

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАЧАЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСП НАКЛОННЫМИ РЕЗЦАМИ

Milling – one of the most widespread and highly technological processes applied in modern woodworking manufacture. Due to milling high quality of made production is reached. Chipboard possess the high abrasive properties, therefore the cutters has to possessing high wear resistance. One of ways of increase woodworking tools wear resistance is application of inclined cutters. However power at milling edges laminated chipboards by inclined cutters practically is not investigated. In paper researches of basic technology factors influence on power of cutting are presented at milling laminated chipboards at a sharp cutter. The main technological parameters (angle of cutting edge inclination, angle of cutting, cutting speed, height of a removed layer, thickness of a shaving) influencing on power of cutting are considered. As a result of experiment the mathematical model describing influence of the above-stated factors on initial power is received. The graphic dependences allowing evidently estimating influence of each technology factor on initial milling power are constructed.

Введение. В мебельной промышленности широкое распространение нашли ламинированные древесностружечные плиты. Обработка кромок заготовок из данного вида древесного материала методом фрезерования обеспечивает высокое качество получаемой продукции. Древесностружечные плиты обладают повышенными абразивными свойствами, поэтому в качестве режущего инструмента применяют резцы, изготовленные из материалов, обладающих повышенной износостойкостью (твердые сплавы, алмазы и др.). Одним из способов увеличения стойкости дереворежущего фрезерного инструмента является применение наклонных резцов [1]. Однако энергопотребление при фрезеровании кромок ламинированных древесностружечных плит наклонными резцами практически не изучено.

В работе В. Д. Лескива [2] установлено, что угол наклона режущей кромки оказывает существенное влияние на усилия резания при фрезеровании древесины. По теоретическим исследованиям [2], винтовое фрезерование характеризуется плавным входом ножа в обрабатываемый материал, уменьшением ударных нагрузок на инструмент, уменьшением действительных значений угла резания и заднего угла, появлением осевой составляющей усилия резания. Проведенные эксперименты подтвердили теоретические предпосылки, что позволило значительно снизить усилия резания. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

А. М. Векшиным [3] изучено влияние наклона винтовой линии режущей кромки на силы резания по длине контакта резца с древесиной при фрезеровании тонкими винтовыми ножами.

Исследования проводились при следующих условиях: угол наклона режущей кромки $\omega = 0; 15; 25; 45^\circ$, задний угол $\alpha = 15^\circ$, подача на зуб $U_z = 0,87$; высота снимаемого слоя $h = 2; 3; 5$ мм, радиус округления режущей кромки $\rho = 5$ мкм, обрабатываемые породы – сосна и дуб. Полученные данные представлены на рис. 1.

Таблица 1
Результаты опытов В. Д. Лескива

Наименование процесса	Угол наклона режущей кромки ω , град	Изменение касательной составляющей силы резания
при фрезеровании древесины бука:	30	уменьшение на 33–35%
вдоль волокон	0–30	удельное усилие возрастает
в торец	0–30	уменьшение на 5–8%
	30–45	увеличение на 7–8%

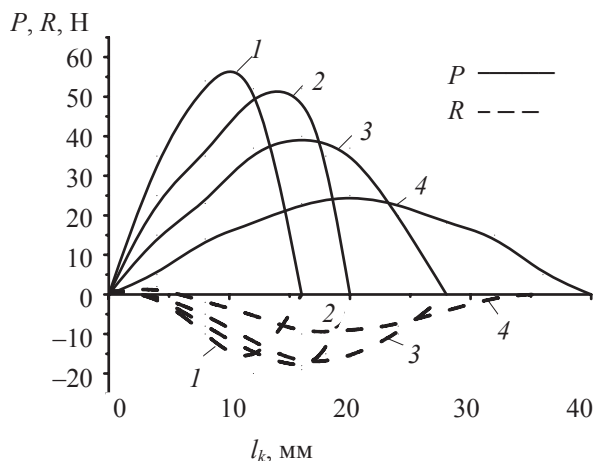


Рис. 1. Распределение сил резания касательных P и радиальных R на длине контакта при фрезеровании древесины дуба: 1, 2, 3, 4 – соответственно $\omega = 0; 15; 25; 45^\circ$

Анализ результатов данных работ убедительно доказывает, что придание угла наклона режущей кромке приводит к снижению сил резания, а соответственно, и потребляемой мощности.

