

Научная статья
УДК 621.914:674:004

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Виктор Николаевич Гаранин¹, Татьяна Александровна Машорипова²

^{1,2} Белорусский государственный технологический университет,

Минск, Республика Беларусь

^{1,2} dosy@bstu.unibel.by

Аннотация. Данная статья посвящена оценке исследований в области вибрационного разрушения материалов с целью нахождения возможностей повысить износостойкость дереворежущего фрезерного инструмента. Использование вибрационного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом при высокоскоростном резании древесины позволяют изменить условия взаимодействия инструмент-деталь, что открывает новые возможности к использованию упрочняющих технологий, базирующихся не только на использовании покрытий или обработке режущих материалов.

Использование вибраций при дроблении древесины на щепу в деревообрабатывающем оборудовании позволяет влиять на динамику резания древесины, что положительно сказывается на возможностях использования инструментальных материалов с низкой ударной вязкостью для изготовления дереворежущего инструмента.

Ключевые слова: обработка древесины, фрезерный инструмент, вибрация, износостойкость

Для цитирования: Гаранин В. Н., Машорипова Т. А. Анализ возможностей использования вибраций при обработке древесины и других материалов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 100–107.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING VIBRATIONS IN THE PROCESSING OF WOOD AND OTHER MATERIALS

Victor N. Garanin¹, Tatyana A. Mashoripova²

^{1,2} Belarusian State University of Technology, Minsk, Republic of Belarus

^{1,2} dosy@bstu.unibel.by

Abstract. This article is devoted to the assessment of research in the field of vibration destruction of materials in order to find opportunities to increase the wear resistance of wood-cutting milling tools. The use of the vibrational interaction of the tool with the material being processed during high-speed cutting of wood will make it possible to change the conditions of interaction between the tool-detail, which opens up new possibilities for the use of hardening technologies based not only on the use of coatings or processing of cutting materials.

The use of vibrations during receiving chips in woodworking equipment allows to influence on the dynamics of wood cutting, which has a positive effect on the possibilities of using tool materials with low impact strength for the manufacture of wood-cutting tools.

Keywords: wood processing, milling tool, vibration, wear resistance

For citation: Garanin V. N., Mashoripova T. A. Analysis of the possibilities of using vibrations in the processing of wood and other materials // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 100–107.

Изучению вибрационного резания древесины в прошлом было уделено внимание исследователями, которые занимались изучением способов деления древесных материалов. Так, в работе [1] Любченко рассматривал открытое прямолинейное резание, когда главное движение лезвия относительно неподвижной заготовки складывается из двух движений: поступательного с постоянной скоростью V_1 и возвратно-поступательного (колебательного) с переменной скоростью V_2 , изменяющейся по синусоидальному закону.

При таком резании наблюдались условия, когда происходила повторная зачистка лезвием поверхности резания, что положительно сказывалось на качестве обработанной поверхности. Как видим, аналогично использованию рефлекторного фрезерования, дополнительные степени свободы инструмента при обработке древесины позволяют добиться улучшения качества обработанных поверхностей без увеличения скоростей деталей привода или увеличения количества режущих элементов.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Чаще изучение вредных вибраций проводят на основе исследования влияния отдельных первичных параметров на интенсивность вибраций и результаты обработки. Так, А. И. Кашириным выполнены исследования интенсивности вредных вибраций с учетом влияния особенностей процесса трения только на контактных поверхностях [2], Л. П. Соколовским – с учетом особенностей пластического деформирования при врезании и выходе инструмента, И. С. Штейнбергом – с учетом процесса наростообразования.

Надо отметить, что совершенно недостаточно изучен механизм влияния вредных вибраций, обусловленных процессом резания, на вторичные факторы и прежде всего на стойкость и прочность инструмента. Исследования полезных вибраций, задаваемых специальными вибраторами, проведены, как правило на основе рассмотрения прямой взаимосвязи первичных и вторичных факторов без изучения физических закономерностей процесса резания, определяющих эту взаимосвязь.

К паре «инструмент – разрезаемый материал» следует обратить внимание на третье – полевое воздействие.

Влияние импульсного воздействия на металл было определено в лабораторных условиях [2, 3, 4].

Так, для исследования влияния вибрации на процесс резки арматурной стали, профессором С. А. Волковым был использован вибратор направленного действия с частотой ~ 25 Гц ($P = 1$ кВт, $n = 1540$ мин⁻¹). Он провел 230 экспериментов, показав, что в режиме резонанса наблюдается существенное снижение сил резания (более чем в четыре раза была уменьшена сила резания).

