

3. И с а е в А.И., О в с е е н к о А.Н. Выбор оптимальной толщины образца при определении остаточных напряжений в поверхностном слое. "Вестник машиностроения", 1967, № 8.

В.К.Кононов

К ПРИМЕНЕНИЮ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ОБОБЩЕННЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
ОТ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

О б о з н а ч е н и я

- $\sigma_{\text{ост}}$ - остаточное напряжение, которое исследуется (σ_x, σ_y или τ_{xy});
- $V_{\text{кр}}$ - скорость резания шлифовального круга;
- V - скорость продольной подачи;
- q - интенсивность плоского теплового источника;
- l - длина источника в направлении продольной подачи;
- U - глубина уровня, на котором определяется остаточное напряжение (расстояние от поверхности);
- θ - температура в исследуемой точке тела;
- θ^{max} - максимальная температура на поверхности шлифования;
- t - глубина шлифования (подача на один двойной ход);
- $D_{\text{кр}}$ - диаметр шлифовального круга;
- α - коэффициент теплопроводности;
- λ - коэффициент теплового линейного расширения;
- E - модуль продольной упругости при нормальной температуре;
- Pe_1 - критерий подобия Пекле, содержащий скорость круга;
- Pe - критерий подобия Пекле, содержащий скорость продольной подачи;
- $\bar{\theta}^{\text{max}}$ - безразмерная максимальная температура.

Введение

Образование температурных остаточных напряжений при плоском шлифовании-сложный процесс. Теоретический анализ его требует решения температурной упруго-пластической задачи при движущемся температурном поле, поэтому подавляющее большинство исследователей в этой

области для анализа связи между условиями шлифования и возникающими остаточными напряжениями используют экспериментальные данные, для которых ведутся исследования со строго определенными функциональными связями параметров.

Подобный подход часто может ввести в заблуждение, так как эксперименты указывают на то, что образование остаточных напряжений есть процесс, связанный со случайными величинами. Чтобы учесть реально существующую неопределенность, следует использовать статистические методы, которые хотя и не уменьшают эту неопределенность, но позволяют более точно оценить ее и тем самым принять лучшее решение.

Нужно отметить, что до сих пор при исследовании, например, влияния остаточных напряжений на предел выносливости пользуются чаще всего максимальными остаточными напряжениями, зарегистрированными на конкретной глубине. Но известно, что эти максимальные напряжения могут быть получены различными по величине и местоположению на одном и том же режиме шлифования.

Все это говорит в пользу применения статистических методов для исследования остаточных напряжений.

Методика анализа экспериментальных данных

Рассмотрим, как можно применить статистический метод к анализу экспериментальных данных при исследовании остаточных напряжений после плоского шлифования.

Для того, чтобы результаты экспериментальных исследований можно было распространить на неограниченное число других условий шлифования, введем обобщенное остаточное напряжение. Это можно сделать, используя анализ размерностей.

Есть ряд факторов, влияние которых на возникновение остаточных напряжений несомненно и подтверждено экспериментально или теоретически.

Положим, что они связаны функцией f_1 :

$$f_1(\sigma_{0n}, V_{кр}, V, t, D_{кр}, q, l, \gamma, \theta, a, \lambda, \alpha, E_0) = 0.$$

Влияние формы тела и способа закрепления образца при поиске функции не учитывается, хотя, в принципе, препятствий к этому не имеется.

В [2] показано, что безразмерная глубина шлифования в предполагаемой зависимости может представлять влияние безразмерного диаметра шлифовального круга.

Далее, чтобы уменьшить число факторов, вызывающих изменение максимальной температуры, которой необходимо в эксперименте управлять, положим, что глубина шлифования постоянна.

Принимая в качестве параметров с независимыми размерностями четыре параметра α , a , l , E_0 , получим следующие безразмерные критерии подобия [3]:

$$\pi_1 = \frac{\sigma_{он}}{E_0}, \quad \pi_2 = \frac{v_{кр} l}{a}, \quad \pi_3 = \frac{vl}{a}, \quad \pi_4 = \frac{ql}{a E_0},$$

$$\pi_5 = \frac{y}{l}, \quad \pi_6 = \theta \alpha, \quad \pi_7 = \frac{\lambda}{\alpha a E_0}$$

Объединим критерии, содержащие остаточное напряжение, теплофизические и механические характеристики тела и источника тепла, помножив π_1 на π_7 и разделив на π_4 , получим новый безразмерный критерий

$$\pi_1' = \frac{\sigma_{он}}{E_0} \frac{\lambda}{\alpha a E_0} \frac{a E_0}{ql} = \bar{\sigma}_{он} \frac{\lambda}{\alpha ql E_0},$$