Поэтому на первом этапе исследовательских работ было решено провести исследование влияния основных технологических факторов на мощность резания при фрезеровании ламинированных без учета затупления, т. е. при остром резце.

Основная часть. Для решения поставленной задачи применено планирование эксперимента и выбран план В5. В качестве переменных технологических факторов приняты угол наклона режущей кромки ω , угол резания δ , скорость резания V , высота снимаемого слоя h ,

толщина стружки a . Выходным показателем принята мощность резания N при остром резце.

Методическая сетка опытов была реализована на экспериментальной установке на базе четырехстороннего продольно-фрезерного станка модели С26-2М. Данная установка позволяет плавно изменять частоту вращения режущего инструмента и скорость подачи обрабатываемого материала.

Условия проведения опытов представлены в табл. 2. Методическая сетка и результаты опытов показаны в табл. 3.

Таблица 2

Условия проведения опытов при исследовании качества обработанных кромок ламинированных ДСтП при цилиндрическом фрезеровании

Факторы	Условное обозначение	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования Δ
1. Переменные факторы :					
1.1. Угол наклона режущей кромки, град	$X1 [\omega]$	0	15	30	15
1.2. Угол резания, град	$X2 [\delta]$	60	70	80	10
1.3. Скорость резания, м/с	$X3 [V]$	20	35	50	15
1.4. Толщина срезаемого слоя, мм	$X4 [h]$	1,5	3	4,5	1,5
1.5 Толщина стружки, мм	$X5 [a]$	0,05	0,25	0,45	0,2
2. Постоянные факторы :					
2.1. Обрабатываемый материал					
2.1.1. Основа	ДСтП				
2.1.2. Облицованный слой	Ламинат				
2.1.3. Ширина фрезерования B , мм	25				
2.1.4. Влажность, %	8 ± 2				
2.2. Режущий инструмент					
2.2.1. Материал лезвия	Твердый сплав ВК6				
2.2.2. Диаметр фрезы D , мм	180				

Таблица 3

Методическая сетка и результаты опытов

№ опыта	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	Y
	$[\omega]$	$[\delta]$	$[V]$	$[h]$	$[a]$	$[N]$
	град	град	м/с	мм	мм	Вт
1	30	80	50	4,5	0,45	1662,5
2	0	80	50	4,5	0,45	2000
3	30	60	50	4,5	0,45	805
4	0	60	50	4,5	0,45	1200
5	30	80	20	4,5	0,45	647,5
6	0	80	20	4,5	0,45	900
7	30	60	20	4,5	0,45	455
8	0	60	20	4,5	0,45	540
9	30	80	50	1,5	0,45	1347,5
10	0	80	50	1,5	0,45	1500
11	30	60	50	1,5	0,45	840
12	0	60	50	1,5	0,45	960
13	30	80	20	1,5	0,45	472,5
14	0	80	20	1,5	0,45	720
15	30	60	20	1,5	0,45	280
16	0	60	20	1,5	0,45	400
17	30	80	50	4,5	0,05	752,5
18	0	80	50	4,5	0,05	860
19	30	60	50	4,5	0,05	542,5

№ опыта	X1	X2	X3	X4	X5	Y
	[ω]	[δ]	[V]	[h]	[a]	[M]
	град	град	м/с	мм	мм	Вт
20	0	60	50	4,5	0,05	640
21	30	80	20	4,5	0,05	350
22	0	80	20	4,5	0,05	410
23	30	60	20	4,5	0,05	297,5
24	0	60	20	4,5	0,05	350
25	30	80	50	1,5	0,05	437,5
26	0	80	50	1,5	0,05	560
27	30	60	50	1,5	0,05	315
28	0	60	50	1,5	0,05	380
29	30	80	20	1,5	0,05	332,5
30	0	80	20	1,5	0,05	380
31	30	60	20	1,5	0,05	210
32	0	60	20	1,5	0,05	250
33	30	70	35	3	0,25	997,5
34	0	70	35	3	0,25	1500
35	15	80	35	3	0,25	1330
36	15	60	35	3	0,25	945
37	15	70	50	3	0,25	1365
38	15	70	20	3	0,25	805
39	15	70	35	4,5	0,25	1295
40	15	70	35	1,5	0,25	1015
41	15	70	35	3	0,45	1382,5
42	15	70	35	3	0,05	787,5

