

②
6-10

磨削积分平均温度的研究*

STUDY ON THE INTEGRATED AVERAGE TEMPERATURE
IN GRINDING

TG580.14

曾 忠
Zeng Zhong

Б. Г. Т.
格·波库恰瓦
Г. Бокучава

劳·图尔玛义泽
Л. Турмайдзе

(重庆大学机械工程一系)

摘 要 在磨削过程中,砂轮工作表面的磨粒对工件进行三种不同特点的作用:切削、塑性挤压和弹性挤压。这三种作用所产生的热量及砂轮结合剂对工件表面的摩擦,在砂轮与工件接触区形成积分平均温度。本文提出了积分平均温度及工件内温度分布的测定和计算方法,并研究了各种磨削因素对它们的影响。

关键词 磨削;温度场 / 磨削温度 积分平均温度
中国图书资料分类法分类号 TG580.14

ABSTRACT There are three actions of different features exerted upon the work surface by the abrasive grains on the working surface of the wheel during grinding process; they are elastic scratching, plastic pressing and cutting. The heat transformed by these three actions as well as the rubbing between the wheel bond and the work surface contributes to the integrated average temperature on the contact zone between the wheel and the work. In this paper the measurement and calculation of this integrated average temperature and the temperature distribution in the work are given, the influences of various grinding parameters are also studied.

KEY WORDS grinding; temperature field / grinding temperature

1 热源分析

磨削加工过程中,砂轮与工件接触区所产生的热量对于工件加工表面质量、砂轮的磨削能力、磨料的磨损强度和性质以及其它指标都有很大的影响。研究磨削过程中热量的形成机理及其分布情况具有重要的理论和实践意义。

对砂轮工作表面的形貌研究表明:砂轮工作表面是由许多不等高的各种形态的磨粒所构成的。按其对于工件的作用性质的不同可以分为三大类^[1]:

1) 比较凸出于工件表面的磨粒。它们对工件进行切削作用并产生切屑。

* 收文日期 1991-10-30

后两位作者系原苏联格鲁吉亚共和国第比利斯技术大学教授。

2)略低于第一类的磨粒。它们不能切入工件产生切屑,而只是对工件表面进行挤压,使部分材料产生塑性变形;

3)比较不凸出的磨粒。它们或是对工件表面进行弹性挤压,或是根本就不能投入工作。

由于各种因素的影响,三类磨粒在磨削时所生成的热量是不相同的。作者用热电偶方法测量了各种情形下的接触温度(θ)。如图1所示,

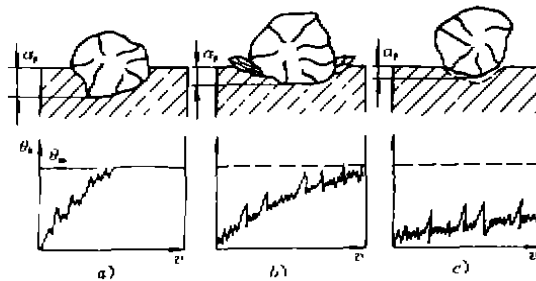


图1 磨粒与工件作用性质及接触温度(干磨削)

(a) 切削; (b) 塑性挤压; (c) 弹性挤压

随着磨削速度的增加,第一类磨粒产生的接触温度可达到工件材料的熔点 θ_m (如图1a); 第二类磨粒所产生的温度要低一些,只是在少数峰点达到工件材料熔点温度(如图1b); 而第三类磨粒所引起的接触温度远远低于材料熔点(如图1c)。

磨削加工时,砂轮结合剂也对工件表面产生摩擦作用。用变色漆方法初步测定了不同结合剂材料对工件摩擦作用所产生的温度,如图2所示。明显可见,温度最低的是使用橡胶结合剂,其次是有机结合剂,再次之是陶瓷结合剂,温度最高的是金属结合剂。

2 积分平均温度

磨削过程中,由于上列各热源共同作用的结果,在砂轮与工件接触区内沿砂轮宽度形成了积分平均温度。如图3给出了平面磨削(不用冷却液)情况下积分平均温度的构成。由图可见,砂轮从切入工件到脱离接触,积分平均温度逐步升高,这一变化特点是由于每个磨粒切削厚度的不断增加,从而使各点热源强度也不断增加的结果。

在大多数情况下,积分平均温度是很高的,被磨工件表层的温度也达到相当高的数值,以至于发生金相结构和组织的变化。借助于专门的装置使工件瞬时脱离磨削过程,再将工件断面经过研磨和酸蚀后作成磨片,在金相显微镜下很清楚地可以看到其组织的变化。例如图4所示为用刚玉砂轮磨削45钢的金相照片。从图上可明显地区分为四个区域:最上面一层 L_1 (白色带)约 $20\mu\text{m}$,是由于与空气中氧的作用而脱碳生成的氧化皮(1250°K); 第二层 L_2 约 $60\mu\text{m}$ 是细小的铁碳化合物($850^\circ\sim 950^\circ\text{K}$); 第三层 L_3 达 $120\mu\text{m}$ 是分散的奥氏体结构($850^\circ\sim 950^\circ\text{K}$); 以上三层总共约为 $200\mu\text{m}$ (或 0.2mm); 最下面为回火马氏体及少量残余奥氏体(低于 700°K , 为加工前的金相状态)。

