

УДК 674.053

В. Т. Лукаш, ассистент (БГТУ);

С. А. Гриневич, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ДИСКОВЫХ ПИЛ С ПЛАСТИНАМИ ТВЕРДОГО СПЛАВА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ И ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ (ЛДСТП)

Пиление дисковыми пилами с пластинами твердого сплава относится к наиболее распространенным и производительным процессам обработки ламинированных древесностружечных плит. Основной задачей при обработке таких древесных материалов является обеспечение высокого качества получаемой продукции при минимуме потребляемой мощности и максимальной производительности.

В статье приведен сравнительный анализ результатов исследований влияния основных технологических параметров процесса обработки на фактический путь резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала, потребляемую мощность при обработке ламинированных древесностружечных плит пилами с попеременно-косым и плоско-трапециевидным профилями зубьев в начальный момент резания и при потере качества обработки. Получены математические модели, позволяющие устанавливать величины переменных технологических факторов, обеспечивающих максимальную технологическую стойкость дисковых пил с пластинами твердого сплава.

Sawing by hard-face allow circular saws is 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 production at a minimum of power consumption and the maximal productivity.

In paper researches results of the basic technological parameters influence on an actual way of cutting before occurrence having chopped off on material surfaces, power consumption are brought at processing laminated chipboard plates by saws with an alternately-slanting and plainly-trapezoid toes structure during the initial moment of cutting and at loss of processing quality. The mathematical models are allow to establish variable technology factors providing the maximal technological stability of hard-face disk saws.

Введение. В настоящее время появился большой ассортимент древесных композиционных материалов с различными физико-механическими свойствами (ДСТП, МДФ, OSB, ЦСП), как правило, обладающих повышенной абразивной способностью из-за наличия связующих смол и отвердителей.

Последнее предопределило нецелесообразность использования для обработки таких материалов обычного режущего инструмента. Быстрорежущая сталь не дает удовлетворительных результатов, поскольку связующее в плите, а также клеящие вещества в самой древесине придают плитам повышенные абразивные свойства. Наилучшими для этих целей являются инструменты, оснащенные пластинами твердого сплава или его модификации.

Однако до сих пор остаются открытыми вопросы обработки инструментом с пластинами твердого сплава таких материалов, как, например, древесно-стружечные плиты, прессованная древесина, древесина, склеенная синтетическими клеями, пластмассы и др.

Древесностружечные плиты, облицованные пленками на основе термореактивных полимеров, широко используются в различных отраслях народного хозяйства, что ставит перед исследователями задачи по определению наилучших условий их обработки.

Основным видом механической обработки ламинированных древесностружечных плит (ЛДСТП) является раскрой дисковыми пилами с твердосплавными пластинами на заданные размеры. Среди во-

просов, требующих изучения, главными являются стойкость инструмента, качество обработки, энергопотребление и режимы пиления.

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

Основная часть. Производители дисковых пил рекомендуют для раскроя ламинированных ДСТП использовать попеременно-косой (рис. 1, а) и плоско-трапециевидный (рис. 1, б) профили зубьев [1–4]. Данные профили отличаются не только формой, но и по качеством раскроя и трудоемкостью подготовки.

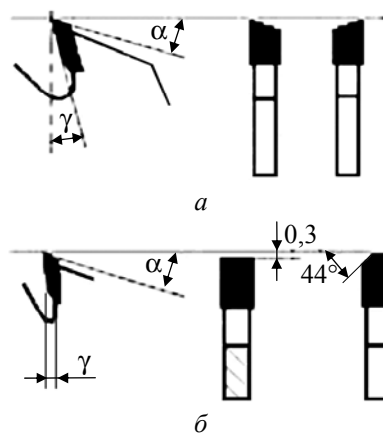


Рис. 1. Профили зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСТП:
а – попеременно косой;
б – плоско-трапециевидный

Использование соответствующей конструкции инструмента позволяет обеспечить высокое качество обработки, уменьшить силы и мощность резания. Кроме того, правильный выбор конструкции дисковой пилы и профиля ее зубьев позволит значительно повысить срок службы инструмента, сократить простой технологического оборудования, снизить затраты на подготовку пил к работе.

