2). Державка УДР имеет глухое отверстие, в котором находится оправка с двумя полувставками, которые расположены вертикально с определенным зазором между ними, т.е. высота h_2 одной из них меньше высоты h_1 другой.

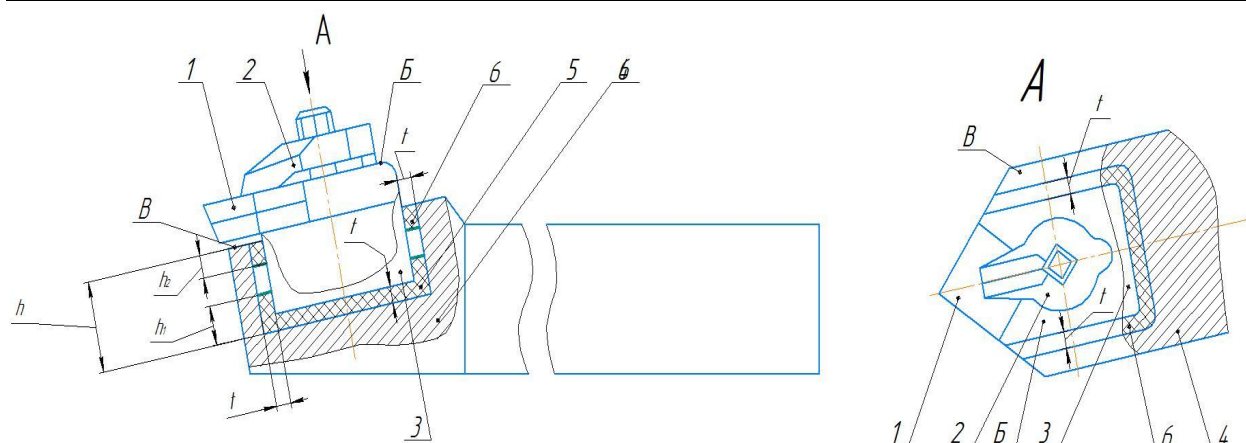


Рис. 2. Универсальный демпфирующий резец: 1 – режущая пластина; 2 – узел крепления пластины; 3 – оправка; 4 – державка; 5 – полувставка-подпятник; 6 – полувставка, меньшей жесткости

Fig. 2. Universal damping cutter: 1 – cutting plate; 2 – plate fastening unit; 3 – mandrel; 4 – holder; 5 – half-insert-thrust; 6 – half-insert, less rigid

Полувставки выполнены из материалов, способных гасить вибрации и обладающих разной жесткостью ($j_1 > j_2$). Полувставка 5 является подпятником, расположенным на дне отверстия, а вторая полувставка расположена на верхней части оправки 3. Высота полувставок 5 и 6 меньше половины глубины отверстия $h_1 < h_2 < h/2$. В процессе точения в подпятнике 5 и полувставке 6 появляются параллельные силы, направленные в противоположные стороны и неравные по модулю. Сила в подпятнике 5 больше модуля сил в полувставке 6, так как подпятник имеет большую жесткость. Поэтому, кроме момента от пары сил, равных по модулю силам в полувставке 6 [16, 17, 18], в подпятнике 5 действуют еще силы, равные величине разности модулей сил в подпятнике 5 и полувставке 6 и создающие дополнительный восстанавливающий момент, что повышает эффективность демпфирования ре-

жущей пластины 1. Таким образом, происходит высокоэффективное демпфирование продольных, поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания. Подбором различных жесткостей материалов с высоким демпфированием в подпятнике 5 и полувставке 6 возможно минимизировать вибрации режущей пластины 1 до необходимого уровня и достигнуть требуемого качества обработки. Использование полувставок упрощает конструкцию резца и снижает его материалоемкость, так как нет необходимости в дополнительных конструкционных разработках для размещения конца оправки.

Результаты и их обсуждение

Были проведены испытания резцов стандартной и модифицированной конструкции при различных режимах обработки вала с целью выявления параметров шероховатости обработанной по-

верхности и определению значения собственных частот колебаний токарного резца. Для определения значения собственных частот колебаний токарных резцов был разработан стенд, состоящий из токарного станка, персонального компьютера; модуля общего назначения Е14-440; датчика колебаний ТУР KD 35.

