

УДК 674.053:621.934

А. В. Ширко¹, С. А. Гриневич², В. Т. Лукаш²¹ООО «Бел Хуавэй Технолоджис»²Белорусский государственный технологический университет**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ЗУБЬЕВ ДИСКОВЫХ ПИЛ**

Проблема получения качественной продукции в деревообрабатывающей промышленности неразрывно связана с подготовкой режущего инструмента. Особенно этот вопрос актуален при раскрое ламинированных древесностружечных пил твердосплавными дисковыми пилами. Экспериментальные исследования потери режущей способности инструмента носят, как правило, довольно продолжительный характер и сопряжены с существенными трудозатратами. Чтобы избежать длительных испытаний, процесс износа зубьев дисковой твердосплавной пилы с плоско-трапециевидным профилем зубьев был смоделирован и проанализирован с помощью универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Программа широко распространена в сфере автоматизированных инженерных расчетов для решения методом конечных элементов линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций.

В работе представлены результаты моделирования процесса затупления зубьев твердосплавных дисковых пил с плоско-трапециевидным профилем. За формирование качественного пропила в паре отвечает зуб с плоским профилем, поэтому основное внимание в работе уделено именно ему. Результаты моделирования позволили выявить наиболее нагруженные, а соответственно, более подверженные износу участки режущих граней плоского зуба. Расчет величины износа был произведен на основании теории Арчарда.

Ключевые слова: пила, зуб, твердый сплав, износ, моделирование.

A. V. Shirko¹, S. A. Grinevich², V. T. Lukash²¹Huawei Minsk Research Center²Belarusian State Technological University**MODELING OF THE BLUNTING OF THE TEETH OF CIRCULAR SAW BLADES**

The problem of obtaining quality products in the woodworking industry is inextricably linked with the preparation of cutting tools. This question is especially relevant during cutting laminated chipboard with carbide circular saws. Experimental studies of the tool cutting ability loss are usually quite long and involve significant labor costs. In order to avoid long-term tests, the wear process of the teeth of a flat-trapezoidal carbide saw was simulated and analyzed using the universal software system of finite element analysis ANSYS. The program is widely used in the field of automated engineering calculations for solving linear and nonlinear, stationary and non-stationary spatial problems of solid mechanics and structural mechanics by the finite element method.

The paper presents the results of modeling the blunting of carbide circular saws teeth with a flat-trapezoidal profile. A tooth with a flat profile is responsible for the formation of a high-quality cut in a pair, so the main attention in the work is paid to it. The simulation results allowed to identify the most loaded, and, accordingly, more prone to wear areas of the cutting faces of a flat tooth. The calculation of the wear dimension was made on the basis of the Archard's theory.

Key words: saw, tooth, hard alloy, wear, modeling.

Введение. Для исследования процессов деревообработки могут применяться как методы прямой постановки эксперимента, так и методы моделирования. Моделирование позволяет исследовать явления, объекты или их взаимодействие и получить их математическое описание с дальнейшей возможностью предсказывать их поведение [1]. На сегодняшний день благодаря развитию информационных технологий стало возможно создавать виртуальные модели объектов и проводить анализ их взаимодействия, не прибегая к сложным и трудоемким экспериментам.

Одной из актуальных проблем в подготовке дисковых пил является их своевременная переточка, а также вопрос о величине съема и соотношении количества переточек по задней и передней поверхности зуба. С одной стороны, необходимо обеспечить высокую стойкость инструмента в пределах одной переточки, а с другой – использовать инструмент максимально эффективно и обеспечить максимальную суммарную стойкость пилы. Чтобы приблизиться к решению данной задачи, авторами было выполнено моделирование затупления зубьев дисковых твердосплавных пил с помощью программы ANSYS.

Основная часть. Аналитическое исследование взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом сразу по нескольким граням с учетом особенностей конструкции режущих зубьев представляет собой довольно сложную задачу. Поэтому для ее решения была использована универсальная программа численного моделирования и анализа ANSYS.

