

УДК 674.053:621.934

**В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, С. В. Киселев**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЯМИ ДИСКОВЫХ  
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПИЛ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРОФИЛЯМИ**

Ламинированные древесностружечные плиты сегодня широко используются во многих отраслях народного хозяйства и прежде всего в мебельной промышленности. Основным видом механической обработки данного конструкционного материала является раскрой дисковыми пилами с зубьями из твердого сплава на заготовки заданных размеров. Обеспечение качественного раскроя является актуальной задачей, для решения которой предлагаются новые профили зубьев пил, применяются современные инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки. При этом внедрение каждого нового профиля требует проведения дополнительных исследований с целью разработки для производства рекомендаций по их эксплуатации.

Обзор инструмента, применяемого на современных мебельных предприятиях для распиловки ламинированных древесностружечных плит, показал, что наиболее популярны дисковые пилы с комбинированными профилями зубьев: попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью. Каждый из них имеет отличительные конструктивные и функциональные особенности, поэтому авторы провели анализ каждого профиля с целью выявления его достоинств и недостатков.

**Ключевые слова:** пила, твердый сплав, профиль, анализ, конструкция, качество, обработка, древесностружечная плита, угол заточки, лезвие, подача на зуб, сила.

**V. T. Lukash, S. A. Grinevich, S. V. Kiselev**

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF FORMING CUTTING TEETH OF CIRCULAR CARBIDE SAWS  
WITH DIFFERENT PROFILES**

Laminated chipboards are now widely used in many sectors of the national economy and, above all, in the furniture industry. The main type of machining of this structural material is cutting disk saws with teeth made of hard alloy on the workpiece size. Providing high-quality cutting of the workpiece is an actual problem, the solution of which are new profiles of teeth of saws, we use modern tool materials, optimized processing modes. At the same time, the introduction of each new profile requires additional research to develop recommendations for their operation.

The survey instrument used in modern furniture enterprises for cuts of laminated chipboards, showed that the most popular disk saws with the combined profiles of the teeth of alternately-slanted plane of the trapezoidal and flat-triangular with concave front surface. Each of them has distinctive design and functional features, so the authors analyzed each product in order to identify its advantages and disadvantages.

**Key words:** saw, hard alloy, profile, construction, analysis, quality, processing, chipboard, sharpening angle, blade, tooth feed, force.

**Введение.** На предприятиях отрасли для раскроя древесины и древесных материалов широко используют дисковые пилы с зубьями из твердого сплава различной формы (рис. 1). Профили и угловые параметры зубьев пил достаточно разнообразны.

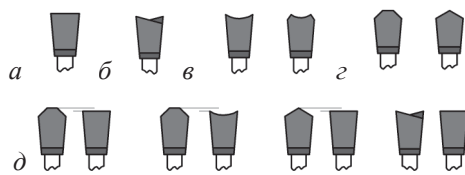


Рис. 1. Формы зубьев дисковых твердосплавных пил:  
*a* – с прямой задней поверхностью зуба;  
*б* – с разносторонним наклоном; *в* – криволинейные;  
*г* – трапециевидная и треугольная;  
*д* – комбинированные

Каждый профиль зубьев имеет свои особенности взаимодействия с обрабатываемым материалом, определяемые его формой, поэтому изучение геометрии зубчатого венца и его влияния на процесс пиления (в частности, стружкообразование, силообразование и качество обработанной поверхности) представляет большой теоретический и практический интерес, так как дает необходимые сведения для проектирования дискового режущего инструмента и рациональной технологии его заточки, разработки оптимальных режимов пиления и расчета форматных станков при их конструировании.

**Основная часть.** Для раскроя облицованных древесных плитных материалов наибольшее распространение получили дисковые пилы с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плос-

ко-треугольным с вогнутой передней поверхностью зуба профилями режущих элементов.

На рис. 2 представлен попеременно-косой профиль зубьев твердосплавной дисковой пилы.

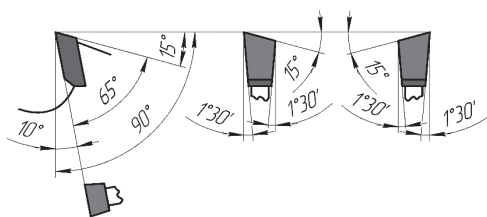


Рис. 2. Попеременно-косой профиль зубьев дисковых пил для раскроя ДСП-Л

Рассмотрим порядок взаимодействия зубьев данного профиля с материалом (рис. 3).

