

9. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.

УДК 674.053

Лукаш В.Т., Гриневич С.А.  
(БГТУ, г. Минск, РБ) [valeri-tad@rambler.ru](mailto:valeri-tad@rambler.ru)

### РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ДИСКОВЫХ ПИЛ С ПЛОСКО-ТРЕУГОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ С ВОГНУТОЙ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНЬЮ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПО КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА

*Получена математическая модель в виде уравнения второго порядка, описывающая влияние основных переменных факторов на технологическую стойкость (путь резания до появления сколов на поверхности обрабатываемого материала) при распиловке ламинированных ДСтП твердосплавными дисковыми пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью.*

**Введение.** За последние несколько лет в рамках государственной программы по модернизации деревообрабатывающей отрасли в Республике Беларусь введен в эксплуатацию ряд заводов по производству древесностружечной плиты (г. Ивацевичи, г. Сморгонь, г. Речица) с общим объемом выпуска более 1 млн. м<sup>3</sup> в год.

Значительное увеличение производства древесных плитных материалов требует для их механической обработки большого количества высококачественного инструмента. На предприятиях отрасли для раскроя и форматной обработки деталей из древесностружечных плит в качестве режущего инструмента широко используются дисковые пилы с твердосплавными пластинами. К сожалению, подавляющее большинство импортного производства.

Для эффективной эксплуатации режущего инструмента необходимы четкие рекомендации относительно режимов обработки, позволяющие, задавая определенные технологические параметры для того или другого типа пилы (формы режущего элемента), выбирать и оптимизировать такие показатели, как стойкость инструмента, качество обработки, производительность и энергопотребление процесса.

Решение данной проблемы позволит решить задачи автоматизации станочной обработки, интенсификации процессов механической обработки плитных древесных материалов и тем самым увеличения производительности труда и снижения себестоимости обработки.

Ответ на поставленные выше задачи авторы попытались получить путем проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Область исследований была выбрана не случайно. Ламинированные древесностружечные плиты (ЛДСтП) сегодня широко используются в мебельной промышленности. Основным видом механической обработки последних является раскрой дисковыми пилами на заданные размеры. Производители круглых пил рекомендуют использовать для раскроя ЛДСтП попеременно косой, плоско-трапециевидный и плоско-треугольный с вогнутой передней гранью профили зубьев (рис. 1).

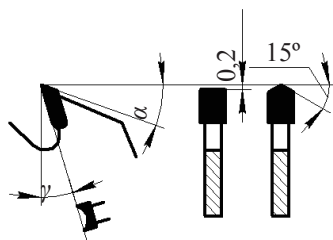


Рис. 1. Плоско-треугольный профиль зубьев с вогнутой передней гранью

Последний профиль является наименее распространенным, но, тем не менее, представляющим наибольший интерес для проведения исследовательских работ. Причиной является утверждение производителей о том, что для обеспечения высокого качества раскроя при обработке двусторонне облицованных древесностружечных плит пилами с указанным выше профилем нет необходимости в применении подрезки. Это существенный аргумент ввиду разницы в стоимости станков с подрезным агрегатом и без него, а стоимость подрезной пилы всего на 15–20% меньше, чем основной, а иногда и сопоставима.

Поэтому авторами было принято решение более глубоко изучить процесс обработки ЛДСП дисковыми твердосплавными пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью с целью определения наиболее выгодных условий их обработки и предложения необходимых рекомендаций.

**Основная часть.** Исследование технологической стойкости дисковых твердосплавных пил с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью при обработке ламинированных древесностружечных плит было реализовано с помощью методов планирования эксперимента. Выбор постоянных и переменных факторов выполнен аналогично работам [1, 2].

Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного станка ФСА [3].

Поскольку необходимо обеспечить чистовой раскрой ламинированных древесных материалов, то в качестве одного из выходных показателей был принят фактический путь резания до появления сколов величиной более 0,3 мм на поверхности облицовочного материала  $Y$  ( $L$ , м). Согласно ГОСТ 9769-79 [4] данный дефект определяется как невыполнение требований к качеству распиловки и является критерием затупления пил.