Для моделирования износа в данном программном продукте была применена теория, разработанная британским инженером Джоном Ф. Арчардом [2]. На сегодняшний день данная теория имеет широкое распространение для решения задач, связанных с абразивным изнашиванием. Данная теория хорошо согласуется с положением о пропорциональности объема изношенного материала режущего элемента пути резания [3]. Согласно Арчарду:

$$W = K \cdot L \cdot \frac{F}{H}, \quad (1)$$

где W – объем изношенного материала, мкм^3 ; K – коэффициент изнашивания, $\text{мкм}^3/\text{м} \cdot \text{Н}$; L – путь контакта, м; F – нормальная нагрузка в зоне контакта, Н; H – твердость изнашиваемого материала.

Модель износа по Арчарду может быть также записана в виде пропорциональности объема изношенного материала величине работы сил трения (2):

$$W = k_v \cdot A, \quad (2)$$

где W – объем изношенного материала, мкм^3 ; k_v – коэффициент объемного износа, $\text{мкм}^3/\text{Дж}$; A – работа сил трения, Дж.

Плоско-трапецевидный профиль зубчатого венца дисковой твердосплавной пилы представляет собой комбинацию зубьев с плоской и трапецевидной формой (рис. 1).

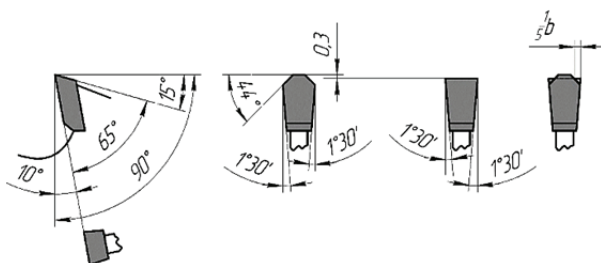


Рис. 1. Плоско-трапецевидный профиль зубьев дисковых пил

Для моделирования в графическом пакете SolidWorks были построены в натуральном масштабе зубья пилы с плоским и трапецевидальным профилем.

Вершины зубьев трапецевидной формы расположены на 0,3 мм выше окружности вершин зубьев с плоской задней поверхностью. При пилении расстояние между резами зубьев в плоскости подачи составляет $(0,3 - S_z)$ мм. При проходе зуба трапецевидной формы выбирается паз соответствующей формы и срезается значительная часть материала. Таким образом, боковые поверхности зубьев трапецевидной формы подчищают стенки пропила, обеспечивая функцию центрирования зуба и инструмента в целом. Идущий за ним плоский зуб окончательно формирует пропил, снимая меньший объем материала. Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский/трапецевидный», составляет 40/60 [3].

Таким образом, зубья с плоским профилем не несут существенной нагрузки и служат для окончательного формирования стенок пропила, т. е. именно они определяют качество обработки, и моделирование их затупления представляет наибольший практический интерес.

На основании анализа, проведенного в работе [3], была построена модель поверхности, с которой взаимодействует зуб пилы с плоским профилем. На рис. 2 показан зуб с плоским профилем и форма обрабатываемой им поверхности, сформированная предыдущим зубом с трапецевидальным профилем (контактная пара).

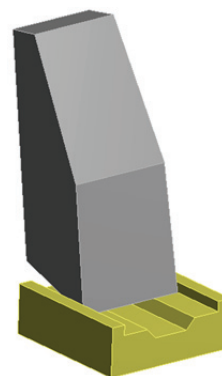


Рис. 2. Плоский зуб пил и соответствующая ему форма обрабатываемой поверхности

Следующим этапом было построение расчетной области. Целевая поверхность представляла собой гексагональную, структурированную, масштабируемую в зоне контакта конечно-элементную сетку (рис. 3).

В результате моделирования трения зубьев по нижней и боковым поверхностям пропила получено графическое изображение износа контактных поверхностей и распределения напряжения (рис. 4).

