

文章编号 1000-5013(2003) 04-0390-06

磨抛中金刚石磨盘与花岗石的界面作用

黄 辉 徐西鹏

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362011)

摘要 通过跟踪不同加工阶段的花岗石表面光泽度、微观形貌以及组分变化特征, 研究垂直轴磨削过程中金刚石磨盘与花岗石界面的作用机制. 用光泽度仪、环境扫描电镜(ESEM)和X射线多晶衍射仪(XRD), 分别研究加工过程中花岗石表面光泽度、微观形貌和组分的变化; 并用三明治薄膜热电偶, 监测了磨盘与花岗石接触界面的温度变化. 结果表明, 加工过程中磨盘与花岗石接触界面的温度, 不足以引起花岗石表面的组分变化. 花岗石表面光泽度的高低, 与加工过程中在花岗石表面形成的塑性流变程度密切相关.

关键词 垂直轴磨削, 金刚石, 花岗石, 光泽度, 温度, 形貌

中图分类号 TG 580.61+9.3 TG580.1+1

文献标识码 A

随着石材加工业全球化的进程, 市场对花岗石加工特别是光整加工的效率提出了越来越高的要求. 因此, 金刚石磨盘逐渐成为欧洲等石材加工技术强国磨抛加工石材的主要工具^[1]. 在提高磨抛加工效率和加工质量方面, 金刚石工具的优势已被很多实验所证实. 但是, 人们对加工过程中花岗石光泽表面层的形成机理, 尚没有明确和统一的认识^[2]. 使用金刚石工具的花岗石磨抛加工, 目前仍属于一项机理研究落后于生产应用, 因而其蕴蓄的潜力尚未被充分开发. 本文采用系列粒度金刚石磨盘对花岗石进行磨削加工, 研究加工中工具与工件界面的作用机制, 为揭示花岗石磨抛表面形成机理提供试验依据.

1 试验部分

垂直轴磨削实验在1台专门设计的SPM-1型CNC磨抛机床上以恒压方式进行. 清水冷却. 试验时, 主轴转速为 $2\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$. 试验用工件材料为微晶结构的黑色天然花岗石. 磨削工具为树脂结合剂金刚石磨盘, 磨盘外径为 $\approx 80\text{ mm}$, 内径为 $\approx 12\text{ mm}$. 从粗磨到精细磨削所用磨盘的金刚石粒度号(“#”), 分别为150, 300, 500, 1 000, 2 000和3 000; 其所对应的金刚石磨粒的尺寸(μm)范围, 分别为 $90\sim 106$, $45\sim 53$, $38\sim 45$, $20\sim 28$, $5\sim 7$ 和 $3.5\sim 5.0$.

磨削过程中, 用GX-3型功率测量仪测量主轴功率. 工具-工件接触区的表面温度用三明治热电偶测量^[6,4]. 该热电偶由厚度约为 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的康铜薄膜和纯铁薄膜组成, 两个薄膜之间

收稿日期 2003-04-21

作者简介 黄 辉(1974-), 男, 讲师, E-mail: huanghuihh@hotmail.com

基金项目 国家自然科学基金资助项目(50275055); 福建省青年科技人才创新基金资助项目(2002J003)

用厚度为 20 μm 的云母片绝缘. 热电偶冷端埋入冰水中. 实验中, 功率信号与热电偶信号直接输入 DI-2200 动态信号分析仪记录. 采样频率为 12.8 kHz. 所记录信号转存到 PC 上用于后续分析处理. 实验装置及测试系统示意图, 如图 1 所示.

花岗岩加工表面成分的测定, 在 Philips X'Pert-MPD 型 X 射线多晶衍射仪上进行. 用 WGG-60 型光泽度仪测量试样表面光泽度值, 加工后花岗岩表面形貌, 在 Philips XL30 ESEM 型环境扫描电镜下观察. 加工表面粗糙度用 Mahr Perthometer P1 型粗糙度仪测量.

