

МАШИНОСТРОЕНИЕ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТА ПРИ РЕЗАНИИ
 МЕТОДОМ МНОГОФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
 ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Теплота, которая образуется в результате работы резания в зоне стружкообразования и в местах контакта стружки с режущим инструментом и инструмента с обрабатываемой деталью, оказывает большое влияние на качество и точность обработанной поверхности, а также на износ инструмента. Для износа инструмента основную роль играет не столько общее количество теплоты, сколько теплота, которая концентрируется в тонких слоях соответствующих поверхностей инструмента, повышая их температуру. Температура контакта влияет на адгезионные, диффузионные и др. процессы, происходящие на контактных поверхностях инструмента, определяя характер, величину и скорость нарастания износа режущего инструмента.

В связи с этим исследование температуры контакта в зависимости от входных параметров процесса резания имеет важное практическое значение. Цель настоящего исследования — установление функциональной связи между температурой контакта и выбранными технологическими факторами — режимами резания v , s , t и геометрическими элементами резца γ , α , λ и r методом многофакторного планирования экспериментов. Для решения поставленной задачи выбрана $1/243$ — реплика от полного факторного эксперимента 3^7 , т. е. дробный факторный план 3^{7-5} , применение которого сокращает число проводимых опытов (2187) до девяти.

Введем обозначения:

$$v \equiv F_1; \quad s \equiv F_2; \quad t \equiv F_3; \quad \gamma \equiv F_4; \quad \alpha \equiv F_5; \quad \lambda \equiv F_6; \quad r \equiv F_7.$$

Здесь факторы F_3 , F_4 , F_5 , F_6 и F_7 образуются из эффектов взаимодействия, т. е.

$$F_3 \equiv F_1 F_2, \quad F_4 \equiv F_1^2, \quad F_5 \equiv F_2^2, \quad F_6 \equiv F_1^2 F_2^2, \quad F_7 \equiv F_1 F_2^2 \quad [1].$$

План рассматриваемой дробной реплики представлен в табл. 1, а в уравнении (1) записан обобщенный определяющий контраст:

$$\begin{aligned} O &\equiv F_1 F_2 F_3^2 \equiv F_1^2 F_4^2 \equiv F_2^2 F_5^2 \equiv F_1^2 F_2^2 F_6^2 \equiv F_1 F_2^2 F_7^2 \equiv F_1^2 F_2^2 F_3 \equiv \\ &\equiv F_1 F_4 \equiv F_2 F_5 \equiv F_1 F_2 F_6 \equiv F_1^2 F_2 F_7. \end{aligned} \quad (1)$$

Дробная реплика 3^{7-5}

Номер опыта	F_0	F_1	F_2	$F_3 \equiv F_1 F_2$	$F_4 \equiv F_1^2$	$F_5 \equiv F_2^2$	$F_6 \equiv F_1^2 F_2^2$	$F_7 \equiv F_1 F_2^2$
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	1	2	0	2	1
3	0	2	0	2	1	0	1	2
4	0	0	1	1	0	2	2	2
5	0	1	1	2	2	2	1	0
6	0	2	1	0	1	2	0	1
7	0	0	2	2	0	1	1	1
8	0	1	2	0	2	1	0	2
9	0	2	2	1	1	1	2	0

В табл. 2, приведены кодовые обозначения и уровни варьирования выбранных факторов.

Таблица 2

Кодовое обозначение факторов и уровни их варьирования

Ф а к т о р ы	F_i	Уровни варьирования факторов		
		0	1	2
Скорость резания v , м/мин	F_1	29	40	60
Подача s , мм/об	F_2	0,1	0,3	0,5
Глубина резания t , мм	F_3	0,5	1	1,5
Передний угол γ , град	F_4	-10	0	10
Задний угол α , град	F_5	3	6	9
Угол наклона λ , град	F_6	-5	9	5
Радиус закругления r , мм	F_7	0,5	1,5	2,5

Цифрами 0,1 и 2 в табл. 1 и 2 указаны кодовые обозначения соответственного минимального, среднего и максимального значений факторов.

В табл. 3 приводятся матрица планирования эксперимента и результаты девяти опытов, с регистрацией температуры контакта θ при тчении коррозионно-стойкой хромоникелевой стали 12X18H9T резцом, оснащенным пластинкой из твердого сплава ВК6М. Эта матрица построена в кодовом масштабе, с учетом ортогональных полиномов Чебышева.

Математическая модель для факторного плана 3^7 имеет вид:

$$y = \sum_{\substack{0 < \alpha < 2 \\ 0 < \beta < 2 \\ \dots \\ 0 < \omega < 2}} b_{1\alpha 2\beta} \dots T_{\omega} X_1^{\alpha} X_2^{\beta} \dots X_7^{\omega} \quad (2)$$

Индексы $\alpha, \beta, \dots, \omega$ у номера фактора означают $\alpha, \beta, \dots, \omega$ раз по 1, 2, ..., 7. Учитывая, что квадратичные взаимодействия не играют существенной роли в искомой функциональной зависимости $\Theta = f(v, s, t, \gamma, \alpha, \lambda, r)$, можно упростить выражение (2). Тогда можно записать:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_6 X_6 + b_7 X_7 + \varepsilon_{\text{ош}}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{\text{ош}}$ — случайная ошибка.