С целью расширения частотного диапазона С. А. Евтюковым [2] были выполнены эксперименты по выявлению влияния ультразвукового воздействия на зону резания металлов. Удалось снизить силу резания в 1,8–2,2 раза на частоте 7,9 кГц. Для этого исследования был применен оптимальный метод статистического планирования эксперимента.

Эффект снижения прочности материала наблюдался в экспериментах, проведенных в начале 60-х годов в СССР при снятии внутренних напряжений со сварных конструкций и с затвердевшего бетона с помощью ультразвукового воздействия, а также в экспериментах со стальными шариками и плитой. Если прочность шарика была выше прочности плиты, то под воздействием ультразвука шарик деформировался (при большей прочности) только от собственного веса.

Этот же эффект наблюдался болгарским профессором Г. С. Ангеловым [5] при растяжении монокристаллов цинка и алюминия.

Объяснение роли цикличности нагружения в разрушении материалов дают Ю. А. Никонов и В. А. Степанов [6]. Они считают, что одной из причин понижения напряжения разрушения при циклической нагрузке

является взаимодействие поля микронапряжений от внешней нагрузки цикла с остаточными микронапряжениями, возникающими в теле после предыдущих циклов. Остаточные микронапряжения и микродефекты возникают при растяжении, а при сжатии происходит «отдых». Если сразу после растяжения в каждом цикле проводить мероприятия по снятию остаточных напряжений, то долговечность тела могла бы быть значительно повышена.

Следует также обратить внимание и на зарубежный опыт изучения вибраций при резании различных материалов [7–22]. Схематично результаты изучаемых направлений можно представить в следующем виде (рис. 1).

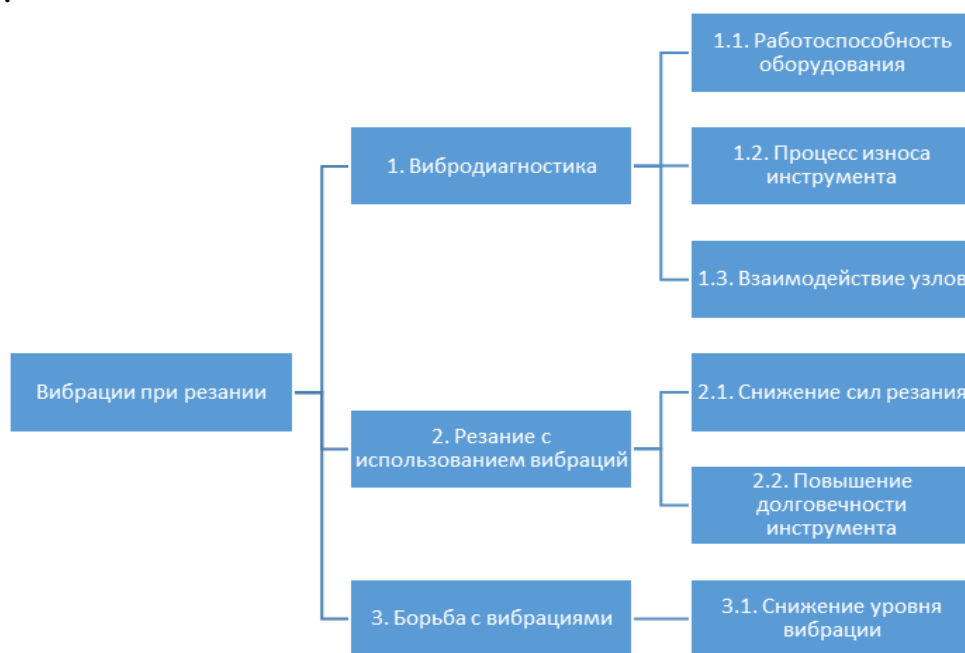


Рис. 1. Зарубежный опыт в изучении вибраций при резании материалов

Наиболее интересным из рассмотренных зарубежных материалов с точки зрения влияния вибраций на силообразование процесса разрушения древесины следует считать работу [21], где созданием эллиптических вибраций обеспечивается «накачка» необходимых для разрушения материала напряжений сжатия (рис. 2).