Исследование энергопотребления при обработке ламинированных ДСтП было реализовано с помощью методов планирования эксперимента. Выбор постоянных и переменных факторов выполнен аналогично с работами [5, 6]. Перечень факторов и их значение представлены в табл. 1.

Таблица 1
Перечень технологических факторов, принятых при проведении эксперимента

Наименование фактора	Значение
<i>Постоянные факторы</i>	
Обрабатываемый материал	Ламинированная трехслойная ДСтП («Kgo-posrap», Польша)
Толщина материала, мм	25
Средняя плотность, кг/м ³	640
Диаметр пилы, мм	350
Толщина полотна, мм	2,2
Ширина пропила мм	3,2
Число зубьев, шт.	36
Передний угол, град	10
Задний угол, град	15
Профиль зубьев	WZ, FZ/TR
<i>Переменные факторы</i>	
Подача на зуб U_z , мм	0,02–0,06
Скорость резания V , м/с	60–80
Выход пилы из пропила a , мм	10–40

Уровни варьирования переменных факторов и соответствующие им значения приведены в табл. 2.

Таблица 2
Уровни и 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

Выходными показателями, фиксируемыми в ходе эксперимента, являлись:

- начальная мощность резания (мощность при остром резце) – $Y_1 (P_0, \text{Вт})$;
- конечная мощность резания (мощность при появлении сколов) – $Y_2 (P_{\text{кон}}, \text{Вт})$;
- значение фактического пути резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала – $Y_3 (L, \text{м})$.

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 [7].

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.

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 обозначения переменных факторов.

Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного станка ФСА, позволяющей регистрировать силовые показатели процесса пиления [5, 6, 7].

Методическая сетка опытов, а также средние арифметические по результатам проведенных серий дублированных опытов значения выходных показателей для каждого из рассматриваемых профилей зубьев дисковых пил представлены в табл. 3.

По результатам статистической обработки результатов эксперимента получены математические модели, позволяющие определить величины потребляемой мощности при обработке ЛДСтП пилами с попеременно-косым и плоско-трапецевидным профилем зубьев в начальный момент резания (уравнения (2), (3)) и при потере качества обработки (уравнения (4), (5)), т. е. появлении сколов на поверхности облицовочного слоя, а также значение фактического пути резания до появления сколов (уравнения (6), (7)).

Знание величин мощности, потребляемой в начале резания, т. е. при остром инструменте, при разных профилях, позволит последние корректно сопоставить и проанализировать. Конечная мощность по критерию качества обработки в совокупности со знанием технологической стойкости может являться критерием оптимизации процесса пиления ламинированных ДСтП.

Таблица 3

Методическая сетка опытов

№ опыта	X_1	X_2	X_3	$Y_1 (P_0, \text{Вт})$	$Y_2 (P_{\text{кон}}, \text{Вт})$	$Y_3 (L, \text{м})$	$Y_1 (P_0, \text{Вт})$	$Y_2 (P_{\text{кон}}, \text{Вт})$	$Y_3 (L, \text{м})$	
				попеременно-косой WZ			плоско-трапециевидный FZ/TR			
ПФП	1	-1	-1	-1	248,57	282,86	590	261,4	390	4277,5
	2	+1	-1	-1	480	514,29	639,2	600,0	788,57	5507,0
	3	-1	+1	-1	291,43	314,29	442,5	365,7	451,43	4720,0
	4	+1	+1	-1	720	862,86	491,7	822,9	1034,29	5900,4
	5	-1	-1	+1	154,29	205,71	1277,9	214,3	295,71	13467,1
	6	+1	-1	+1	432,86	548,57	1377,6	488,6	608,57	8790,4
	7	-1	+1	+1	234,29	320	1671,1	308,6	400	14745,0
	8	+1	+1	+1	662,86	742,86	1705,6	754,3	902,86	9512,0
Звездные точки	9	-1	0	0	216	285	1249,6	260,0	340	12950,4
	10	+1	0	0	565	680	1363,32	720,0	810	10982,3
	11	0	-1	0	360	450	1629,8	394,3	471,43	14938,4
	12	0	+1	0	468,57	540	1704,3	525,7	708,5714	16358,4
	13	0	0	-1	460	640	803	535,0	665	8044,2
	14	0	0	+1	490	582,86	1623,6	485,0	615	14218,8

