При строгании

$P_{z,y,x} = f(V,S,t,\gamma,\varphi,\alpha,r,\rho,\lambda)$ — 9 факторов

$H = f(V,S,t,\gamma,\varphi,\alpha,r,\rho)$ — 8 факторов

$h = f(V,S,t,\gamma,\varphi,\alpha,r,\rho)$ — 7 факторов

При фрезеровании

$T = f(v,S_Z,t,\gamma,\varphi,\alpha,\lambda,\ \varphi_1,r,d\ )$ —10 факторов

$R_z = f(V,S_z,t,\gamma,\varphi,\alpha,\alpha_1,\varphi_1,r,\rho,d\ )$ — 11 факторов

$\theta = f(V,S_z,t,\gamma,\varphi,\alpha,\lambda,r)$ — 8 факторов

При точении

$P_{z,y,x} = f(V,S,t,\gamma,\varphi,\alpha,\varphi_1,\lambda,r,\rho)$ — 10 факторов

$R_Z = f(V,S,t,\gamma,\varphi,\alpha,\alpha_1,\varphi_1,\lambda,r,\rho)$ — 11 факторов

Таким образом, были определены те факторы, которые непосредственно действуют на указанные технологические характеристики, при прерывистом и непрерывном резании. По уравнению (2) рассчитаны коэффициенты парной корреляции $K_{x_1}K_{x_2}$ и определены факторы, непосредственно влияющие на технологические характеристики при строгании, фрезеровании и точении.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А.** Оптимизация режимов резания при решении технологических задач. — Ереван, Айастан, 1981.- 181 с. 2. **Багдасарян Г.Б., Кохликян С.А.** Оптимальные пределы варьирования режимов резания при строгании // Изв. НАН и ГИУ Армении, серия "Механика", 54, № 4, 2001. — С. 50-53.

УДК 621.9.02.31

Г.Б. БАГДАСАРЯН, Г.А. АРУТЮНЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Государственный инженерный университет Армении,
Ереван, Аремения

Методом симметричного композиционного планирования второго порядка изучена температура азотирования для коррозийно-стойкой стали 12Х18Н9Т, обеспечивающая наибольую твердость поверхностного слоя детали. Получена модель для определения температуры азотирования с учетом выбранных факторов в натуральном масштабе. Неадекватность полученной модели составляет 5 % уровня значимости.

Известно, что азотирование повышает твердость поверхностного слоя деталей, изготовленных из различных сталей, в том числе из коррозионно-стойких. Одновременно повышается износостойкость поверхности усталостная прочность и сопротивление коррозии. В азотированном слое возникают остаточные напряжения сжатия (60...80 кгс/мм^2), способствующие повышению предела выносливости.

Азотирование поверхностного слоя деталей, изготовленных из коррозионно-стойких сталей 12Х18Н9Т деталей имеет важное практическое значение.

В данном исследовании использовался план второго порядка — план Бокса-Бенкена. Параметром оптимизации была принята твердость поверхностного слоя по Виккерсу. В качестве факторов выбирались следующие температуры: закалки (X_1), отпуска (X_2), стабилизирующего отпуска (X_3) и азотирования (X_4). Эти факторы варьировались на трех уровнях (-1, 0,+1), табл. 1

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Факторы	Температура, °С			
	Закалки (X_1)	Отпуска (X_2)	Стабилизи-рующего отпуска (X_3)	Азотиро-вания (X_4)
Основной уровень (X_{i0})	880	620	550	475
Интервал варьирования (ΔX_i)	30	20	20	25
Верхний уровень ($X_i = +1$)	910	640	570	500
Нижний уровень ($X_i = -1$)	850	600	530	450

Условия опытов, табл. 1, были выбраны не случайно, а по априорной информации, позволяющей считать, что исходный основной уровень находится в области оптимума. Применение процедуры композиционного планирования с послевдовательной достройкой линейного до плана второго порядка в данном случае было нецелесообразно. Поскольку в оптимальной области твердость при изменении режимов термической обработки изменяется, нелинейно, было решено использовать квадратичную модель типа

$$y = b_0 + \sum_{1\le i\le n}^{N} b_i X_i + \sum_{1\le i\le j\le n}^{N} b_{ij} X_i X_j + \sum_{1\le i\le n}^{N} b_{ii} X_{ii}^2 \ , \qquad (1)$$

План эксперимента выбран по Боксу-Бенкену (табл. 2).

