

В. Т. Лукаш, аспирант, С. А. Гриневич, канд. техн. наук, БГТУ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ И НАЧАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ (ДСтП) ПИЛАМИ С ПОПЕРЕМЕННО-КОСЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ

Sawing by circular saws concerns to one of the most widespread and high-efficiency processes of machining laminated chipboard plates. The important problem at a processing such materials is achieving of high quality receivable commodity and also the least power consumption of process.

In paper results of experimental researches of basic technology factors influence on quality of processing, wear resistance of the cutting tool and power capacity are considered at machining laminated chipboard plates by hard-face alloy circular saws with an alternately-slanting teeth profile. For the first time mathematical models in the form of the the second order equation are received, allowing to establish value of technological parameters at sawing laminated chipboards and to predict resistance woodworking tools and cutting power consumption. The analysis of the received mathematical dependences is made.

Введение. Ламинированные ДСтП сегодня широко используются в мебельной промышленности для производства корпусной офисной и домашней мебели. Основным видом механической обработки ламинированных ДСтП является раскрой дисковыми пилами на заданные размеры. Однако при кажущейся простоте выполнения данной операции деревообрабатчикам приходится решать ряд дополнительных вопросов. Например, выбор режущего инструмента, технологических режимов процесса пиления (рекомендаций по которым зачастую недостаточно), обеспечивающих высокое качество продукции без ущерба производительности труда. Важной задачей является исследование энергопотребления при обработке ламинированных ДСтП и технологической стойкости режущего инструмента, которая напрямую связана с затратами на его подготовку и производительностью оборудования. Решение данной задачи было реализовано с помощью методов планирования эксперимента.

Основная часть. На сегодняшний день наибольшее применение при работе на круглопильных форматных станках находят дисковые твердосплавные пилы со следующими параметрами: диаметр пил 300–350 мм, толщина полотна 2,2 мм, ширина пропила 3,2 мм. В частности, на отечественных деревообрабатывающих заводах хорошо зарекомендовал себя инструмент производства фирмы «Faba» (Польша), который и был принят для проведения экспериментальных исследований. Однако в целях снижения расхода материала и трудоемкости работ число зубьев режущего инструмента было уменьшено до 36 с сохранением остальных параметров.

Исходя из вышеизложенного, в качестве постоянных факторов для режущего инструмента при проведении экспериментов приняты:

- 1) дисковые твердосплавные пилы производства «Faba» (Польша);
- 2) диаметр пил 350 мм;
- 3) толщина полотна 2,2 мм;

- 4) ширина пропила 3,2 мм;
- 5) число зубьев 36;
- 6) передний угол 10° , задний угол 15° ;
- 7) профиль зуба – попеременно-косой WZ (рис. 1).

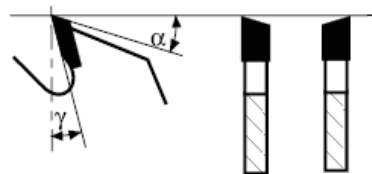


Рис. 1. Попеременно косой профиль зубьев

В качестве постоянных факторов для обрабатываемого материала приняты:

- 1) ламинированные трехслойные ДСтП производства «Kronospan» (Польша), соответствующие ГОСТ 10632-89 и ТУ РБ 00276475.435-99;
- 2) толщина 25 мм;
- 3) плотность 640 кг/м^3 .

В качестве переменных факторов были приняты следующие технологические параметры:

- 1) подача на зуб U_z , мм;
- 2) скорость резания V , м/с;
- 3) выход пилы из пропила a , мм.

На основе анализа рекомендаций исследователей и производителей инструмента [1] определены диапазоны варьирования переменных факторов (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны варьирования

Переменные факторы	Нижний уровень (-1)	Нулевой уровень (0)	Верхний уровень (+1)
$X_1 (U_z)$	0,02	0,04	0,06
$X_2 (V)$	60	70	80
$X_3 (a)$	10	25	40

Поскольку необходимо обеспечить чистой раскрой ламинированных древесных

материалов, то в качестве одного из выходных показателей целесообразно принять фактический путь резания до появления сколов величиной более 0,3 мм на поверхности ламината Y_1 (L , м). Данный дефект, согласно ГОСТ 9769-79, определяется как невыполнение требований к качеству распиловки и является критерием затупления пил.