• Начальная мощность резания (мощность при остром резце), Y_1 (Вт):

– попеременно-косой профиль зубьев:

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

– плоско-трапециевидный профиль зубьев

$$Y_1(P_0) = -1479,211 - 2015,833 \cdot U_z + 46,205 \cdot V - 4,994 \cdot a - 0,323 \cdot V^2 + 0,081 \cdot a^2 + 181,25 \cdot U_z \cdot V - 31,667 \cdot U_z \cdot a. \quad (3)$$

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

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 36,6 + 4228,75 \cdot U_z - 1,315 \cdot V - 1,38 \cdot a - 147625 \cdot U_z^2 + 246,875 \cdot U_z \cdot V; \quad (4)$$

– плоско-трапециевидный профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 296,969 + 1688,974 \cdot U_z - 1,837 \cdot V - 14,884 \cdot a - 62403,846 \cdot U_z^2 + 0,178 \cdot a^2 + 233,75 \cdot U_z \cdot V - 69,167 \cdot U_z \cdot a + 0,077 \cdot V \cdot a. \quad (5)$$

• Технологическая стойкость (путь резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала), Y_3 (м):

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_3(L) = 3945,1 + 56680 \cdot U_z - 136,24 \cdot V + 53,59 \cdot a - 686875 \cdot U_z^2 + 0,86 \cdot V^2 - 1,63 \cdot a^2 + 0,85 \cdot V \cdot a; \quad (6)$$

– плоско-трапециевидный профиль зубьев

$$Y_3(L) = 1854,553 + 725818,333 \cdot U_z - 598,465 \cdot V + 1322,588 \cdot a - 8060312,5 \cdot U_z^2 + 4,579 \cdot V^2 - 18,041 \cdot a^2 - 5133,333 \cdot U_z \cdot a. \quad (7)$$

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 (рис. 3, 4, 5).

С точки зрения производства наиболее интересным является сопоставление конечных мощностей и технологической стойкости пил с указанными профилями зубьев. Сопоставляя пути резания (рис. 3), можно однозначно утверждать, что плоско-трапециевидный профиль при любых условиях обработки в пределах уровня варьирования переменных факторов обладает значительно большей технологической стойкостью, чем попеременно-косой. Это связано с характером затупления зубьев с попеременно-косым профилем.

При раскрое ламинированных ДСтП пилами с «косой» заточкой по задней грани (рис. 1, а), основная нагрузка ложится на вершину трехгранного угла, что приводит к достаточно быстрому его затуплению (рис. 2) и появлению сколов, вырвов. В результате сокращается срок службы пилы.