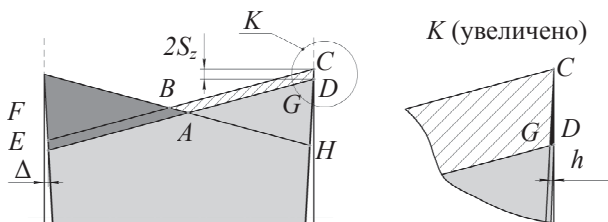


Рис. 3. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с попеременно-косым профилем зубьев

При врезании зуба в материал работает не вся главная режущая кромка, а только ее часть. Величина работающей части (длина  $BC$ ) и, соответственно, объем удаляемого материала тем больше, чем больше подача на зуб  $S_z$ . По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14 площадь пропила, формируемая одним зубом при подаче на зуб  $S_z = 0,06$  мм, составляет  $S_{BCGA} = 0,19$  мм<sup>2</sup>. Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом из рассматриваемой комбинации, составляет 50/50.

Кроме главной, резание осуществляется и боковыми режущими кромками. Причем резание как таковое происходит лишь на отрезке  $CG$ , а боковая стенка пропила, сформированная данным участком зуба, представляет собой ступенчатую поверхность с шагом  $2S_z$  и высотой ступенек  $h = 2S_z \sin \alpha_r$ . Даже при максимальных из диапазона рекомендуемых производителями режущего инструмента режимов пиления ламинированных древесностружечных плит ( $S_z = 0,06$  мм) эта величина составляет не более 7 мкм.

В виду того, что только каждый второй зуб рассматриваемого профиля формирует боковые стенки пропила, силы сопротивления резанию, расположенные со смещением относительно оси полотна, и составляющие сил резания по

главной и боковой смежным режущим кромкам являются одним из источников поперечных колебаний пилы и приводят к ее дополнительной вибрации в пропилах, что негативно отражается на качестве обработки.

Боковые режущие кромки зубьев при вершинах  $F$ ,  $E$ ,  $H$  осуществляют лишь скольжение по стенке пропила ( $\Delta = 0,022$  мм), сформированной предыдущими зубьями противоположного профиля (упругое восстановление волокон древесины, деформированных задней поверхностью лезвия, при торцовом резании составляет 0,05–0,12 мм, поперечном – 0,030–0,005 мм [1]). Нормальная реакция взаимодействующей поверхности обработки частично компенсирует боковую нагрузку (совместно с боковой составляющей сил резания по главной режущей кромке) от сил резания по боковой грани на отрезке  $CD$ . Это способствует повышению устойчивости зуба и всего инструмента в пропилах, особенно по мере затупления режущего инструмента.

Благодаря наклону задней поверхности зуб пилы во время обработки будет входить в материал более плавно. Первым в материал будет внедряться острый трехгранный угол при вершине  $C$ , обеспечивая локализацию напряжений резания и деформаций в материале. Последнее особенно важно, так как в процессе отверждения связующего плита и облицовочный слой становятся хрупкими.

Во время пиления участки зуба, взаимодействующие с обрабатываемым материалом, будут изнашиваться. Наибольшая нагрузка при внедрении зуба в плиту будет ложиться на острый трехгранный угол, из-за чего режущие кромки, формирующие его, будут быстро терять режущую способность. Напряжения от внедрения вершины зуба будут расти по большей площади и, соответственно, вызывать деформацию и разрушение облицовочного материала.

Таким образом, на основании теоретического анализа взаимодействия попеременно-косого профиля зубьев дисковой твердосплавной пилы с ламинированной древесностружечной плитой можно сделать вывод, что данный профиль сможет обеспечивать высокое качество обработки и малую энергоемкость процесса пиления относительно непродолжительное время. Стойкость данного инструмента будет невысокой, так как при обработке древесностружечной плиты, обладающей высокой абразивной способностью, вершина трехгранного угла, выполняющая функцию подрезки поверхностного слоя материала, будет быстро изнашиваться, что приведет к появлению дефектов обработки – сколов облицовочного материала недопустимых размеров. К преимуществам пил с попеременно-косым профилем зубьев следует отне-

сти простоту изготовления и заточки, невысокое потребление мощности на резание.

