

В.А. Марунич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЕНОПОЛИУРИТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Известные принципы повышения качества поверхностного слоя при лезвийной обработке материалов [1,2] эффективны для чугунов, сталей и их сплавов. Применение для обработки вязкоупругих теплоизоляционных пенополиуритановых (ППУ) материалов традиционных условий резания приводит к отрыву срезаемого слоя по направлениям разрыва молекулярных связей на определенной стадии упругонапряженного состояния.

Обработанный поверхностный слой, при этом, характеризуется неупорядоченными (хаотическими) вырывами и сколами по кромкам, определяющими весьма низкие показатели качества. Соответственно, получаются низкими показатели точности размеров обработанных поверхностей.

Постановка проблемы

Разработанные новые способы обработки [3,4] упомянутых материалов требуют экспериментальных исследований для определения рациональных геометрических параметров режущей части инструментов и режима резания. В этой связи основной задачей экспериментальной обработки являлось определение такого сочетания геометрических параметров инструмента и режима резания, которое обеспечило бы высокую производительность труда и при этом на обработанной поверхности не должно быть вырывов и сколов по кромкам.

Проведение исследований

На этапе предварительного изучения технологического процесса скользящего торцового фрезерования ППУ необходимо было сократить число исследуемых факторов, что позволило, с одной стороны, исключить из рассмотрения наименее важные факторы, а с

другой, - сократить сроки и средства на выполнение экспериментальной отработки.

В связи с тем, что вопрос о возникновении вырывов и сколов по кромкам при фрезеровании ППУ практически не изучен, а их образование зависит от целого ряда факторов, то в целях формализации априорной информации о существенности влияния того или иного фактора на параметр оптимизации специалистам и производителям по обработке ППУ были розданы анкеты (табл.1).

В анкете факторы расположены в случайном порядке (X_1, X_2, \dots, X_{14} - кодовые обозначения факторов). Даны также размерности и область варьирования. При этом, прежде всего, экспертам было предложено уточнить состав факторов и интервал их изменения.

С целью введения количественной меры экспертам было предложено расположить факторы в порядке убывания их воздействия на образование дефектов. Когда специалист не мог указать порядок следования для двух или нескольких рядом стоящих факторов, то им приписывался один и тот же номер, а при вычислении вводились связанные дробные ранги.

Матрица рангов, полученная из анкет, была преобразована так, чтобы сумма рангов в каждой строке равнялась $(K + 1) K/2$, где K - число ранжируемых факторов. Преобразованная матрица приведена в таблице 2. Цифры, стоящие в клетках таблицы, соответствуют месту, отведенному данному фактору в ранжировочном ряду. Фактор, сумма рангов которого меньше, занимает более высокое место в среднем ранжировочном ряду. Поэтому по числу, стоящему в строке "сумма рангов", можно судить о порядке убывания важности факторов.

Степень согласованности мнений специалистов оценивалась с помощью коэффициента конкордации, вычисленного для случая связанных рангов по формуле

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(K^3 - K) - \sum_i T_i} = \frac{65308,25}{82127,5 - 275,5} = 0,798,$$

где $T_i = \frac{1}{12} \sum_j (t_j^3 - t_j)$; $t_j - j - l$ - число одинаковых рангов в i -ом

ранжировании;

K - число факторов, включенных в анкету;

S - сумма квадратов отклонений.

Сумму квадратов отклонений определили из выражения

$$S = \sum_{i=1}^m \Delta_i^2,$$

где $\Delta_i = \sum_{j=1}^K a_{ij} - T$; m - число опрашиваемых экспертов;

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^K a_{ij}}{K} = \frac{1985,5}{14} = 141,82.$$

