

М. В. КАСЬЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН, Г. А. АРУТЮНЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Оптимизация параметров режимного поля с позиций только стойкости инструмента и производительности сегодня уже не удовлетворяет требованиям практики. Необходима методика такой оптимизации процессов резания, чтобы эффективными были все показатели как стойкостные, так и качественные и, в первую очередь, показатели качества поверхности. Многочисленные экспериментальные данные говорят о том, что имеются все основания для создания математической модели всего процесса резания, т. е. оптимизируемым объектом могут быть: стойкость, усилие резания, температура на поверхности контакта, степень упрочнения, глубина его распространения, степень деформации срезаемого слоя и т. д. Таким образом, математическая оптимизация параметров режимного поля сводится к определению экстремальных значений функциональной зависимости исследуемого объекта от главных параметров поля v , s и t , при осуществлении которых исследуемый объект получает свое минимальное или максимальное значения.

Процесс резания экспериментально изучен всесторонне и достаточно глубоко, а в последнее время с широким использованием методов планирования экспериментов, позволивших интересующую математическую модель функциональных зависимостей исследуемых объектов от v , s и t представить в виде:

$$R_i = c_i v^{a_1} s^{a_2} t^{a_3}, \quad (1)$$

где R_i — объект исследования.

Поскольку оптимальные варианты параметров v , s , t в основном изыскиваются при минимальных значениях исследуемого объекта, то условия минимума для функции $R_i = f(v, s, t)$ являются:

$$\begin{aligned} \text{а) } \frac{\partial^2 R_i(v_0, s_0, t_0)}{\partial v^2} \cdot \frac{\partial^2 R_i(v_0, s_0, t_0)}{\partial s^2} \cdot \frac{\partial^2 R_i(v_0, s_0, t_0)}{\partial t^2} - \\ - \frac{\partial^2 R_i(v_0, s_0, t_0)}{\partial v \cdot \partial s \cdot \partial t} > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{б) } \frac{\partial^2 R_i(v_0, s_0, t_0)}{\partial v^2} > 0 \quad (3)$$

Для отыскания параметров v , s , t , при условии минимального значения исследуемого объекта, принимается метод выравнивания,

что означает преобразование эмпирической формулы $R_1 = f(v, s, t)$ в виде:

$K_1 = a_1 v_1 + a_2 s_1 + a_3 t_1$, путем подходящей замены переменных после логарифмирования ($v_1 = \ln v$, $s_1 = \ln s$, $t_1 = \ln t$, $K_1 = \ln R_1 - \ln c_1$).

Так же, как и в работе [3], линейный оператор K_1 превращается в ряды с неопределенными коэффициентами в следующей последовательности:

$$\begin{aligned} R_v &= C_0 + b'_1 v + a'_1 v^2 + d'_1 v^3 \dots + K'_1 v^n \\ R_s &= C_1 + b''_1 s + a''_1 s^2 + d''_1 s^3 \dots + K''_1 s^n \\ R_t &= C_2 + b'''_1 t + a'''_1 t^2 + d'''_1 t^3 \dots + K'''_1 t^n. \end{aligned} \quad (4)$$

Для первого приближения можно ограничиться первыми членами уравнения (4) и по известным формулам отыскания параметров квадратичной функции определить коэффициенты $C_0, C_1, C_2, b'_1, b''_1, b'''_1, a'_1, a''_1, a'''_1$.

По [4] предполагаются следующие формулы для варианта подсчета коэффициентов.

а. Когда для диапазона изменения параметров v, s, t выбраны нечетные точки, т. е. $N = 2M - 1$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{5H_2 H_1} \left[3 \sum_{k=1}^N y_k (k-M)^2 - \frac{N^2-1}{4} \sum_{k=1}^N y_k \right] \\ b_1 &= \frac{1}{3H_1} \sum_{k=1}^N y_k (k-M) \\ c &= \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N y_k - \frac{H_1}{N} a_1, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$H_1 = \frac{N(N^2-1)}{12}$$

$$H_2 = \frac{N(N^2-1)(N^2-4)}{180}.$$

б. Когда для диапазона изменения параметров v, s, t выбраны четные точки, т. е. $N = 2M$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{12H_2} \left[3 \sum_{k=1}^N y_k (2k-N-1)^2 - (N^2-1) \sum_{k=1}^N y_k \right] \\ b_1 &= \frac{1}{2H_1} \sum_{k=1}^N y_k (2k-N-1) \\ c &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k - \frac{H_1}{N} a_1 \end{aligned} \quad (6)$$

Ниже, в табл. 1, приводятся точки для параметров v , s , t , т. е. возможные диапазоны исследования параметров режимов резания на токарно-винторезном станке модели 1К62.

Согласно табл. 1, подсчеты коэффициентов производятся по уравнениям (5), так как $N = 7$.

При подсчете коэффициентов основной задачей является определение значения y_k . Предлагается следующая связь между y_k и параметрами режимов резания:

1. При определении коэффициентов c_0 , b_1' , a_1'

$$y_k = \sum_{v=1}^7 c_v v^{a_1}. \quad (7)$$

2. При определении коэффициентов c_1 , b_1'' , a_1''

$$y_k = \sum_{s=1}^7 c_s s^{a_2}. \quad (8)$$

3. При определении коэффициентов c_2 , b_1''' , a_1'''

$$y_k = \sum_{t=1}^7 c_t t^{a_3}. \quad (9)$$

Значения c_v , c_s , c_t приводятся в табл. 2.

