

ВЫЯВЛЕНИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ЭФФЕКТОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ИЗНОС СВЕРХТВЕРДЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ
ПЛИТ

Известно, что сверхтвердые материалы (СТМ) обладают исключительно высокой износостойкостью. Интенсивность износа (линейное укорочение) резцов из СТМ при обработке древесностружечных плит составляет 0,1 – 0,5 мкм на один километр пути резания [1]: для наработки износа небольшой величины необходимы весьма большие пути резания (до 250000 м). Это приводит к необходимости переработки больших объемов древесностружечной плиты, а также к большим затратам времени. Так, для наработки пути резания 200000 м при толщине стружки 0,2 мм требуется 0,9 м³ древесностружечной плиты. Время, которое необходимо для наработки такого пути, составит около 9 ч.

При изучении влияния на износ СТМ различных факторов требуется большое количество опытов, однако столь значительные расходы материалов и времени на один опыт вносят ограничения на число опытов, которые можно реализовать в лабораторных условиях. В производственных же условиях эксперимент всегда обладает низкой управляемостью. Поэтому, на наш взгляд, выход из положения даст уменьшение числа опытов за счет уменьшения числа изучаемых факторов, влияющих на износ. Для выявления существенных эффектов из большого числа эффектов, подозреваемых как существенные, были проведены специальные отсеивающие эксперименты с применением метода случайного баланса [2].

Для постановки опытов было принято 8 факторов, приведенных в табл. 1, которые варьировались на двух уровнях. В процессе эксперимента производилось измерение линейного укорочения резцов с помощью переоборудованного горизонтального оптиметра ИКГ, позволяющего производить измерения с высокой скоростью и точностью; цена деления шкалы прибора 1 мкм. Изнашивание резцов производилось на специально предназначенной для этого фрезерной установке, в которой за счет изменения технологической схемы обработки получена возможность значительного увеличения интенсивности наработки пути резания. Начальный радиус округления лезвия резца 10...15 мкм.

Т а б л и ц а 1. Факторы, принятые для постановки отсеивающих экспериментов

Условное обозначение факторов	Наименование факторов	Обозначение	Единицы измерения	Пределы варьирования	
				нижний уровень	верхний уровень
Z ₁	Толщина стружки	e	мм	0,025	0,2
Z ₂	Задний угол	α	град	5	20
Z ₃	Передний угол	γ	град	-20	10
Z ₄	Скорость резания	V	м/с	50	100
Z ₅	Микротвердость инструментального материала	H	ГПа	64	98
Z ₆	Расстояние дорожки резания от края плиты по высоте	a	мм	2	6
Z ₇	Длина дуги контакта (показатель периодизации процесса резания)	l	мм	30	90
Z ₈	Длина пути резания	L	м	40000	200000

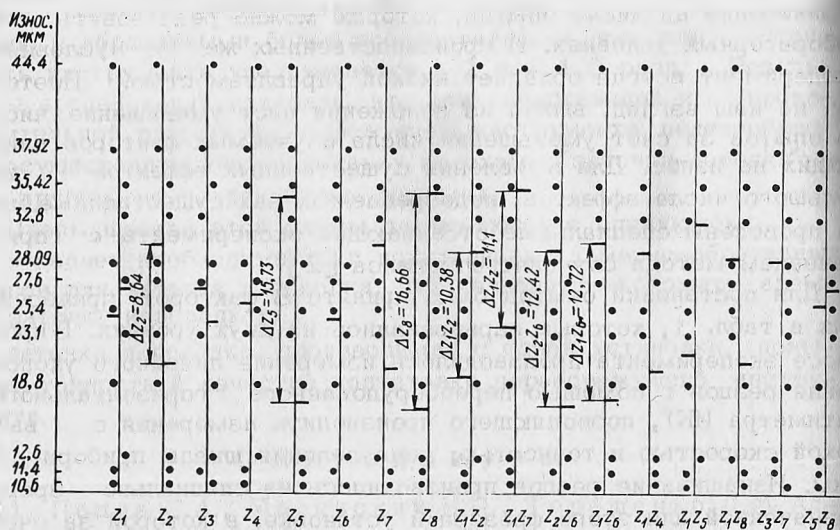


Рис. 1. Диаграмма рассеивания результатов наблюдений по уровням факторов.