Таблица 3

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	F_0	v	s	t	γ	α	λ	r	Θ , град	$y = \ln \Theta$
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7		
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	400	5,99
2	+1	0	-1	0	+1	+1	+1	-2	702	6,55
3	+1	+1	-1	+1	-2	+1	-2	1	932	6,83
4	+1	-1	0	0	+1	+1	+1	+1	545	6,3
5	+1	0	0	+1	+1	+1	-2	+1	905	6,8
6	+1	+1	0	-1	-2	+1	+1	-2	960	6,86
7	+1	-1	+1	+1	+1	-2	-2	-2	615	6,42
8	+1	0	+1	-1	+1	-2	+1	+1	780	6,65
9	+1	+1	+1	0	-2	-2	+1	+1	1190	7,07

Реализация факторного плана позволяет после потенцирования получить математическую модель, адекватно описывающую искомую нами зависимость:

$$\Theta = \frac{50 v^{0,62} s^{0,2} t^{0,15} \lambda_1^{0,25}}{\alpha^{0,05} r^{0,01} \gamma^{0,06}}, \quad (4)$$

где $\lambda_1 = 90 + \lambda$; $\gamma_1 = 90 - \psi$.

Проведенный дисперсионный анализ показал, что полученная модель (4) адекватна при $\alpha = 0,05$ дисперсии и ошибка не превосходит 5%, что вполне допустимо.

Чтобы определить оптимальные значения технологических факторов, необходимо зависимость (4) записать в операторной форме:

$$3,91 + 0,62 \ln v + 0,2 \ln s + 0,15 \ln t + 0,25 \ln \lambda_1 - 0,05 \ln \alpha - \\ - 0,01 \ln r - 0,06 \ln \gamma_1 \leq \ln 680 = 6,52. \quad (5)$$

Здесь $\Theta = 680^\circ \text{C}$ — оптимальная температура контакта, установленная [2] при тчении коррозионно-стойких хромоникелевых сталей. При этой температуре наблюдается наименьшая интенсивность износа резца, оснащенного пластинкой из сплава ВК6М.

Учитывая ограничения факторов v , s , t , γ , α , λ , r , методом линейного программирования составляется система неравенств. Решая их на машине «Наири-3», получаем оптимальные значения вышеуказанных факторов, при которых температура не превышает 680°C :

$$\begin{aligned} v &= 30 \text{ м/мин}; & \gamma &= +10^\circ; \\ s &= 0,2 \text{ мм/об}; & \lambda &= +5^\circ; & r &= 1,5 \text{ мм}. \\ t &= 1 \text{ мм}; & \alpha &= +6^\circ; \end{aligned}$$

Отметим, что зависимость (4) для практического пользования в достаточной степени отражает количественную связь между температурой контакта и выбранными технологическими факторами, хотя и является статистической моделью.

Учитывая, что механическая работа резания $p_z \cdot v$ в основном переходит в теплоту, увеличение скорости v приводит к большому тепловыделению. С увеличением теплоты и возрастает средняя температура на площади контакта стружки и резца. Показатель скорости в полученной зависимости (4) характеризует интенсивность прироста температуры с увеличением скорости.

Увеличение подачи приводит к увеличению выделяемой теплоты и температуры Θ , поскольку возрастают давление стружки на резец и работа деформации.

С увеличением глубины резания общее количество теплоты увеличивается, поскольку увеличивается работа резания, но при этом увеличивается длина работающей режущей кромки и почти в такой же степени усиливается теплоотвод от нее. В результате — небольшое возрастание температуры Θ при увеличении глубины резания.

С уменьшением угла γ (увеличением угла резания γ_1) увеличивается работа резания, приводящая к увеличению тепловыделения, но с другой стороны, увеличение угла γ_1 улучшает теплоотвод в тело резца, снижая температуру Θ . Из двух конкурирующих процессов, по-видимому, в рассмотренных условиях преобладает второй.

Чем больше задний угол α , тем меньше работа трения по задней поверхности резца. В результате, с увеличением угла α количество теплоты и температура контакта уменьшается.

При увеличении положительного угла λ , в основном, возрастает радиальная сила и, следовательно, работа резания. В результате, увеличивается количество теплоты и температура контакта.

Чем больше радиус r , тем больше работа резания, и, следовательно, тепловыделение. Но при увеличении радиуса закругления улучшаются условия теплоотвода как в тело резца, так и в обрабатываемую деталь. Теплоотвод, по-видимому, оказывается преобладающим, приводя к снижению температуры контакта при увеличении радиуса r .

ԿՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԿՈՆՏԱԿՏԻ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ
ՓՈՐՁԵՐԻ ԳՈՐԾՈՆԱՅԻՆ ՊԼԱՆԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա մ փ ո փ ու մ

Կոնտակտի ջերմաստիճանի և տեխնոլոգիական գործոնների միջև կապի բացահայտման համար ընտրված է 3^7 լրիվ գործոնային փորձի $1/243$ ռեպլիկը, այսինքն 3^{7-5} մասնատված գործոնային պլանը, որը թույլ է տալիս կրճատել փորձերի թիվը և 2187-ի փոխարեն կատարել ընդամենը 9 փորձ: Կազմված է փորձերի պլանավորման մատրիցան, ըստ որի և կատարվել են անհրաժեշտ փորձերը: Ստացված է կոնտակտի ջերմաստիճանի և ընտրված տեխնոլոգիական գործոնների միջև մաթեմատիկական կապ, որը շի տարբերվում է ջերմաստիճանի միագործոնային ուսումնասիրման դեպքում ստացված և դրականությամբ մեջ բերվող կապերից:

Որոշված են նաև ընտրված գործոնների օպտիմալ մեծությունները, որոնց դեպքում կոնտակտի ջերմաստիճանը նույնպես օպտիմալ է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Новик В. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.— М.: Машиностроение, 1980.— 303 с.
2. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания.— М.: Машиностроение, 1976.— 277 с.