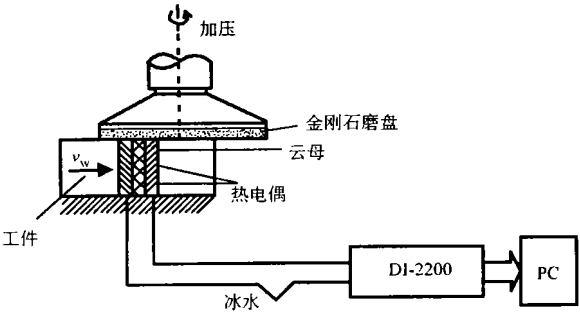


图 1 试验测试系统框图

2 试验结果

2.1 工具与花岗岩界面温度实验结果

图 2 为 3 000# 金刚石磨盘在工件表面磨削一个行程中的温度信号曲线. 图中, 曲线 1 为干磨时的温度信号曲线, 曲线 2 为湿磨时的温度信号曲线. A, B, C 为加工过程中热电偶丝与工具所经过 3 个相对位置. 在一个行程中, 磨盘半径方向上各点的线速度是不相同的, 磨盘边缘位置的线速度高于中心位置的线速度. 所以, 从图 2 的温度信号曲线 1 中, 可以看出在磨盘边缘位置处的温度(A, C 点)要高于磨盘中心位置处的温度(B 点). 对于温度信号曲线 2, 由于冷却液从磨盘边缘处进行冷却, 降低了磨盘边缘位置处的温度, 所以其温度值没有明显高出磨

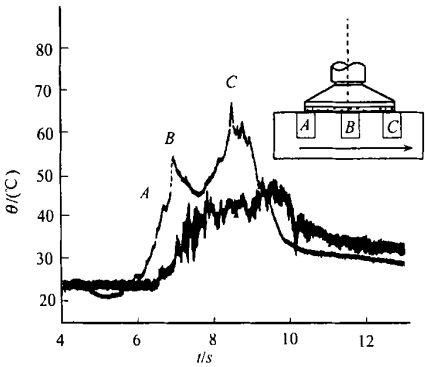


图 2 试验所测典型温度曲线

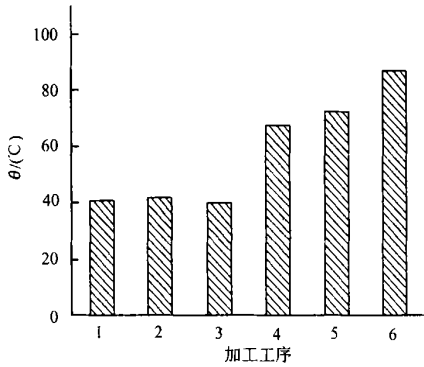


图 3 不同金刚石磨盘加工时的最大温升

盘中心位置处的温度. 图 3 给出了 6 种不同目数的金刚石磨盘干磨削时, 各自温度信号曲线的最高温度值. 从温度幅值可以看出, 即使在不使用冷却液的情况下, 磨削弧区的最高温度也不超过 100 $^{\circ}\text{C}$.

2.2 花岗岩已加工表面的 X 射线衍射分析

由于天然石材成分复杂, 从粗糙的断口表面得出的原始花岗岩材料的 X 射线衍射结果分散性很大. 因此, 本文以 150# 磨盘加工后的表面作为基础, 比较不同加工工序中花岗岩加工表面的成分变化. 图 4 为 4 种目数的金刚石磨盘加工后的花岗岩表面 X 射线衍射图. 从不同

工序的 X 射线衍射图中可以发现一些规律. 首先, 在整个加工过程中花岗石试样表层上的成分一直保持为拉长石和光线矿, 加工过程中没有发现新生晶相产生. 其次花岗石上并没有发现非晶态相理应具有的“馒头峰”的特征, 这说明在加工过程中没有非晶质相产生. 第三, 虽然每个样品中峰线的强度各不相同, 但每个样品中峰线的位置却基本一致. 这说明, 磨削加工过程只是改变了衍射峰中各个峰线的强度, 而并没有新生相峰线的产生. 事实上, 100 左右的界面温度诱发石材表面发生某种明显的改性反应, 以致产生晶态或非晶态的新生相组织的可能性太小. 应该指出, 虽然没有新生相产生, 但衍射峰强的变化说明石材中, 不同成分在组织上却发生很大变化. 其原因可能与磨削加工中花岗石表面层的材料发生晶格扭曲畸变有关.

