

Проектор с объективом, зеркалом и экраном может быть заменен на видеокамеру для микроскопа, которая подключается к компьютеру. В этом случае и датчики линейного перемещения целесообразно подключить к компьютеру.

Применение такого измерительного стенда в сочетании с четырехсторонними станками, имеющими индикаторы положения шпинделя, позволит

- контролировать качество подготовки инструмента;
- сократить время на переналадку станка;
- экономить древесину, работая без пробных заготовок;
- рентабельно работать с небольшими объемами и снизить складской запас;
- расширить номенклатуру изделий.

Лукаш В.Т., Гриневич С.А. (БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@bstu.unibel.by

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ДИСКОВЫХ ПИЛ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ И МОЩНОСТЬ ПРИ РАСКРОЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFLUENCE OF TOOTH CONFIGURATION OF THE CARBIDE-TIPPED CIRCULAR SAW ON DURABILITY AND POWER OF CUTTING LAMINATED CHIPBOARDS

The article presents comparative analysis of influence of the main cutting parameters on actual way of cutting till chipping appearing on covering surface and power cost while processing laminated chipboards.

Введение

В настоящее время появился большой ассортимент древесных композиционных материалов с различными физико-механическими свойствами (ДСтП, МДФ, OSB, ЦСП), как правило, обладающих повышенными абразивными свойствами из-за наличия связующих смол и отвердителей. Последнее предопределило нецелесообразность использования для обработки таких материалов стального режущего инструмента.

Основным видом механической обработки ламинированных древесностружечных плит (ЛДСтП) является раскрой дисковыми пилами с твердосплавными пластинами на заданные размеры. До сих пор остаются неизученными вопросы стойкости инструмента, качества обработки, энергопотребления и режимов 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]. Данные профили отличаются не только по форме, но и по качеству раскроя и трудоемкости подготовки.

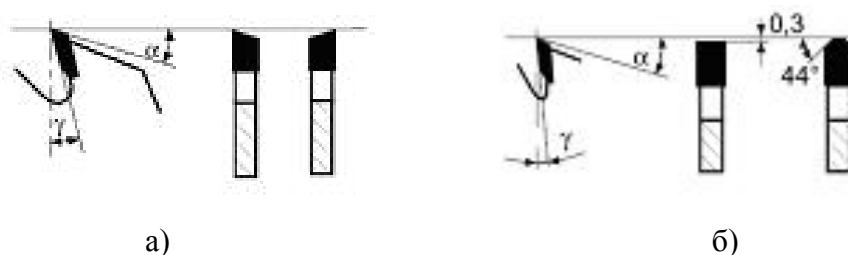


Рисунок 1 – Профили зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП: а – попеременно косой; б – плоско-трапециевидный

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 простои технологического оборудования, снизить затраты на подготовку пил к работе.

Исследование потребляемой мощности при обработке ламинированных ДСтП реализовано с помощью методов планирования эксперимента. Выбор постоянных и переменных факторов выполнен аналогично с работами [2, 3]. Перечень факторов и их значение представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Перечень технологических факторов, принятых при проведении эксперимента

Наименование фактора	Значение
Постоянные факторы	
обрабатываемый материал	ламинированная трехслойная ДСтП («Kronospan», 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
Переменные факторы	
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 [4].

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

Методическая сетка опытов, а также средние арифметические значения результатов серий дублированных опытов 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-трапециевидным профилем зубьев в начальный момент резания (уравнения 1, 2) и при потере качества обработки, т.е. появлении сколов на поверхности облицовочного слоя (уравнения 3, 4), а также значения фактического пути резания до появления сколов (уравнения 5, 6).

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.

- начальная мощность резания (мощность при остром резце), $Y_1 (\text{Вт})$:

– попеременно-косой профиль зубьев

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

– плоско-трапециевидный профиль зубьев

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

- конечная мощность резания (мощность при появлении сколов) – $Y_2 (\text{Вт})$

– попеременно-косой профиль зубьев

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

– плоско-трапециевидный профиль зубьев

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

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

– попеременно-косой профиль зубьев

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

– плоско-трапецевидный профиль зубьев

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

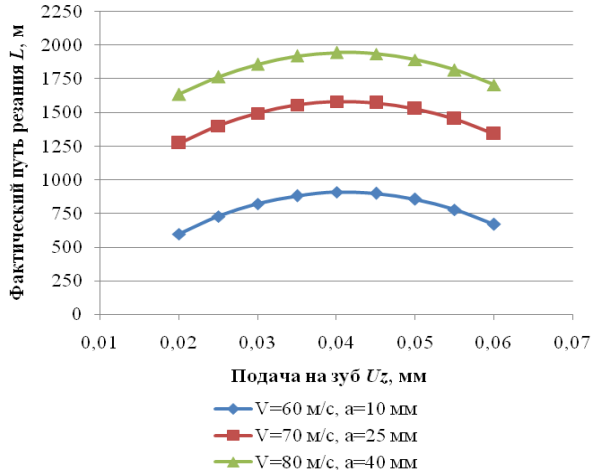
Таблица 3 – Методическая сетка опытов

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_1	Y_2	$Y_3(L, м)$	
				(Ро, Вт)	(Ркон, Вт)	(L, м)	(Ро, Вт)	(Ркон, Вт)		
				попеременно-косой WZ			плоско-трапецевидный 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	1363,3 2	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

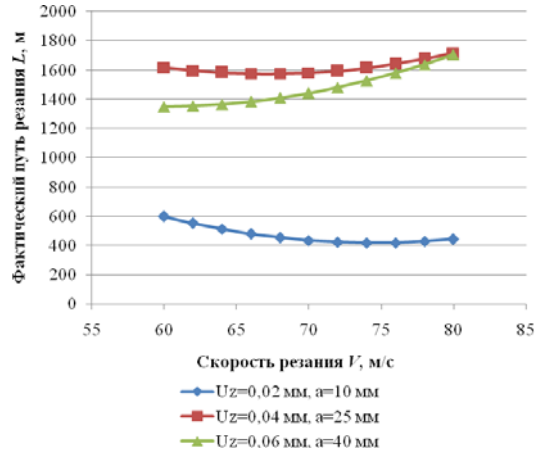
Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

По полученным моделям были построены графические зависимости на нижнем, нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов (рис. 2, 3, 4).

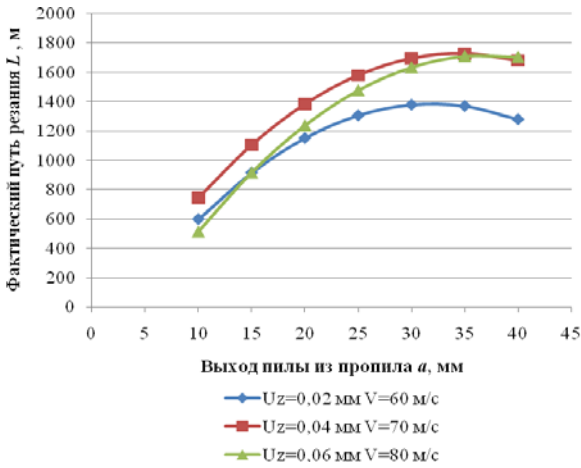
С точки зрения производства наиболее интересным является сопоставление конечных мощностей и технологической стойкости пил с указанными профилями зубьев. Сопоставляя пути резания (рис. 2) можно однозначно утверждать, что плоско-трапецевидный профиль при любых условиях обработки в пределах уровня варьирования переменных факторов обладает значительно большей технологической стойкостью, чем попеременно-косой. Это связано с характером затупления зубьев с попеременно-косым профилем.



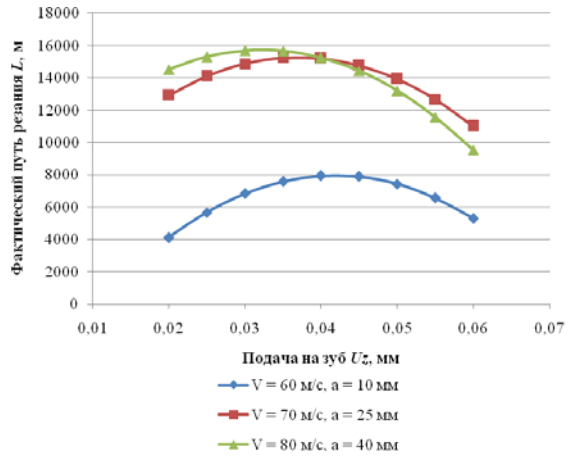
а)



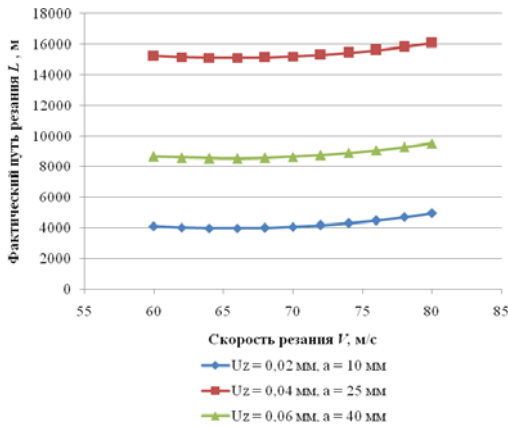
б)