Проверка работоспособности комплекса проведена путем точения вала из стали 40Х стандартным и демпфирующим резцом с пластиной из твердого сплава. Диапазон параметров режимов резания $V = 20 \dots 90$ м/мин; $S = 0,05 \dots 0,15$ мм/об; $t = 0,05 \dots 0,25$ мм.

Для количественной оценки вибрации рассматривались следующие ее параметры: двойная амплитуда (размах колебаний); виброускорение (виброперемещение), которое применяется при виброакустической диагностике и измеряется при наличии широкополосной вибрации, в диапазоне 100 -10000 Гц.

На рис. 3 представлены значения уровня вибрации в кодах АЦП. Как видно из рисунка амплитуда колебаний демпфирующего резца меньше стандартного на 15...20%. Похожий результат получается и при измерении виброускорений.

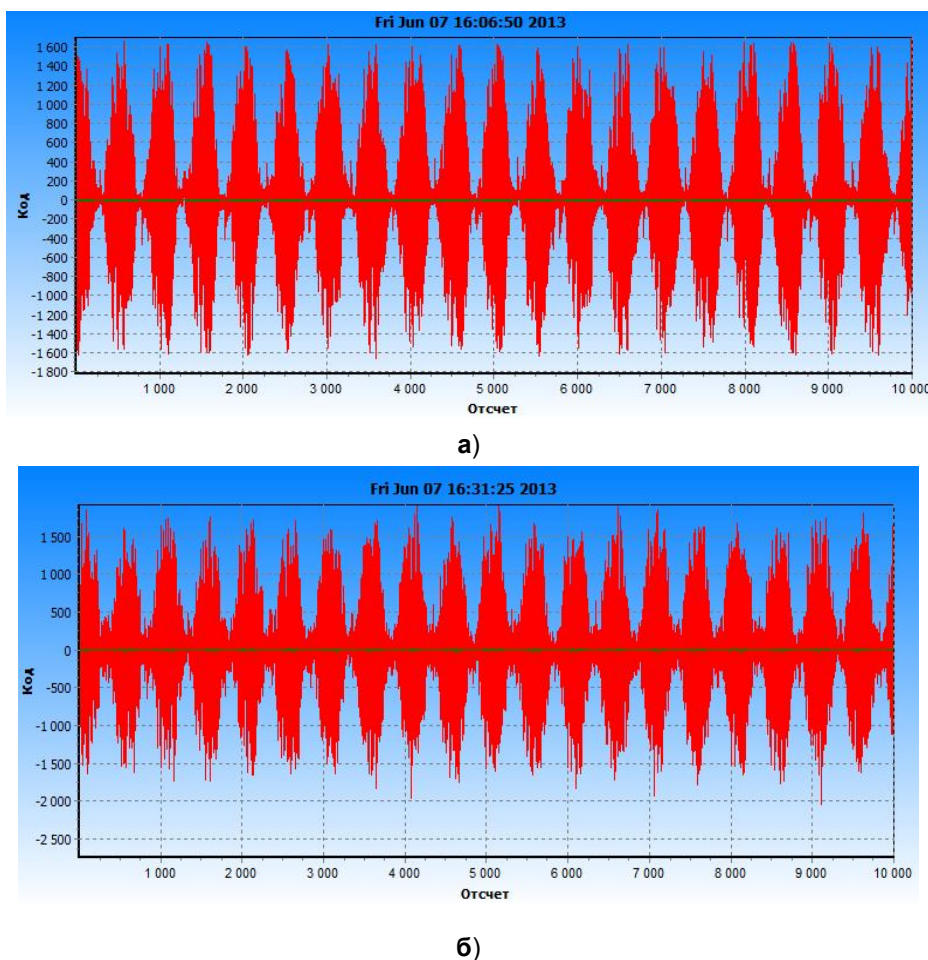


Рис. 3. Амплитуда вибраций стандартного (а) и модифицированного резца (б)

Fig. 3. Vibration amplitude of standard (a) and modified cutter (б)

По данным испытаний были построены графики зависимостей виброускорения и шероховатости обработан-

ной поверхности (R_a) от режимов резания (рис. 4, 5, 6).