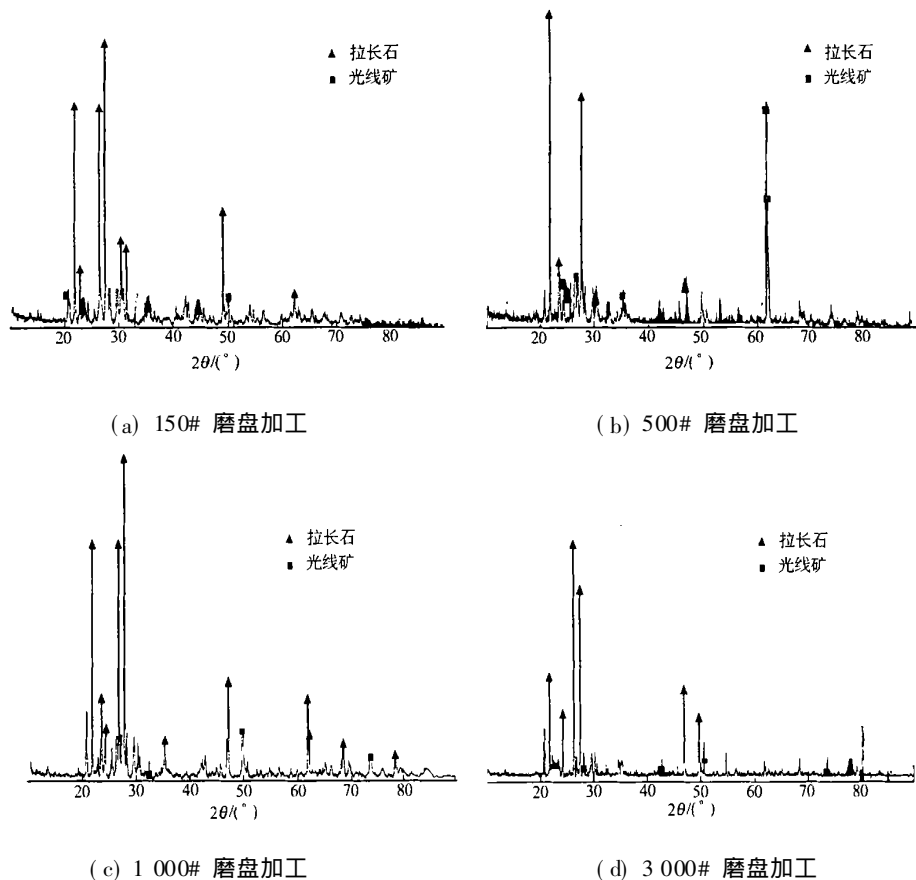
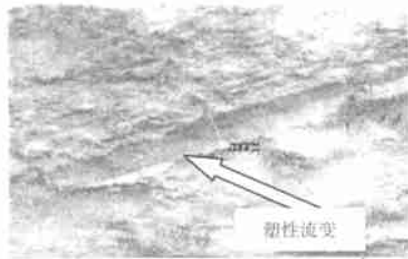


图 4 不同粒度磨盘加工后花岗石表面的 X 射线衍射结果

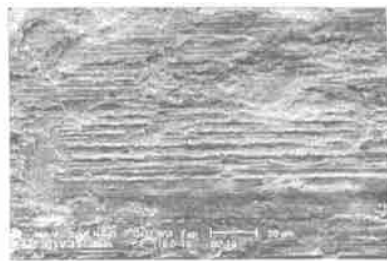
2.3 花岗石已加工表面的微观形貌特征

图 5 为 4 种目数的金刚石磨盘加工后, 花岗石表面的 SEM 照片. 从图 5 可以看出, 150# 磨盘加工后的花岗石表面虽然出现明显的塑性流变痕迹, 但是前道锯切加工工序所留下的脆性断裂仍占主导位置(图 5a). 随着金刚石磨料粒度的减少, 塑性流变形貌的面积迅速增加. 在 500# 磨盘加工后的表面, 塑性流变已经明显增多(图 5b). 当用 1 000# 磨盘加工时, 塑性流变已铺展到整个花岗石表面. 由于使用粒度的减小, 磨粒的耕犁痕迹也变得很细、很浅(图 5c). 在 3 000# 磨盘加工后的表面, 用 SEM 已很难区分其磨痕的形貌(图 5d). 为此, 我们曾经用原子力显微镜(AFM), 对其表面进行了观察. 观察结果表明, 在花岗石表面依然可以清楚地观察

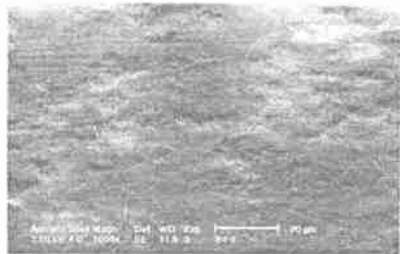
到磨粒耕犁的痕迹.