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии:

$$Y = 1223,20 - 82,65 \cdot X1 + 154,41 \cdot X2 + 246,09 \cdot X3 + 97,27 \cdot X4 + 242,89 \cdot X5 - 66,82 \cdot X3^2 - 267,32 \cdot X5^2 + 62,72 \cdot X2 \times X3 + 83,47 \cdot X2 \cdot X5 + 124,79 \cdot X3 \cdot X5.$$

При переводе нормализованных факторов в явный вид получено следующее уравнение:

$$Y = 598,98 - 5,51 \cdot \omega - 9,63 \cdot \delta + 59,75 \times V + 64,84 \cdot h + 178,56 \cdot a - 1,19 \cdot V^2 - 6682,75 \cdot a^2 + 0,42 \cdot \delta \cdot V + 41,73 \cdot \delta \times a + 41,6 \cdot V \cdot a.$$

Для анализа влияния переменных технологических факторов по полученному уравнению построены графические зависимости на верхнем, среднем и нижнем уровнях варьирования.

На рис. 2 представлена зависимость начальной мощности от угла наклона фрезерного ножа в плане. Очевидно, что с увеличением угла в плане начальная мощность падает. Уменьшение потребляемой мощности связано с плавностью входа режущего элемента в обрабатываемый материал и эффектом кинематического заострения резца.

На рис. 3 представлена зависимость потребляемой мощности от угла резания. Здесь прослеживается линейный рост начальной мощности при увеличении угла резания. Данный эффект может быть объяснен ухудшением

условий схода стружки по передней поверхности резца. Именно поэтому мощность растет более интенсивно при больших толщинах стружки.

Графики на рис. 4 отражают влияние скорости резания на потребляемую мощность. С ростом скорости резания мощность изменяется по параболической зависимости. На нижнем уровне варьирования переменных факторов мощность растет при увеличении скорости от 20 до 35 м/с, а при дальнейшем росте скорости резания до 50 м/с – падает. Как указывает В. И. Любченко [4], скорость резания влияет на выходные показатели через противоречиво действующие факторы. В частности, увеличение скорости приводит к увеличению сил инерции отводимой стружки, но при этом может уменьшаться коэффициент трения. На нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов вершина параболы смещается в сторону увеличения скорости.

Данный факт объясняется значительным ростом сил инерции при увеличении толщины стружки и математически учитывается коэффициентом парного взаимодействия скорости и толщины стружки $b = 35$.

На рис. 5 показаны зависимости потребляемой мощности от высоты снимаемого слоя. Рост потребляемой мощности с увеличением припуска носит линейный характер и связан с увеличением дуги контакта резца с обрабатываемым материалом.

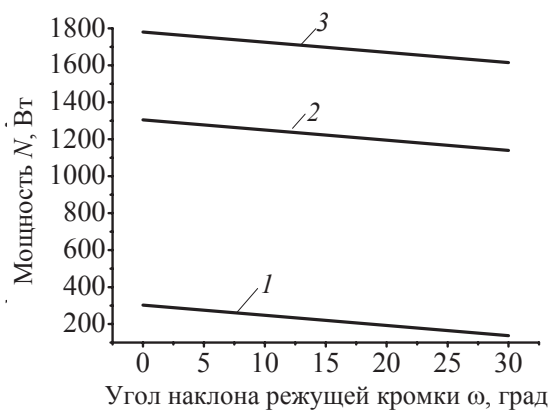


Рис. 2. Влияние угла наклона режущей кромки ω на начальную мощность

- 1 – $a = 0,45$ мм; $h = 4,5$ мм; $V = 50$ м/с; $\delta = 80^\circ$
- 2 – $a = 0,25$ мм; $h = 3,0$ мм; $V = 35$ м/с; $\delta = 70^\circ$
- 3 – $a = 0,05$ мм; $h = 1,5$ мм; $V = 20$ м/с; $\delta = 60^\circ$