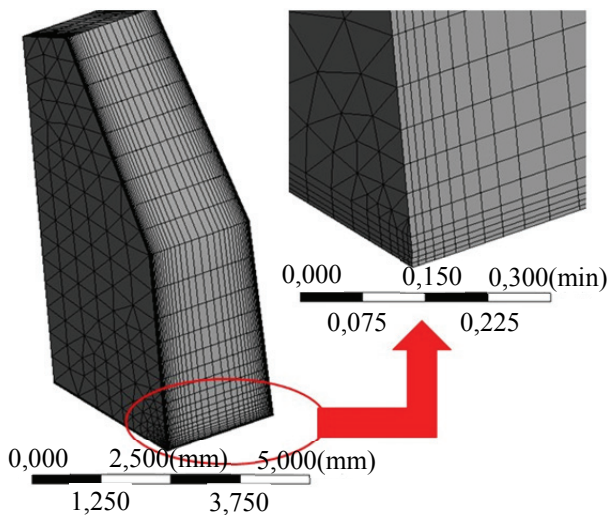


Рис. 3. Размер конечно-элементной сетки на геометрической модели плоского зуба

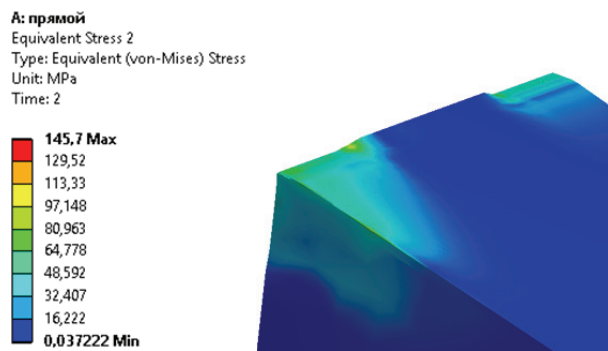


Рис. 4. Распределение напряжения в плоском зубе

На рис. 5 представлено изображение износа контактных поверхностей и распределение давления в контактной паре.

Сопоставив полученное изображение с фотографией плоского зуба (рис. 6) твердосплавной дисковой пилы, изношенной в реальных производственных условиях, нетрудно убедиться в их идентичности.

Это может служить подтверждением адекватности предлагаемой модели и возможности ее использования для сокращения количества экспериментов по исследованию износостойкости дисковых твердосплавных пил.

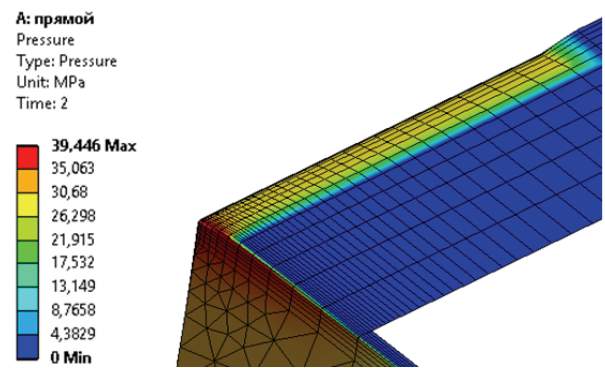


Рис. 5. Распределение давления в плоском зубе

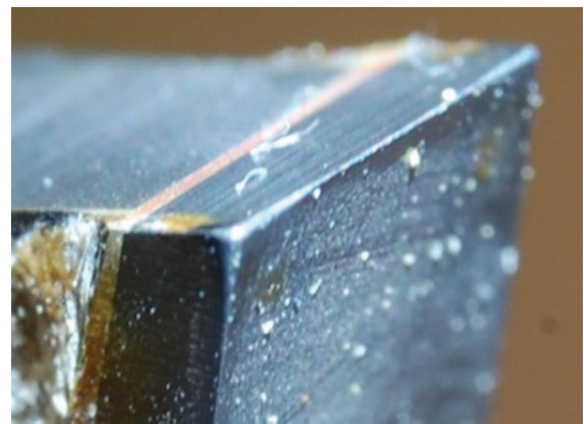


Рис. 6. Фотография изношенного зуба

Заключение. Полученные в работе результаты по моделированию изнашивания зубьев твердосплавных дисковых пил сопоставимы с результатами, полученными при изучении затупленных дисковых твердосплавных пил [4–9]. Это дает возможность использовать данную модель для уменьшения трудоемкости экспериментальных исследований по изучению износостойкости режущего инструмента.

При этом все же следует отметить, что полностью исключить проведение опытов на реальных образцах невозможно, так как коэффициент объемного изнашивания k_v , $\text{мкм}^3/\text{Дж}$, входящий в уравнение Арчарда, может быть получен только экспериментальным путем.