Таблица 1

Анкета исследуемых факторов

Фактор	Определение	Интервал изменения
X ₁	Угол наклона кромки, λ , град	70...85
X ₂	Скорость главного движения резания, v , м/с	0,5...8
X ₃	Передний угол, γ , град	40... 80
X ₄	Задний угол, α , град	0...40
X ₅	Скорость движения подачи, v_s , мм/мин	80..1000
X ₆	Угол заострения, β , град	7...13
X ₇	Радиус округления режущей кромки, ρ , мкм	6...10
X ₈	Глубина резания, t , мм	1 ... 3
X ₉	Температура резания, θ , °С	40...80
X ₁₀	Микроструктура и химический состав материала лезвия инструмента	9ХС по ГОСТ 5950-73
X ₁₁	Твердость ножа, НРСэ	59 ... 63
X ₁₂	Микроструктура, ячеистая структура и химический состав обрабатываемого материала	Рипор-2Н ЗЗУ.0354.006
X ₁₃	Шероховатость передней поверхности лезвия, Ra , мкм	0,4 ... 1,25
X ₁₄	Шероховатость задней поверхности лезвия, Ra , мкм	0,4...1,25

Таблица 2

Преобразованная матрица рангов

Опрашиваемый эксперт	Исследуемые факторы														$\sum (t_j^3 - t_j)$
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	
1	2	3	1	4	6	5	9,5	7,5	11	13	7,5	14	12	9,5	6+6
2	1	3	2	4,5	4,5	10	12	6,5	8,5	6,5	14	13	8,5	11	6+6+6
3	1	2	3	5	4	8	13	6	10	7	9	11	12	14	0
4	1	4	2	5	3	6	8	7	10	11	9	13	12	14	0
5	2	5	1	6	3	4	7	10	8	11	9	12	14	13	0
6	1	3	2	6	4	5	7,5	7,5	9	12	11	10	13	14	6
7	1	2	3	5	4	6	8	7	9,5	11	9,5	12	14	13	6
8	1,5	3	1,5	6	5	4	7	9	8	12	10	11	13	14	6
9	1,5	3	1,5	5,5	4	5,5	8	7	9,5	11	13	12	14	9,5	6+6+6

10	2	5	1	4	3	14	6	8	7	10	13	9	11	12	0
11	1	3	2	5	4	7	14	6	8	11	9	10	12	13	0
12	1	4	2	5	3	6,5	6,5	14	12	8	11	13	9	10	6
13	1,5	3	1,5	6	4	5	7	8,5	11	10	13	14	12	8,5	6+6
14	1	4	3	5	2	7	6	12	9	11	10	8	13,5	13,5	6
15	1	4,5	2	4,5	3	6,5	10,5	8,5	12,5	6,5	14	6,5	12,5	10,5	6+6+6+ +6+6
16	1,5	3	1,5	5	4	7,5	10	9	11	7,5	12	13,5	13,5	6	6+6+6
17	1,5	3,5	1,5	5	3,5	6,5	6,5	9,5	12	9,5	11	14	13	8	6+6+6+ +6
18	1	3	2	5	4	7,5	9,5	11	6	12	13	7,5	9,5	14	6+6
19	1	4	3	2	5	7	6	14	10	12	8	11	13	9	0
Сумма рангов, $\sum_{i=1}^m a_{ij}$	24,5	65	36,5	93,5	73,5	128	162,0	168,0	182	192	196	216,5	231,5	216,5	
Отклонение от средней суммы рангов, Δ_i	-117,32	-76,82	-105,32	-48,32	-68,32	-13,82	20,18	26,18	40,18	50,18	54,18	74,68	89,68	74,68	
Квадраты отклонений, Δ_i^2	13763,98	5901,31	11092,3	2334,82	4667,6	190,99	407,23	685,39	1614,43	2518,03	2935,47	5577,10	8042,5	5577,10	

Значимость этого коэффициента оценивалась по χ^2 - критерию с помощью формулы

$$\chi^2 = m(k-1) \cdot W = 19(14-1) \cdot 0,798 = 197,106$$

для 5% -ного уровня значимости и числа степеней свободы $f = K-1$.

Для 1% -ного уровня значимости при числе степеней свободы $f = 13$

$$\chi_{табл}^2 = 27,7, \text{ то есть } \chi_{табл}^2 \leq \chi^2.$$

Таким образом, с вероятностью более 99 % можно утверждать, что существует определенная согласованность мнений специалистов относительно степени влияния исследуемых факторов, оцениваемая коэффициентом конкордации $W = 0,798$.