一般情况下,切屑厚度远小于相变层厚度,磨粒实际上是对温度已升至很高的工件材料进行磨削。粗磨时,为了有利于多切除余量,提高生产率,可以选择大的磨削用量,使积分平

均温度很高,从而使被切层受热更深;相反,在精磨时,应让积分平均温度尽量低,使被切层受热浅,从而保证表面加工质量。

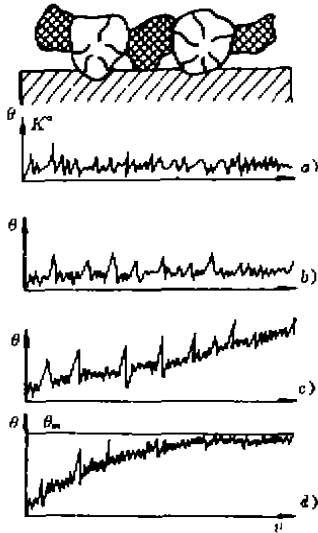


图 2 不同结合剂材料对工件摩擦所产生的温度的影响
(a)橡胶结合剂 (b)有机结合剂
(c)陶瓷结合剂 (d)金属结合剂

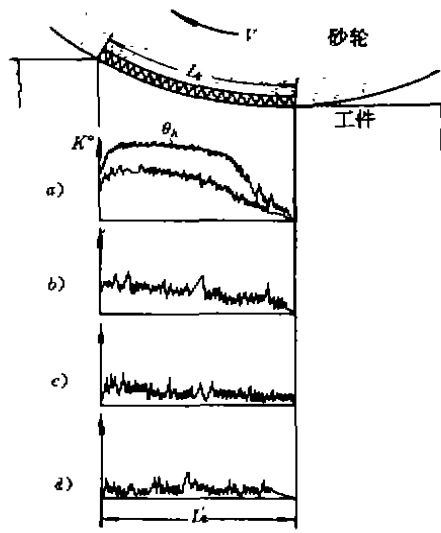


图 3 积分平均温度 θ_a 的形成
(a) 进行切削磨粒所引起的接触温度
(b) 塑性挤压磨粒所引起的接触温度
(c) 弹性挤压磨粒所引起的接触温度
(d) 结合剂摩擦作用所引起的接触温度
 θ_a : 积分平均温度, 由 a)、b)、c)和 d)四部分叠加而成。

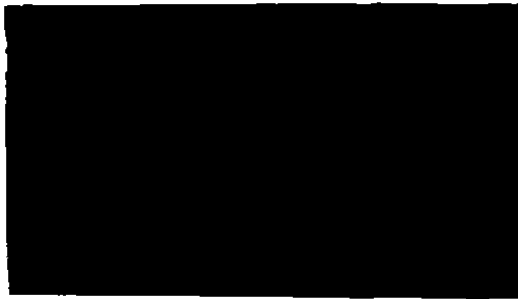


图 4 磨削加工时工件表层金相结构和组织的变化 $\times 250$ (刚玉砂轮干磨削 45 钢)

由此可见,积分平均温度是一个重要的工艺参数,它对被加工零件表面质量的好坏有决定性的影响;同时,很大程度上还决定了磨料与工件材料相互作用的性质,它对砂轮的磨损有重要影响。因此,对积分平均温度及其分布的研究,具有十分重要的实践意义。

由导热微分方程

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} \quad (a \text{ 为导热系数}^*) \quad (1)$$

及相应的初始条件 $\theta(x,0) = \theta_0 = \text{常温}$,

和边界条件: $\theta(0,t) = \theta_i$ (因为单个磨粒接触时间 t 极短,在整个 t 内 $\theta(0,t)$ 可看成是恒定的)。

解方程(1)得积分平均温度:
$$\theta_i = \frac{\theta(x,t) - \theta_0}{1 - \phi} \quad (2)$$

* 导热系数是温度的函数,将在计算程序中予以考虑。

其中 $\Phi = \text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{Fox}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-u^2} du$ $\left(u = \frac{1}{2\sqrt{at/x^2}}\right)$

$Fox = at/x^2$ 称为傅立叶判据,是一个无量纲量。

式(2)中有三个未知量 $[x, t$ 及 $\theta(x, t)]$,无法求得 θ_1 。

但是在同一热源作用下,使用热指示器法(或热电偶法)测得不同深度 x_1, x_2 处的两个温度 $\theta(x_1, t)$ 与 $\theta(x_2, t)$ (简写为 θ_1, θ_2),代入(2)式则有

$$\theta_1 = \frac{\theta_1 - \Phi_1 \theta_0}{1 - \Phi_1} = \frac{\theta_2 - \Phi_2 \theta_0}{1 - \Phi_2}$$

即
$$\theta_1 = \frac{\theta_1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_1} e^{-u^2} du\right) \theta_0}{1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_1} e^{-u^2} du} = \frac{\theta_2 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_2} e^{-u^2} du\right) \theta_0}{1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_2} e^{-u^2} du} \tag{3}$$