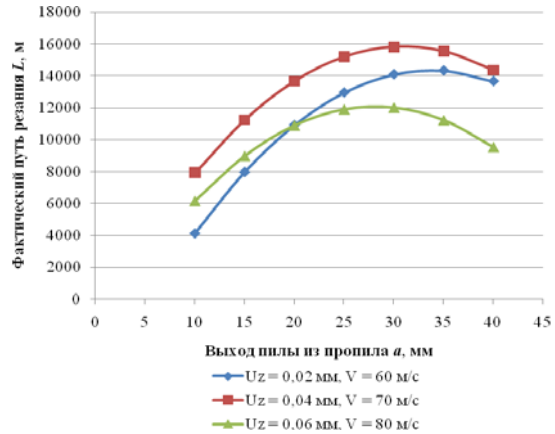
в)



г)

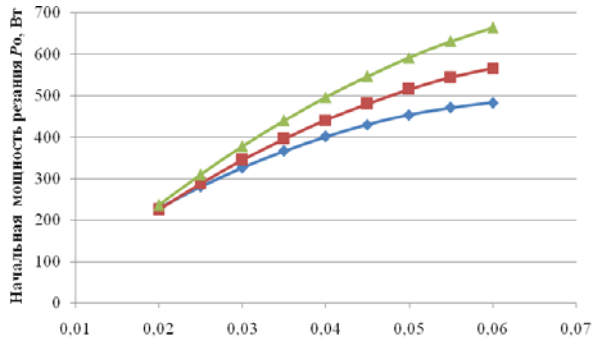


д)

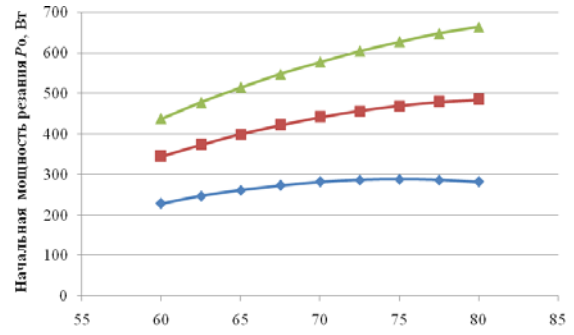


е)

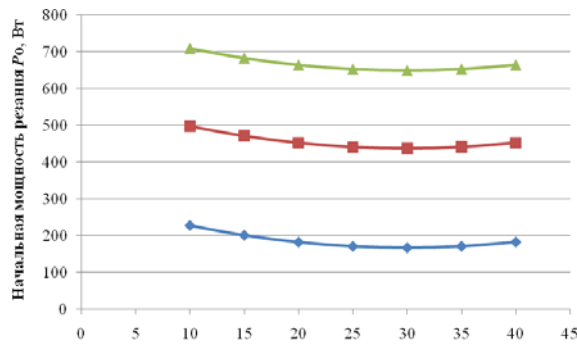
Рисунок 2 – Зависимости фактического пути резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с: а, б, в – попеременно-косым; г, д, е – плоско-трапецевидным профилем зубьев



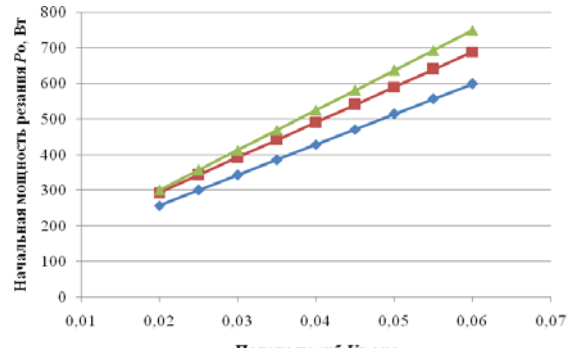
а)



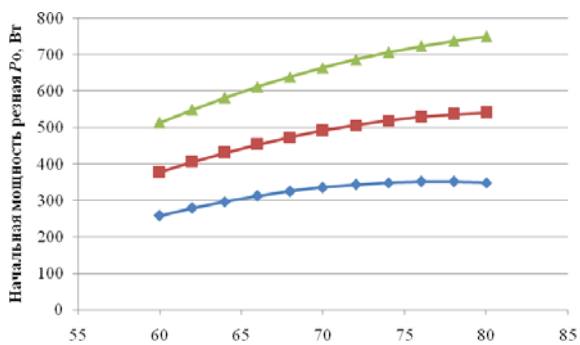
б)