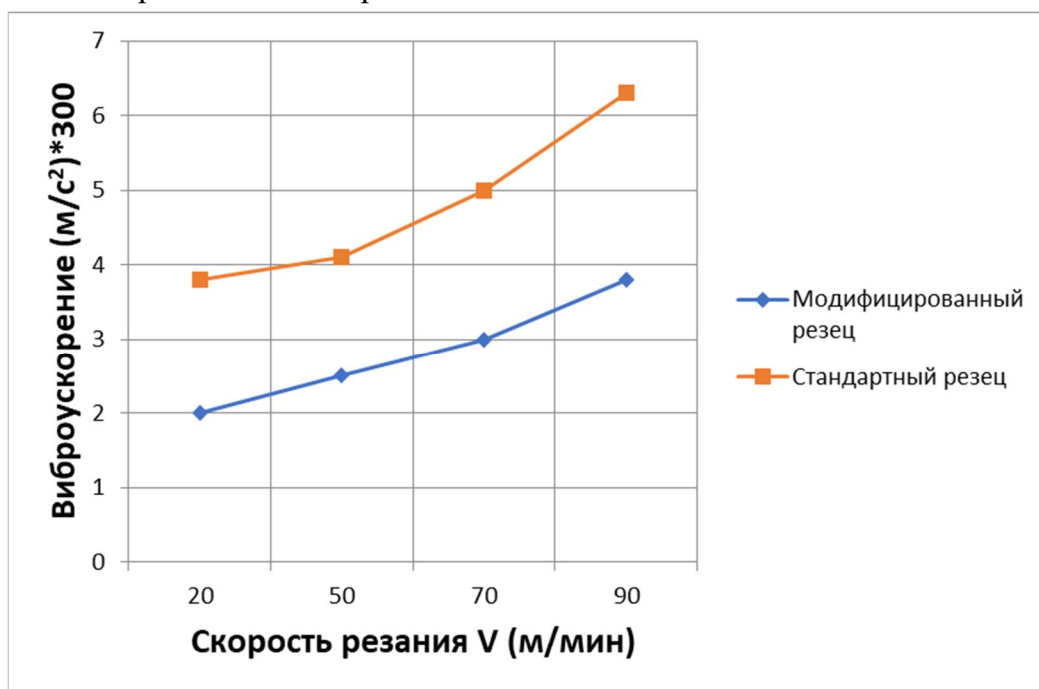


Рис. 4. Влияние скорости резания на величину виброускорения

Fig. 4. Effect of cutting speed on the magnitude of vibration acceleration

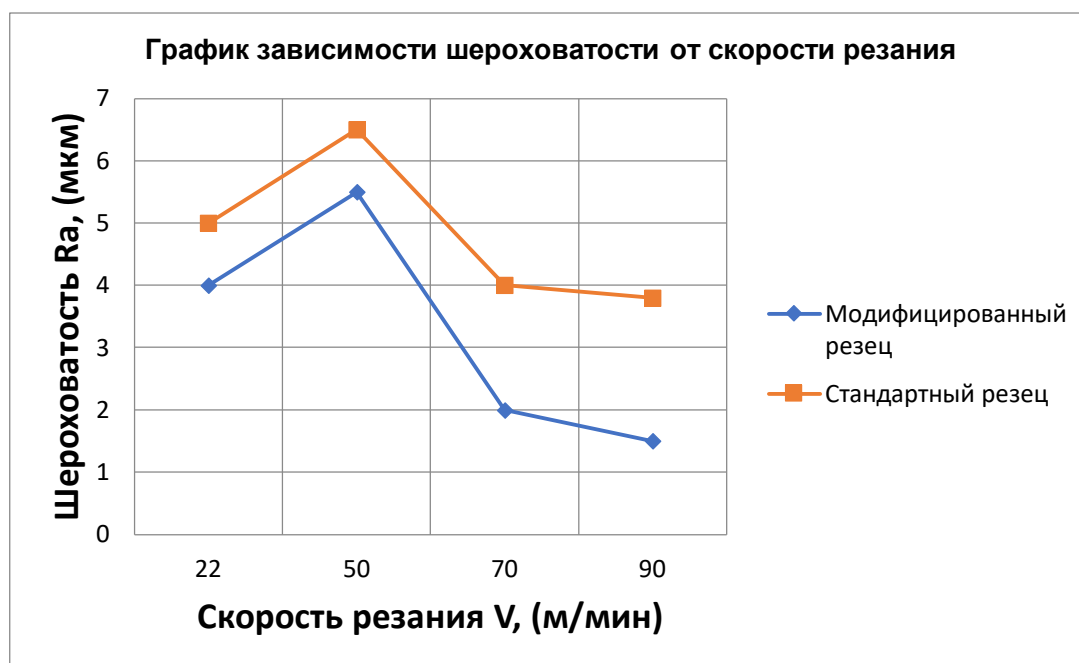


Рис. 5. Влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности

Fig. 5. Effect of cutting speed on machined surface roughness

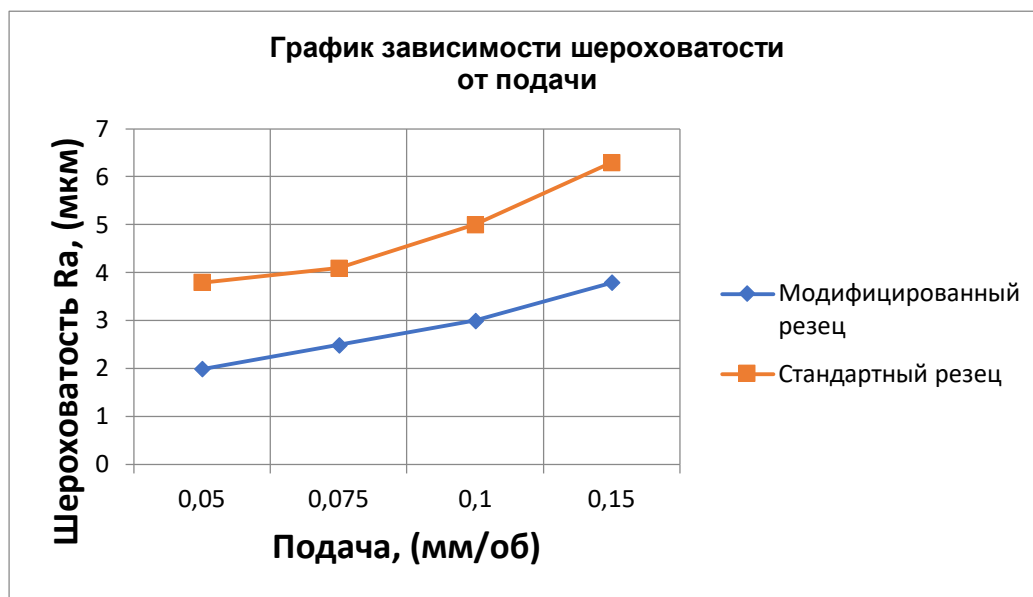


Рис. 6. Влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности

Fig. 6. Effect of feed on machined surface roughness

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

- проведённые испытания показали эффективность виброизоляции и гашения вибраций по сравнению с обычным резцом без демпфирующих элементов;
- при точении демпфирующим резцом наблюдается улучшение качества обработанной поверхности и уменьшение ее шероховатости R_a на 20...40%;
- показатели вибрации при испытаниях новой конструкции резца снизились в среднем на 30% по отношению к стандартному резцу.

Таким образом, предлагаемые демпфирующие резцы позволяют достичь технического результата по повышению надежности устойчивого процесса резания и качества обработки за счет погашения вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания.

Выводы

Рассмотренные конструкции инновационных моделей резцов позволяют:

1. Повысить качество обработки путем увеличения эффективности демпфирования колебаний резца за счет формирования вставки из двух полувставок, изготовленных из материалов, обладающих свойством высокого демпфирования и имеющих различные жесткости.

2. Снизить расход материала демпфирующей вставки, так как она состоит из двух размещенных на расстоянии друг от друга полувставок, при этом протяженности обеих полувставок меньше половины длины выборки конца державки. Это приводит к техническому результату по повышению качества обработки и снижению расхода материала вставки.

Предлагаемые демпфирующие резцы позволяют достичь повышения качества обработки, снизить их материалоемкость, а также стабилизировать процесс резания.