式(3)中唯一的未知量是单个磨粒热源作用时间 t 。由于测量 $\theta_1, \theta_2, x_1, x_2$ 时有一定误差,方程两端不可能绝对相等,在用微机计算时,只要寻找某一 t 值使方程两端差值为最小即可。这样,由(2)式可得到积分平均温度 θ_0 的值。同时,取不同的 x 值,可以计算出工件内距接触表面任意深度处的温度值 $\theta(x)$,即工件内部的温度分布情况。

作为实例,图5表示用金刚石砂轮磨削硬质合金BK8时的积分平均温度及距工件表面不同深度处的温度分布计算结果。从图上还可明显地看到,磨削速度对于表面积分平均温度及工件内温度分布有很显著的影响。速度越大,积分平均温度越高,但其分布深度有所减小,这是因为随着速度的增加,摩擦和切削作用加剧,而热源作用时间缩短,来不及向工件内深部传导的结果。

工件进给量和磨削厚度的增加,引起每个磨粒切削厚度增加,单位时间内切屑变形总量增大;而且也使同时参加磨削和接触的磨粒数量增多,这都使积分平均温度增高;实验结果如图6、7所示(砂轮和工件材料同图5)。

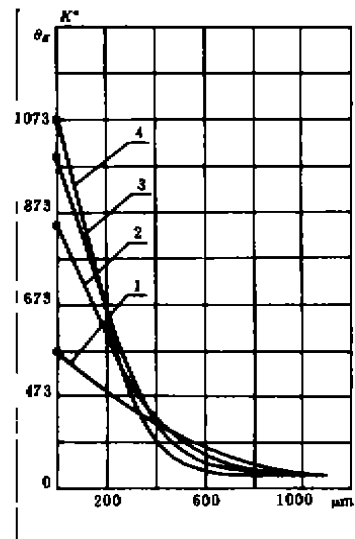


图5 磨削速度 V 对积分平均温度及温度场的影响

- 1— $V=10\text{m/s}$ 2— $V=20\text{m/s}$
- 3— $V=30\text{m/s}$ 4— $V=40\text{m/s}$

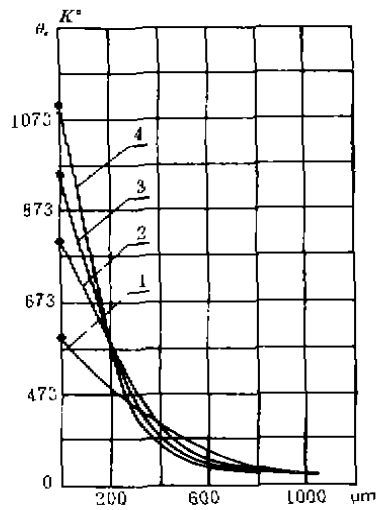


图6 磨削进给量对积分平均温度及温度场的影响

1. $f = 5\text{m/min}$ 2. $f = 10\text{m/min}$
3. $f = 15\text{m/min}$ 4. $f = 20\text{m/min}$

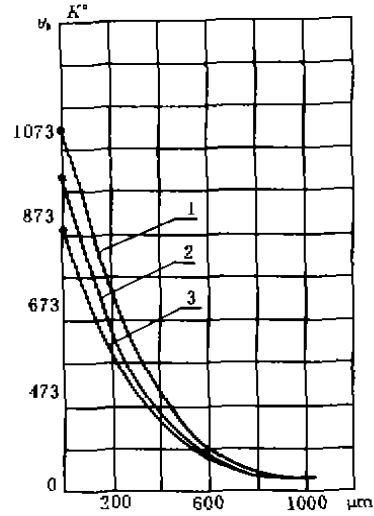


图7 磨削厚度 a_s 对积分平均温度及温度场的影响

1. $a_s = 15\mu\text{m}$ 2. $a_s = 10\mu\text{m}$
3. $a_s = 5\mu\text{m}$

3 结 论

实验和计算结果表明:工件材料的机械物理性能(如强度、导热性等)、砂轮的结构、磨料、结合剂、磨粒大小等等都对积分平均温度及其分布有很大的影响^[2]。

已知积分平均温度及其分布后,按传统的方法可以确定工件内热应力的分布情况,这就使我们在实际生产中有可能根据积分平均温度及其分布与各种因素的关系,选择最佳的磨削用量,以保证工件表层内,在磨削过程中,不至于产生不容许的拉应力。而且积分平均温度的高低决定了磨粒与工件材料间粘接和渗透作用的强度,运用这一关系可以按照积分平均温度的高低,对砂轮的磨损作出估计。所以进一步研究积分平均温度与各个磨削参数之间的关系,将是十分有意义的研究课题。

参 考 文 献

- 1 格·波库恰瓦. 磨削过程中的摩擦问题研究. 原苏联第比利斯出版社, 1984, 235
- 2 劳·图尔玛义泽. 金刚石砂轮磨削硬质合金时有效使用条件和磨损机理研究(博士论文). 第比利斯技术大学, 1982, 178