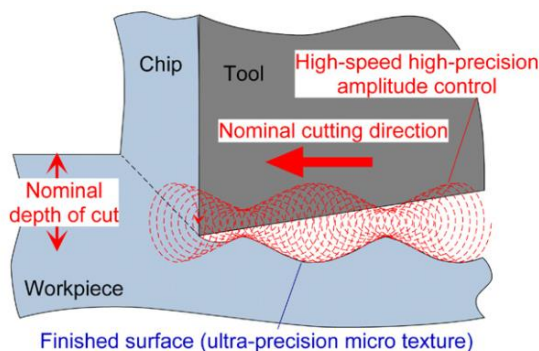


Рис. 2. Точение с использованием эллиптических вибраций [21]

На примере обработки сталей вибрации, обусловленные процессом резания с оптимальными параметрами (частотой и амплитудой), можно использовать их для улучшения механической обработки, т. е. превратить вредные вибрации в полезные путем адаптации их к условиям создания разрушающих напряжений в зоне резания. В частности, для процесса цилиндрического фрезерования материалов данные условия взаимодействия характеризуются циклоидальным характером образования поверхностей, и создание полезных вибраций следует рассматривать именно в процессе формирования циклоиды. Создание полезных вибраций при циклоидальном взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом предлагается обеспечивать с помощью рабочих органов деревообрабатывающего оборудования (механизмов резания, подачи и базирования), что может послужить целью дальнейших работ на указанную тему. Для примера, создание вибраций приводом механизма резания можно обеспечить за счет использования жесткости ременной передачи, представленной на рис. 3.

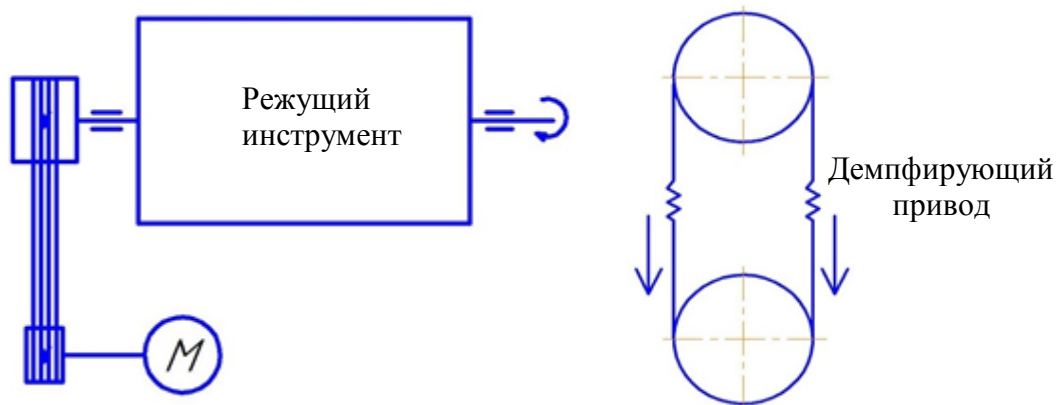


Рис. 3. Схема создания вибраций приводом резания

Подобные схемы можно представить для различных рабочих органов обрабатывающего оборудования.

Таким образом, изучению полезных вибраций при резании различных материалов уделяется большое внимание и наблюдается постоянный поиск новых методов снижения сил резания, оказывающих большое влияние на стойкость инструмента (особенно при ударных нагрузках).

Список источников

1. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов : учебное пособие для вузов. – М. : Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
2. Волков С. А. Влияние динамических нагрузок на прочность и реологическое поведение твердых тел (о механизмах самоорганизации структур дефектов кристаллической решетки в зонах деформаций) // Синергетика и методы науки. – СПб. : Наука, 1998. – 155 с.

3. Волков С. А. Влияние скорости резания и вибрации на величину усилий в зоне среза // Строительные и дорожные машины : докл. к XXIV науч. конф. ЛИСИ. – Л.; 1966. – С. 34–36.
4. Волков С. А. Физические основы рабочих процессов машин для изготовления арматуры железобетонных конструкций. – СПб., 2001. – 125 с.
5. Применение ультразвука в промышленности / Под ред. А. И. Маркова. – М. : Машиностроение; София : Техника, 1975. –240 с.
6. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Л. Б. Зельдович и др. – М. : Наука, 1966. – 686 с.
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation, *Int J Adv Manuf Technol.* – 2002. – С. 19:705–713.
8. Sz wajka K., Gó rski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal // *Journal of Physics : Conference Series* 48. – 2006. – С. 1205–1209.
9. Philips S. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planning / Philips S. Ogun, Michael R. Jackson // *Mechanics Volume.* – 2017. – № 46. October. – P. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling // *Int J Adv Manuf Technol.* – 2006. – P. 688–692.
11. Wse of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / J. Gorski, K. Szymanowski, P. Podziewski, K. Smietanska, P. Charniak, M. Cyrankowski // *Sensing tool wear in milling, Gorski et al. – BioResources.* –2019. – № 14 (2). – P. 3379–3388.
12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot // *Journal of Mechanical Science and Technology.* – 2014. –№ 28 (11). – P. 4421–4429.
13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper // *Chip and chipless woodworking processes.* – 2018. – № 11 (1). – P. 105–110.
14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations // *Elsevier Sequoia, Lausanne, Wear.* – 1991. – I51. – P. 143–156.
15. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan, S. Zhicheng and X. Jing // *Advances in Mechanical Engineering.* – 2018. – Vol. 10 (1). – P. 1–14.
16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration // *Acta facultatis xylogologiae Zvolen.* – 2017. – № 59 (2). – P. 147–153.