(a) 150# 磨盘加工



(b) 500# 磨盘加工



(c) 1 000# 磨盘加工



(d) 3 000# 磨盘加工

图 5 不同粒度磨盘加工后花岗石表面的 SEM 照片

3 实验结果讨论

3.1 界面低温原因分析

温度测量结果表明,在花岗石磨抛弧区内的温度大约只有 100℃.这么低的界面温度是与花岗石和金刚石工具的导热性能有直接关系的.众所周知,金刚石具有极佳的导热性能,相比而言,花岗石的导热性能则很差.在金刚石工具磨抛加工花岗石的过程中,虽然金刚石磨粒与花岗石之间仅为点接触,但磨抛弧区所产生的热量仍会传到金刚石磨粒上.按 Guo 在文献 [5] 中提出的干磨削时热量分配比例的计算式, ϵ 可以表达为

$$\epsilon = \frac{1}{1 + 1.064 \left[\frac{(\lambda \rho c)_g}{(\lambda \rho c)_w} \right]^{0.5} \left[\frac{\gamma \pi \alpha_g L_c C_a}{2A v_w} \right]^{0.5}} \quad (1)$$

在式(1)中, $(\lambda \rho c)$ 指几何平均热特性,下标 g 和 w 分别代表磨粒和工件; γ 为磨粒的几何参数, α_g 为磨粒的热扩散系数; L_c 为砂轮与工件界面接触长度; C_a 为砂轮表面单位面积的有效磨粒数; v_w 为工件进给速度; A 为砂轮表面磨粒磨损平面占总面积的比例.从式(1)中可以看出,传入工件的热量随着磨粒几何平均热特性的增加而减少.另一方面在垂直轴磨削过程中,金刚石工具与工件为面接触,砂轮表面参与切削的磨粒数比平面磨削时的磨粒数要多,单位面积的有效磨粒数 C_a 增加,因此,传入工件的热量 ϵ 进一步减小.文献 [4] 指出,采用金刚石砂轮对花岗石进行干磨削加工时,工具-工件界面所产生的热量只有 26% ~ 36% 传入工件.

3.2 界面作用机理分析

温度测量和 XRD 分析的结果表明,温度效应以及由此而引起的化学反应和热物理反应,

至少不是金刚石垂直轴磨削中花岗石光泽表面形成的主导原因. 事实上, 我们跟踪观察了用不同粒度金刚石磨盘, 依次加工同一花岗石的表面形貌. 从该表面依次变化的形貌特征, 可以设想花岗石光泽表面的形成过程, 应该是一种以磨粒机械作用为主的加工过程. 从压痕断裂模型可知, 不同金刚石粒度磨削中所表现出的不同材料去除机理, 应该归结于加工尺度相对于花岗石材料临界切除厚度的比例^[6~8]. 在加工过程中, 单颗磨粒的最大切削厚度可表示^[8]为

$$h_m = \frac{3}{C_a \tan \theta} \left(\frac{v_w}{v_s} \right) \left(\frac{a_v}{d_s} \right)^{0.5}. \quad (2)$$

很显然, h_m 随着金刚石粒度的减小而减小. 当用粗粒度金刚石磨粒加工时, h_m 基本上均大于花岗石的临界切除厚度. 因此, 材料主要以脆性方式去除(图 5a), 当使用细粒度金刚石磨粒时, h_m 基本上均小于花岗石材料的临界切除厚度, 则材料主要以塑性方式去除(图 5c). 这种加工方式, 反映到已加工表面即为大量的塑性流变痕迹. 随着金刚石粒度的进一步减小, 在石材表面塑性流变的面积逐渐增大, 隆起变小, 而磨痕逐渐变浅, 甚至变得在 SEM 下也很难区分出来(图 5d). 在此过程中, 花岗石表面逐步变得平整光滑. 从表面光泽度产生的角度讲, 这样的表面理应具有比粗糙表面更高的光泽度值. 图 6 为不同粒度磨盘加工后, 花岗石表面的光泽