Методическая сетка опытов, а также средние арифметические по результатам проведенных серий дублированных опытов значения выходных показателей представлены в таблице.

Однородность дисперсий опытов проверена по  $G$ -критерию Кохрена.

Для получения уравнения регрессии, описывающего выходные характеристики процесса пиления, использован  $B$ -план второго порядка.

По итогам статистической обработки экспериментальных данных получена математическая модель, отражающая влияние подачи на зуб  $S_z$  (мм), скорости резания  $V$  (м/с) и величины выхода пилы из пропила  $a$  (мм) на значение фактического пути резания до появления сколов при обработке ламинированных древесностружечных плит. Оценка значимости коэффициентов регрессии произведена по  $t$ -критерию Стьюдента.

Методическая сетка и результаты эксперимента

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y (L, м)$
ПФП	1	-1	-1	2953,7
	2	+1	-1	3495,2
	3	-1	+1	3839,8
	4	+1	+1	4578,2
	5	-1	-1	6950,0
	6	+1	-1	8842,5
	7	-1	+1	7047,9
	8	+1	+1	10506,6
Звездные точки	9	-1	0	10014,0
	10	+1	0	11796,8
	11	0	-1	12972,7
	12	0	+1	13996,9
	13	0	0	5981,2
	14	0	0	10767,6

После отбрасывания малозначимых коэффициентов и уточнения оставшихся уравнения регрессии приобрели следующий вид

$$Y(L) = -14246,015 + 409924,283 \cdot S_z + 3,475 \cdot V + 1191,278 \cdot a - 6092500 \cdot S_z^2 - 22,08 \cdot a^2 + 1101,94 \cdot S_z \cdot V + 1693,377 \cdot S_z \cdot a \quad (1)$$

Адекватность уточненной модели подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

По полученной модели построены графические зависимости на нижнем, нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов.

На рис. 2 представлены зависимости фактического пути резания при пилении ламинированных древесностружечных плит пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью от переменных технологических факторов.

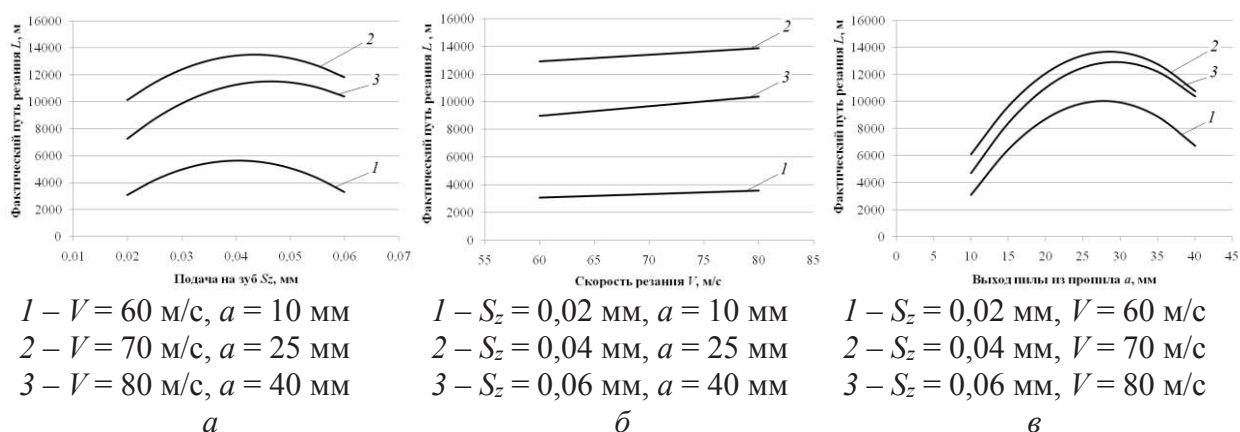


Рис. 2 Зависимости фактического пути резания  $L$ , м, от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью

Из графика (рис. 2, *a*) следует, что с увеличением подачи на резец от 0,02 до 0,04–0,05 мм фактический путь резания, соответствующий одному уровню качества, увеличивается.