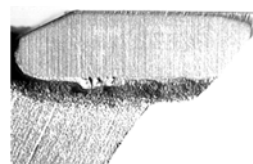


Рис. 2. Изношенный зуб твердосплавной пилы

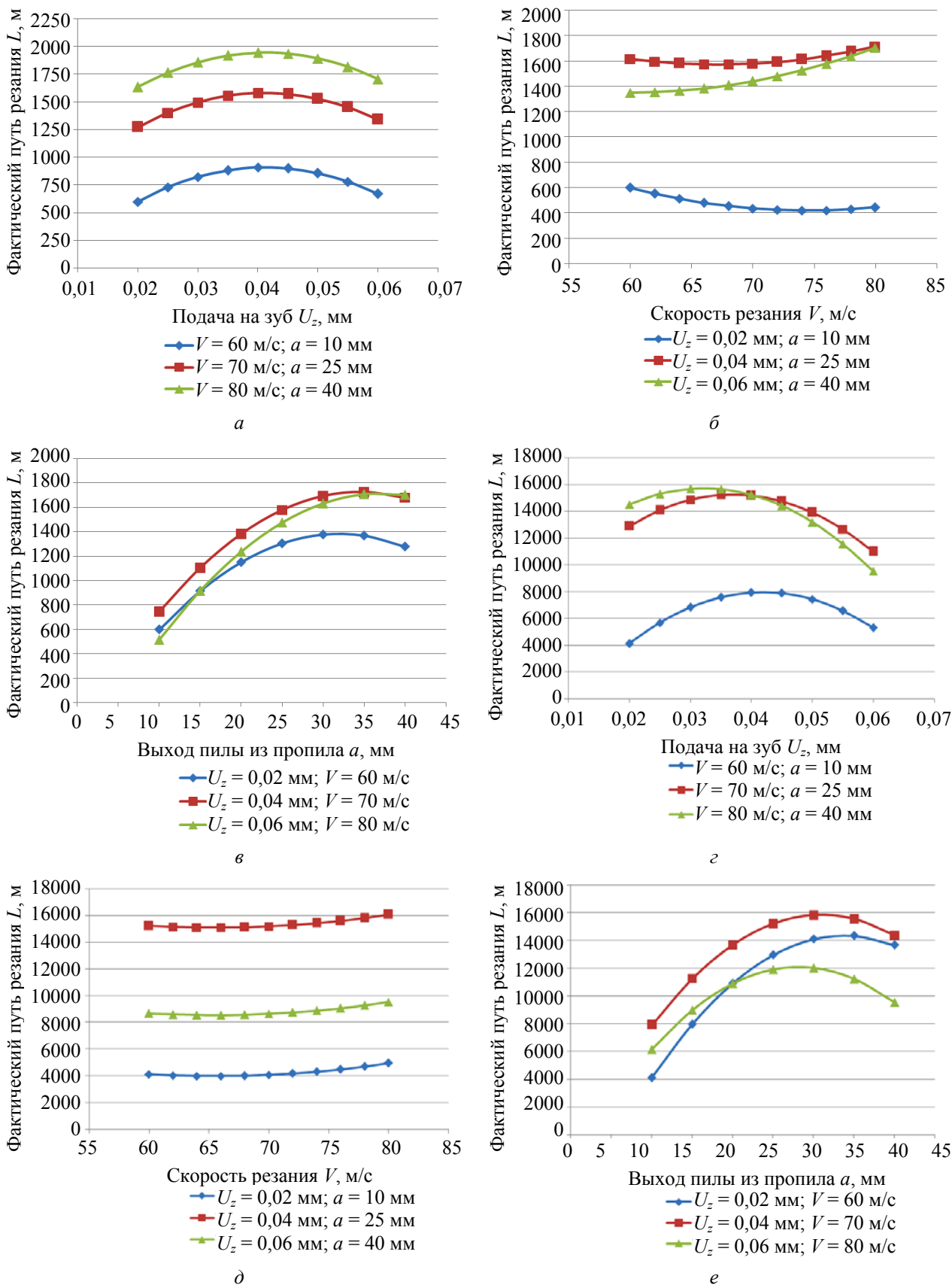


Рис. 3. Зависимости фактического пути резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с попеременно-косым (а, б, в), плоско-трапецевидным профилем зубьев (г, д, е)