Плоско-трапециевидный профиль представляет собой комбинацию зубьев дисковой твердосплавной пилы с плоской и трапециевидной формой (рис. 4).

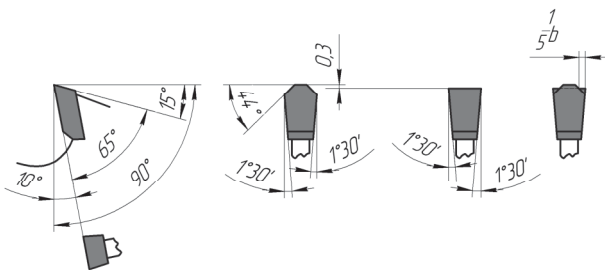


Рис. 4. Плоско-трапециевидный профиль зубьев дисковых пил для раскроя ДСП-Л

Схема взаимодействия зубьев рассматриваемого профиля с обрабатываемым материалом приведена на рис. 5.

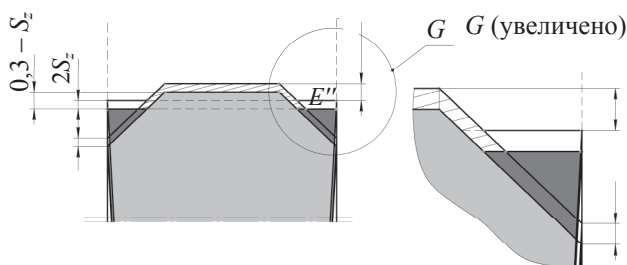


Рис. 5. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с плоско-трапециевидным профилем зубьев

Вершины зубьев трапециевидной 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. Рассмотрим последовательность входа зубьев. В некоторый момент времени после прохода зубьев трапециевидной и плоской формы будет сформирован рез  $A'B'C'D'E'F'$ . При проходе следующего зуба трапециевидной формы снимается площадь  $B'B''CDE''E'D'C'$ , выбирая паз и срезая значительную часть материала (ширина паза  $B''E'' = CD + 2 \cdot (0,3 + S_z) \cdot \text{tg}44^\circ$ ).

Исходя из конструктивного исполнения плоско-трапециевидного профиля (рис. 4) определим величину  $CD$ , мм:

$$\begin{aligned} CD &= \frac{3}{5}b - 2 \cdot 0,3 \cdot \text{ctg}44^\circ = \\ &= \frac{3}{5} \cdot 3,2 - 2 \cdot 0,3 \cdot \text{ctg}44^\circ = 1,30. \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда при подаче на зуб  $S_z = 0,06$  мм ширины паза  $B''E''$  составит, мм,

$$B''E'' = 1,30 + 2 \cdot (0,3 + 0,06) \cdot \text{tg}44^\circ = 2,00. \quad (2)$$

Боковые поверхности зубьев трапециевидной формы подчищают стенки пропила, обеспечивая функцию центрирования зуба и инструмента в целом.

Следующий за ним зуб с плоским профилем срезают площади  $A'ABB''$  и  $F'FEE''$ . Ширина обработки, мм,

$$AB = EF = \frac{b - CD}{2} - (0,3 - S_z) \cdot \text{tg}44^\circ; \quad (3)$$

$$AB = EF = \frac{3,2 - 1,30}{2} - (0,3 - 0,06) \cdot \text{tg}44^\circ = 0,72. \quad (4)$$

По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14  $S_{B'B''CDE''E'D'C'} = 0,23 \text{ мм}^2$ ,  $S_{A'ABB''} = S_{F'FEE''} = 0,075 \text{ мм}^2$ . Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский / трапециевидный», составляет 40 / 60.

Таким образом, зубья с плоским профилем не несут существенной нагрузки и служат для окончательного формирования стенок пропила, они определяют качество обработки. Участки профиля  $AB$  и  $EF$  врезаются в материал одновременно по всей ширине. Благодаря незначительному объему удаляемого материала и наличию свободного пространства для деформирования и отвода продуктов разрушения материала на боковые стенки пропила будет оказываться меньшее давление. С точки зрения энергопотребления данный профиль будет более энергоемким по сравнению с предыдущим, так как его грани врезаются в материал одновременно. В то же время за счет отсутствия острых углов данный профиль будет изнашиваться медленнее, что обеспечит более высокую стойкость инструмента.

