

УДК 621.992.4

В.П. Ларшин, д-р техн. наук, проф.,
Е.А. Дьячкова, бакалавр,
А.В. Ларшина, бакалавр,
Одес. нац. политехн. ун-т

БЕСПРИЖОГОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ РЕЗЬБЫ ХОДОВЫХ ВИНТОВ

В.П. Ларшин, О.О. Дьячкова, А.В. Ларшина.
Безприжогове шліфування різьби ходових гвинтів. Пропонується метод визначення глибини різання при шліфуванні, який може бути використаний при розробці системи комп'ютерної діагностики.

V.P. Larshin, E.A. Diyachkova, A.V. Larshina.
Lead screws thread burnless grinding. A method of cutting depth definition in the grinding which can be used in computer diagnostics system development, is proposed.

В общей теории управления принято условно различать такие режимы управления, как режим реального времени (on-line) и режим разделения времени (off-line). В первом случае речь идет о непосредственном управлении на этапе изготовления изделия, во втором – имеется в виду косвенное (опосредствованное) управление, когда необходимо правильно распределить технологические ресурсы с учетом возможных возмущений, которые могут иметь место в будущем.

Интерес к управлению производством в режимах off-line и on-line заметно возрос в связи с компьютеризацией машиностроительного производства, появлением CAD/CAM систем, CALS-технологий, САПР и систем встроенной технологической диагностики, предназначенных для повышения технического уровня и эффективности машиностроительного производства в условиях острой конкурентной борьбы. Росту этого интереса оказало содействие появление международных стандартов по управлению качеством продукции (ISO 9000 и др.), внедрение которых является обязательным для сертификации произведенной продукции и поставки ее на международный рынок.

Для диагностики технологической системы шлифования и управления процессом в режиме реального времени необходимо учитывать фактические параметры функционирующей технологической системы и обеспечить необходимую достоверность получаемой информации. В этой связи разработан способ шлифования, который позволяет устранить шлифовочные дефекты (прижоги и трещины) на окончательно обработанной поверхности при высокой производительности обработки. В соответствии с указанным способом производят корректировку уравнения математической модели температурного поля. Такая корректировка уравнения путём его «привязки» к реальным условиям обработки аналогична учету начальных и граничных условий при решении дифференциального уравнения теплопроводности.

Сущность предлагаемого способа состоит в определении глубины резания при шлифовании по критерию максимальной производительности [1]. Способ включает коррекцию уравнения, основанную на определении и фиксации параметров шлифования в некоторых характерных «точках», которые характеризуют состояние технологической системы. Такой «точкой» может быть, например, точка перехода состояния поверхностного слоя из недефектного в дефектное, которую можно контролировать с помощью специальных измерительных преобразователей или (в заводских условиях) визуально по мгновенному отпечатку пятна контакта.

Например, при шлифовании резьбы полукруглого профиля способ реализуется следующим образом. Известно, что глубину h_d дефектного слоя можно найти из уравнения температурного поля для цилиндрического теплового источника

$$T = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{a\tau}{R^2} \zeta^2\right) \right] \frac{J_0\left(\zeta \frac{r}{R}\right) Y_1(\zeta) - Y_0\left(\zeta \frac{r}{R}\right) J_1(\zeta)}{\zeta^2 [J_1^2(\zeta) + Y_1^2(\zeta)]} d\zeta \frac{qR}{\lambda}, \quad (1)$$

где $r = R + x$ — текущий радиус-вектор рассматриваемой точки, м;
 x — расстояние от поверхности контакта до рассматриваемой точки, м;
 R — радиус граничной цилиндрической поверхности, м;
 q — плотность теплового потока, Вт/м²;
 τ — время действия теплового источника, с;
 J_0, J_1 — функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка;
 Y_0, Y_1 — функции Бесселя второго рода нулевого и первого порядка;
 ζ — переменная интегрирования.

Для определения глубины h_d проникновения критической температуры в поверхностный слой резцы принимают $r = R + x$. Итак, при $x = h_d$ получим $r = R + h_d$. При этом величину h_d можно найти из условия

$$T - T_{кр} = 0, \quad (2)$$

где T — температура, которая определяется по формуле (1).

