

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, В. А. СИПАЙЛОВ, Р. С. АМБАРЯН

ТЕМПЕРАТУРА, ВОЗНИКАЮЩАЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
ПРЕРЫВИСТЫМ КРУГОМ

Шлифование металлов характеризуется быстро изменяющимися силами резания и температуры. Это приводит к нагреву зоны контакта круга с деталью до температур, обычно превышающих температуру фазовых и структурных превращений. При этих условиях поверхностный слой детали претерпевает нежелательные изменения, из-за чего его качество не обеспечивает заданной надежности сопряжения тел.

Для улучшения качества поверхностного слоя необходимо регулировать температуру при шлифовании и эффективно снижать ее. Низкие температуры шлифования особо важны для вольфрамо-молибденовых сталей, титановых, магниевых, алюминиевых сплавов и прочих новых материалов, чувствительных к тепловым импульсам. Охлаждение, применяемое при шлифовании, понижая теплосодержание детали в целом, не является эффективным методом понижения температуры в зоне шлифования.

Прерывистое шлифование [1] при правильно рассчитанных параметрах круга может служить эффективным методом понижения температуры с одновременным снижением усилий резания. Однако прерывистость контакта шлифовального круга с деталью приводит к вибрациям шпинделя станка и самого круга, что, являясь причиной образования волнистостей на поверхности, приводит к усиленному износу опорных подшипников шпинделя и неустойчивому процессу шлифования.

Наши исследования показывают, что возможны конструкции кругов, которые, сохраняя прерывистость обработки, обеспечивают равномерность контакта. Развертка рабочего профиля одного из таких кругов приведена на рис. 1. При таком рабочем профиле круга протяженности боковых режущих кромок в некоторых случаях могут быть несколько увеличенными и тепловое насыщение успевает происходить. По этой причине теоретические основы прерывистого шлифования, изложенные в [1], область применения которых ограничена периодом теплового насыщения, должны быть расширены до более общего случая. Для расчета таких кругов необходимо более полное исследование нестационарного температурного поля и исследование температурного поля от полосового источника, ориентированного под углом к направлению движения.

Рассмотрим нестационарный режим работы круга и возникающее при этом температурное поле на его боковой части. Процесс схематизируем следующим образом. По поверхности полубесконечного тела в положительном направлении оси z (рис. 2) движется длинный полосо-



Рис. 1. Развертка рабочего профиля прерывистого круга.

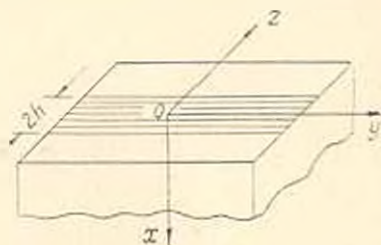


Рис. 2. Расчетная схема подвижного поверхностно-полосового источника.

ной источник тепла шириной $2h$. Полагаем, что поверхность $x = 0$ не пропускает тепла. Начало системы координат поместим в центре полосы, связанной с источником. Математическая формулировка задачи, соответствующей принятым условиям, может быть записана следующим образом. Требуется решить дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + v \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

(где a — температуропроводность, v — скорость источника, T — температура) при краевых условиях:

$$\left. \begin{aligned} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} + q &= 0, \quad T|_{t=0} = 0, \\ T|_{x \rightarrow \infty} &= 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где λ — теплопроводность; q — плотность теплового потока. Эта задача наиболее наглядно и просто решается методом источников, т. е. реальный источник тепла представляется как сумма бесконечного числа элементарных (точечных) источников тепла, действие которых описывается функцией

$$T(x, y, z, x', y', z', t, t') = \frac{Q}{C\gamma[4a(t-t')]} \exp \left[-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}{4a(t-t')} \right] \quad (3)$$

где Q — количество тепла, мгновенно выделившегося в точке с координатами x', y', z' ; C — удельная теплоемкость; γ — плотность среды.