17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws // *Journal of Sound and Vibration*. – 2001. – № 242 (5). – P. 907–922.
18. Md. Sayem Hossain Bhuiyan, Imtiaz Ahmed Choudhury. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel // *Machining Science and Technology*. – 2015. – № 19. – P. 236–261.
19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* : Received : 26 March 2020 /Accepted : 18 May 2020. – P. 202–217.
20. Corrosion of materials used as cutting tools of wood / M. Gauvent, E. Rocca, P. J. Meausoone, P. Brenot // *Wear* 261: 2006. – P. 1051–1055.
21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micronano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting // *Precision Engineering* 35: 2011. – P. 44–50.
22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling // *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46: 2006. – P. 659–666.

References

1. Lyubchenko V. I. Cutting wood and wood material. – Moscow : Lesnaya prom-st', 1986. – 296 p.
2. Volkov S. A. The influence of dynamic loads on the strength and rheological behavior of solids (on the mechanisms of self-organization of crystal lattice defect structures in deformation zones) // *Synergetics and methods of Science*. – St. Petersburg : Nauka, 1998. – 155 p.
3. Volkov S. A. The influence of cutting speed and vibration on the amount of effort in the cut zone // *Construction and road machines: dokl. to XXIV scientific conf. LISI*. – L. ; 1966. – P. 34–36.
4. Volkov S. A. Physical fundamentals of working processes of machines for the manufacture of reinforcement of reinforced concrete structures. – St. Petersburg, 2001. – 125 p.
5. Application of ultrasound in industry / ed. by A. I. Markov. – M. : Mashinostroenie ; Sofia : Technika, 1975. – 240 p.
6. Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena / L. B. Zeldovich [et al.]. – M. : Nauka, 1966. – 686 p.
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation, *Int J Adv Manuf Technol*. – 2002. – P. 19:705–713.
8. Szwajka K., Górski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal // *Journal of Physics : Conference Series* 48. – 2006. – P. 1205–1209.

9. Philips S. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planning / Philips S. Ogun, Michael R. Jackson // *Mechanics Volume*. – 2017. – № 46. October. – P. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling // *Int J Adv Manuf Technol*. – 2006. – P. 688–692.
11. Wse of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / J. Gorski, K. Szymanowski, P. Podziewski, K. Smietanska, P. Charniak, M. Cyrankowski // *Sensing tool wear in milling, Gorski et al. – BioResources*. –2019. – № 14 (2). – P. 3379–3388.
12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2014. –№ 28 (11). – P. 4421–4429.
13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper // *Chip and chipless woodworking processes*. – 2018. – № 11 (1). – P. 105–110.
14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations // *Elsevier Sequoia, Lausanne ,Wear*. – 1991. – I51. – P. 143–156.
15. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan, S. Zhicheng and X. Jing // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2018. – Vol. 10 (1). – P. 1–14.
16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration // *Acta facultatis xylogologiae Zvolen*. – 2017. – № 59 (2). – P. 147–153.
17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws // *Journal of Sound and Vibration*. – 2001. –№ 242 (5). – P. 907–922.
18. Md. Sayem Hossain Bhuiyan, Imtiaz Ahmed Choudhury. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel // *Machining Science and Technology*. – 2015. – № 19. – P. 236–261.
19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* : Received : 26 March 2020 /Accepted : 18 May 2020. – P. 202–217.
20. Corrosion of materials used as cutting tools of wood / M. Gauvent, E. Rocca, P. J. Meausoone, P. Brenot // *Wear* 261: 2006. – P. 1051–1055.
21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micronano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting // *Precision Engineering* 35: 2011. – P. 44–50.
22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling // *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46: 2006. – P. 659–666.