Уравнение (2) можно записать в общем виде

$$T(t_0, V, h_d) = T_{кр}, \quad (3)$$

что позволяет определить глубину h_d дефектного слоя с учетом влияния на нее глубины резания t_0 . Причем, связь между h_d и t_0 в формуле (3) неявная.

Максимальная температура в зоне шлифования [2]

$$T_{\max} = \frac{2m(\eta)q}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}}. \quad (4)$$

Если на поверхности контакта температура равна критической, то при этом примем, что $q = q_0$ и $\tau = \tau_0$. Тогда на основании (4) получим

$$T_{кр} = \frac{2m(\eta)q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}. \quad (5)$$

Известно, что плотность теплового потока для любой точки контакта профильного шлифовального круга с заготовкой определяется по формуле [3]

$$q = \psi A_{уд} V \frac{t_N}{L}. \quad (6)$$

С учетом (6) можно определить величину q_0 в формуле (5), а именно

$$q_0 = \psi A_{уд} \frac{V_0 t_{N0}}{L_0},$$

где V_0 — скорость заготовки в рассматриваемой точке, м/с;

t_{N0} — нормальная составляющая глубины шлифования в рассматриваемой точке, м;

$L_0 = \sqrt{D t_{в0}}$ — длина дуги контакта на настроенном проходе, при которой образуется шлифовочный дефект (в дальнейшем — рассматриваемая точка), м;

$t_{в0}$ — поперечная подача в рассматриваемой точке, м;

Используя (5) и (6), получим

$$T_{кр} = \frac{2m(\eta)}{\lambda} \frac{\Psi A_{уд} V_0 t_{N0}}{\sqrt{\Delta t_{в0}}} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}. \quad (7)$$

Здесь $\tau_0 = \frac{\sqrt{\Delta t_{в0}}}{V_0}$.

Из (7) получим

$$\Theta_{уд} = \Psi A_{уд} = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \sqrt[4]{\Delta t_{в0}} \frac{T_{кр} \lambda}{2m(\eta) t_{N0} \sqrt{V_0}}, \quad (8)$$

где $m(\eta)$ — коэффициент формы, определяемый из условия преобладания уравнений, которые описывают выделение тепла от плоского источника ($R \rightarrow \infty$) и от цилиндрического источника (радиус профиля R).

Коэффициент формы $m(\eta)$ находим как отношение температуры поверхности ($x=0$) от цилиндрического источника $T_{кр(рез)}$ к температуре поверхности от плоского источника тепла $T_{кр(пл)}$.

При $x=0$ указанные температуры определяются по формулам

$$T_{кр(пл)} = \frac{2q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}; \quad (9)$$

$$T_{кр(рез)} = -\frac{2}{\pi} \frac{qR}{\lambda} \int_0^{\infty} \left(1 - \exp\left(-\frac{a\tau}{R^2} \xi^2\right) \right) \frac{I_0(\xi)Y_1(\xi) - Y_0(\xi)I_1(\xi)}{\xi^2 [I_1^2(\xi) + Y_1^2(\xi)]} d\xi. \quad (10)$$

С учетом формул (9) и (10) получим

$$m(\eta) = \frac{T_{кр(рез)}}{T_{кр(пл)}} = \frac{R}{\sqrt{a\tau_0} \pi} \int_0^{\infty} \left(1 - \exp\left(-\frac{a\tau}{R^2} \xi^2\right) \right) \frac{I_0(\xi)Y_1(\xi) - Y_0(\xi)I_1(\xi)}{\xi^2 (I_1^2(\xi) + Y_1^2(\xi))} d\xi.$$

Видно, что коэффициент $m(\eta)$ в какой-то мере зависит и от времени действия теплового источника τ_0 , т.е. $m(\eta) = m(\eta, \tau_0)$