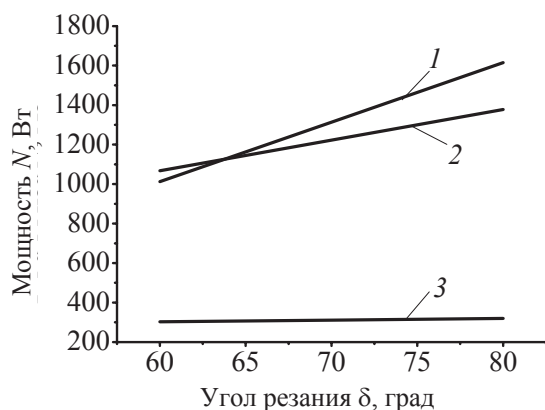


Рис. 3. Влияние угла резания δ на мощность

- 1 – $a = 0,45$ мм; $h = 4,5$ мм; $V = 50$ м/с; $\omega = 30^\circ$
- 2 – $a = 0,25$ мм; $h = 3,0$ мм; $V = 35$ м/с; $\omega = 15^\circ$
- 3 – $a = 0,05$ мм; $h = 1,5$ мм; $V = 20$ м/с; $\omega = 0^\circ$

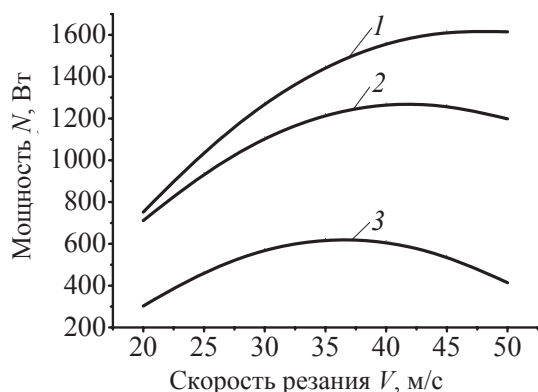


Рис. 4. Влияние скорости резания на мощность

- 1 – $a = 0,45$ мм; $h = 4,5$ мм; $\omega = 30^\circ$; $\delta = 80^\circ$
- 2 – $a = 0,25$ мм; $h = 3,0$ мм; $\omega = 15^\circ$; $\delta = 70^\circ$
- 3 – $a = 0,05$ мм; $h = 1,5$ мм; $\omega = 0^\circ$; $\delta = 60^\circ$

На рис. 6. представлены зависимости потребляемой мощности от толщины стружки. Как видно из графика, на нижнем уровне варьирования с ростом толщины стружки от 0,05 мм до 0,25 мм

наблюдается рост потребляемой мощности, а при дальнейшем увеличении толщины стружки – падение. Повышение мощности с увеличением толщины стружки связано с увеличением давления стружки на переднюю поверхность резца. Дальнейшее падение мощности, вероятно, связано с переходом на неустановившийся режим резания. Здесь часть материала удаляется не резанием, а сдвигом, что характерно для средней, более рыхлой части плиты. На нулевом и верхнем уровнях варьирования переменных факторов вершина параболы смещается в сторону больших толщин стружек, что связано с влиянием скорости резания и стабилизации процесса резания за счет инерционного подпора.

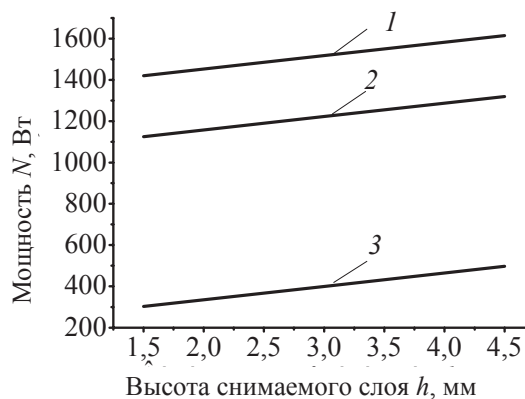


Рис. 5. Влияние высоты снимаемого слоя на мощность

- 1 – $a = 0,45$ мм; $V = 50$ м/с; $\omega = 30^\circ$; $\delta = 80^\circ$
- 2 – $a = 0,25$ мм; $V = 35$ м/с; $\omega = 15^\circ$; $\delta = 70^\circ$
- 3 – $a = 0,05$ мм; $V = 20$ м/с; $\omega = 0^\circ$; $\delta = 60^\circ$