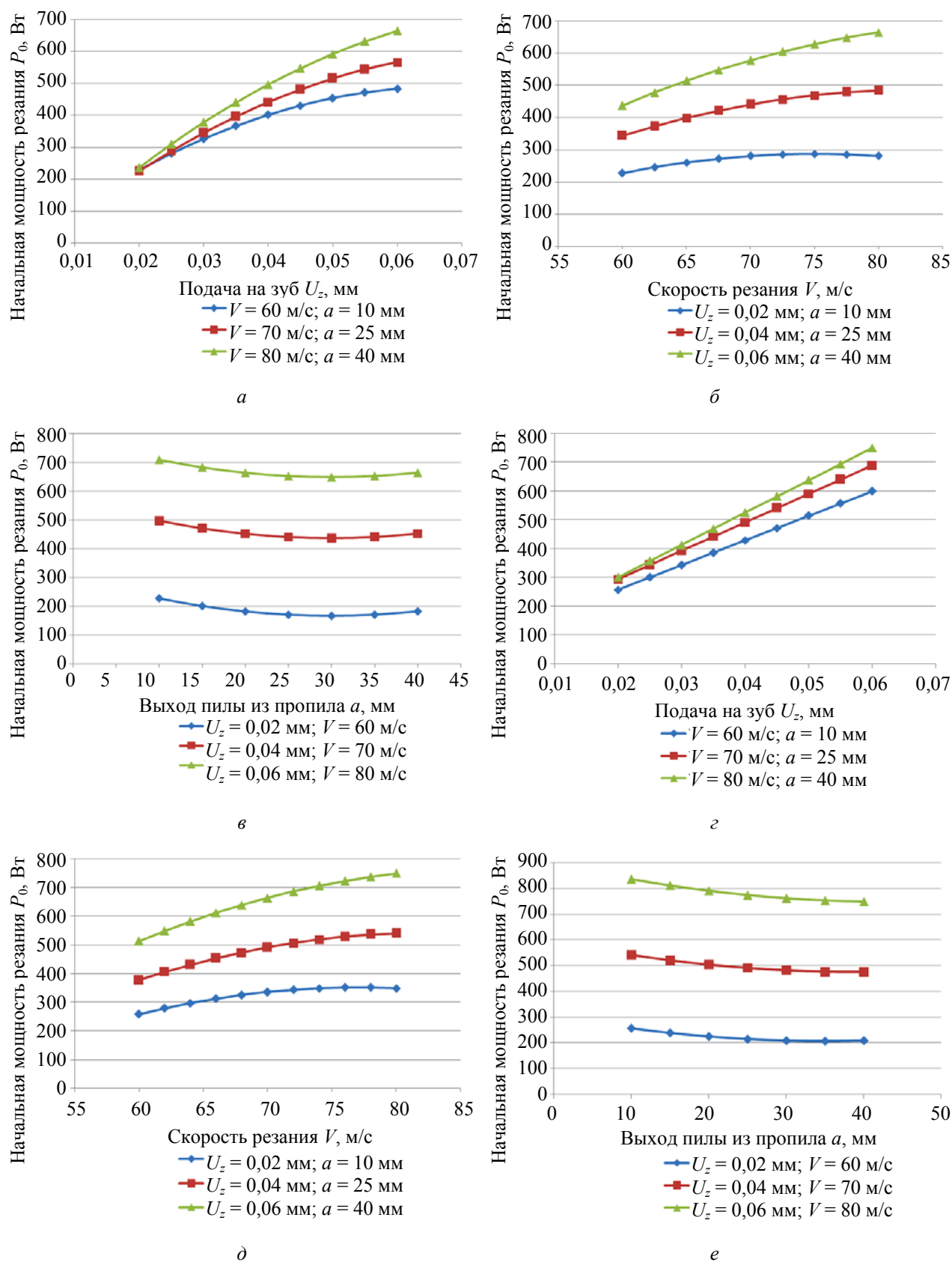


Рис. 4. Зависимости начальной мощности резания от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с попеременно-косым (а, б, в), плоско-трапецевидным профилем зубьев (г, д, е)