По своему физическому содержанию величина $\Theta_{уд}$ характеризует часть тепловой энергии шлифования, которая поступает в заготовку в рассматриваемой “точке” состояния технологической системы (т.е. в точке перехода состояния поверхностного слоя из недефектного в дефектное). Причем выражение (8) характеризует фактическое состояние технологической системы шлифования с учетом индивидуальных особенностей всех элементов технологической системы (станок, приспособление, инструмент, заготовка). Неопределенные параметры процесса $\lambda, a, T_{кр}$ и $m(\eta)$ входят в это выражение в конкретном сочетании, которое можно представить в виде комплекса

$$K = \frac{T_{кр} \lambda}{m(\eta) \sqrt{a}}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}^{0,5}}{\text{М}^2}.$$

Таким образом, указанные неопределенные параметры влияют на процесс шлифования не разрозненно (каждый отдельно), а в виде установленного сочетания K .

Найденное из (8) численное значение $\Theta_{уд}$ можно использовать для оценки других состояний технологической системы, т.е. других “точек” состояния, которые находятся в окрестности рассмотренной точки. Можно предположить, что чем меньше удаление этих “точек” от “точки” перехода поверхностного слоя из недефектного состояния в дефектное, тем более достоверным (объективным) является значения $\Theta_{уд}$ при характеристике фактических условий шлифования.

Таким образом, при известных глубинах резания t_{b0} и t_{N0} и скорости заготовки $V = V_0$ на настроенном проходе (точке образования прижога) на основании формулы (5), справедливой в момент появления дефектного слоя, можно по формуле (8) вычислить фактическую удельную энергию $\mathcal{E}_{уд}$, которая поступает в заготовку при шлифовании. Затем — использовать вычисленное значение $\mathcal{E}_{уд} = \psi A_{уд}$ при нахождении плотности теплового потока по формуле (6) и далее — при определении температуры шлифования.

Иначе говоря, в формуле (1) плотность теплового потока определяют по формуле (6), в которой произведение $\psi A_{уд}$, найденное по формуле (8), известно. Т.е. формула для определения плотности теплового потока q в выражении (1) с учетом формулы (6) будет иметь вид

$$q = \mathcal{E}_{уд} \frac{V t_N}{L}. \quad (11)$$

где $\mathcal{E}_{уд}$ — число, найденное по формуле (8) в точке образования прижога.

Если $\mathcal{E}_{уд}$ известно (по данным настроенного прохода), то текущую температуру шлифования можно найти на основании формул (1) и (11).

$$T(x) = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \left[1 - \exp \left(-\frac{a \sqrt{\frac{Ddt_b}{D+d}}}{V} \zeta^2 \right) \right] \frac{J_0 \left(\zeta \frac{R+x}{R} \right) Y_1(\zeta) - Y_0 \left(\zeta \frac{R+x}{R} \right) J_1(\zeta)}{\zeta^2 [J_1^2(\zeta) + Y_1^2(\zeta)]} d\zeta \frac{\mathcal{E}_{уд} \frac{V t_N}{L} R}{\sqrt{\frac{Ddt_b}{D+d}} \lambda}.$$

Увеличивая глубину шлифования с определенным шагом, определяем глубину дефектного слоя x из уравнения

$$T(x) - T_{кр} = 0 \text{ при } x = h_d.$$

Полученную глубину дефектного слоя h_d сравнивают с оставшимся припуском. Увеличение глубины шлифования осуществляют до тех пор, пока дефектный слой не станет равным оставшемуся припуску (или части его). Найденное значение глубины шлифования фиксируют. Аналогично находят распределение припуска на другие проходы шлифования с учетом уменьшения оставшегося припуска на сумму ранее найденных глубин резания.

Литература

1. Деклараційний патент України на корисну модель 12572 Україна. Спосіб визначення глибини різання при шліфуванні / В.П. Ларшин, Н.В. Ліщенко, О.В. Якимов, А.В. Ларшина // Бюл. — 2006. — № 2.
2. А.с. 1399097 А1 СССР. Способ определения глубины резания при шлифовании / В.П. Ларшин, А.М. Скляр и А.В. Якимов // Бюл. — 1988 — № 20.
3. Ларшин В.П. Технология многониточного шлифования прецизионных ходовых винтов // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1999. — Вып. 2 (8). — С. 87 — 91.

Поступила в редакцию 19 марта 2008 г.