Для исследования энергопотребления при пилении ламинированных ДСтП необходимо фиксировать величину потребляемой мощности. Чтобы выявить степень и характер влияния каждого из переменных факторов на мощность резания, целесообразно получить математическую модель при остром инструменте Y_2 (P_0 , Вт). Это позволит сопоставить значения потребляемой мощности без учета затупления зубьев пилы, т. к. при одном и том же пути резания величина затупления и ее влияние на энергопотребление при разных режимах могут быть различными.

Для получения уравнений регрессии, описывающих выходные характеристики процесса пиления, использован В-план второго порядка. Реализация плана второго порядка позволяет описать зависимость выходной величины от каждого фактора в виде уравнения параболы.

Методическая сетка опытов представлена в табл. 2.

В общем случае, когда число варьируемых факторов $k = 3$, модель имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{33} \cdot X_3^2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (1)$$

где Y – выходная величина; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ – коэффициенты регрессии; X_1, X_2, X_3 – нормализованные значения переменных факторов.

Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного станка ФСА, позволяющей регистрировать силовые показатели процесса пиления [1, 2].

Для различных режимов фиксировались потребляемая мощность в начальный момент времени и фактический путь резания до появления сколов на поверхности ламината.

Полезная мощность на резание рассчитывалась через крутящий момент на шпинделе станка, который определялся по величине разбаланса тензомоста. Методика определения крутящего момента основывается на принципе измерения сопротивления металлов и полупроводников под действием деформаций [2, 3].

Величина относительной деформации оценивалась по формуле (2):

$$\varepsilon = \frac{\beta}{S}, \quad (2)$$

где ε_i – относительная деформация датчика крутящего момента, Еод; $\beta_{ит}$ – показания цифрового индикатора, мкВ/В; S_t – коэффициент тензочувствительности тензорезисторов (равен 2,08).

Величина крутящего момента определялась следующим образом:

$$M = \gamma \cdot G \cdot W = 2\varepsilon \cdot G \cdot W = 2\varepsilon \cdot G \cdot (0,208 \cdot b), \quad (3)$$

где G – модуль сдвига стали (80000 Н/мм); $W_{кр}$ – крутящий момент сопротивления сечения, мм³; b – размер стороны квадрата силоизмерительной оправки в месте расположения тензорезисторов (25 мм).

Зная $M_{кр}$, определяли мощность, потребляемую на резание:

$$P = M \cdot \omega, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость пильного вала, с⁻¹.

Таблица 2

Методическая сетка опытов

	№ опыта	X_1	X_2	X_3	Y_1 (L), м	Y_2 (P_0), Вт
ПФП	1	-1	-1	-1	590,0	248,6
	2	+1	-1	-1	639,2	480,0
	3	-1	+1	-1	442,5	291,4
	4	+1	+1	-1	491,7	720,0
	5	-1	-1	+1	1277,9	154,3
	6	+1	-1	+1	1377,6	432,9
	7	-1	+1	+1	1671,1	234,3
	8	+1	+1	+1	1705,6	662,9
Звездные точки	9	-1	0	0	1249,6	225,0
	10	+1	0	0	1363,3	565,0
	11	0	-1	0	1629,8	360,0
	12	0	+1	0	1704,3	468,6
	13	0	0	-1	803,0	460,0
	14	0	0	+1	1623,6	490,0

По результатам статистической обработки результатов эксперимента получены следующие модели:

– технологическая стойкость (путь резания до появления сколов), Y_1 (м):

$$Y_1 = 1581,34 + 34,63 \cdot X_1 + 50,07 \cdot X_2 + 468,94 \cdot X_3 - 274,55 \cdot X_1^2 + 86,04 \cdot X_2^2 - 367,71 \cdot X_3^2 - 8,15 \cdot X_1 \cdot X_2 + 4,475 \cdot X_1 \cdot X_3 + 127,025 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (5)$$

– начальная мощность резания (мощность при остром резце), Y_2 (Вт)

$$Y_2 = 438,44 + 171,61 \cdot X_1 + 70,14 \cdot X_2 - 22,57 \cdot X_3 - 47,82 \cdot X_1^2 - 24,03 \cdot X_2^2 + 36,68 \cdot X_3^2 + 43,39 \cdot X_1 \cdot X_2 + 5,89 \cdot X_1 \cdot X_3 + 3,39 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (6)$$