Получение значимого коэффициента конкордации дало возможность построить среднюю априорную диаграмму рангов для исследуемых факторов (рис.1), которая достоверно показывает неравномерность распределения значимости факторов, а также экспоненциальное убывание их значимости.

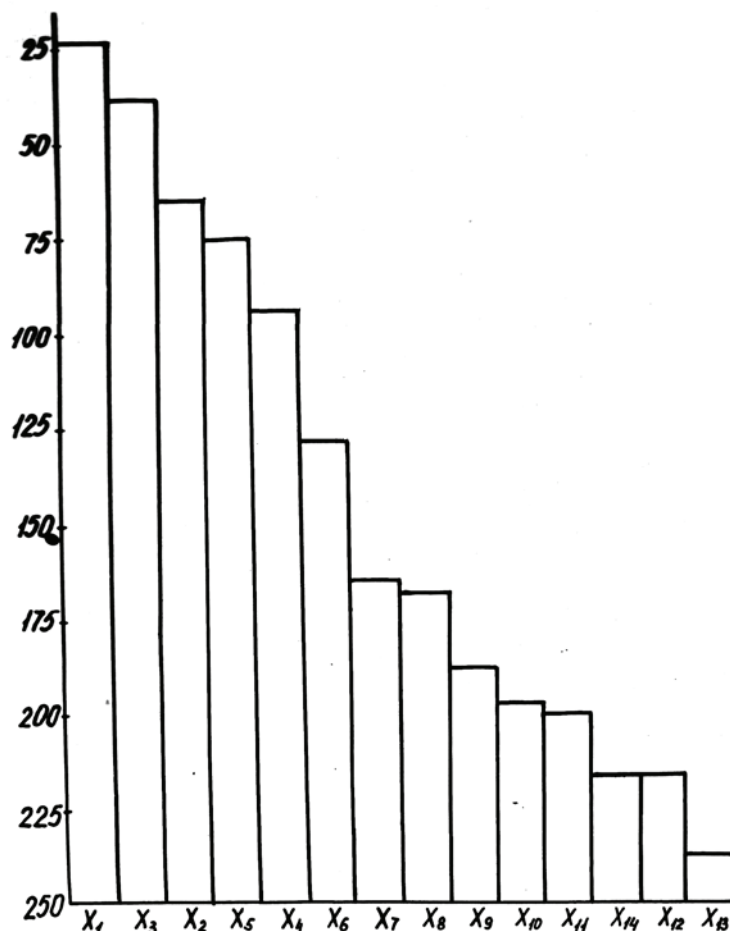


Рисунок 1- Средняя априорная диаграмма рангов

На основании диаграммы рангов выделили наиболее существенные факторы; X_1 - угол наклона кромки λ ; X_2 - скорость главного движения резания v ; X_3 - передний угол γ ; X_5 - скорость движения подачи v_s .

Фактор X_4 отсеяли, так как задний угол α при постоянном значении угла заострения β становится зависимым от переднего угла γ . По результатам предварительных опытов отсеяли фактор X_9 (температура резания близка к окружающей среде).

Остальные факторы, в данном эксперименте, приняли, с учетом априорной информации, по среднему значению в интервале изменения и сохраняли постоянными при проведении всех опытов.

Наименование факторов, их обозначение, размерность, уровни варьирования, а также новые кодовые обозначения, перегруппированные в соответствии с результатами априорного ранжирования, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты априорного ранжирования

Независимая переменная	Кодированное обозначение	Нулевой уровень	Уровень варьирования	
			Нижний (-)	Верхний (+)
Угол наклона кромки, λ , град	X ₁	75	65	85
Передний угол, γ , град	X ₂	68	61	75
Скорость главного движения резания, v , м/с	X ₃	2,6	1,0	4,2
Скорость движения подачи, v , мм/мин	X ₄	200	100	315

Исследование проводилось в соответствии с планом эксперимента, приведенным в таблице 4, где количество опытов N определяли по формуле

$$N = 2^K, \text{ при варьировании факторов на двух уровнях.}$$

Сочетание факторов, удовлетворяющее требованию к качеству обработанной поверхности образца, получено в четвертой и двенадцатой сериях опытов.

