

УДК 674.053

**В. Т. Лукаш**, соискатель, заведующий лабораторией (БГТУ);**С. А. Гриневич**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);**А. Н. Угляница**, студент (БГТУ)

### УДЕЛЬНАЯ РАБОТА РЕЗАНИЯ ПРИ РАСКРОЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ (ЛДСтП) ДИСКОВЫМИ ПИЛАМИ

Обеспечение качественного раскроя ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами с пластинами твердого сплава является серьезной проблемой в мебельной промышленности. Для решения этой проблемы разрабатываются новые профили зубьев пил, новые инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки. При этом внедрение каждого нового профиля требует проведения исследований сил резания, мощности, технологической стойкости инструмента и, как результат, разработки рекомендаций для производства.

В статье приведены результаты расчета по экспериментальным данным удельной работы резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит твердосплавными пилами с плоскотрапециевидным профилем зуба. Удельная работа резания для тех же условий также была рассчитана по устоявшейся в деревообработке методике. Сравнительный анализ показал, что зависимости имеют идентичный характер, но существенно отличаются в численных значениях.

Providing qualitative cutting the laminated chipboard plates of disk saws with plates of a hard-face alloy is a serious problem in the furniture industry. New profiles of teeth of the saws, new tool materials are developed for the solution of this problem, processing modes are optimized. Thus introduction of each new profile demands carrying out researches of forces of cutting, power, technological stability of the tool which is equipped with it and, as result, development of recommendations for production.

Results of calculation on experimental data of specific work of cutting are given in article at cutting the laminated chipboard plates by hard-alloy saws with a plainly-trapezoid profile of tooth. Specific work of cutting for the same conditions also was calculated by the technique which has settled in a woodworking. The comparative analysis showed that dependences have identical character, but essentially differ in numerical values.

**Введение.** Деревообрабатывающая промышленность относится к числу непрерывно совершенствующихся отраслей: меняются технологические процессы, модернизируется старое и внедряется новое оборудование, применяется более производительный инструмент. Современный рынок дереворежущего инструмента достаточно насыщен, и зачастую производителю трудно сориентироваться при выборе. Как правило, он руководствуется только своими знаниями и полученным производственным опытом. Старая методическая и нормативная база, к сожалению, сегодня не совсем актуальна, а новой обучающей литературы и публикаций исследователей недостаточно.

Авторами было принято решение более глубоко изучить процесс обработки современных плитных материалов дисковыми пилами с пластинами твердого сплава с целью определения наиболее выгодных условий их обработки и предложения необходимых рекомендаций.

Область исследований была выбрана не случайно. В мебельной промышленности сегодня широко используются различные древесные композиционные материалы, и в частности древесностружечные плиты, облицованные пленками на основе термореактивных полимеров.

Некоторые аспекты процесса пиления ДСтП поднимались учеными и ранее, но они касались

в основном обработки необлицованных плит [1, 2], и, как правило, результаты были получены для пил из инструментальных сталей либо пил с пластинками твердого сплава, изготовленных согласно ГОСТ 9769–79 [3]. Полученные данные не могут отражать реальной картины обработки ламинированных ДСтП, т. к. последние, кроме повышенной абразивной способности, свойственной всем композиционным материалам, обладают и хрупким облицовочным покрытием, от качества обработки которого в основном и зависит качество выполнения операции пиления.

Кроме того, рекомендуемые ГОСТ 9769–79 пилы для распиловки плитных материалов сегодня уже мало используются, да и сам нормативный документ требует доработки в связи с тем, что появились новые конструкции пил, профили зубьев и их комбинации, применяются другие инструментальные материалы и марки твердого сплава.

Авторами ранее поднимался также вопрос о том, что рекомендации производителей и результаты исследований зачастую не совпадают [4].

Среди вопросов, требующих детального изучения, главными, на наш взгляд, являются стойкость инструмента, качество обработки, энергопотребление и режимы пиления, т. к. они до сих пор остаются открытыми.

Решение данной проблемы может быть получено только путем проведения соответствующих экспериментальных исследований.

**Основная часть.** В качестве исследуемых были приняты рекомендуемые производителями профили: попеременно-косой (рис. 1), плоскотрапецевидный (рис. 2) и елочно-плоский с вогнутой передней гранью (рис. 3).