В результате движения источника координата z' непрерывно меняется на величину $v(t-t')$ и решение задачи может быть представлено в виде интеграла:

$$T = \int_{-h}^{+h} dz' \int_{-\infty}^{+\infty} dy' \int_0^t \frac{2q dt'}{C_T [4\pi a(t-t')]^{3/2}} \exp \left\{ -\frac{x^2 + (y-y')^2 + [z-z' + v(t-t')]^2}{4a(t-t')} \right\}. \quad (4)$$

Интегрируя по y' , получим:

$$T = \frac{q}{2\pi i} \int_{-h}^{+h} dz' \int_0^t \frac{dt'}{t-t'} \exp \left\{ -\frac{x^2 + [z-z' + v(t-t')]^2}{4a(t-t')} \right\}. \quad (5)$$

Ограничиваясь рассмотрением температуры на поверхности металла ($x=0$), получим:

$$T = \frac{q}{2\pi i} \int_{-h}^{+h} dz' \int_0^t \frac{dt'}{t-t'} \exp \left\{ -\left[\frac{(z-z')^2}{4a(t-t')} + \frac{v}{2a}(z-z') + \frac{v^2}{4a}(t-t') \right] \right\}. \quad (6)$$

Введем обозначения:

$$\frac{v^2}{4a}(t-t') = \xi; \quad -\frac{v^2}{4a} dt' = d\xi.$$

Тогда

$$T = \frac{q}{2\pi i} \int_{-h}^{+h} dz' \int_0^{v(t+h)/4a} \frac{d\xi}{\xi} \exp \left\{ -\left[\frac{v(z-z')}{4a\sqrt{\xi}} + \sqrt{\xi} \right]^2 \right\}. \quad (7)$$

Заменяя $\frac{v(z-z')}{2a} = \eta$ и $\frac{v dz'}{2a} = d\eta$, получим:

$$T = \frac{qa}{\pi i v} \int_{v(z-h)/2a}^{v(z+h)/2a} d\eta \int_0^{v^2 t/4a} \frac{d\xi}{\xi} \exp \left[-\left(\frac{\eta}{2\sqrt{\xi}} + \sqrt{\xi} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Далее, обозначая:

$$\frac{\eta}{2\sqrt{\xi}} + \sqrt{\xi} = u; \quad \frac{d\eta}{2\sqrt{\xi}} = du; \quad \frac{vz}{2a} = Z; \quad vh = H,$$

будем иметь:

$$T = \frac{2qa}{\pi i v} \int_{(Z-H)/2}^{(Z+H)/2} \sqrt{\xi} du \int_0^{v^2 t/4a} \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}} \exp(-u^2). \quad (9)$$

Представляя выражение (9) через интеграл вероятности, окончательно получим:

$$T = \frac{2qa}{\pi \lambda v} \int_0^{v^2 t/4a} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{Z+H+\xi}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{Z-H+\xi}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}}. \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой температурное поле подвижного полосового источника, который двигался по поверхности полубесконечного тела в течение времени t . Если t достаточно велико ($t \rightarrow \infty$), то выражение (10) будет представлять известное стационарное температурное поле, которое реализуется при обычном шлифовании. Отметим, что выражение (10) является точным решением поставленной задачи, которое получено без каких-либо ограничений в области применения.

Рассмотрим характер зависимости относительной температуры $\Theta = \pi \lambda v T / 2qa$ от комплекса $v^2 t / 4a$ (произведение квадрата Пекле), пропорционального времени. Для определенности рассмотрим изменение температуры в зависимости от времени в области ее максимальных значений, т. е. на задней кромке источника ($Z = -H$).

Тогда выражение (10) можно представить в виде:

$$\Theta = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \int_0^{v^2 t/4a} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{\xi}}{2} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{\xi - 2H}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}}. \quad (11)$$

Зависимость Θ от $v^2 t / 4a$ представлена на рис. 3, она имеет характер насыщения. В любом случае с течением времени температура на зад-

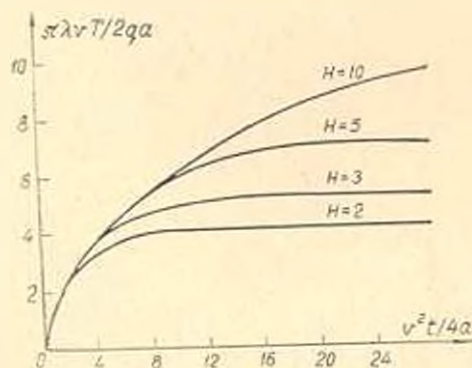


Рис. 3 Зависимость относительной температуры от комплекса, пропорционального времени

ней кромке источника стремится к некоторому пределу, характерному для данной относительной полуширины источника.

Для расчета температурного поля в центральной части круга с полнообразной режущей кромкой необходимо учесть лишь протяженность режущей кромки в направлении скорости круга. Наклонное по-

ложение режущего выступа в данном случае не окажет влияния на тепловой расчет, т. к. длина дуги контакта круга с деталью намного меньше, чем размер наклонной перемычки. Максимальные значения температуры будут определяться длиной режущей кромки между точками A и B (рис. 1).

