

МАШИНОСТРОЕНИЕ

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

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В отдельные периоды, в зависимости от этапа развития машиностроения, к геометрии режущего инструмента предъявляются несколько отличающиеся друг от друга требования. Если на заре развития машиностроения, из-за высокой стоимости энергии, основное требование к геометрическим параметрам инструмента сводилось к получению минимальных значений усилий, то в дальнейшем оно сводилось к тому, чтобы геометрия инструмента обеспечивала бы оптимальную стойкость. Это—результат тех изменений, которые происходили в стоимости станкоочаса работы. До начала нашего столетия в ней значительную долю составляла стоимость энергии для привода станка, тогда как в наше время основными статьями стоимости станкоочаса являются зарплата исполнителя и стоимость самого режущего инструмента.

Поиск определения оптимальных значений параметров геометрии инструмента обычно осуществляются экспериментальным путем, устанавливая характер влияния каждого из параметров на величину усилия или стойкости с последующим объединением этих отдельных зависимостей в обобщенном уравнении. Не говоря о том, что такой подход не диалектичен, он характерен еще и тем, что при этом расходуется большое количество металла в течение продолжительного времени.

В последнее время математические методы оптимизации прочно вошли в практику решения производственных задач. В этой связи в статье предлагается новый метод определения оптимальных геометрических параметров реза, используя математическую модель зависимости силы резания от элементов геометрии в обычном виде:

$$P_z = C_z \gamma^{a_1} \varphi^{a_2} \alpha^{a_3} R^{a_4},$$

где C_z —свойства обрабатываемого металла; γ —передний угол; φ —главный угол в плане; α —задний угол; R —радиус закругления вершины реза.

Эту показательную функцию разлагаем в степенной ряд с неопределенными коэффициентами. В дальнейшем задача сводится к решению уравнения

$$P = f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + \dots \quad (1)$$

Здесь под x подразумевается один из параметров геометрии, а P —любая составляющая усилия резания.

Определение оптимумов ведется в следующей последовательности. На основе принципа планирования эксперимента типа 2^4 проведены эксперименты при переменных значениях геометрических параметров реза, но при постоянных элементах режимного поля. Обработывалась

стальная планка на поперечно-строгальном станке ($v = 8$ м/мин, $s = 0,5$ мм/дв. ход, $l = 1$ мм). Чтобы осуществить экспериментальное исследование при принятых условиях, необходимо было оценить геометрические параметры на двух уровнях [1]. Одной из возможных схем смешивания может быть та, при которой смешиваются взаимодействия параметров γ , φ , α и R , т. е.

$$L = x_1 + x_2 + x_3 + x_4. \quad (2)$$

Такое смешивание характерно тем, что образуются два блока:

блок I — (11, $\gamma\varphi$, φR , γR , $\gamma\varphi R$, $R\alpha$, $\gamma\alpha$, $\varphi\alpha$, $L = 0$;

блок II — γ , φ , $\gamma\varphi R$, $\varphi R\alpha$, $\gamma R\alpha$, α , $\gamma\varphi\alpha$, R , $L = 1$.

Реализуя лишь один из них ($L = 1$), можно получить 8 условий экспериментов, в которых участвуют все геометрические параметры. Уровни этих параметров выбираются, конечно, исходя из пределов исследования. Значения уровней параметров определяются выражением:

$$X_i = \frac{2(\ln T_i - \ln T_{\max})}{\ln T_{\max} - \ln T_{\min}} - 1, \quad (3)$$

где X_i — коэффициент полинома; T_i — среднее значение параметра; $T_{\max}$, $T_{\min}$ — максимальное и минимальное значения параметра.

Последовательно определяя по (3) значения T_i для всех геометрических параметров (произвольно выбирая диапазон их изменения), можно составить план проведения экспериментов, приведенный в табл. 1. По этому плану проводились эксперименты, причем каждый повторялся дважды. В этой же таблице представлены средние значения силы резания от двух наблюдений каждого эксперимента.