Список литературы

1. Патент №2009768 Российская Федерация: МПК⁵ B23B27/00/. Резец / Рогов В.А.; заявитель патентообладатель Российский университет дружбы народов. №5014352/08; заявл. 02.12.91; опубл. 30.03.94.
2. Патент №2280542 Российская Федерация: МПК⁷ B23B27/00/. Резец / Васин Л.А., Бородин Н.Н.; заявитель патентообладатель ГОУ ВПО Тульский государственный университет (ТулГУ). 25.04.2005; опубл. 27.07.2006.
3. Патент №2287405 Российская Федерация: МПК B23B27/10/. Резец / Полежайкин Г.М., Ладоскин Н.А., Фомин А.Г. Полежайкин И.Г., Ефаньева Т.Г.; заявитель патентообладатель ГОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». №2005 124 690/02; заявл. 02.08.2005; опубл. 20.11.2006.
4. Патент №2107588 Российская Федерация: МПК B23B27/16/. Резец / Войтенко В.Г., Е Татаркин.Ю., Ситников А.А.; заявитель патентообладатель Алтайский государственный университет. №96123454/02; заявл. 15.12.96; опубл. 27.03.98.
5. А.С. 1252062 СССР кл. B23B27/16. Сборный резец / Федоров В. Л., Копылова В.В., Дьякова Э.Н., патентообладатель Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы. № 4932261/08 заявл. 11.03.91; опубл. 23.05.93, Бюл. № 19.
6. Инструментальное обеспечение процессов механической обработки твердыми сплавами и композитами / Е.И. Яцун, В.В. Малыхин, О.С. Зубкова, С.Г. Новиков. Курск, 2016. С.160-124.
7. Павлов Е.В., Смирнов И.М. О возможности применения резцов из композита при обработке поверхностей деталей, образованных сочетанием конструкционных материалов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 2(71). С. 91-98.
8. Иванов И.И., Воронов С.А. Исследование динамики процесса вибрационного сверления с управлением по размаху колебаний // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. Вып. 9. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1806>
9. Перевертов В.П., Авдонин Г. Т. Прогрессивные виброустойчивые конструкции металлорежущих инструментов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2006. Т.2.
10. Новиков С.Г., Малыхин В.В. Конструкция демпфирующего резца с переменной жесткостью по длине державки // Провинциальные научные записки. 2019. №2(10). С.61-64.
11. Новиков С.Г., Малыхин В.В. Разработка конструкции демпфирующего резца с варьированием жесткости по длине державки // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23, № 1. С. 31-42. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-1-31-42>.

12. Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков С.Г. Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обработанной поверхности // Справочник. Инженерный журнал. 2014. №14. С.31-35.

13. Патент №2457077 Российская Федерация: МПК В23В27/0. Демпфирующий резец / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. [и др.]; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). № 2011 106 621/02; заявл. 22.02.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.9 15.

14. Разработка конструкции экспериментального образца демпфирующего резца // В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, С.Г. Новиков, А.А. Фадеев // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XI-ой Международной научно-практической конференции: в 4 т. Курск, 2014. Т. 4. С.234-238.

15. Разработка конструкций демпфирующих резцов / В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, Ю.Н. Селезнев, С.Г. Новиков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 11. С.25-27.

16. Патент №2457077 Российская Федерация: МПК В23В27/00. Демпфирующий резец с управляемой жесткостью / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. и [др.]; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). № 2013113649/02; заявл. 26.03.2013; опубл.10.12.2014, Бюл. № 34.

17. Демпфирующие резцы постоянной жесткости и упругой связью с системой «Станок-инструмент-деталь» / С.Г. Емельянов, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, С.Г. Новиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 8. Ч.2. С.22-31.

18. Яцун Е.И., Малыхин В.В., Новиков С.Г. Разработка и исследование конструкций демпфирующих резцов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 8. Ч.1. С.287-296.

19. Патент №2479385 Российская Федерация: МПК В23В27/00. Демпфирующий резец с регулируемой жесткостью / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. [и др.]; патентообладатель ФБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). №2011141683/02; заявл. 13.10.2011. Оpubл. 20.04.2013, Бюл. №11.

20. Патент №2621939 Российская Федерация: МПК В23В27/00. Универсальный демпфирующий резец с управляемой жесткостью / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). № 2015116208/02. Заявл. 28.04.2015. Оpubл.08.06.2017, Бюл. №16.

21. Патент №268650021 Российская Федерация: МПК В23В27/00. Демпфирующий резец / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Волосухин В.А., Глаголев Р.В.; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). № 2018133445; заявл. 21.09.2018. Оpubл.29.04.2019. Бюл. № 13.