Произведем оценку этой температуры для конкретного режима шлифования. Круг ЭБ25СМ2К, диаметр 250 мм, $t = 0,05$ мм, $v_c = 12$ м/мин $= 20 \cdot 10^{-3}$ м/сек, $n = 2700$ об/мин. Материал — сталь 12Х2Н4А ($R_c = 56 - 62$), $a = 0,04$. При этих условиях: $H = \frac{v_c}{2a} = \frac{20 \cdot 0,14}{2 \cdot 0,04} = 35$;

максимальное значение относительной температуры на задней кромке источника $\Theta = 19,8$. Если наложить условие необходимости снижения относительной температуры на 50%, то как видно из графика (рис. 3), этому требованию удовлетворяет приблизительное значение комплекса, пропорционального времени, равное 24. Из этих условий можно определить время достижения этой температуры:

$$\frac{a^2 t}{4a} = 24; \quad t = \frac{4 \cdot 0,04 \cdot 24}{400} \approx 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ сек.}$$

Это время достаточно велико и наложенному условию будет соответствовать большой класс кругов, выполненных по предложенной схеме. Так, например, если при рассмотренной схеме и режиме шлифования взять сплошной круг, то, как показывают расчеты и эксперименты многих авторов, температура на задней кромке источника будет порядка 150°. Если же круг выполнить по предложенной схеме и протяженностью выступов по AB (рис. 1), скажем 100 мм, то, очевидно, время работы такого круга, определенное из условия (1) $t = t \pi D n$, будет равно $t = \frac{10}{\pi \cdot 25,45} \approx 3 \cdot 10^{-3}$ сек, а комплекс $a^2 t / 4a$ получит значение

7,5, при котором $\Theta = 5,3$, т. е. в 3,7 раза ниже температуры насыщения, развиваемой сплошным кругом. Для рассмотренного режима эта температура будет равна 400°, что является вполне безопасной в смысле образования прижогов, микротрещин и т. п.

В ы в о д ы

1. При прерывистом шлифовании температура в зоне контакта круга с деталью на 30 — 50% ниже по сравнению со сплошным шлифованием, что объясняется, в основном, прерывистым процессом резания.

2. Прерывистое шлифование дает значительное улучшение качества поверхностного слоя за счет понижения температуры. При низких температурах структурные изменения (незначительный отпуск) распространяются приблизительно на глубину 35 — 50 мкм взамен 270 мкм при шлифовании сплошными кругами, что приводит к пониже-

нию микротвердости, фазовым и структурным превращениям обрабатываемого материала.

3. Предложенный вариант прерывистого круга позволяет сэкономить абразивный материал.

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Վ. Ա. ՍԻՊԻԱՅԻՈՎ, Ի. Ս. ԼՈՍԵՄԻՆՈՎ

ՐԵԻԶԱՏՈՒՆ ՍԿԱՎԱԹԱԿՈՎ ԶՂԿԵԼԻՍ ԱԹԱԶԱՅՈՂ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՈՂ

Ա Վ Վ Ս Վ Ս Վ

Հորվածում քննարկվում է հղկուսկալառակի աշխատանքի ոչ-ստացիոնար ուժի մեծությունը և դրա ժամանակ սկալառակի կողմնային մասում առաջացող ջերմաստիճանային դաշտը: Ցույց է տրված, որ տներնդհատ հղկման համեմատությամբ ընդհատուն հղկման ժամանակ սկալառակի և դետալի կոնտակտի զոնայում ջերմաստիճանը 30-50⁰₀ ցած է: Հետևությունն է տրված, որ ընդհատուն հղկումը պայլիսրեն բարելավում է մակերևութային շերտի որակը՝ ի հաշիվ ջերմաստիճանի իջեցման: Առաջարկվում է ընդհատուն սկալառակի տարրերակ, որն քննենում է հղկանյութի տնտեսիկու հնարավորություն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сипийлов В. А., Якимов А. В. Расчет размеров режущих прерывчек круга при прерывистом шлифовании.
2. Якимов А. В., Сипийлов В. А., Потемкин В. И., Яковлев Г. С., Бояршинов Ю. А., Екимов С. К. Прерывистое шлифование. «Вестник машиностроения», № 3, 1967.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности, Гостехиздат, 1952.