

(UIC 2014), 9-12 декабря 2014 г., Бали, Индонезия. 2014, 390-395, DOI 10.1109 / UIC-ATCScalCom, 2014 г.

3. Санников С.П., Герц Е.Ф. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Информирование процессов формирования открытых систем на базе САПР, АСНИ, СУБД и системы искусственного интеллекта: материалы 5-й междунар. науч.-техн. конф. Конф. Вологда: ВГТУ, 2009 г.

УДК 630*9:004.9

В.В. Раповец, Д.Л. Болочко, Т.А. Машорипова

Белорусский государственный технологический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
СРЕДЕ LS-DYNA**

Использование вибрационного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом при высокоскоростном резании древесины позволят изменить условия взаимодействия инструмент-деталь, что открывает новые возможности к использованию упрочняющих технологий, базирующихся не только на использовании покрытий или обработке режущих материалов.

Вибрационное резание древесины имеет еще одно преимущество. Когда переменные нагрузки воздействуют на обрабатываемый материал со стороны лезвия, в материале возникает импульсное переменное поле напряжений. Оно расположено в некоторой массе материала с определенной собственной частотой упругих колебаний. В. И. Любченко [1] предлагает выбирать такие амплитуды и частоту вибраций, накладываемых на лезвие, чтобы между этими вибрациями и колебаниями материала возникал резонанс. В этом случае материал разрушается при более низком напряжении, чем при приложении постоянной нагрузки, что снижает энергозатраты процесса резания.

Применение резания с вибрациями (на оптимальных режимах) позволяет успешно решать многие актуальные проблемы, стоящие перед металлообрабатывающей промышленностью. В частности, резание с вибрациями обеспечивает надежное дробление стружки. Этот факт дает возможность предполагать об успешном решении многих проблем и в деревообработке.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Ча-

ще 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.

Надо отметить, что совершенно недостаточно изучен механизм влияния «вредных» вибраций, обусловленных процессом резания, на вторичные факторы, и прежде всего, на технологическую 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 составляющее – 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.

Изучение зоны среза материала показало, что при вибрационном резании повышается качество среза. Торец среза более ровный и в большей степени перпендикулярен к оси стержня по сравнению с торцом при резке без вибрации. При изучении микрошлифов установлено, что при воздействии вибрации уменьшается объем деформированного металла. Этим частично и объясняется снижение энергоемкости при вибрационном резании. При действии вибрации наблюдалось изменение механических свойств и реологического поведения разрезаемого металла за счет виброактивации. Традиционное объяснение снижения «статической» составляющей силы резания тем, что добавляется динамическая составляющая, дающая в сумме разрушающее воздействие.

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 деформи-

ровался (при большей прочности) только от собственного веса.

Этот же эффект наблюдался болгарским профессором Ангеловым Г.С. [5] при растяжении монокристаллов металлов 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 [7-19]. Схематично результаты изучаемых направлений можно представить в следующем виде на рисунках 1–2.

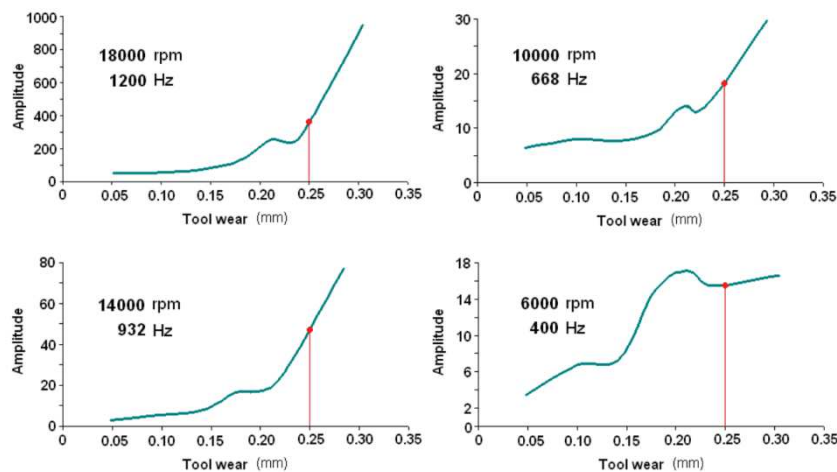


Figure 4. Amplitude vibration (V_{rav}) signals with tool wear.