На основании теоретического анализа взаимодействия дисковых пил с плоско-трапециевидным профилем зубьев с обрабатываемым материалом можно сделать следующее заключение. Данный профиль будет обеспечивать высокое качество пропила за счет того, что зубья с плоским профилем, его формирующие, не несут больших нагрузок и снимают незначительный слой материала, в то время как основная нагрузка ложится на зубья с трапециевидным профилем. Пилы с плоско-трапециевидным профилем зубьев будут более энергоемкими, однако их стойкость за счет отсутствия острых углов будет выше.

Плоско-треугольный профиль с вогнутой передней поверхностью зубьев представлен на рис. 6. Основное отличие рассматриваемого профиля от предыдущих – вогнутая поверхность передней грани зубьев, что вносит некоторые особенности в процесс стружкообразования. Схема взаимодействия зубьев плоско-

треугольного профиля с обрабатываемым материалом приведена на рис. 7.

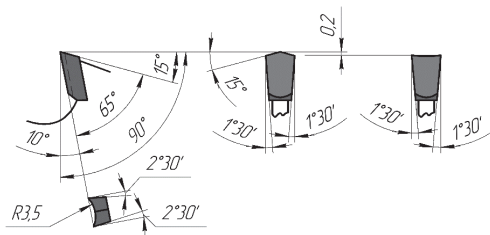


Рис. 6. Плоско-треугольный профиль зубьев дисковых пил с вогнутой передней поверхностью для раскроя ДСП-Л

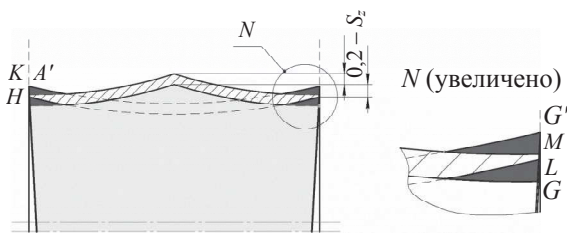


Рис. 7. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с плоско-треугольным профилем зубьев

Принцип работы рассматриваемой комбинации зубьев аналогичен паре «плоский / трапезие-видный»: вершины зубьев треугольной формы, расположенные на 0,2 мм выше вершин зубьев с плоским профилем, врезаются в обрабатываемый материал практически по всей ширине пропила и удаляют основную часть припуска, плоские зубья при этом выполняют роль подрезателей. Расстояние между резами треугольного и плоского зубьев в плоскости подачи составляет  $(0,2 - S_z)$  мм. После прохода пары зубьев формируется рез  $HBCDEFL$ . При проходе очередного зуба с треугольным профилем снимается значительная часть материала, равная площади фигуры  $KD'MFDBH$ . Следующий за ним зуб с плоским профилем срезает значительно меньшую площадь  $A'B'K$  и  $F'G'M$  и не несет существенной нагрузки. По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14  $S_{KD'MFDBH} = 0,34 \text{ мм}^2$ ,  $S_{A'B'K} = S_{F'G'M} = 0,02 \text{ мм}^2$ . Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский / треугольный», составляет 10 / 90. Однако зона пропила, удаляемая плоским зубом, при любых подачах из диапазона рекомендуемых ( $S_z = 0,02 - 0,06 \text{ мм}$ ) не перекрывает зону формирования пропила треугольным зубом. Поэтому за качество обработки отвечают оба зуба из пары в отличие от попеременно-косого профиля, где зубья формируют пропил поочередно, или плоско-трапециевидного, только плоские зубья которого выполняют чистовой рез.

Меньший угол резания боковых режущих кромок благодаря вогнутой передней поверхности зубьев плоско-треугольного профиля ( $\delta_1 \approx 67^\circ 30'$ ) позволяет уменьшить давление в месте внедрения их в обрабатываемый материал и деформацию отделяемых частиц древесины у стенок пропила. Продукты разрушения обрабатываемого материала в процессе резания перемещаются к центру зуба, не создавая в зоне резания повышенного трения и повторного перерезания частиц, и свободно удаляются за счет дополнительного объема в середине зуба.

