

УДК 621.923.04

В.К.Кононов

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЯЗИ ОБОБЩЕННЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
С БЕЗРАМЕРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМА ШЛИФОВАНИЯ

При чистовом шлифовании усилия воздействия инструмента на деталь невелики и остаточные напряжения образуются лишь за счет воздействия тепла в движущейся зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемым материалом [1]. Здесь мы будем рассматривать плоское шлифование периферией круга.

Возникновение температурных остаточных напряжений связано с неравномерным нагревом металла и его тепловым расширением. Имея это в виду, полагаем самыми существенными факторами и свойствами, участвующими в процессе образования температурных остаточных напряжений при плоском шлифовании периферией круга (размерность показана следующим образом: длина - L ; время - T ; масса - M ; температура - T_1): V - скорость продольной подачи, L/T ; $V_{кр}$ - скорость шлифовального круга, L/T ; t - глубина шлифования, L ; ℓ - длина источника тепла (длина контакта), L ; Y - координата глубины уровня, на котором определяются остаточные напряжения, L ; q - интенсивность движущегося источника тепла, $ML/T^3 \cdot T_1$; Θ^{max} - максимальная температура на обрабатываемой поверхности, T_1 ; α - коэффициент линейного расширения обрабатываемого материала $1/T_1$; λ - коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала $ML/T^3 \cdot T_1$; α - коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, L^2/T ; E_0 - модуль упругости первого рода при $20^\circ C$ обрабатываемого материала, $ML/T^2 \cdot L^2$.

Известно, что остаточные напряжения в деталях, обработанных на одинаковых режимах шлифования, получаются не строго одинаковыми как по распределению, так и по величине. Поэтому величину остаточных напряжений можно отнести к категории случайных величин.

Методы математической статистики и планирования эксперимента позволяют установить корреляционную зависимость между температурными остаточными напряжениями и элементами режима шлифования в виде полинома.

Связь между остаточными напряжениями и основными факторами, обуславливающими их значения, можно представить так:

$$\sigma_{\text{он}} = f_1(v, q, l, y, \alpha, \lambda, \alpha, E_0), \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{он}}$ - остаточные напряжения соответствующего типа ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ или τ_{xy}).

Максимальная температура приотствует, как комбинация из основных факторов [2]

$$\theta^{\text{max}} = \frac{ql}{\pi\lambda} \bar{\theta}^{\text{max}} \quad (2)$$

В (2) $\bar{\theta}$ есть безразмерная функция распределения температуры, зависящая от безразмерных координат и критерия Пекле:

$$Pe = \frac{vl}{2\alpha}$$

Для ввода в (1) элементов режима шлифования обратимся к интенсивности теплового источника, которая участвует в определении максимальной температуры, а поэтому связана с параметрами режима в виде [3]

$$q = f_2(v_{\text{кр}}, v, t, D_{\text{кр}}, \lambda). \quad (3)$$

Для простоты мы не учитываем теплофизические свойства круга, принимая во внимание, что интенсивность источника здесь есть результат перераспределения тепловых потоков в круг и обрабатываемый материал.

Известно, что температурные напряжения связаны с температурой следующим образом:

$$\sigma = \alpha \theta \cdot E_0. \quad (4)$$

Тогда, имея в виду (1), (2), (3) и (4), и то, что есть наиболее характерная из температур температурного поля, вызывающего остаточные напряжения, можно написать

$$\sigma_{\text{он}} = \alpha \cdot \theta^{\text{max}} \cdot E_0 \cdot \psi_{\text{он}}(\bar{v}_{\text{кр}}, \bar{v}, \bar{t}, \bar{l}, \bar{D}_{\text{кр}}, \bar{\alpha}, \bar{\lambda}, \bar{\alpha}, \bar{E}_0), \quad (5)$$

где $\psi_{\text{он}}$ - есть знак функции безразмерного остаточного напряжения от безразмерных параметров.

Опустив процедуру построения безразмерных комплексов и симплексов, на основании π - теоремы [4] выражение (5) запишем в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{он}} &= \alpha \cdot \frac{ql}{\pi\lambda} \cdot E_0 \cdot \psi_{\text{он}}\left(\frac{v_{\text{кр}}l}{\alpha}, \frac{vl}{\alpha}, \frac{t}{l}, 1, \frac{D_{\text{кр}}}{l}, 1, \frac{\lambda}{v \cdot l \cdot E_0 \cdot \alpha}, 1, 1\right) = \\ &= \alpha \frac{ql}{\pi\lambda} \cdot E_0 \cdot \psi_{\text{он}}\left(Pe_1, Pe, \frac{t}{l}, 1, \frac{D_{\text{кр}}}{l}, 1, \frac{\lambda}{v \cdot l \cdot E_0 \cdot \alpha}, 1, 1\right). \quad (6) \end{aligned}$$

В (6) Re_I и Re - соответствующие критерии Пекле. Если принять во внимание, что $l = \sqrt{v_{кр} \cdot t}$, то $\frac{v_{кр}}{l} = \frac{v^2}{t \cdot l} = \frac{1}{t}$. Это означает, что безразмерная глубина шлифования одновременно представляет в (6) и безразмерный диаметр шлифовального круга.

Поэтому окончательно (6) для одного материала с неизменными λ и E_0 можно записать $\bar{\sigma}_{он} = \alpha \frac{q l}{\lambda \lambda} \cdot E_0 \cdot \psi_{он}(Re_I, Re, \bar{t})$, откуда $\bar{\sigma}_{он} = \frac{\bar{\sigma}_{он}}{\alpha \frac{q l}{\lambda \lambda} \cdot E_0} = \psi_{он}(Re_I, Re, \bar{t})$, (7) где $\bar{\sigma}_{он}$ обобщенное остаточное напряжение соответствующего типа ($\bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y, \bar{\sigma}_z$ или $\bar{\tau}_{xy}$).