Литература

1. Пижурин А. А., Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2004. 376 с.
2. Archard J.F. Contact and rubbing of flat surfaces // Journal of Applied Physics. 1953. Vol. 24, No. 8. P. 981–988.
3. Лукаш В. Т. Ресурсосберегающие режимы обработки ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с комбинированным профилем зубьев: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Минск, 2017. 191 л.
4. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев // Труды БГТУ. Сер. П, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 234–239.
5. Гриневич С. А. Лукаш В. Т. Определение максимального ресурса твердосплавных дисковых пил при обработке ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 275–279.

6. Гриневич С. А., Лукаш В. Т. Геометрическое моделирование затупления дереворежущего инструмента // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 275–279.

7. Майснер Д. А. Износ твердосплавных дисковых пил и оптимальная схема их заточки [Электронный ресурс]. URL: <https://woodtool.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0217/217297.tu67705x1i.doc> (дата обращения: 23.10.2016).

8. Амалицкий Вит. В. Пиление твердосплавными круглыми пилами и их заточка // Деревообрабатывающая промышленность. 2005. № 5. С. 6–10.

9. Полосухин К. А. Влияние износа режущей кромки круглых пил, оснащенных пластинами твердого сплава, на качество обработанной поверхности // Надежность и качество: труды Междунар. симпоз.: в 2 т. / Пензенский гос. ун-т. 2013. Т. 2. С. 162–164.

References

1. Pizhurin A. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, Mosc. state Univ. of Forest Publ., 2004. 376 p.

2. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, 1953, vol. 24, no. 8, pp. 981–988.

3. Lukash V. T. *Resursosberegayushchie rezhimy obrabotki laminirovannykh drevesno-struzhechnykh plit diskovymi tverdospлавными pilami s kombinirovannym profilem zub'ev: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Resource-saving modes of laminated shipboards with disk carbide saws with a combined tooth profile: Dis. PhD (Engineering)]. Minsk, 2017. 191 p.

4. Lukash V. T., Grinevich S. A. Technological stability and initial power at processing of laminated chipboard with saws with a flat-trapezoidal profile of teeth. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 275–279 (In Russian).

5. Grinevich S. A., Lukash V. T. Determination of the maximum life of hard-alloy circular saws in the treatment of laminated chipboards. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2 (175): Forest and Woodworking Industry, pp. 275–279 (In Russian).

6. Grinevich S. A., Lukash V. T. Geometric modeling of the blunting of wood cutting tool. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2 (210), pp. 275–279 (In Russian).

7. Meisner D. A. *Iznos tverdospлавных diskovykh pil i optimal'naya skhema ih zatochki* [Wear of carbide disk saws and optimal scheme of their sharpening]. Available at: <https://woodtool.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0217/217297.tu67705x1i.doc> (accessed 23.10.2016).

8. Amalitskiy Vit. V. Sawing hard-alloy circular saws and sharpening. *Derevoobrabatyvayushhaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 5, pp. 6–10 (In Russian).

9. Polosukhin K. A. Impact of wear of the cutting edge of circular saws equipped with hard alloy plates on the quality of the machined surface. *Trudy Mezhdunar. simpoz. "Nadezhnost' i kachestvo"* [Proceedings of the International Symposium "Reliability and quality"], 2013, vol. 2, pp. 162–164 (In Russian).

Информация об авторах

Ширко Алексей Владимирович – кандидат физико-математических наук, ведущий инженер ООО «Бел Хуавэй Технолоджис» (220036, г. Минск. пр. Дзержинского, 5, Республика Беларусь). E-mail: a.shirko103@gmail.com.

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru.

Лукаш Валерий Тадеушевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lukash_valeriy@rambler.ru

Information about the authors

Shirko Alexey Vladimirovich – PhD (Physics and Mathematics), leading engineer. Huawei Minsk Research Center (5, Dzerzhinsky Ave., 220036, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.shirko103@gmail.com

Grinevich Sergei Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru.

Lukash Valeriy Tadeushevich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lukash_valeriy@rambler.ru

Поступила 14.03.2019