После исключения незначимых коэффициентов и уточнения оставшихся модели были приведены к явному виду. Нормализованные значения переменных факторов X_1, X_2, X_3 преобразованы следующим образом:

$$X_1 = \frac{(U_z - 0,04)}{0,02};$$

$$X_2 = \frac{(V - 70)}{10}; \quad (7)$$

$$X_3 = \frac{(a - 25)}{15}.$$

В результате уравнения регрессии приняли следующий вид:

$$Y_1(L) = 3945,1 + 56680 \cdot U_z - 136,24 \cdot V + 53,59 \cdot a - 686875 \cdot U_z^2 + 0,86 \cdot V^2 - 1,63 \cdot a^2 + 0,85 \cdot V \cdot a; \quad (8)$$

$$Y_2(P_o) = -1141,46 + 2491,25 \cdot U_z + 35,70 \cdot V - 9,14 \cdot a - 114218 \cdot U_z^2 - 0,27 \cdot V^2 + 0,15 \cdot a^2 + 216,88 \cdot U_z \cdot V. \quad (9)$$

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

По полученным моделям были построены графические зависимости на нижнем, нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов.

На рис. 2 представлена зависимость фактического пути резания от подачи на зуб. Из графика следует, что с уменьшением подачи на резец от 0,04 до 0,02 мм путь резания уменьшается. Вероятно, это связано с ухудшением условий работы зуба пилы. Так, при подаче на

резец $U_z = 0,02$ мм и вылете пилы из пропила $a = 10$ мм средняя толщина стружки

$$e = U \cdot \sin \theta = 0,02 \cdot \sin 28,2 = 0,009 \text{ мм}, \quad (10)$$

или 9 мкм, что сопоставимо с величиной радиуса округления режущей кромки зуба пилы. По мере затупления инструмента и роста радиуса округления режущих кромок не все зубья будут участвовать в резании. Так, если величина радиуса округления вершины большая, то обработанная поверхность может не восстанавливаться до уровня границы раздела режущей кромки вследствие образования остаточных деформаций. В результате часть зубьев поднимает под себя материал, что, с одной стороны, приводит к повышенному износу зубьев по задней поверхности, а с другой – к уплотнению смятого слоя, который срезается последующими зубьями. Срезаемый слой будет обладать более высокими физико-механическими характеристиками, чем исходный материал заготовки, что также способствует повышенному износу зубьев пилы [4].

С ростом подачи на резец от 0,04 до 0,06 мм путь резания, соответствующий одному уровню качества, уменьшается. Это связано с ростом сил резания при увеличении толщины стружки. По мере затупления инструмента зуб пилы не дорезает материал, а скалывает его из-за больших усилий резания.

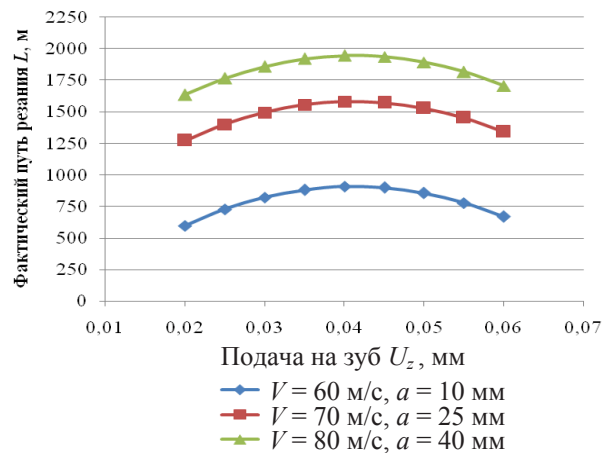


Рис. 2. Зависимости пути резания от подачи на зуб

На рис. 3 представлена зависимость фактического пути резания от скорости резания. Скорость резания является противоречиво действующим фактором. Так, например, на нижнем уровне варьирования переменных факторов ($U_z = 0,02$ мм, $a = 10$ мм) увеличение скорости резания приводит к уменьшению пути резания. Возможно, данное явление связано с тем, что при малом вылете пилы из пропила вектор скорости резания направлен под небольшим углом к поверхности обраба-

тываемого материала, и поэтому зуб пилы не обеспечивает прижима ламината к основе, а способствует его продольному сдвигу. По мере затупления инструмента увеличение скорости ведет к появлению глубоких вырывов на поверхности.