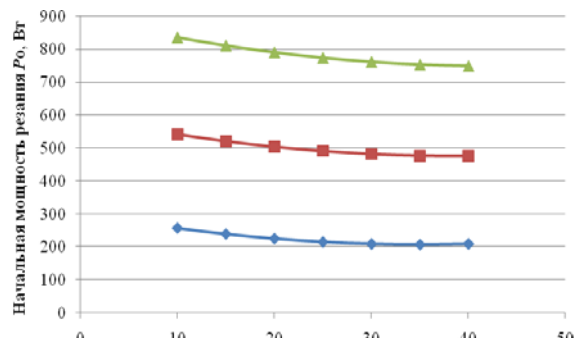
в)



г)

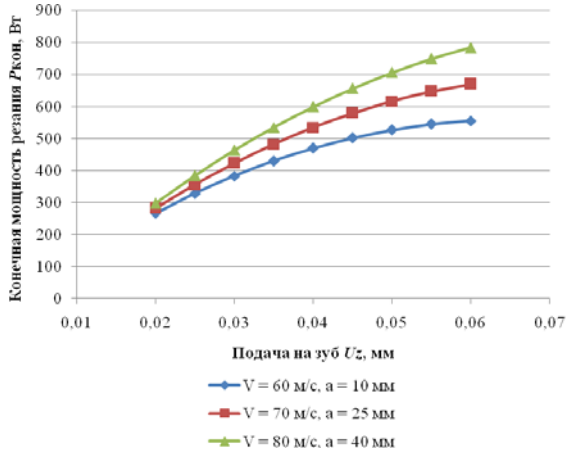


д)

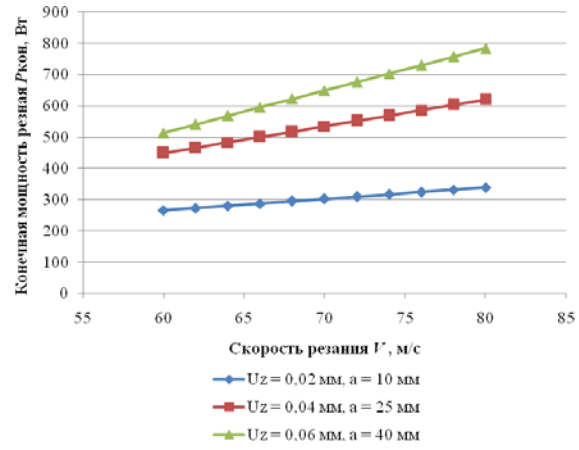


е)

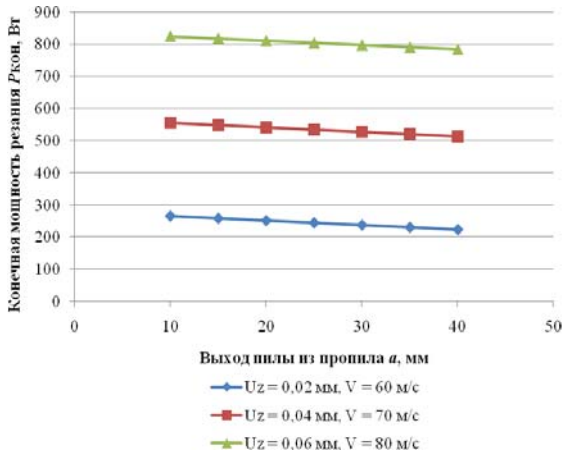
Рисунок 3 – Зависимости начальной мощности резания от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с: а, б, в – попеременно-косым; г, д, е – плоско-трапецевидным профилем зубьев



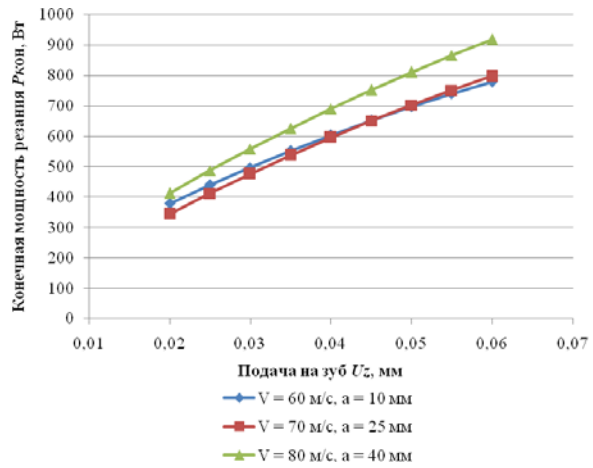
а)