Меньшее значение пути резания при малых подачах на зуб, вероятно, связано с ухудшением условий работы режущего элемента [5]. С дальнейшим ростом подачи на резец до 0,06 мм фактический путь резания, соответствующий одному уровню качества, уменьшается. Это связано с ростом сил резания при увеличении толщины стружки. По мере затупления инструмента зуб пилы не режет материал, а скалывает его из-за больших усилий резания.

Скорость резания является фактором, положительно влияющим на стойкость режущего инструмента, и с ее увеличением от 60 до 80 м/с фактический путь резания на разных уровнях варьирования повышается в 1,07–1,17 раза (рис. 2, *b*). Положительное влияние скорости резания может быть связано с возникновением инерционного подпора [6].

На рис. 2, *b* представлены графики зависимости фактического пути резания от величины выхода пилы из пропила. Кривые на нижнем, нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов имеют практически одинаковый характер и ярко выраженный экстремум. С ростом величины вылета пилы из пропила от 10 до  $\approx 30$  мм наблюдается рост пути резания по критерию качества. Увеличение пути может быть связано с увеличением вертикальной составляющей силы резания, которая прижимает ламинат к основе. При дальнейшем увеличении выхода пилы путь резания уменьшается. Возможно, это связано с увеличением ударной нагрузки при входе зуба пилы в обрабатываемый материал.

Максимальный фактический путь резания при обработке ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью – экстремум уравнения (1) – был найден с помощью математического пакета MathCad 2014 и составил 14 300 м.

Проведенные исследования позволили получить и проанализировать зависимость фактического пути резания  $L$  до появления сколов на поверхности обрабатываемого материала от переменных технологических факторов. Однако для нужд производства требуется подобрать режим, который бы обеспечил наибольший срок службы дереворежущего инструмента при высоком качестве обработки. Поэтому для оценки эффективности применения для раскроя ламинированных ДСтП того или иного режима технологическую стойкость удобнее выражать не через путь резания  $L$ , а через количество обработанного материала  $S$  (м п.). Количество обработанного материала может быть найдено по формуле

$$S = \frac{L \cdot S_z \cdot z}{l} \quad (2)$$

Формула (2) позволяет оценить влияние рассматриваемых технологических факторов на количество обработанного материала.

Так, на рис. 3, *a* приведены зависимости количества обработанного материала  $S$  от подачи на зуб  $S_z$ . Очевидно, что с ростом подачи на зуб от 0,02 до 0,05 мм количество обработанного материала с обеспечением требуемого уровня качества увеличивается. Дальнейшее увеличение подачи на резец приводит к уменьшению  $S$ , что связано с противоречивым влиянием величины  $S_z$  на фактический путь резания  $L$ .

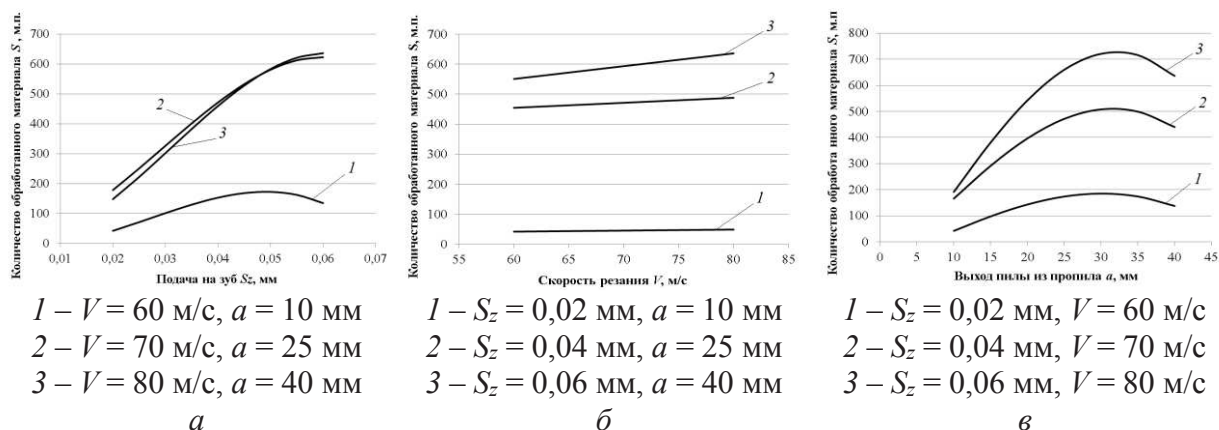


Рис. 3. Зависимости количества обработанного материала  $S$ , м, от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью

На рис. 3, б, в представлены зависимости количества обработанного материала  $S$  от скорости резания  $V$  и от величины выхода пилы из пропила  $a$  соответственно.