В эксперименте использована матрица планирования, полученная на ЭВМ в результате случайного смешивания факторов 2^{5-1} , 2^{6-1} и случайного выбора столбцов (табл.2).

Для визуального выделения значимых реплик по результатам эксперимента построена диаграмма рассеивания (рис. 1).

В качестве критерия значимости при отборе значимых эффектов используем разность между средними значениями для каждого уровня, которая называется вкладом Δz фактора и число точек, выделившихся на каждом уровне фактора. Из рис. 1 видно, что факторы z_8 и z_5 имеют значительные вклады ($\Delta z_8 = 16,66$; $\Delta z_5 = 15,73$) и значительное число выделившихся точек (фактор z_8 - 10 точек, фактор z_5 - 8 точек). Следовательно, можно эти два фактора отнести к значимым и предположить, что z_8 - более существенный. Остальные факторы как по величине вкладов, так и по числу выделившихся точек на первом этапе исследований можно считать незначимыми.

Для количественной оценки выделенных факторов z_8 и z_5 воспользуемся табл. 3 с двумя входами.

По данным табл. 3 определены коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_8 = 6,42; \quad b_5 = -5,72; \quad b_{85} = 0,28.$$

Для проверки значимости полученных коэффициентов использован критерий Стьюдента:

$$t_i = \frac{2 \cdot b_i}{S_p}$$

где b_i - коэффициент уравнения регрессии; S_p - средняя квадратичная ошибка.

Расчетом получено

$$t_8 = 2,6; \quad t_5 = 2,32; \quad t_{85} = 0,21.$$

Вычисленные значения t_i сравниваем с табличными: для степени значимости $P = 0,1$ и числа степеней свободы $f = 12 - 4 = 8$;

$$t_{\text{табл.}} = 1,86; \quad t_8 > t_5 > t_{\text{табл.}}$$

Т а б л и ц а 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Номер фактора								Выход	Средняя	Квадратичное отклонение	Дисперсия
	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈				
									y	\bar{y}	$(\bar{y}-y)^2$	S ²
1	-	-	+	+	+	-	+	-	21,7	18,8	8,3	16,6
									15,9			
2	+	-	-	+	-	-	-	-	31,3	27,7	14,0	28,0
									23,9			
3	-	+	-	+	+	-	-	+	25,3	25,4	0,02	0,04
									25,5			
4	+	+	+	+	+	+	-	-	14,1	12,6	2,25	4,5
									11,1			
5	-	-	-	-	-	+	+	+	41,3	37,92	11,2	22,4
									34,6			
6	-	-	+	-	+	+	+	+	31,6	28,09	12,57	25,14
									24,5			
7	-	+	+	-	+	+	+	-	12,4	10,6	3,24	6,48
									8,8			
8	+	+	-	-	-	-	-	+	36,1	32,8	10,98	21,96
									29,5			
9	-	-	+	+	-	+	-	+	46,7	44,4	5,24	10,48
									42,1			
10	+	-	-	-	-	+	-	-	26,4	23,1	10,68	21,36
									19,8			
11	-	+	-	-	+	-	+	-	14,7	11,4	10,98	21,78
									8,1			
12	+	+	+	-	-	-	-	+	39,0	35,42	12,82	25,64
									31,84			

Следовательно, значимыми являются оба эффекта z_8 и z_5 , парное взаимодействие $z_8 \cdot z_5$ является незначимым. Далее были сняты эффекты значимых факторов для выявления более слабых эффектов. Для этого вычитались значения $2 \cdot b_i$ из всех значений y , для которых фактор z_i находится на уровне +1. Полученные результаты значений \bar{y}' приведены в табл. 2.

По F-критерию Фишера оценивается остаточная дисперсия после первого снятия. В случае, если F-критерий окажется меньше табличного, отсев необходимо прекратить. Данные для расчета критерия Фишера приведены в табл. 2. Получим следующие результаты:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_o^2} ;$$