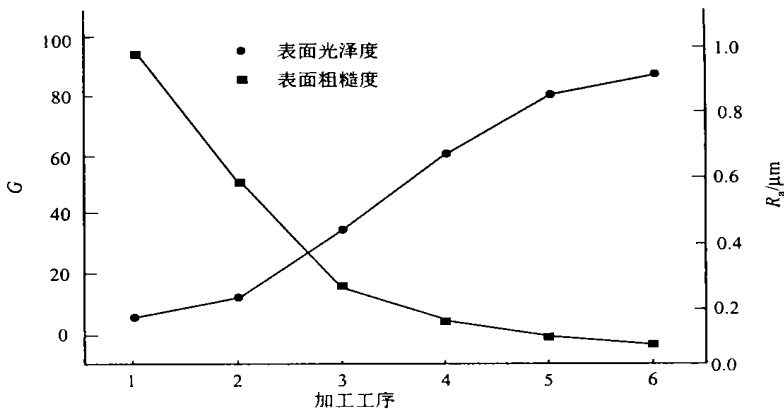


图 6 不同粒度磨盘加工后花岗石表面的光泽度值与粗糙度值变化曲线

度值(G)与粗糙度值(R_a)的变化曲线. 从图中可以看出, 随着加工过程的进行, 石材表面光泽度值不断提高, 表面粗糙度值不断降低. 综合图 5, 6 可以清楚地看出, 花岗石表面光泽度的提高是机械作用下, 花岗石表面微观不平度降低的直接结果. 因此, 提高加工表面的光泽度, 应该直接从降低加工表面的微观不平度着手. 也正是由于出现了塑性流变层, 花岗石表面层的材料在组织结构上发生晶粒的扭曲畸变. 这种畸变的结果, 在 XRD 的测量中即表现为衍射峰强的变化.

4 结束语

(1) 在本文的实验条件下, 加工过程中磨盘与花岗石接触区的表面最高温度低于 100°C . 这温度不足以引起花岗石表面的组分变化, 或者引起花岗石产生热塑流变. 从 XRD 检测结果也没有发现新生相的产生. (2) 金刚石磨盘垂直轴磨削中, 花岗石与金刚石磨盘的界面作用以机械去除方式为主. 花岗石光泽表面的形成过程, 是一种由于磨粒加工尺度逐渐减少, 导致加

工表面塑性流变面积逐渐增大、隆起逐渐变小以及磨痕逐渐变浅的过程。花岗岩表面光泽度的提高是机械作用下表面微观不平度降低的直接结果。

参 考 文 献

- 1 Midha P S, Channon R D, Montakhab M. An investigation into the optimization of stone processing using diamond tools [A]. In: Terry M K, eds. Proceedings of International Conference on Diamond, CBN & Their Applications[C]. Skyland: Industrial Diamond Association, 2001. 1 ~ 6
- 2 Wright D N, Rouse C. Stone polishing-measurement of surface finish [J]. Industrial Diamond Review, 1993, 53(1): 10 ~ 13
- 3 Nee A Y C, Tay A O. On the measurement of surface grinding temperature[J]. International Journal of Machine Tool Design & Research, 1981, 21: 279 ~ 291
- 4 徐西鹏, Malkin S. 金刚石砂轮与花岗岩摩擦界面能量传输特征研究[J]. 摩擦学学报, 2001, 21(1): 1 ~ 5
- 5 Guo C, Malkin S. Heat transfer in grinding [J]. Journal of Materials Processing & Manufacturing Science, 1992, 1(1): 16 ~ 27
- 6 Malkin S. Grinding technology: Theory and application of machining with abrasives[M]. New York: John Wiley & Sons, 1989. 1 ~ 68
- 7 Malkin S. From steels to ceramics in grinding [J]. Finer Points, 1995, 7(3): 18 ~ 22
- 8 Ruff A W, Shin H, Evans C J. Damage processes in ceramics resulting from diamond tool indentation and scratching in various environments [J]. Wear, 1995, 181 ~ 183: 551 ~ 562

Interfacial Reaction between Diamond Disk and Granite during Vertical Spindle Grinding

Huang Hui Xu Xipeng

(College of Electromech. Eng. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract The mechanism of the interfacial reactions between diamond disk and granite during vertical spindle grinding was studied by tracking their surface glossiness, micromorphology and compositions. Glossimeter, ESEM and XRD were applied to examine surface glossiness, micromorphology and compositions of ground granite surface, and a pair of grindable foil thermocouple was applied to monitor the temperature at diamond-granite interface. Experimental results showed that the temperature at diamond-granite interface was not high enough to cause the change in compositions at the surface of granite. and the glossiness of stone surface was closely associated with the relative amount of ductile flowing formed at stone surface during grinding process.

Keywords vertical spindle grinding, diamond, granite, glossiness, temperature, appearance