References

1. Rogov V.A. Cutter. Russian Federation Patent. 2009768. 30 March 1994.
2. Vasin L.A., Borodkin N.N. Incisor. Russian Federation Patent 2280542. 27 July 2006.
3. Polezhaikin N.A., Ladoshkin A.G., Fomin L.A., Polezhaikin I.G., Efaneva T.G. Incisor. Russian Federation Patent 2287405. 11 November 2006.
4. Voitenko V.G., Tatarkin E.Yu., Sitnikov A.A. Incisor. Russian Federation Patent 2107588. 27 March 1998.
5. Fedorov V.L., Kopylova V.V., Dyakova E.N. Prefabricated cutter. A.S. 1252062 USSR class. B23B27/16. 03 November 1991.
6. Yatsun E.I., Malykhin V.V., Zubkova O.S. Novikov S.G. Tool support for mechanical processing processes with hard alloys and composites. Kursk, 2016. P.160-124. (In Russ.).
7. Pavlov E.V., Smirnov I.M. Applicability of Composite Cutters for Mashining Surfaces Formed by a Combination of Structural Materials, *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2017; 21 (2): 91-98 (In Russ.).
8. Ivanov I.I., Voronov S.A. Study of the dynamics of the vibration drilling process with control by the amplitude of vibrations. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*. 2018; is. 9. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1806>
9. Perevertov V.P., Avdonin G.T. Progressive vibration-resistant designs of metal-cutting tools. In: *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. Penza, 2006; vol. 2. (In Russ.).
10. Novikov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I. Design of a damping cutter with variable rigidity along the length of the holder. *Provintsial'nye nauchnye zapiski = Provincial Scientific Notes*. 2019. (1): 31-42. (In Russ.).
11. Novikov S.G., Malykhin V.V. Development of Damping Cutter Construction with Rigidity Variation on Holder Length. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019; 23(1): 31-42 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-1-31-42>
12. Malykhin V.V., Yatsun E.I., Novikov S.G. Vibroacoustic diagnostics of the condition of the cutting tool and microroughness of the machined surface. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal = Handbook. Engineering Journal*. 2014; (14): 31-35. (In Russ.)
13. Novikov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I. [etc.]. Damping cutter. Russian Federation Patent 2457077. 27 July 2012.
14. Malykhin V.V., Yatsun E.I., Novikov S.G., Fadeev A.A. Development of the design of an experimental sample of a damping cutter. In: *Sovremennye instrumental'nye sistemy, informatsionnye tekhnologii i innovatsii: sbornik nauchnykh trudov XI-oi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Modern instrumental systems, information technolo-*

gies and innovations: collection of scientific papers of the XIth International Scientific and Practical Conference. Kursk, 2014. Vol. 4. Pp. 234-238. (In Russ.)

15. Malykhin V.V., Yatsun E.I., Seleznev Yu.N., Novikov S.G. Development of designs for damping cutters. *Khimicheskaya i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and oil and gas engineering*. 2016; (11): 25-27. (In Russ.).

16. Novikov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I. et al. Damping cutter with controlled stiffness. Russian Federation Patent 2535196. 10 December 2014.

17. Emelyanov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I., Novikov S.G. Damping cutters of constant rigidity and elastic connection with the "Machine-tool-part" system. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = News of Tula State University. Technical science*. 2017; is. 8, part 2: 22-31. (In Russ.)

18. Yatsun E.I., Malykhin V.V., Novikov S.G. Development and research of damping cutter designs. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = News of Tula State University. Technical science*. 2016; is. 8, part 1: 287-296. (In Russ.)

19. Novikov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I. [etc.]. Damping cutter with adjustable rigidity. Russian Federation Patent 2479385. 20 April 2013.

20. Novikov S.G., Malykhin V.V., Yatsun E.I. [etc.]. Universal damping cutter with controlled rigidity. Russian Federation Patent 2621939. 08 June 2017.

21. Novikov S.G., Malykhin V.V., Volosukhin V.A., Glagolev R.V. Damping cutter. Russian Federation Patent 268650021. 29 April 2019.

Информация об авторах / Information about the Authors

Малыхин Виталий Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: malykhin1946@mail.ru

Vitaly V. Malykhin, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Mechanical Engineering Technologies and Equipment Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: malykhin1946@mail.ru

Новиков Сергей Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, Курский государственный аграрный университет им. И.И.Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: novikov.s.46@mail.ru

Sergey G. Novikov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Kursk State Agrarian University named after I.I.Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: novikov.s.46@mail.ru