Коэффициенты регрессии рассчитаны по формулам

$$b_0 = C_1 \sum_{k=1}^{N} Y_k - C_2 \sum_{k=1}^{u} \sum_{k=1}^{N} X_{i_k}^2 Y_k, \quad b_i = C_3 \sum_{k=1}^{N} X_{ik} Y_k, \quad b_{ij} = C_4 \sum_{k=1}^{N} (X_i X_j)_k Y_k, \qquad (2)$$

$$b_{ii} = C_k \sum_{k=1}^{N} X_{ik} Y_k + C_6 \sum_{k=1}^{U} \sum_{k=1}^{N} X_{ik}^2 Y_k - C_2 \sum_{k=1}^{N} Y_k,$$

а дисперсия, среднеквадратичные ошибки и ковариации — по формулам

$$S_{b_0}^2 = C_1 S_y^2, \quad S_{b_0} = C_7 S_y, \quad S_{bi}^2 = C_3 S_y^2, \quad S_{bi} = C_8 S_y, \quad S_{b_{ij}}^2 = C_4 S_y^2,$$
$$S_{b_{ij}} = C_9 S_y, \quad S_{bii}^2 = (C_5 + C_6) S_y^2, \quad S_{bii} = C_{10} S_y, \quad Cov_{bo,bii} = -C_2 S_y^2, \qquad (3)$$
$$Cov_{b_{ii} b_{jj}} = C_6 S_y^2.$$

Таблица 2

План Бокса-Бенкена

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	X_2X_3	X_2X_4	X_3X_4	X_1^2	X_2^2	X_3^2	X_4^2	Y(HV)
1.	+1	+1	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	860
2.	+1	−1	−1	0	0	−1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	840
3.	+1	+1	+1	0	0	−1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	900
4.	+1	−1	−1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	846
5.	+1	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0	+1	0	0	+1	+1	825
6.	+1	0	0	−1	+1	0	0	0	0	0	−1	0	0	+1	+1	880
7.	+1	0	0	+1	−1	0	0	0	0	0	+1	0	0	+1	+1	905
8.	+1	0	0	−1	−1	0	0	0	0	0	−1	0	0	+1	+1	855
9.	+1	+1	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	+1	825
10.	+1	−1	0	0	+1	0	0	−1	0	0	0	+1	0	0	+1	810
11.	+1	+1	0	0	−1	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	+1	885
12.	+1	−1	0	0	−1	0	0	−1	0	0	0	+1	0	0	+1	890
13.	+1	0	+1	+1	0	0	0	0	+1	0	0	0	+1	+1	0	815
14.	+1	0	−1	+1	0	0	0	0	−1	0	0	0	+1	+1	0	868
15.	+1	0	+1	−1	0	0	0	0	+1	0	0	0	+1	+1	0	808
16.	+1	0	−1	−1	0	0	0	0	−1	0	0	0	+1	+1	0	823
17.	+1	+1	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	+1	0	+1	0	869
18.	+1	−1	0	+1	0	0	−1	0	0	0	0	+1	0	+1	0	875
19.	+1	+1	0	−1	0	0	+1	0	0	0	0	+1	0	+1	0	880
20.	+1	−1	0	−1	0	0	−1	0	0	0	0	+1	0	+1	0	820
21.	+1	0	+1	0	+1	0	0	0	0	+1	0	0	+1	0	+1	805
22.	+1	0	−1	0	−1	0	0	0	0	−1	0	0	+1	0	+1	850
23.	+1	0	+1	0	+1	0	0	0	0	+1	0	0	+1	0	+1	875
24.	+1	0	−1	0	−1	0	0	0	0	−1	0	0	+1	0	+1	860
25.	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	905
26.	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	925
27.	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	910

Значения вспомогательны констант C_i подсчитаны и их значения приведены в [1] . Согласно (2), получены следующие коэффициенты регрессии:

b_0=919,8, b_1=125, b_2=-14,8, b_3=8,3, b_4=-23,9, b_{12}=-9,3, b_{13}=-16,5, b_{14}=5,85, b_{23}=-9,7, b_{24}=-16,6, b_{34}=-26,6, b_{ii}=-23,2, b_{22}=-44, b_{33}=-33, b_{44}=-27.

Дисперсия опыта оказалась $S_y^2 = 130$ при числе степеней свободы f_1=2. По формуле (3) определили дисперсии и среднеквадратичные ошибки оценок коэффициентов регрессии, а также их ковариации.

$S^2_{b_0} = 43, \quad S_{b_0} = 6{,}56, \quad S^2_{bi} = 10{,}75, \quad S_{bi} = 3{,}3, \quad S^2_{b_{ij}} = 33, \quad S_{b_{ij}} = 5{,}7, \quad S^2_{b_{ii}} = 24,$
$S_{b_{ii}} = 4{,}9, \quad Cov_{b_0, b_{ii}} = -21, \quad \mathrm{cov}_{b_{ii} b_{jj}} = 8{,}0.$

Доверительные интервалы оценок коэффициентов при 5%-ном уровне значимости, рассчитанные по формуле $\Delta_{bi} = t_\alpha; f_1; S_{b_i}$ оказались равными: $\lambda = 0{,}05$, $f_1 = 2$, $t_{0.01.\,2} = 4{,}30$, $\Delta_{b0} = 28$, $\Delta_{bi} = 14$, $\Delta_{bij} = 24{,}5$, $\Delta b_{ii} = 22$.