Рисунок 1 – Зарубежный опыт в изучении вибраций при резании материалов

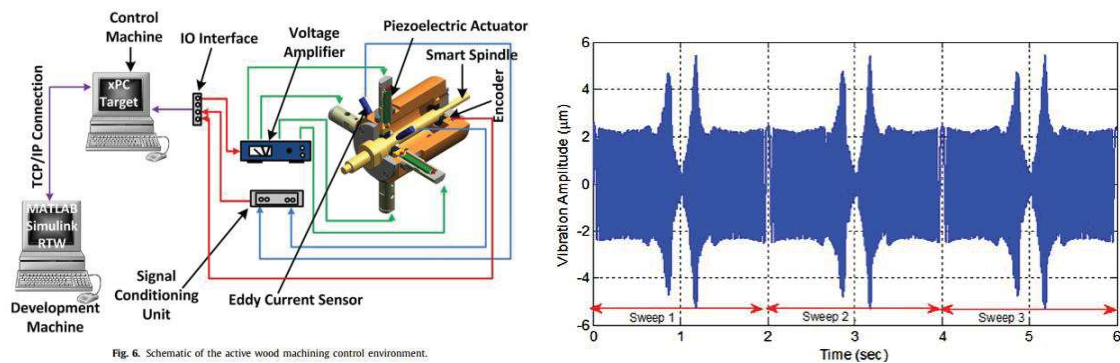


Fig. 6. Schematic of the active wood machining control environment.

Рисунок 2 – Повышение качества фрезерования с использованием вибраций

С точки зрения влияния вибрации на формирование силы в процессе разрушения древесины наиболее интересной следует считать

задачу обработки материалов [18], при которой создаются такие напряжения сжатия, необходимые для снятия материала и создания вибрации. Схематично точение с использованием алиптических вибраций представлено на рисунке 3.

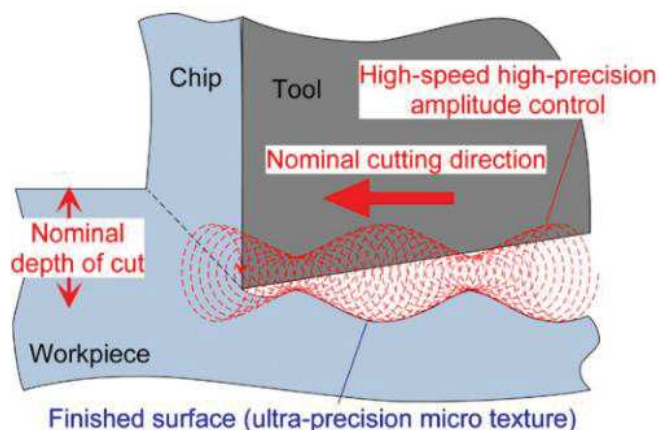


Рисунок 3 – Точение с использованием алиптических вибраций

Использование вибраций при инструментальной адаптации в конечном счете отражает условия высокоскоростного взаимодействия. Необходимо рассматривать относительное взаимодействие режущего инструмента с материалов не только как воздействие инструмента на заготовку, но и заготовки на инструмент, которая при обработке базируется в оборудовании.

Очень важные выходные параметры высокоскоростного процесса вибрационного фрезерования древесины такие как, например, касательная составляющая сила резания, технологическая стойкость инструмента и другие можно исследовать экспериментально. При этом необходимо проводить длительные, зачастую весьма трудоемкие и дорогостоящие эксперименты. Существенно сократить длительность таких исследований, выявить ранее неизвестные закономерности процессов и их детально изучить позволяет моделирование в пакетах нелинейного конечно-элементного анализа LS-DYNA (рисунок 4).

Разработана модель вибрационного фрезерования древесины в пакете LS-DYNA. Объектами моделирования в расчетной модели являются ножи фрезы (фреза) и заготовка. Модели для расчета в пакете LS-DYNA описываются в текстовом формате ASCII кодов. Основной структурной единицей описания является карта. Каждая карта описывает отдельный компонент расчетной модели – узел, конечный элемент, материал, усилие, контакт и т.д. Вводятся карты ключевыми словами, соответствующими ее семантике.