Выход, 1-е сня- тие	Выход, 2-е сня- тие	Выход, расчет, 1-е сня- тие	Отклонение	Выход, расчет, 2-е сня- тие	Отклонение	Выход, расчет	
\bar{y}'	\bar{y}''	\hat{y}'	$(\bar{y}-\hat{y})'$	\hat{y}''	$(\bar{y}-\hat{y})''$	\hat{y}	$(\bar{y}-\hat{y})$
30,24	26,74	13,54	5,26	28,95	1,29	17,51	1,29
37,6	24,1	24,98	2,62	28,95	1,35	28,95	1,35
24,0	24,94	26,38	0,98	24,51	0,51	29,91	4,51
24,04	24,98	13,54	0,94	24,51	0,47	13,07	0,47
25,08	25,08	37,82	0,1	25,45	0,37	38,29	0,37
26,69	26,69	26,38	1,71	25,45	1,24	26,85	1,24
22,04	26,48	13,54	2,94	21,01	1,03	9,57	1,03
19,96	24,4	37,82	5,02	21,01	1,05	33,79	0,99
31,56	28,06	37,82	6,58	28,95	2,61	41,79	2,61
23,1	23,1	24,98	1,88	25,45	2,35	25,45	2,35
22,84	27,28	13,54	2,14	21,01	1,83	9,57	1,83
22,58	27,02	37,82	2,4	21,01	1,57	33,79	1,63

$$F_{\text{расч}} = \frac{28,96}{16,49} = 1,76,$$

где $S_{1 \text{ ост}}^2$ - остаточная дисперсия после первого снятия;
 S_0^2 - дисперсия воспроизводимости.

Для величин $f_1 = 9$ и $f_0 = 12$ при уровне значимости $P = 0,1$ $F_{\text{табл}} = 1,7$; $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$. Следовательно, от-
 сев необходимо продолжить. Всю обработку опытных данных
 повторяем, начиная с построения диаграммы рассеивания для
 откорректированных значений y . В результате построения ди-
 аграммы рассеивания для откорректированных значений y бы-
 ли взяты на подозрение как значимые факторы z_2 и z_4 , име-
 ющие наибольшие вклады ($\Delta z_2 = 4,8$ и $\Delta z_4 = 4,31$) и
 число выделившихся точек соответственно z_2 - 9 точек и
 z_4 - 8 точек.

Т а б л и ц а 3. Таблица с двумя входами для оценки эффектов факторов z_8 и z_5

z_8	z_5	$z_8 z_5$	y	\bar{y}	$\Sigma(\bar{y}-y)^2$	S^2
-	-	+	27,6; 23,1	25,35	10,1	10,1
+	-	-	37,92; 32,8; 44,4; 35,42	37,64	74,13	24,71
-	+	-	18,8; 12,6; 10,6; 11,4	13,35	41,63	13,88
+	+	+	25,4; 28,09	26,75	3,65	3,65

После построения для факторов z_2 и z_4 таблицы с двумя входами, аналогичной табл.3, была произведена количественная оценка этих факторов, т.е. определены коэффициенты уравнения регрессии: $b_2 = -2,22$; $b_4 = 1,75$; $b_{24} = -0,67$. Значимость полученных коэффициентов проверена с помощью критерия Стьюдента: $t_2 = 2,37$; $t_4 = 1,87$; $t_{24} = 0,72$.

Для степени значимости $P = 0,1$ и числа степеней свободы $f = 8$; $t_{\text{табл}} = 1,86$; $t_2 > t_4 > t_{\text{табл}}$.

Следовательно, значимыми являются оба эффекта z_2 и z_4 парное взаимодействие $z_2 \cdot z_4$ незначимо. Производим снятие эффектов z_2 и z_4 , т.е. вторую корректировку (табл. 2). По F -критерию Фишера оценивается остаточная дисперсия после второй корректировки. В результате расчетов получено

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{2\text{ост}}^2}{S_0} = \frac{5,77}{16,49} = 0,35.$$

Для чисел степеней свободы $f_1 = 9$, $f_0 = 12$, $P = 0,1$, $F_{\text{табл}} = 1,7$ больше расчетного. Значит, все существенные эффекты выделены, и процесс отсеивания необходимо прекратить.

Итак, выделенными оказались эффекты z_8 , z_5 , z_2 и z_4 . Теперь можно написать уравнение регрессии, приблизительно описывающее износ СТМ при обработке древесностружечных плит и затем оценить адекватность этого уравнения:

$$y = b_0 + b_8 z_8 + b_5 z_5 + b_2 z_2 + b_4 z_4. \quad (1)$$

Коэффициент b_0 определяется как среднее арифметическое результатов опытов y (табл. 2)

$$b_0 = \frac{18,8 + 27,6 + \dots + 35,42}{12} = 25,68.$$

Значения коэффициентов b_8 , b_5 , b_2 и b_4 определены выше. Подставив числовые значения в уравнение (1), получим

$$y = 25,68 + 6,42 z_8 - 5,72 z_5 - 2,22 z_2 + 1,75 z_4. \quad (2)$$

Проверка адекватности уравнения (2) сводится к проверке соотношения $F_{\text{расч}}$ и $F_{\text{табл}}$.