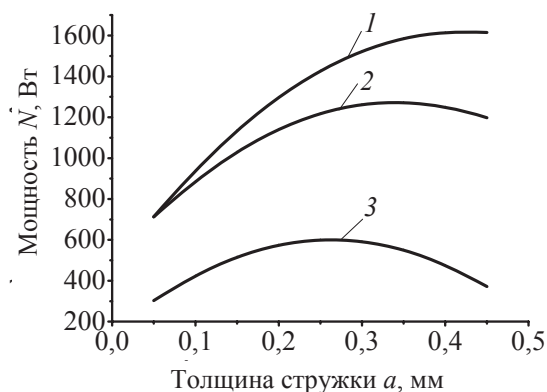


Рис. 6. Влияние толщины стружки на мощность

- 1 – $\delta = 80^\circ$; $h = 4,5$ мм; $V = 50$ м/с; $\omega = 30^\circ$
- 2 – $\delta = 70^\circ$; $h = 3,0$ мм; $V = 35$ м/с; $\omega = 15^\circ$
- 3 – $\delta = 60^\circ$; $h = 1,5$ мм; $V = 20$ м/с; $\omega = 0^\circ$

Заключение. 1. Получено математическое описание зависимости начальной мощности резания от основных технологических факторов при фрезеровании кромок древесностружечных плит наклонными ножами.

2. Установлено, что придание угла наклона режущим элементам фрезерного инструмента

при обработке ламинированных ДСтП приводит к снижению потребляемой начальной мощности на нижнем уровне варьирования в 2,20 раза, на верхнем – в 1,10 раза.

3. Увеличение угла резания приводит к росту потребляемой мощности в 1,05 раза на нижнем уровне варьирования, в 1,59 раза – на верхнем.

4. Влияние скорости на изменение мощности при фрезеровании ламинированных ДСтП носит противоречивый характер. Так, на нулевом уровне с ростом скорости от 20 до 35 м/с мощность увеличивается от 303 до 626 Вт, с дальнейшим ростом скорости до 50 м/с – мощность уменьшается до 320 Вт. На верхнем уровне варьирования наблюдается рост мощности от 752 до 1612 Вт при скорости от 20 до 45 м/с, потом наблюдается незначительное уменьшение на 5 Вт при скорости 50 м/с.

5. При увеличении высоты снимаемого слоя с 1,5 мм до 4,5 мм мощность увеличивается в 1,64 раза на нижнем уровне варьирования, в 1,13 раза на верхнем уровне варьирования.

6. Увеличение толщины стружки от 0,05 до 0,25 мм на нижнем уровне варьирования вызывает рост мощности от 302 до 604 Вт, а при дальнейшем росте толщины стружки до 0,45 мм – мощность уменьшается до 371 Вт. На верхнем

уровне варьирования при увеличении толщины стружки от 0,05 до 0,45 мм наблюдается рост мощности от 712 до 1619 Вт, а потом – незначительное ее падение порядка 0,5%.

Литература

1. Войтеховский, Б. В. Исследование стойкости фрезерного инструмента с наклонными резами при обработке кромок ДСтП / С. А. Гриневиц, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 225–229.

2. Лискив, В. Д. Исследование зависимостей силовых и качественных показателей процесса цилиндрического фрезерования древесины от положения лезвия относительно направления резания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / В. Д. Лискив; Львовский лесотехн. ин-т. – Львов, 1973. – 24 с.

3. Векшин, А. М. Исследование процесса цилиндрического фрезерования древесины тонкими винтовыми ножами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 421 / А. М. Векшин; Московский лесотехн. ин-т. – М., 1970. – 31 с.

4. Любченко, В. И. Резание древесины / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 292 с.