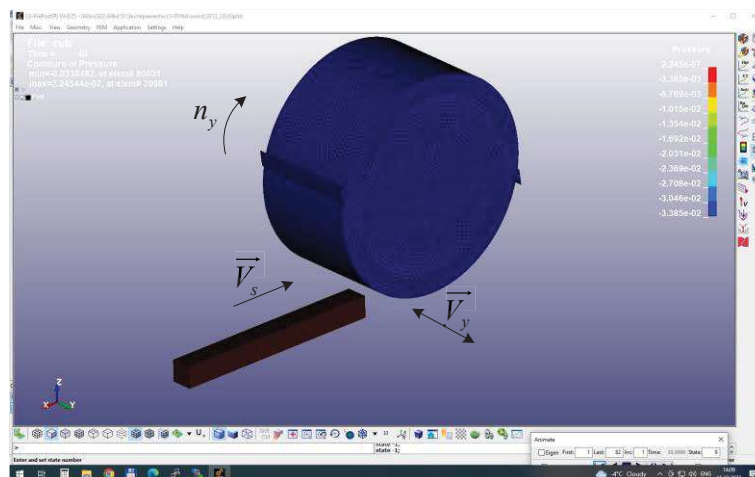


Рисунок 4 – Расчетная схема вибрационного фрезерования при обработке древесины

Разработанная модель позволяет детально анализировать вибрационное резание древесины с изучением свойств износостойких инструментальных материалов, испытывающих высокие динамические нагрузки, совершенствуя технологическую стойкость режущего инструмента, исследовать характеристик напряженно-деформированного состояния заготовки практически на любой стадии контакта ножа с заготовкой при фрезеровании в объемном представлении.

Литература

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) / С.А. Волков // Синергетика и методы науки. – СПб.: Наука, 1998. –155 с.
3. Волков, С.А. Влияние скорости резания и вибрации на величину усилий в зоне среза / Волков С.А. // 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 / С.А. Волков. С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 2001. – 125 с.
5. Применение ультразвука в промышленности / под ред. А.И. Маркова. – М.: Машино-строение; 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. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal / K. Sz wajka J. Górski // 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 // [Mechatronics Volume 46](#), October 2017, – с. 21-31.

10. Gwo-Lianq Chern. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling / Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee // Int J Adv Manuf Technol, 2006. – с. 688–692.

11. Gorski, J. Use of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / Gorski J., Szymanowski K., Podziewski P., Smietanska K., Charniak P., Cyrankowski M. // Sensing tool wear in milling, Gorski et al. – BioResources 14(2). 2019. – с. 3379-3388

12. Tratar, J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot / Tratar J., Pusavec F., Kopac J. // Journal of Mechanical Science and Technology 28 (11), 2014, – с 4421-4429.

13. Gochev, Z. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration / Zhivko Gochev, Georgi Vukov // Acta facultatis xylologiae Zvolen, 59(2): 2017, – с. 147-153

14. TIAN, J. F. Cutting-induced vibration in circular saws / J. F. Tian, S. G. Hutton // Journal of Sound and Vibration: 242(5). 2001, – с. 907-922.

15. Md. Sayem Hossain Bhuiyan Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel / Md. Sayem Hossain Bhuiyana, Intiaz Ahmed Choudhury // Machining Science and Technology, 19: 2015, – с. 236–261

16. Nasir, V. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection / Vahid Nasir, Julie Cool // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology: Received: 26 March 2020 /Accepted: 18 May 2020, – с. 202-217.

17. Gauvent, M. Corrosion of materials used as cutting tools of wood / M. Gauvent, E. Rocca, P.J. Meausoone, P. Brenot // M. Gauvent et al. / Wear 261: 2006, – с. 1051–1055

18. Suzuki, N. Micro/nano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting / Norikazu Suzuki, Hideo Yokoi, Eiji Shamoto // N. Suzuki et al. / Precision Engineering 35: 2011, – с. 44–50.

19. Gwo-Lianq Chern. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling / Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang // International Journal of Machine Tools & Manufacture 46: 2006, – с. 659-666.