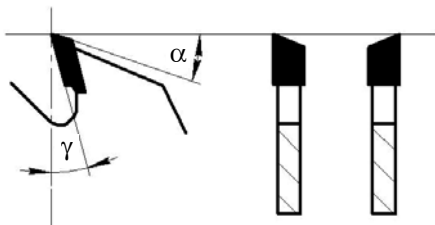


Рис. 1. Попеременно косой профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

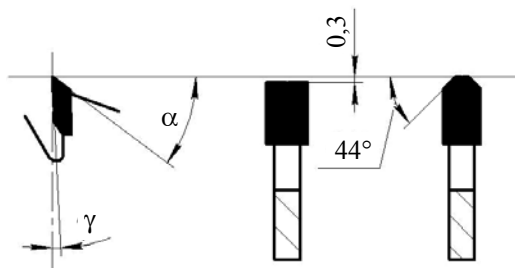


Рис. 2. Плоскотрапецевидный профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

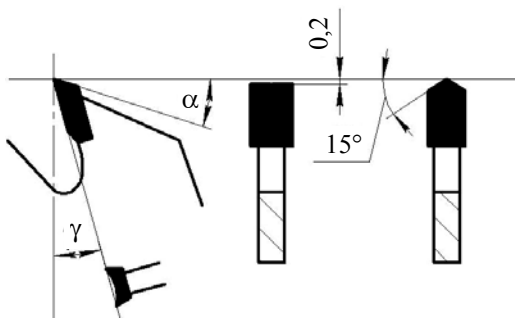


Рис. 3. Елочно-плоский с вогнутой передней гранью профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

Каждый профиль имеет свои конструктивные особенности и геометрические характеристики, что, безусловно, будет отражаться на условиях работы зубьев.

При раскросе ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев (рис. 1) обеспечивается эффект подрезки наружных поверхностей обрабатываемого материала. В то же время для этой формы зубьев характерен больший линейный износ, т. к. основная нагрузка

приходится на вершину трехгранного угла, что приводит к достаточно быстрому его затуплению и появлению сколов на поверхности пропила.

Стойкость пил с плоскотрапецевидным профилем зубьев (рис. 2) значительно выше, чем предыдущего, поскольку на резах с «трапецией» отсутствуют острые углы. В данном случае основную нагрузку несет трапецевидный зуб – он формирует пропила, а прямой выравнивает его, выполняя легкий финишный рез по бокам пропила [5].

Комбинация зубьев, представленная на рис. 3, также позволяет постепенно обрабатывать материал. Зуб треугольной формы осуществляет расщепление поверхностного слоя. Его заостренная форма облегчает удаление материала, позволяет избежать сдавливания и образования сколов. Вогнутая поверхность передней грани обеспечивает плавную обработку материала, начиная с боковых сторон зуба к центру. При такой форме зуба, по словам производителей инструмента, пропила получается ровным и без сколов, что позволяет обходиться без подрезающей пилы. Однако практика использования на производстве пил с елочно-плоским профилем и вогнутой передней гранью зубьев показала, что полностью исключить сколы на двустороннем «ламинате» при пилении такими пилами невозможно, но их размеры и количество можно уменьшить.

Широкое использование последнего профиля, а также ряда других, появившихся относительно недавно (G5 «Leuco»), ограничено трудностями, связанными с их подготовкой. В связи с чем последние не получили такого распространения, как первые два.

Представленные особенности работы разных профилей будут отражаться на силовых показателях процесса раскроса ДСтП.

В работах [6–8] приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных авторами на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов Белорусского государственного технологического университета. В частности, получены уравнения регрессии, отражающие влияние подачи на резец  $U_z$  (мм), скорости резания  $V$  (м/с), величины выхода пилы из пропила  $a$  (мм) на выходные показатели:

- начальная мощность резания (мощность при остром резце),  $Y_1$  (Вт):

- попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_1(P_0) = -1141,46 + 2491,25 \cdot U_z + 35,70 \cdot V - 9,14 \cdot a - 114218,323 \cdot U_z^2 - 0,27 \cdot V^2 + 0,15 \cdot a^2 + 216,88 \cdot U_z \cdot V; \quad (1)$$

- плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_1(P_0) = -1479,211 - 2015,833 \cdot U_z + 46,205 \cdot V - 4,994 \cdot a - 0,323 \cdot V^2 + 0,081 \cdot a^2 + 181,25 \cdot U_z \cdot V - 31,667 \cdot U_z \cdot a; \quad (2)$$

• конечная мощность резания (мощность при появлении сколов) –  $Y_2$  (Вт):

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 36,6 + 4228,75 \cdot U_z - 1,315 \cdot V - 1,38 \cdot a - 147625 \cdot U_z^2 + 246,875 \cdot U_z \cdot V; \quad (3)$$

– плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 296,969 + 1688,974 \cdot U_z - 1,837 \cdot V - 14,884 \cdot a - 62403,846 \cdot U_z^2 + 0,178 \cdot a^2 + 233,75 \cdot U_z \cdot V - 69,167 \cdot U_z \cdot a + 0,077 \cdot V \cdot a; \quad (4)$$

• технологическая стойкость (путь резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала) –  $Y_3$  (м):

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_3(L) = 3945,1 + 56680 \cdot U_z - 136,24 \cdot V + 53,59 \cdot a - 686875 \cdot U_z^2 + 0,86 \cdot V^2 - 1,63 \cdot a^2 + 0,85 \cdot V \cdot a; \quad (5)$$

– плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_3(L) = 1854,553 + 725818,333 \cdot U_z - 598,465 \cdot V + 1322,588 \cdot a - 8060312,5 \cdot U_z^2 + 4,579 \cdot V^2 - 18,041 \cdot a^2 - 5133,333 \cdot U_z \cdot a. \quad (6)$$

Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного станка ФСА, позволяющей регистрировать силовые показатели процесса пиления [9].

Полезная мощность на резание рассчитывалась через крутящий момент на шпинделе станка, который определялся по величине разбаланса тензомоста.

Для получения уравнений регрессии, описывающих выходные характеристики процесса пиления, использован В-план второго порядка.

Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

Сравнение технологической стойкости твердосплавных пил убедительно доказывает целесообразность применения плоскотрапецевидного профиля, стойкость которого существенно больше [8].

Существующие методы расчета мощности процесса пиления древесностружечных плит основаны на определении удельной работы резания [1, 10, 11]:

$$P = \frac{KbhV_s}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

где  $K$  – удельная работа резания, Дж/см<sup>3</sup>;  $b$  – ширина пропила, мм;  $h$  – высота пропила, мм;  $V_s$  – скорость подачи, м/мин.

В свою очередь удельная работа резания определяется через табличное значение  $K_T$  с учетом поправочных коэффициентов:

$$K = K_T a_\gamma a_{\text{св}} a_V a_p, \quad (8)$$

где  $K_T$  – табличное значение удельной работы резания при заданной толщине стружки, Дж/см<sup>3</sup> [11, табл. 15 с.168];  $a_\gamma$  – коэффициент, учитывающий влияние объемного веса плиты;  $a_{\text{св}}$  – коэффициент, учитывающий содержание связующего;  $a_V$  – коэффициент, учитывающий влияние скорости резания;  $a_p$  – коэффициент, учитывающий износ реза.

Значение  $K_T$  можно определить также по формуле, полученной на основе обработки экспериментальных данных проф. А. Л. Бершадского [11]:

$$K_T = \frac{0,85A}{e} + 41, \quad (9)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от группы плит: при распиловке плит I группы (изготовленные из резаной стружки) –  $A = 1$ ; II группы (изготовленные из стружки-дробленки) –  $A = 0,833$ ; III группы (изготовленные из стружки-отходов д/о станков) –  $A = 0,825$ ;  $e$  – средняя толщина стружки, мм.

Поэтому теоретически важным аспектом является определение удельной работы резания  $K$  (Дж/см<sup>3</sup>) при обработке ламинированных древесностружечных плит инструментом, оснащенным твердосплавными зубьями именно плоскотрапецевидного профиля, а также сравнение полученных результатов с данными общепринятой методики расчета.

Удельную работу резания при пиении ламинированной древесностружечной плиты находили через начальную мощность резания  $P_0$ , определенную с помощью полученной математической модели (2).

$$K = \frac{P_0 \cdot 60}{bhV_s}. \quad (10)$$

Для расчета удельной работы резания приняли начальную мощность процесса, чтобы исключить влияние затупления зубьев  $a_p$  ( $a_p = 1$ ).

Графики, построенные по результатам расчетов, представлены на рис. 4.

Для нахождения удельной работы резания  $K$  по методике [10] определили значения остальных поправочных коэффициентов для плиты, использованной в эксперименте ( $a_\gamma = 0,89$ ;  $a_{\text{св}} = 1$ ;  $a_{V=60} = 1,17$ ;  $a_{V=70} = 1,3$ ;  $a_{V=80} = 1,44$ ).

По формуле (8) с учетом найденных значений поправочных коэффициентов была рассчитана удельная работа резания. Результаты расчетов, проведенных для нижнего, нулевого и верхнего уровней варьирования переменных факторов, представлены в виде графиков (рис. 5).