Для зубьев с вогнутой передней поверхностью характерно также то, что надрезание облицовочного материала и частиц древесины у стенок пропила опережает их отделение главной стружкообразующей режущей кромкой. Сформированная при заточке передней и задней поверхности зубьев главная режущая кромка при пилении внедряется в материал с запаздыванием, не одновременно по всей длине, а постепенно от крайних точек к центру зуба под небольшим углом к волокнам, аналогично резанию лезвием, повернутым в плане. Более плавный вход боковых режущих кромок зубьев в обрабатываемый материал обеспечивает снижение сил, мощности и удельной работы резания [2, 3]. Отмеченные особенности конструкции позволяют улучшить результаты распиловки и значительно уменьшить вероятность появления и размеры сколов на выпиленных деталях.

**Заключение.** На основании проведенного теоретического анализа можно сделать следующие выводы: плоско-треугольный профиль зубьев с вогнутой передней поверхностью будет обеспечивать при пилении высокое качество обработки за счет того, что каждый зуб в рассматриваемой комбинации формирует боковые стенки пропила; стойкость дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев будет больше чем с попеременно-косым, но меньше чем плоско-трапециевидного; плоско-треугольный профиль зубьев с вогнутой передней гранью будет более энергоемким, чем попеременно-косой, но менее энергоемким, чем плоско-трапециевидный. Первое утверждение объясняется большим количеством зубьев, формирующих стенки пропила, второе – меньшими углами резания боковых режущих кромок зубьев, третье – наиболее неравномерным распределением подачи на зуб в паре.

Стоит отметить, что при одной и той же подаче на зуб (в нашем случае расчеты производились для  $S_z = 0,06 \text{ мм}$ ) суммарная площадь пропила, формируемая парой зубьев, одинакова для всех трех рассматриваемых профилей –  $S = 0,38 \text{ мм}^2$ . Однако процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре, существенно различается.

ся, что влияет на продолжительность и энергоэффективность работы каждого из рассматриваемых профилей.

Анализ взаимодействия рассмотренных профилей зубьев дисковых пил с обрабатываемым материалом позволил предположить, что плоско-трапециевидный профиль будет обес-

печивать при пилении ламинированных древесностружечных плит наибольшую технологическую стойкость (стойкость по критерию качества обработки), а попеременно-косой профиль будет наименее энергоемким, что в последующем было подтверждено результатами экспериментальных исследований [4, 5].

### Литература

1. Бершадский А. Л. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
2. Ивановский Е. Г., Василевская П. В., Лаутнер Э. М. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 96 с.
3. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная пром-сть, 1986. 296 с.
4. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Сравнительный анализ влияния профиля зубьев твердосплавных дисковых пил на технологическую стойкость и мощность при раскрое ламинированных древесностружечных плит // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Междунар. евразийского симпозиума, Урал. гос. лесотехн. ун-т., Екатеринбург, 2011. С. 286–294.*
5. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Технологическая стойкость дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью при раскрое ламинированных древесностружечных плит // *Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 167–170.*

### References

1. Bershadskiy A. L. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 303 p.
2. Ivanovskiy E. G., Vasilevskaya P. V., Lautner Je. M. *Frezerovaniye i pileniye drevesiny i drevesykh materialov* [Milling and sawing of wood and wood materials]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971. 96 p.
3. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesykh materialov* [Cutting wood and wood materials: textbook for universities]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1986. 296 p.
4. Lukash V. T., Grinevich S. A. Comparative analysis of the influence of the profile of the teeth of carbide tipped circular saw blades for technological durability and power when cutting laminated chipboard. *Trudy VI Mezhdunarodnogo evraziyskogo simpoziuma ("Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka")* [Proceedings of the VI International Eurasian Symposium ("Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century")]. Ekaterinburg 2011, pp. 286–294 (In Russian).
5. Lukash V. T., Grinevich S. A. Technological stability of circular saws with a flat-triangular profile of teeth with a concave front face when cutting laminated chipboards. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 167–170 (In Russian).

### Информация об авторах

**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: Grinevich@belstu.by

**Лукаш Валерий Тадеушевич** – кандидат технических наук, ассистент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Lukash@belstu.by

**Киселев Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Kiselev@belstu.by

### Information about the authors

**Grinevich Sergey Anatolyevich** – PhD, 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: Grinevich@belstu.by

**Lukash Valeriy Tadeushevich** – PhD, Assistant Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Lukash@belstu.by

**Kiselev Sergej Vladimirovich** – PhD, Senior Lecturer, the Department of Life Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Kiselev@belstu.by

Поступила 12.03.2018