Таблица 1

γ_1	φ_1	α_1	R , мм	P_z , кг	P_y , кг	P_x , кг
100	30	85	0,1	116	54	27
80	90	85	0,1	75	25	16
100	90	85	0,5	136	41	22
80	30	85	0,5	240	80	40
80	90	80	0,5	131	10	21
100	30	80	0,5	256	85	45
80	30	80	0,1	140	51	26
100	90	80	0,1	147	53	27

Примечание. $\gamma_1 = 90^\circ - \gamma$; $\varphi_1 = 90^\circ - \varphi$; $\alpha_1 = 90^\circ - \alpha$.

По данным табл. 1 форма связи ищется в следующем виде:

$$P_z = C_z \gamma_1^{\alpha_1} \varphi_1^{\beta_1} \alpha_1^{\gamma_1} R^{\delta_1};$$

$$P_y = C_y \gamma_1^{\alpha_2} \varphi_1^{\beta_2} \alpha_1^{\gamma_2} R^{\delta_2};$$

$$P_x = C_x \gamma_1^{0,21} \gamma_2^{0,21} R^{0,21} \quad (4)$$

Применяя условия Гаусса, можно получить все неизвестные коэффициенты и степени, которые дают возможность представить уравнения (4) в окончательном виде:

$$\begin{aligned} P_z &= \frac{1013 \gamma_1^{0,21} R^{0,67}}{\gamma_1^{0,58} \gamma_2^{0,063}}, \\ P_y &= \frac{539 \gamma_1^{0,15} R^{0,31}}{\gamma_1^{0,31} \gamma_2^{0,015}}, \\ P_x &= \frac{201 \gamma_1^{0,09}}{\gamma_1^{0,22} \gamma_2^{0,009} R^{0,7}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Чтобы убедиться в достоверности формул (5), произведена проверка гипотезы влияния геометрических параметров резца на силы резания методом дисперсионного анализа (метод Петса). Анализ проведен только для силы P_z (табл. 2), предварительно закодирова и вычитывая 160 из каждого показания (при этом F -статистика не меняется).

Таблица 2

Варианты испытания	Отклики	Формы откликов				Сумма квадратов $SS =$ (контраст) ² $\frac{2n \cdot r}{r}$
		(1)	(2)	(3)	(4) контраст	
γ	-14	-99	-43	-9	156	760
γ	-85	56	34	165	112	391
γR	-24	67	33	55	175	955
R	80	-33	132	57	-548	9400
γR^2	-29	-71	155	77	174	950
γR^2	96	104	100	98	2	0,125
α	-20	125	175	-255	21	14
$\gamma \alpha$	-13	7	-118	-293	-38	45
Итого						12515,125

В табл. 3 представлены результаты дисперсионного анализа факторного эксперимента 2^4 с разбиением на 2 блока.

Таблица 3

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
γ	1	760	760
γ	1	391	391
R	1	9400	9400
α	1	14	14
Межблочный эффект (γR , $\gamma \alpha$)	3	45,125	15,042
Ошибки (γR^2 , αR)	8	1905	238
Итого	15	12515,125	

Проверим следующие 4 гипотезы:

- 1) $H_1: \gamma = 0$ (нет влияния переднего угла)
 $F_{3,8} = 760 : 238 = 3,1$ — гипотеза отвергается;
- 2) $H_2: \varphi = 0$ (нет влияния угла φ)
 $F_{1,8} = 391 : 238 = 1,6$ — гипотеза отвергается;
- 3) $H_3: R = 0$ (нет влияния радиуса R)
 $F_{1,8} = 9400 : 238 = 3,8$ — гипотеза отвергается;
- 4) $H_4: \alpha = 0$ (нет влияния угла α)
 $F_{1,8} = 14 : 238 = 0,06$ — гипотеза не отвергается.

Следовательно, вычисленные величины F -статистики подтверждается, что параметры γ , φ и R оказывают существенное влияние на величину P_z , а задний угол резца α незначительно влияет на силу резания.

Теперь необходимо полученные показательные функции (5) преобразовать в степенные ряды с неопределенными коэффициентами, т. е. решение уравнений искать в форме (1). Имея значения переменных P и x в виде таблиц, можно составить программу для вычисления (1). С целью упрощения задачи расчеты производятся только для тангенциальной составляющей силы резания P_z .