Определяя значения всех коэффициентов по уравнениям (5), (7),

Таблица 1

Режимы резания	1	2	3	4	5	6	7	Примечание
Скорость резания V , м/мин	10	50	80	120	160	180	220	$N=7$ $M=4$
Подача S , мм/об	0,07	0,15	0,21	0,3	0,39	0,47	0,51	
Глубина резания t , мм	0,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	

(8), (9) и подставляя в (4), получаем систему уравнений, где линейные операторы v_1 , s_1 , t_1 превращены в ряды с уже определенными коэффициентами, имеющими следующий вид:

$$\begin{aligned} P_v &= C_0 + b_1' v + a_1' v^2 \\ P_s &= C_1 + b_1'' s + a_1'' s^2 \\ P_t &= C_2 + b_1''' t + a_1''' t^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Экстремумы уравнений (10) определяются согласно (2) и (3). После дифференцирования 2 раза получаем оптимальные значения режимов s , v , t .

Ниже приводится пример расчета и определения оптимальных значений v , s , t , при которых исследуемый объект (в данном случае сила резания) получает минимальное значение.

$R_1 = c_1 v^{a_1} s^{a_2} t^{a_3}$	c_v	c_s	c_t
1. Силы резания	$c_1 a_3 \cdot a_2$	$\frac{c_1 a_3}{10 a_1}$	$\frac{c_1 a_2}{40 \cdot a_1}$
2. Шероховатость поверхности	$c_1 a_3 \cdot a_2$	$\frac{c_1 a_3}{5 \cdot a_1}$	$\frac{c_1 \cdot a_2}{20 \cdot a_1}$
3. Стойкость инструмента	$\frac{c_1}{4 a_2 \cdot a_3}$	$\frac{c_1}{40 \cdot a_1 \cdot a_3}$	$\frac{c_1}{10 a_1 \cdot a_2}$
4. Температура резания в mv	$25 c_1 a_2 \cdot a_3$	$100 c_1 a_1 \cdot a_3$	$40 c_1 \cdot a_1 \cdot a_2$
5. Глубина наклепа	$80 c_1 a_2 \cdot a_3$	$\frac{c_1 a_3}{6 \cdot a_1}$	$\frac{c_1 \cdot a_2}{20 \cdot a_1}$
6. Микротвердость поверхности	$700 c_1 a_2 \cdot a_3$	$\frac{2}{3} c_1 \frac{a_3}{a_1}$	$\frac{2 c_1 a_2}{7 a_1}$
7. Усадка стружки	$3 c_1 \frac{a_3}{a_2}$	$12 c_1 \frac{a_3}{a_1}$	$\frac{c_1}{500 a_1 \cdot a_2}$

Экспериментами, проведенными методом факторного планирования экспериментов, при точении неперетачиваемыми резцами конструкции ВНИИИ, установлена связь между силой P_z и параметрами режимов резания:

$$P_z = \frac{366 s^{2.7} t^{0.8}}{v^{0.07}}.$$

Здесь $c_1 = 366$, $a_1 = 0,07$, $a_2 = 0,7$, $a_3 = 0,8$.

По уравнениям (7), (8), (9) определяем значение y_k , заранее по табл. 2 подсчитываются $c_v = 205$, $c_s = 413,6$, $c_t = 91,5$.

Ниже приводится расчет y_k только для параметра v . Для остальных параметров расчеты аналогичны

$$y_k = \sum_{k=1}^7 \frac{205}{v^{0.07}} = 1071$$

$$y_k = \sum_{k=1}^7 413,6 s^{0.7} = 1208$$

$$y_k = \sum_{k=1}^7 91,5 t^{0.8} = 1272.$$

Данные расчетов приведены в табл. 3.

Подставляя значение y_k в (5), получаем следующие уравнения:

$$P_v = 183 - 1,6 v + 0,006 v^2$$

$$P_s = 172,5 + 0,012 s - 0,015 s^2 \quad (11)$$

$$P_t = 141 + 0,088 t - 0,022 t^2.$$

Таблица 3

N = 7, M = 4

k	$P_z(y_k)$	k-M=1	$1 \cdot P_z^1(y_k)$	$1^2 P_z^2(y_k)$	Примечание
1	175	-3	-525	1575	
2	158	-2	-316	632	
3	155	-1	-155	155	
4	150	0	0	0	
5	148	+1	148	148	
6	144	+2	288	576	
7	141	+3	423	1269	
Сумма	1071		-137	4355	

Дифференцируя 2 раза уравнения (11), получаем оптимальные значения v , s , t , при которых составляющая силы резания P_z получает свое минимальное значение:

$$v = 133 \text{ м/мин}, \quad s = 0,4 \text{ мм/об}, \quad t = 2 \text{ мм}.$$

Полученные расчетные оптимальные значения режимов v , s , t , проверялись экспериментальным способом.

Проведенные эксперименты показали, что в действительности при примерно таких сочетаниях режимов резания составляющие силы резания минимальные.

Подробные расчеты можно провести с целью установления оптимальных режимов резания для любого исследуемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Касьян, Г. С. Минасян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян. О некоторых закономерностях при применении безвершинного резца БРМ-1. Физика резания металлов. Вып. 2, 1973.
2. Г. А. Арутюнян, Г. Б. Багдасарян. К вопросу об изучении показателей упрочнения статистическим методом планирования экспериментов. Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов. Вып. 3, 1973.
3. М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян. Математический метод определения оптимальной геометрии резца. «Изв. АН Арм. ССР», серия тех. наук, 1975, № 2.
4. Л. З. Румишинский. Математическая обработка результатов эксперимента. «Наука», 1971.