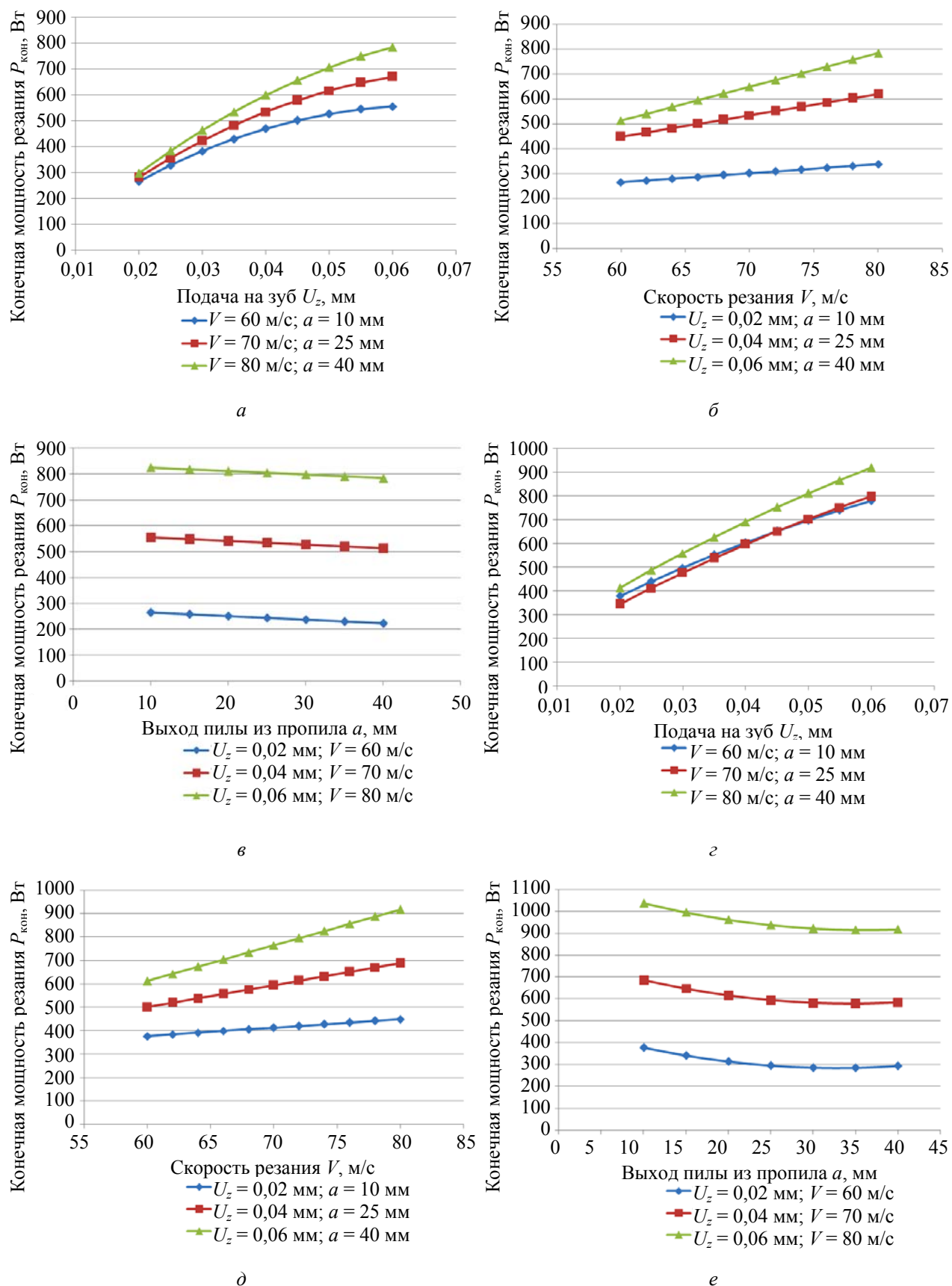


Рис. 5. Зависимости конечной мощности резания от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с попеременно-косым (а, б, в), плоско-трапецевидным профилем зубьев (г, д, е)