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ост}}}{2} = \frac{13,2}{16,49} = 0,8.$$

Для чисел степеней свободы $f_1 = 7$, $f_0 = 12$, $F_{\text{табл}} = 2,1$; $F_{\text{расч}}$ меньше $F_{\text{табл}}$, следовательно, уравнение значимо.

Итак, из восьми подозреваемых факторов удалось выделить 4, влияние которых существенно, все остальные при их изменении в пределах, указанных в табл. 1, могут быть признаны незначимыми и отнесены к шумовому полю. Выделенными факторами являются: путь резания, микротвердость инструментального материала, задний угол, скорость резания.

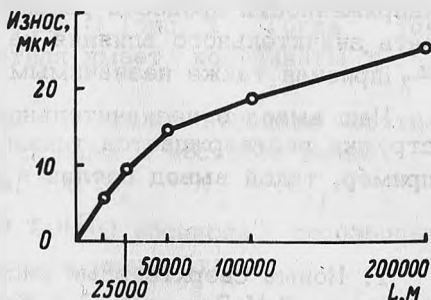


Рис. 2. Характер влияния пути резания на износ СТМ:
 $e = 0,025 \text{ мм}$; $\alpha = 20^\circ$; $\gamma = -20^\circ$;
 $V_{\text{рез}} = 100 \text{ м/с}$; эльбор Р (H_μ) =
 $= 80 \text{ ГПа}$.

Характер влияния пути резания на износ иллюстрируется кривыми, приведенными на рис. 2. Кривая износа имеет весьма типичный вид и состоит из двух участков: участка усиленного приработочного износа и участка монотонного износа. В

отсеивающем эксперименте во внимание принимался лишь участок монотонного износа.

Из факторов, проверенных на существенность их влияния на износ и отнесенных к шумовому полю, следует обратить внимание на передний угол. Фактор признан незначимым для случая нормального монотонного износа. Однако для СТМ характерна специфическая особенность — высокая хрупкость и поэтому склонность к такому виду износа как выкрашивания и сколы. В этом случае (а это будет часто иметь место в производственных условиях) передний угол необходимо рассматривать как значимый фактор и стремиться к его уменьшению, поскольку при этом будет увеличиваться угол заострения, а значит, увеличится механическая прочность, уменьшатся выкрашивания и сколы. Коэффициент уравнения регрессии при факторе $z_2(\alpha)$ имеет отрицательное значение, а это значит, что для уменьшения износа необходимо будет увеличивать задний угол, что в свою очередь приведет к уменьшению угла заострения и появлению сколов и выкрашиваний. Поэтому для сохранения прочности лезвия при увеличении заднего угла необходимо уменьшать передний угол.

Фактором z_6 учтена плотность обрабатываемого материала, изменяющаяся по высоте плиты. Поскольку пределы изменения этого фактора в нашем случае малы, то влияние этого фактора признано незначительным.

Фактор z_7 (длина дуги контакта) является показателем периодизации процесса резания. Он учитывает растянутость во времени процесса износа. Этот фактор определяет теплонапряженность процесса резания. Поскольку СТМ имеют высокую теплопроводность и весьма высокую теплостойкость, то теплонапряженность процесса резания, по-видимому, не может оказать значительного влияния на их износ, поэтому фактор z_7 признан также незначимым.

Наш вывод о незначительности влияния на износ толщины стружки подтверждается также работами других авторов. Например, такой вывод сделан в работе [3].

Л и т е р а т у р а

1. Новые сверхтвердые инструментальные материалы / А.В. Моисеев, Л.М. Двоскин, С.А. Жабков и др. — Деревообрабатывающая промышленность, 1978, №8.
2. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов деревообработки. — М., 1972.
3. Цуканов Ю.А., Амалицкий В.В. Обработка резанием древесно-стружечных плит. — М., 1966.