Таблица 4

Рабочая матрица планирования эксперимента

Номер серии опытов	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Параллельные опыты	
					Y ₁	Y ₂
1	-	-	+	-	5	5
2	+	-	+	-	2	2
3	-	+	+	-	4	4
4	+	+	+	-	1	1
5	-	-	-	-	6	6
6	+	-	-	-	5	5
7	-	+	-	-	6	6
8	+	+	-	-	2	2
9	-	-	+	+	5	5
10	+	-	+	+	3	3
11	-	+	+	+	4	4
12	+	+	+	+	1	1
13	-	-	-	+	6	6
14	+	-	-	+	5	5
15	-	+	-	+	6	6
16	+	+	-	+	2	2

Учитывая, что в двенадцатой серии опытов, параметры режима резания обеспечивают большую производительность, то это сочетание факторов является рациональным. При этом подача на зуб составила $S_z = 0,4$ мм.

Для установления рациональных зон угловых параметров инструментов для торцового скользящего фрезерования проведены опыты при значениях факторов, соответствующих нулевому уровню. При этом подача на зуб оставалась неизменной ($S_z = 0,4$ мм). На обработанной поверхности образца полностью отсутствовали вырывы и сколы по кромкам.

Таким образом, рациональные зоны угловых параметров торцовых фрез соответствуют следующим значениям:

- угол наклона кромки, $\lambda - 75^\circ \dots 85^\circ$;
- передний угол, $\gamma - 66^\circ \dots 75^\circ$;
- задний угол, $\alpha - 5^\circ \dots 12^\circ$.

Что касается рациональных зон параметров режима резания, то нижним пределом, при необходимости, можно считать следующие значения:

- скорость главного движения резания $v = 2,6$ м/с;
- скорость движения подачи $v_s = 200$ мм/мин.

Отработка верхнего предела рациональной зоны для скорости главного движения резания, при подаче на зуб ($S_z=0,4$ мм), осуществлялась в производственных условиях.

В результате отработки был установлен верхний предел рациональной зоны для скорости главного движения резания $v=20$ м/с. Дальнейшее увеличение скорости главного движения резания приводит к интенсивному повышению концентрации мелкодисперсной пожаровзрывоопасной пыли ППУ в зоне резания.

В этой связи, следует поставить вопрос об изучении влияния дальнейшего повышения скорости главного движения резания, на образование мелкодисперсной пыли при скользящем фрезеровании, с учетом требований по допустимой ее концентрации, исключающей пожаровзрывоопасность.

Выводы

В результате многократного экспериментального исследования определены параметры торцовых инструментов, обеспечивающие требования к качеству поверхностного слоя и наивысшую производительность.

К таким параметрам относятся:

угол наклона кромки $\lambda = 80^\circ$;

передний угол $\gamma = 75^\circ$;

задний угол $\alpha = 5^\circ$;

скорость главного движения резания $v = 20$ м/с;

подача на зуб $S_z = 0,4$ мм.

Дополнительные экспериментальные исследования позволили определить зоны рациональных значений исследуемых параметров, обеспечивающие выполнения основного критерия – отсутствия вырывов и сколов поверхностного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов А.Т. Качество поверхностного слоя деталей машины. М.: Машиностроение, 2000.- 320 с.
2. Технологические основы обеспечения качества машины/ К.С. Колесников, Т.Ф. Баландин, А.Н. Дальский и др.: Под общ. ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990.- 256 с.
3. Марунич В.А. Способ обработки материалов резанием.- Патент России № 2031790.27.03.1995.- Бюл. № 9.
4. Марунич В.О. Способ обробки матеріалів різанням.- Патент України № 19905. 15.01.2007.- Бюл. № 1.

Получено 22.08.2007 г.