В пилах с плоско-трапециевидным профилем (рис. 1, б) основную нагрузку несет трапециевидный зуб, а прямой подчищает. Поскольку на резаках с «трапецией» отсутствуют острые углы, стойкость таких пил будет значительно выше, чем на пилах с «косой» заточкой. На рис. 6, а показан зуб с заточкой в 45° , прорезающий паз в обрабатываемом материале. Он сопровождается плоским зубом, выполняющим легкий финишный рез по бокам пропила (рис. 6, б). Зуб с заточкой в 45° формирует пропила, а обычные зубья выравнивают его.

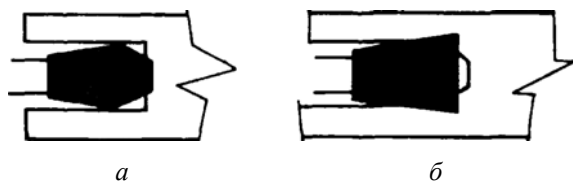


Рис. 6. Схема формирования пропила трапециевидным (а) и плоским (б) зубьями

Ширина фаски – 0,25–0,33 ширины зуба. Высота зуба «лидера» больше на 0,2–0,3 мм, что позволяет ему резать глубже, чем подчищающие зубья, и тем самым предохраняет их острые углы и увеличивает срок службы пилы между переточками. Благодаря такому резанию уменьшается усилие резания, улучшается качество обработки, увеличивается срок службы пилы [9].

Проведенная оптимизация с помощью математического пакета MathCad зависимостей (6) и (7) позволила установить, что максимальный путь резания при обработке ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами с попеременно-косым профилем зубьев составляет чуть менее 2000 м, в то время как для плоско-трапециевидного – около 17 000 м. Это доказывает целесообразность применения последнего профиля для раскроя ламинированных ДСтП с точки зрения технологической стойкости, а также снижения затрат на перезаточку режущего инструмента и уменьшения потерь времени на простой оборудования.

Однако для производства интересна не только стойкость инструмента, но и энергозатраты. Так, анализируя графики зависимостей начальной мощности резания от переменных технологических факторов (рис. 4), можно утверждать, что для плоско-трапециевидного профиля этот показатель на 50–100 Вт выше, чем для попеременно-косого. Меньшая начальная мощность для попеременно-косого профиля связана прежде всего с меньшей площадью контакта зуба с обрабатываемым материалом.

Сопоставляя зависимости для конечной мощности (рис. 5), видим, что конечная мощ-

ность для плоско-трапециевидного профиля на 50–200 Вт выше, чем для попеременно-косого, что, в первую очередь, связано с большей технологической стойкостью пил с данным профилем, а соответственно, и с их большим затуплением.

Очевидно, что как для попеременно-косого, так и для плоско-трапециевидного профиля влияние основных переменных технологических факторов на силовые и мощностные показатели имеет схожие тенденции.

Заключение. Таким образом, при обработке ламинированных ДСтП конечная мощность при использовании пил с плоско-трапециевидным профилем выше, чем для пил с попеременно косым, ориентировочно в 1,4 раза, в то время как стойкость выше в 8,5 раза, что однозначно доказывает целесообразность применения данного профиля.

Литература

1. The Leitz Lexicon : Handbook for Woodworking machine tools. Edition 4. / KG, Bundesrepublik Deutschland, 2007. – Leitz GmbH & Co.
2. Leuco-Handbuch: каталог инструмента для обработки древесины и пластмасс / Leuco. – 2007.
3. Faba: каталог инструмента для обработки древесины / Faba. – 2007.
4. Freud: каталог инструмента для обработки древесины / Freud. – 2007.
5. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 317–321.
6. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 234–239.
7. 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 деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 172–174.
8. Макаров, Р. А. Тензометрия в машиностроении: справ. пособие / Р. А. Макаров. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
9. 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.

Поступила 15.03.2011