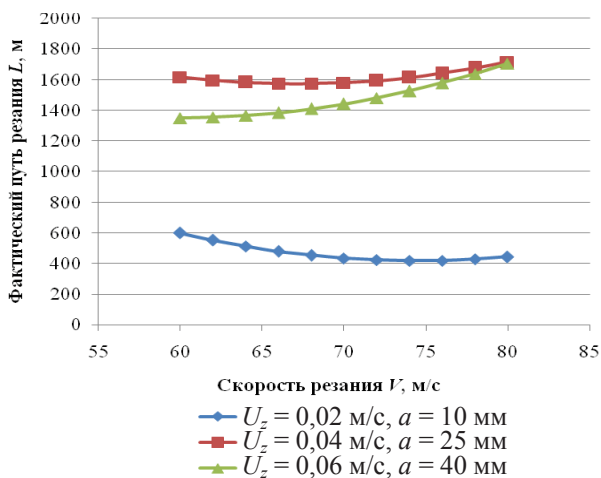


Рис. 3. Зависимости пути резания от скорости резания

На нулевом уровне варьирования скорость резания влияет слабо. Наиболее сильное влияние скорости резания наблюдается на верхнем уровне варьирования переменных факторов. Здесь наблюдается плавный рост пути резания с увеличением скорости. Положительное влияние скорости резания может быть связано с возникновением инерционного подпора [5].

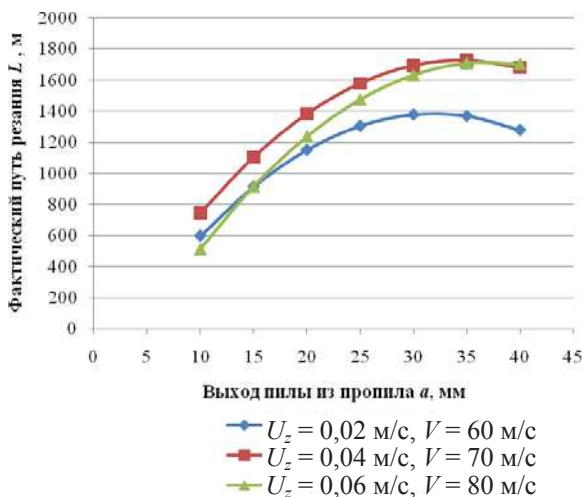


Рис. 4. Зависимости пути резания от величины выхода пилы из пропила

На рис. 4 представлена зависимость технологической стойкости от величины выхода пилы из пропила. Все зависимости носят одинаковый характер и позволяют утверждать, что с ростом величины вылета пилы из пропила от 10 до ≈ 35 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.

На рис. 5 представлены графические зависимости, отражающие влияние подачи на зуб на начальную мощность резания. Очевидно, что с увеличением подачи на зуб мощность растет по квадратичной зависимости. Увеличение мощности связано с увеличением толщины срезаемой стружки: $e = U \cdot \sin \theta$.

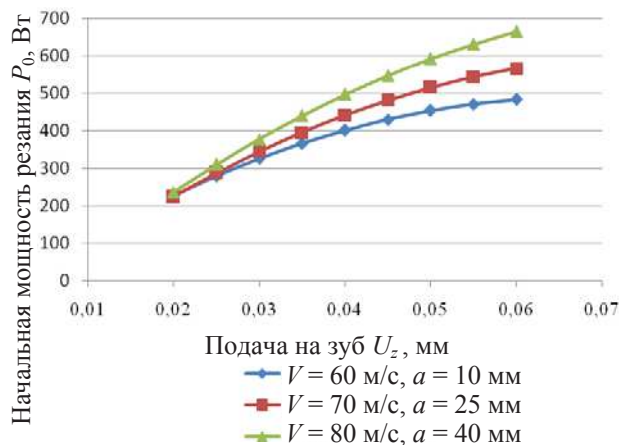


Рис. 5. Зависимости начальной мощности резания от подачи на зуб

Наиболее интенсивный рост наблюдается на верхнем уровне варьирования переменных факторов, что связано с влиянием парного взаимодействия $U_z \cdot V$, которое в уравнении регрессии отражено коэффициентом b_{12} .

С физической точки зрения рост затрачиваемой мощности связан с увеличением сил инерции, которые, как известно, увеличиваются с ростом скорости и массы отводимой стружки.

На рис. 6 приведены зависимости начальной мощности от скорости резания. На всех уровнях варьирования наблюдается увеличение потребляемой мощности с ростом скорости резания. Предположительно это связано с ростом мощности, потребляемой на ускорение отвода стружки. Так, по данным [5], при резании древесины мощность, потребляемая на ускорение отвода стружки, превышает 20% от общей мощности резания при скорости 55,5 м/с и с увеличением скорости резания эта мощность возрастает.