Заранее представляя (5) в виде функций силы P_z от каждого, отдельно взятого, параметра (при постоянном определенном значении остальных геометрических параметров резца) и определяя численные значения P_z в зависимости от γ , φ , R и α , эти функции можно получить в следующем виде:

$$\begin{aligned} P_z &= 1000\varphi^{-0,58} = 207,8 - 2,32\varphi + 0,021\varphi^2 - \dots \\ P_z &= 55\gamma^{0,21} = 185,9 - 1,46\gamma + 0,071\gamma^2 - \dots \\ P_z &= 185\alpha^{0,063} = 163,2 - 2,86\alpha + 0,195\alpha^2 - \dots \\ P_z &= 266R^{0,67} = 139,6 - 20,5R + 52R^2 - \dots \end{aligned} \quad (6)$$

Исходя из (6), минимальное значение силы P_z имеет место при $\varphi = 60^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 7^\circ$ и $R = 0,2$ мм. Следовательно, они и будут оптимальными геометрическими параметрами резца. Не должно вызывать сомнения то, что оптимальное значение радиуса равно 0,2 мм. Дело в том, что при практически применяемых условиях резания неизбежно появляется радиус в течение короткого времени работы резца (период приработки).

Полученные расчетные значения оптимальных геометрических параметров резца проверялись экспериментально. С этой целью проводились опыты по определению удельного давления на передней поверхности резца в зависимости от параметров γ , α и φ . Величина удельного давления определялась зависимостью

$$p = P_{\text{об}}/S,$$

где $P_{\text{об}} = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$; S — контактная площадь соприкосновения стружки с передней поверхностью резца. Значения P_z , P_y , P_x и S определялись экспериментально. Результаты приведены в табл. 4.

и, как видно, минимальные значения удельных давлений, полученные экспериментально и расчетным путем, сходны. Проведенные кратковременные стойкостные испытания резцов показали, что наибольшей износостойкостью обладают те резцы, на контактных площадях которых удельное давление минимальное.

Таблица 4

Геометрические параметры резца		$S, \text{мм}^2$	$P_{\text{об}}, \text{кг}$	$p, \text{кг/мм}^2$
γ°	0	13.0	214	16.4
	5	9.4	174	18.5
	10	16.0	159	10.0
	15	8.0	150	18.9
	25	5.5	142	25.1
ϕ°	75	13.8	175	12.6
	60	13.0	151	11.6
	45	14.2	168	11.9
	30	15.0	180	12.0
	15	16.4	194	12.2
α°	3	12.7	170	13.4
	6	13.0	151	11.6
	9	11.0	141	13.0
	12	7.6	135	17.7
	15	7.0	128	18.5

Следовательно, предлагаемый метод определения оптимальных значений геометрических параметров резца можно рекомендовать для практического применения.

Поступило 25.XII 1974

У. Գ. ԿԱՍՅԱՆ, Ն. Բ. ԲԱԼԿԱՆԱՐՅԱՆ, Ն. Ն. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՄԵՏԱԿԱԶԱՏ ԳՈՐԾԻՔԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Ա ռ ի ղ ի ղ ի ղ ի ղ

Հողվածում առաջարկվում է կտրիչի օպտիմալ երկրաչափական շափերի որոշման նոր եղանակ՝ օգտագործելով կտրման ուժի և կտրիչի երկրաչափական էլեմենտների կախման մաթեմատիկական մոդելը ցուցչային ֆունկցիայի տեսքով, որն այնուհետև վերածվում է անորոշ դորժակիցներով աստիճանային շարքի:

Կատարված է առաջարկված մեթոդի փորձարարական ստուգում՝ սրուչիով կտրիչի առէրի նիստի վրա ազդող տեսակարար ճնշման մեծությունը կախված կտրիչի երկրաչափական պարամետրներից: Տեսակարար ճնշման փորձարարական և հաշվարկային եղանակներով ստացված նվազագույն արժեքների համադրումը տվել է լավ զուգամիտություն: Ստացված արդյունքները հնարավորություն են բնծեղում առաջարկվող մեթոդը հանձնարարել կիրառական խնդիրներ լուծելիս:

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Г. А., Багдасарян Г. Б. К вопросу об изучении показателей упрочнения статистическим методом планирования экспериментов. Сб. «Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов», вып. III. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1973.