Таким образом, коэффициенты b_0, b_1, b_{34}, b_{11}, b_{33} и b_{44}, абсолютные значения которых больше соответствующих доверительных интервалов, следует признать статистически значимыми. Остальные коэффициенты незначимы, и из модели их можно исключить. Отметим, что исключение этих коэффициентов не требует пересчета остальных, хотя использовавшийся план был не ортогональным.

В результате получено следующее уравненеи регрессии:

$$Y=919{,}8-23{,}9X_4-26{,}6X_3X_4-23{,}2\,X_1^2-44\,X_2^2-33\,X_3^2-27\,X_4^2, \tag{4}$$

где X_1, X_2, X_3, X_4 — в кодированном масштабе, связанные со значениями факторов в натуральном масштабе (X_i) соотношениями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 880}{30}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 620}{20}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 550}{20}; \quad x_4 = \frac{X_4 - 475}{25}.$$

При проверке адекватности модели (4) учтено то обстоятельство, что один опыт плана (опыт в центре) трижды дублирован. Поскольку этот опыт был только один, сумму квадратов $SS_{неад.}$ считали по формуле:

$$SS_{неад.} = n_0 (Y_{0\,расч} - \bar{Y}_0 \quad)^2 + \sum_{k=1}^{24} (Y_{k\,расч.} - \bar{Y}_k \quad)^2. \tag{5}$$

Число степеней свободы для дисперсии неадекватности определили как f_2=N-Kў-1, т. к. при расчете $SS_{неад.}$ по N опытам, кроме K′ коэффициентов модели (4), требуется значение $\bar{Y}_0$. В результате получено следующее:

$SS^{a} \; = 3(919{,}8 - 920) + 10464 = 10464{,}46$, а $f_2 = 27\text{-}7\text{-}1 = 19$.

Поэтому $SS^{a} \; = 10464{,}46 / 19 = 550{,}77$ и расчетное значение F-критерия по формуле $F_{f_2, f_1} = \dfrac{SS^2}{S^2 y} = \dfrac{550{,}77}{130} = 4{,}24 \quad (S^2_y = 130)$.

Табличное значение F-критерия при 5%-ном уровне значимости составляет $F_{0{,}05;\,19{,}2}$=19,44. Эта величина очень большая, поскольку S^2_y имеет только две степени свободы. В связи с этим условие Fрасч. ≤ $F_{табл.}$ легко выполняется.

Таким образом, модель (4) можно признать адекватной, а по уравнению регрессии (4), с учетом значений выбранных факторов в натуральном масштабе, возможно определение необходимой температуры азотирования, обеспечивающей максимальную твердость поверхностного слоя детали.

ЛИТЕРАТУРА

Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А. Оптимизация технологических факторов при резании методом многофакторного планирования экспериментов. — Ереван, Айастан, 1990. — 161 с.

УДК 681.865

В.Ф. Горошко, А.В. Леневич

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ И ЖЕСТКОСТЬ СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Использование в металлорежущих станках с числовым программным управлением следящих электроприводов подач, уровень напряжений и сигналов в которых зависит от величины рассогласования между заданными и фактическими координатами выходных звеньев, обуславливают необходимость количественной оценки этих рассогласований, а также анализа факторов, влияющих на погрешность позиционирования и точность обработки.

В качестве электродвигателя в указанных приводах во многих случаях используется двигатель постоянного тока, ротор которого непосредственно или через редукционную передачу соединен с винтом шарико-винтовой передачи (ШВП), а гайка последней жестко соединена с выходным звеном рабочего органа (ползуном, кареткой). Для выработки управляющих сигналов принято использовать ПИ-регулятор, имеющий пропорциональное (П) и интегрирующее (И) звенья.

Рассмотрим работающий в режиме позиционирования следящий электропривод, в котором ротор двигателя жестко соединен с винтом ШВП 50*10, а гайка ШВП – с ползуном массой М=1000 кг. Пренебрегая упругой податливостью элементов привода, запишем с учетом известных зависимостей [1] математическую модель рассматриваемого электропривода:

$$\frac{dW}{dt} = [K*I - T]/J, \frac{dX}{dT} = W, \frac{dU}{dt} = Q*(Y - X), \qquad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = [U + N*(Y - X) - R*I - K*W]/L,$$