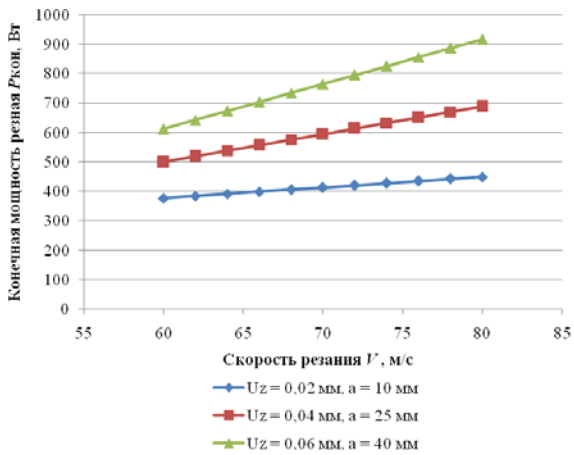
б)



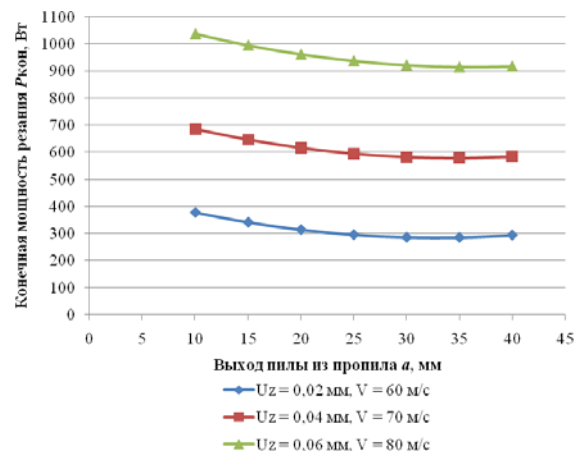
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4 – Зависимости конечной мощности резания от переменных технологических факторов при обработке ЛДСтП дисковыми твердосплавными пилами с: а, б, в – попеременно-косым; г, д, е – плоско-трапецевидным профилем зубьев

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. 5) и появлению сколов, вырвов. В результате сокращается срок службы пилы.

В пилах с плоско-трапециевидным профилем (рис. 1, *б*) основную нагрузку несет трапециевидный зуб, а прямой подчищает. Поскольку на резцах 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 пропил, а обычные зубья выравнивают его.

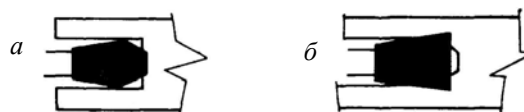
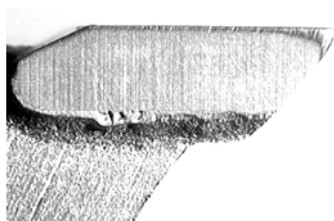


Рисунок 5 – Изношенный зуб твердосплавной пилы

Рисунок 6 – Схема формирования пропила *а* – трапециевидным и *б* – плоским зубом

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 [5].

Проведенная оптимизация с помощью математического пакета MathCad зависимостей (5) и (6) 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 простои оборудования.

Однако для производства интересна не только стойкость инструмента, но и энергозатраты. Так, анализируя графики зависимостей начальной мощности резания от переменных технологических факторов (рис. 3) 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.4) видно, что конечная мощность для плоско-трапециевидного профиля на 50-200 Вт выше, чем для попеременно-

но-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 раз, что однозначно доказывает целесообразность применения данного профиля.

Библиографический список

1. Каталоги инструмента для обработки древесины фирм: Leitz, Leuco, Faba, Freud
2. 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 деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 317–321.
3. 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 деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 234–239.
4. 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.
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.

Полякова Т.В., Абдулов А.Р., Новоселов В.Г.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

ВЛИЯНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА КОНЕЧНЫЙ РАЗМЕР ДЕТАЛИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

CUTTING TOOL DULLING AND SHAPE QUALITY OF A WORKPIECE IN RIPPING

Relationship between cutting tool dulling and shape quality of a workpiece in ripping has been analyzed. It is compared two kinds of blades: the first is made of steel DS and the second is made of the same steel and hardened by nitrogen ion implantation

Точность является одним из основных показателей качества изготавливаемой продукции с точки зрения надежности технологической системы по ГОСТ 27.202-83