который назовем обобщенным остаточным напряжением. Тогда связь параметров будет выглядеть так:

$$f_1 \left(\frac{\bar{\sigma}_{он} \lambda}{\alpha ql E_0}, \frac{v_{кр} l}{a}, \frac{vl}{a}, \frac{y}{l}, \theta \alpha, \frac{\lambda}{\alpha a E_0} \right) = 0.$$

Определяемый критерий (обобщенное остаточное напряжение) выразим через остальные:

$$\frac{\bar{\sigma}_{он}}{\alpha \frac{ql}{\lambda} E_0} = \bar{\sigma}_{он} = f_2 \left(\frac{v_{кр} l}{a}, \frac{vl}{a}, \frac{y}{l}, \theta \alpha, \frac{\lambda}{\alpha a E_0} \right).$$

Но если эксперимент проводится на одном материале (т.е. λ , α , a и E_0 - постоянны), и $\bar{\sigma}_{он}$ определяется на фиксированной глубине (y - глубина, на которой измерено остаточное напряжение - постоянна), то:

$$\bar{\sigma}_{он} = f_3 (Pe_1, Pe, \theta^{max} \alpha).$$

Здесь θ^{\max} введена, как наиболее характерная и просто измеряемая температура.

Комплекс $\frac{qf}{\lambda}$, необходимый для подсчета обобщенного остаточного напряжения, определяется через θ^{\max} как в [1].

Зависимость $\bar{\epsilon}_{\text{он}}$ от Re_I , Re и θ^{\max} ищется для каждой глубины с использованием планирования эксперимента.

Изменяя в опытах Re_I , Re , $\bar{\theta}^{\max}$ в соответствии с матрицей планирования, фиксируются значения $\bar{\epsilon}_{\text{он}}^{(i)}$ для каждой глубины "i".

В результате математической обработки экспериментальных данных уравнение для $\bar{\epsilon}_{\text{он}}$, если мы планировали эксперимент для полинома первого порядка, примет вид

$$\bar{\epsilon}_{\text{он}}^{(2)} = \beta_0^{(2)} + \beta_1^{(2)} Re_I + \beta_2^{(2)} Re + \beta_3^{(2)} \bar{\theta}^{\max}$$

Здесь (2) - номер глубины, на которой измерялись напряжения. Это уравнение описывает влияние Re_I , Re и $\bar{\theta}^{\max}$ только на глубине (2). Таким же образом должны быть найдены зависимости для каждой фиксированной, заранее заданной глубины.

Здесь следует напомнить, что коэффициенты полиномов указывают на существенность того или иного комплекса на определенной глубине. Найденные зависимости можно записать в матричном виде [2]

$$\bar{\epsilon} = B A,$$

где $\bar{\epsilon}$ - матрица-столбец, содержащая обобщенные остаточные напряжения на фиксированных глубинах;

B - матрица, составленная из коэффициентов полиномов, дополненная до квадратной нулями;

A - матрица-столбец, содержащая исследуемые безразмерные критерии, дополненная нулями до размера матрицы обобщенных остаточных напряжений.

Такая запись зависимостей, полученных с помощью опытных данных, дает возможность использовать максимальную температуру при исследованиях, связанных с остаточными напряжениями.

Заключение

Изложенная методика позволяет представить связь обобщенных остаточных напряжений с безразмерной максимальной температурой в диапазоне, определенном при планировании эксперимента.

Матричная запись дает возможность более глубоко анализировать данные, полученные опытным путем, например, исследовать влияние формы распределения остаточных напряжений по глубине на предел выносливости материала.

Применение планирования эксперимента для получения коэффициентов уравнений регрессии помогает оценить достоверность зависимостей выведенных с помощью опытных данных.

Л и т е р а т у р а

1. К о н о н о в В.К. Расчет температурного поля от движущегося полосового источника через максимальную температуру на поверхности. В сб.: "Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов". Межвузовский сборник. Вып. 1, Куйбышевский авиационный институт, 1973.
2. К о н о н о в В.К. К методике определения связи обобщенных остаточных напряжений с безразмерными параметрами режима шлифования. В сб.: "Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов". Межвузовский сборник. Вып. 2, Куйбышевский авиационный институт, 1974. с. 88-92.
3. С е д о в Л.А. Методы подобия и размерности в механике. М., Физматгиз, 1957.

А.Н.Овсеенко

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Технологический процесс изготовления деталей машин сопровождается, как правило, изменением их напряженного состояния. Так, при механической обработке с поверхности заготовки вместе с припуском удаляется часть эпюры остаточных напряжений, имеющихся в заготовке до обработки. Кроме того, сам процесс обработки сопровождается образованием новых остаточных напряжений, которые накладываются на ранее имевшиеся в заготовке. В результате суммарного воздействия удаляемых и вносимых остаточных напряжений деталь деформируется, принимая новое равновесное состояние. Остаточные деформации могут достигать значительных величин и составлять большую часть суммарной погрешности обработки маложестких деталей.