Поскольку данные факторы в явном виде не входят в формулу (2), то их влияние аналогично представленным ранее графическим зависимостям (рис. 2, б, в).

Для определения режима пиления ламинированных древесностружечных плит, обеспечивающего наибольшую технологическую стойкость дереворежущего инструмента, был найден максимум зависимости (2) с помощью математического пакета MathCad 14. Установлено, что максимум функции  $S(S_z, V, a)$  равен 728,3 м п. при  $S_z = 0,06$  мм,  $V = 80$  м/с,  $a = 32,15$  мм.

Максимальное значение  $S$ , а также графики получены для экспериментальной пилы с числом зубьев  $z = 36$ . Так как количество обработанного материала пропорционально количеству зубьев инструмента (формула (2)), то можно утверждать, что величина  $S$  для другого числа режущих элементов может быть получена простым пересчетом, а полученные значения переменных факторов для установленного оптимального режима будут справедливы для любого числа зубьев.

**Заключение.** Получена математическая модель в виде уравнения второго порядка, описывающая влияние основных переменных факторов на технологическую стойкость (путь резания до появления сколов на поверхности обрабатываемого материала) при распиловке ламинированных ДСтП твердосплавными дисковыми пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью.

В результате анализа полученной математической модели установлено:

- с увеличением подачи на резец от 0,02 до 0,04–0,05 мм фактический путь резания, соответствующий одному уровню качества, увеличивается, с дальнейшим ростом подачи на резец до 0,06 мм – уменьшается;

- с увеличением скорости резания от 60 до 80 м/с фактический путь резания растет в 1,07–1,17 раза;

- путь резания с увеличением выхода пилы из пропила от 10 до  $\approx 30$  мм увеличивается, при дальнейшем увеличении – падает.

Максимальное количество обработанного материала 728,3 м п. достигается при  $S_z = 0,06$  мм,  $V = 80$  м/с,  $a = 32,15$  мм.

Библиографический список

1. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. - 2009. - Вып. XVII. - С. 317–321.
2. Лукаш В. Т. Гриневич С. А. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. - 2010. - Вып. XVIII. - С. 234–239.
3. Кравченко А. С. Лукаш В. Т. Применение силоизмерительного телеметрического устройства для исследования процессов пиления древесных материалов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. - 2006. - Вып. XIV. - С. 172–174.
4. Пилы дисковые с твердосплавными пластинами для обработки древесных материалов. Технические условия: ГОСТ 9769–79. - Введ. 01.01.81. - М.: Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. - 15 с.
5. Амалицкий Вит. В. Пиление твердосплавными круглыми пилами и их заточка // Деревообраб. пром-сть. - 2005. - № 5. - С. 6–10.
6. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. - М.: Лесная пром-сть, 1986. - 296 с.

УДК 674.02

Пашков В.К.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

**БЕСЕДА ПРОФЕССОРА А.Л.БЕРШАДСКОГО ПО РЕЗАНИЮ ДРЕВЕСИНЫ**

*Статья подготовлена профессором В.К. Пашковым по материалам переписки с молодыми учеными кафедры станков и инструментов (1972 год). Содержание работы и структура сохранены по тексту автора. В 2015 году одному из основоположников науки резания древесины А. Л. Бершадскому исполняется 120 лет со дня рождения.*

**Дорогие товарищи!**

*Направляя вам эту краткую беседу, жду вашего отзыва и соображения о желании переиздания «Р.Р.» 1967 г. с учетом этой беседы и ваших замечаний.*

*Мне 87-й год и я объективно с громадной благодарностью восприму все ваши замечания и пожелания.*

*Хочется попросту побеседовать с вами о резании древесины без тонких теорий (где тонко там и рвется).*