На графиках (рис. 7) отражено влияние величины выхода пилы из пропила на начальную мощность резания. Так, с увеличением выхода пилы из пропила от 10 до 30 мм мощность

резания уменьшается, а затем наблюдается ее рост. Такое неоднозначное влияние данного фактора может быть объяснено на основании известной зависимости

$$F_k = F_{зуб} \cdot \frac{l}{t}, \quad (11)$$

где F_k – средняя касательная сила резания за оборот, Н; $F_{зуб}$ – средняя сила, приходящаяся на один зуб, Н; l – длина дуги контакта зуба с обрабатываемым материалом, мм; t – шаг зуба пилы, мм.

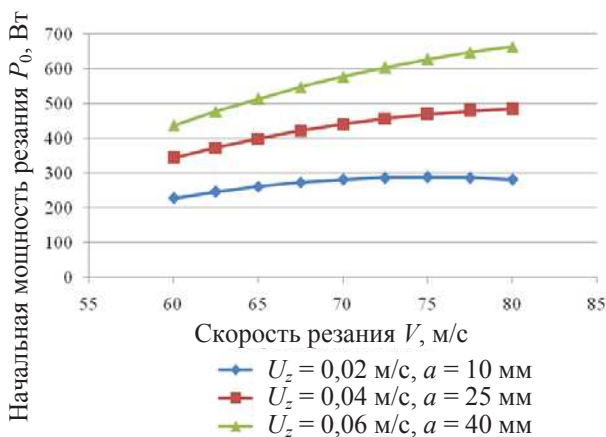


Рис. 6. Зависимости начальной мощности резания от скорости резания

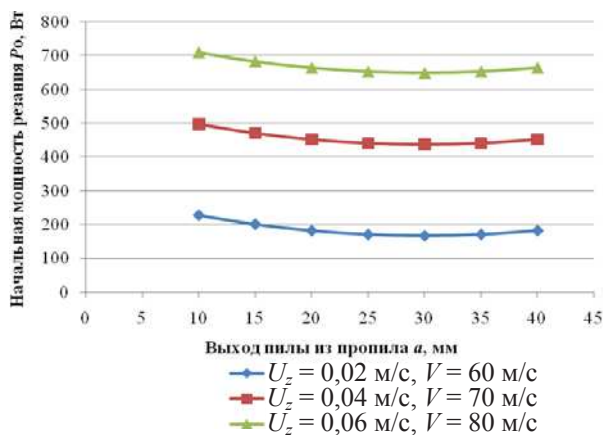


Рис. 7. Зависимости начальной мощности резания от величины выхода пилы из пропила

С увеличением выхода пилы из пропила длина дуги контакта уменьшается, что, согласно формуле (11), должно привести к уменьшению средней касательной силы резания за оборот, а значит, и мощности резания.

Однако в то же время с увеличением выхода пилы из пропила растет средний кинематический угол встречи и, соответственно, толщина снимаемой стружки (формула (10)). Это приводит к увеличению силы, приходящейся на один зуб пилы, средней касательной за оборот и мощности резания.

Таким образом, влияние выхода пилы из пропила противоречиво. Согласно полученным данным можно предположить, что при увеличении выхода пилы из пропила от 10 до 30 мм падение мощности за счет уменьшения дуги контакта более существенно, чем ее повышение за счет увеличения толщины стружки. При увеличении выхода пилы из пропила более 30 мм, наоборот, влияние роста толщины стружки на мощность резания становится более значительным.

Заключение. Получены математические модели в виде уравнений второго порядка, описывающие влияние основных переменных факторов на начальную мощность и путь резания до появления сколов на поверхности ламината.

В результате анализа полученных моделей установлено:

- с увеличением подачи на резец начальная мощность растет по квадратичной зависимости. Путь резания с увеличением U_z от 0,02 до 0,04 мм увеличивается, а затем уменьшается;

- с увеличением скорости резания начальная мощность растет. Влияние скорости на путь резания неоднозначно: на нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов с увеличением скорости путь резания растет, а на нижнем – уменьшается;

- влияние выхода пилы из пропила на начальную мощность и путь резания противоречиво. С увеличением выхода пилы из пропила от 10 до 30 мм мощность резания уменьшается, а затем растет. В то же время путь резания увеличивается с ростом величины выхода пилы из пропила от 10 до 30–35 мм, а затем уменьшается.

Литература

1. Лукаш, В. Т. Влияние подачи на резец на технологическую стойкость режущего инструмента при пилении ламинированных ДСтП / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 230–234.
2. 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.
3. Макаров, Р. А. Тензометрия в машиностроении: Справ. пособие / Р. А. Макаров. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
4. Амалицкий, Вит. В. Пиление твердосплавными круглыми пилами и их заточка / Вит. В. Амалицкий // Деревообаб. пром-сть. – 2005. – № 5.
5. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.