Очевидно, характер зависимостей удельной работы резания на рис. 4 и 5 одинаков, однако значения различаются. Таким образом, можно

утверждать, что методика расчета сил и мощности резания при пилении древесностружечных плит, представленная в литературе [1, 10, 11], должна быть доработана с учетом внедрения в производство новых профилей зубьев твердосплавных дисковых пил.

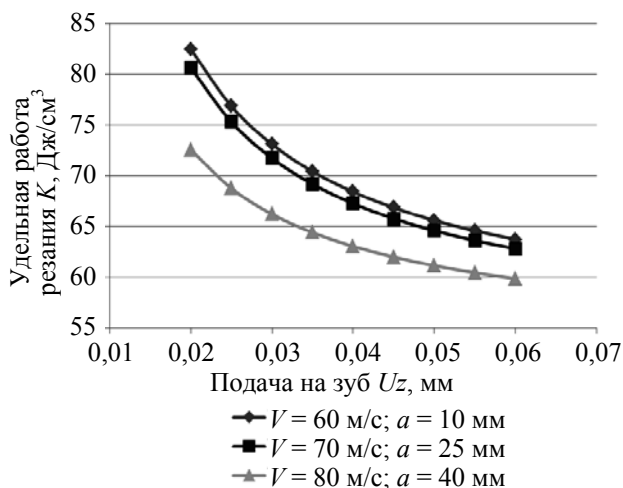


Рис. 4. Зависимость удельной работы резания от подачи на резец по результатам эксперимента

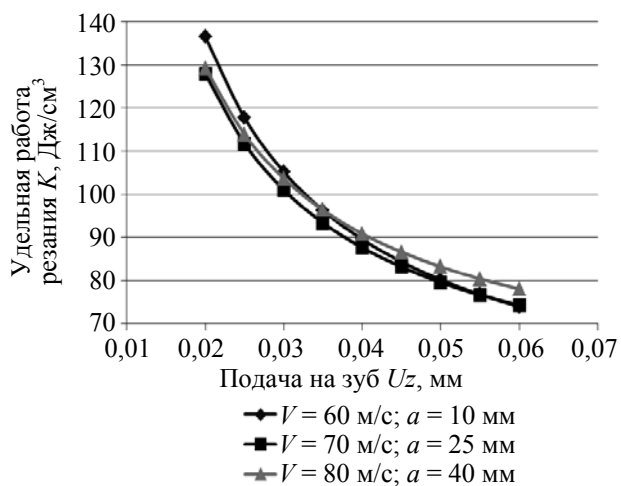


Рис. 5. Зависимость удельной работы резания от подачи на резец по результатам расчета

**Заключение.** Получены значения и построены зависимости удельной работы резания от подачи на резец при раскрое ламинированных древесностружечных плит твердосплавными пилами с плоскотрапециевидным профилем зубьев. В результате сравнения экспериментальных с результатами расчета по существующей методике установлено, что зависимости имеют идентичный характер, но значения удельной работы резания при использовании плоскотрапециевидного профиля меньше (в 1,2–1,9 раза).

## Литература

1. Цуканов, Ю. А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю. А. Цуканов, В. В. Амалицкий. – М.: Лесная пром-сть, 1966. – 94 с.
2. Ивановский, Е. Г. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов / Е. Г. Ивановский, П. В. Василевская, Э. М. Лаутнер. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 96 с.
3. Пилы дисковые с твердосплавными пластинами для обработки древесных материалов. Технические условия: ГОСТ 9769–79 / М-во станкостроительной и инструментальной промышленности. – Взамен ГОСТ 9769–69; введ. с 01.01.1981 до 01.01.1986. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 15 с.
4. Лукаш, В. Т. Влияние подачи на резец на технологическую стойкость режущего инструмента при пилении ламинированных ДСтП / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 230–234.
5. Мелони, Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит: пер. с англ. В. В. Амалицкого и Е. И. Карасева / Т. Мелони. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 416 с.
6. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 317–321.
7. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 234–239.
8. Лукаш В. Т. Влияние профиля зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава на технологическую стойкость и потребляемую мощность при обработке ламинированных древесностружечных плит (ЛДСтП) // В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 256–262.
9. Кравченко, А. С. Применение силоизмерительного телеметрического устройства для исследования процессов пиления древесных материалов / А. С. Кравченко, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 172–174.
10. Бершадский А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. школа, 1975. – 303 с.
11. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.

Поступила 23.02.2013