На рис. I показана схема связи элементов уравнения (I). Для каждой глубины y_i ($1 \leq i \leq n$) функция обобщенного остаточного напряжения будет своя, то есть

$$\bar{\sigma}_{он}^{(i)} = \psi_{он}^{(i)}(Re_I, Re, \bar{t}). \quad (8)$$

Поиск функции в уравнении (8) для каждой глубины y_i следует провести с использованием метода математического планирования эксперимента [5]. Изменяя в эксперименте Re_I, Re, \bar{t} в соответствии с матрицей планирования, фиксируем значения $\bar{\sigma}_{он}^{(i)}$ для выбранной глубины i .

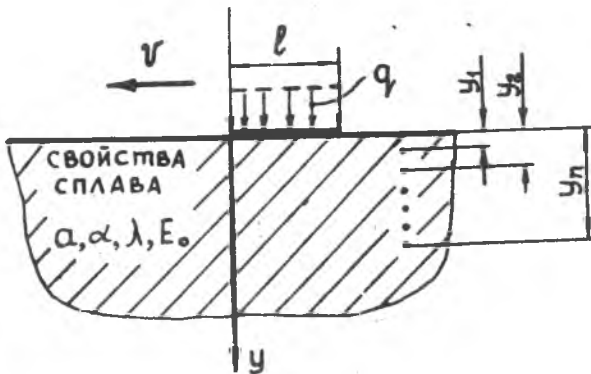


Рис. I.

В результате математической обработки экспериментальных данных уравнение (8) примет вид, например, для глубины U_2

$$\bar{\sigma}_{\text{он}}^{(2)} = \beta_0^{(2)} + \beta_1^{(2)} \cdot \rho_{e_1} + \beta_2^{(2)} \cdot \rho_e + \beta_3^{(2)} \cdot t, \quad (9)$$

где $\beta_j^{(2)}$ - коэффициенты полинома, который описывает связь безразмерного остаточного напряжения на глубине U_2 , с безразмерными аргументами.

После обработки данных, для всех выбранных (фиксированных) глубин

$$\bar{\sigma}_{\text{он}}^{(i)} = \beta_0^{(i)} + \beta_1^{(i)} \rho_{e_1} + \beta_2^{(i)} \rho_e + \beta_3^{(i)} t,$$

результаты исследования можно записать более компактно:

$$\begin{pmatrix} \bar{\sigma}_{\text{он}}^{(1)} \\ \bar{\sigma}_{\text{он}}^{(2)} \\ \vdots \\ \bar{\sigma}_{\text{он}}^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_0^{(1)} & \beta_1^{(1)} & \beta_2^{(1)} & \beta_3^{(1)} & 0_{(5)} & \dots & 0_{(n)} \\ \beta_0^{(2)} & \beta_1^{(2)} & \beta_2^{(2)} & \beta_3^{(2)} & 0_{(5)} & \dots & 0_{(n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_0^{(n)} & \beta_1^{(n)} & \beta_2^{(n)} & \beta_3^{(n)} & 0_{(5)} & \dots & 0_{(n)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \rho_{e_1} \\ \rho_e \\ t \\ 0_{(5)} \\ \vdots \\ 0_{(n)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

или

$$\mathbf{B}_{\text{он}} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{A},$$

где $\mathbf{B}_{\text{он}}$, \mathbf{V} и \mathbf{A} есть матрицы соответствующие уравнению (10).

Полученная критериальная зависимость позволяет распространить результаты эксперимента на большое количество комбинаций режимов шлифования.

Литература

Г. Подзей А.В. Исследование остаточных напряжений в деталях подвергнутых шлифованию. Труды МАИ, 129, Оборонгиз, 1960.

2. Кононов В.К. Расчет температурного поля от движущегося полосового источника через максимальную температуру на поверхности. "Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов". Межвузовский сборник, вып. I. Куйби, г. Куйбышев, 1973.

3. Сидин С.С., Рыкунов Н.С. Бесприкговные режимы резания при плоском шлифовании. Тезисы докладов на секция "Теплофизика шлифования". Конференция "Теплофизика технологических процессов", Тельятти, 1972.

4. Седов Л.А. Методы подобия и размерности в механике. Физматгиз. М., 1957.

5. Надимов В.В., Чернова А.Н. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., "Наука", 1965.

УДК 621. 9.015

А.Д.Макаров, В.С.Мухин, В.М.Кишуров

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ И ОСТАТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В статье излагаются результаты комплексного исследования влияния условий резания и физико-механических свойств жаропрочных сплавов на величину остаточных напряжений первого рода в поверхностном слое. Исследование проводилось при точении жаропрочных сплавов ЭИ437А, ЭИ437БУ, ЭИ617, ЭИ826, ЭИ929 и ЭП220, относящихся к группе деформируемых жаропрочных сплавов на никелевой основе, упрочняющихся вследствие выделения интерметаллидной γ - фазы типа Ni_3 (Al, Ti). Чистовое точение ($t = 0,5$ мм; $S = 0,09$ мм/об) выполнялось резцом ВК6М ($\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\chi = 0^\circ$; $r = 0,5$ мм; $\lambda = 0^\circ$) в широком диапазоне скоростей резания (10-50 м/мин). Остаточные напряжения измерялись механическим методом [1], в осевом