

大理石磨削研究(I)

大理石磨料磨削适应性研究

王成勇 陈培元 劉培德

(精密机械工程系)

摘 要

用端面飞铣法进行了不同磨料磨削大理石的试验,分析了它们在不同切深下的微破碎、破碎性能,以及磨耗磨损性能。计算了磨削比,测量了磨削法向力。综合评价了不同磨料磨削大理石的适应性。试验结果可供大理石厂选用磨具时参考。

磨料的磨削性能,对磨削表面的形成有很大的影响^[1]。本文用各种指标,综合评价了五种磨料磨削大理石的适应性。研究结果表明,生产中磨具磨料的选择,存在着不合理处。文中给出的各工序合理磨料种类,可供大理石厂参考。

一、实 验

目前国内外广泛采用单颗粒磨削试验,进行磨料磨削各种材料的适应性评价。实验主要采用普通飞铣法(图1a)^[2]和连续飞铣法(图1b)^[3]。

由于岩石材料的高硬度,对轮廓仪测针有较大的磨损作用,故不宜采用以划针测量沟槽深度的连续飞铣法。由文[1]可知,大理石磨削过程中,存在着材料的断裂迁移。图2为采用普通飞铣法得到的沟槽纵截面轮廓,它呈凹凸状。普通飞铣法是以沟槽底部形状呈圆弧状

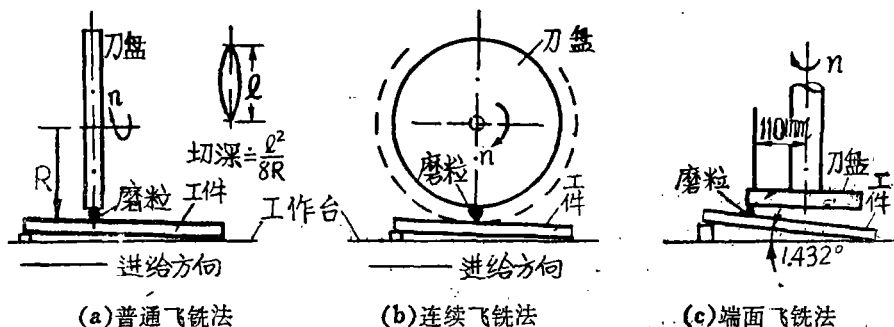


图1 飞铣实验方法

本文1985年9月24日收到。

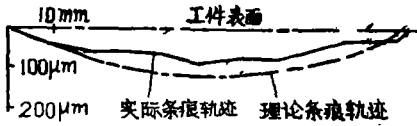


图 2 普通飞铣沟痕底部形状
(切削速度: $v = 14.7\text{m/s}$ 干态; 刀具材料: 金
刚石, 工件材料: 大理石B₂)

为基础, 通过测量划痕长度来计算切深的。
因此, 普通飞铣法也不适合于本研究。

端面飞铣法(图1c)可以避免上述问题。
使用9J光洁度仪测量沟痕深度。它比上述
的两个方法能更好地模拟实际磨削状况。

工件材料为宜兴奶油白大理石, 肖氏硬
度59, 为石灰岩, 主面矿物是方解石。使用
磨料种类的性质如表1所示。用放大镜选择
磨粒, 磨粒应为等积、单刃、呈棱锥形, 并

无明显表面缺陷, 将磨粒粘在刀体端部的凹坑中, 将刀体用螺钉固定于刀盘上。为减小冲击
载荷量, 工件两边预磨出一定的倒角。磨粒沿工件长度方向排的划痕, 近似看为直线。深度
测量值为五点的平均值。

表 1 试验用磨料性质

磨 料	棕 刚 玉	白 刚 玉	黑碳化硅	绿碳化硅	绿碳化硅
代 号	GZ	GB	TH	TL	TS
成分、 粒度	Al ₂ O ₃ 14 [#]	Al ₂ O ₃ 16 [#]	SiC 16 [#]	SiC 16 [#]	SiC 16 [#]
显微硬度	2200—2280	2200—2300	2840—3320	3280—3400	3374
特 性	韧 性 大	韧性底于 GZ	性脆而锋 利韧性低 于GB	脆性较高	韧性高于 TL 低于 TH

用DS88-C电子秤改装的测力仪测力(测力范围为0.01—5kg)。测力信号经Y6D-3A动
态应变仪放大, 由SC-16光线示波器记录, 用精密砝码进行标定。

试验在X8120万能工具铣床上进行。工作台倾斜很小的角度。磨盘转动时, 工作台自动
进给, 使理论切深自动增加。磨削速度为13.3m/s, 进给为0.88mm/转。

二、计 算 方 法

1. 磨粒磨耗磨损量 Δt_a

不考虑磨粒破碎时的 Δt_a 值, 表明了材料磨耗磨损特性。

$$\Delta t_a = t_{理} - t_{实} = t_{理} - (t_2 - t_1) \mu m \tag{1}$$

式中, $t_{理}$ 表示理论切深值; $t_{实}$ 表示实际测量切深值; t_1, t_2 为工作台进给 $L\text{mm}$ 前后的
实际切深值(图3b)。

2. 磨粒破裂量 Δt_s

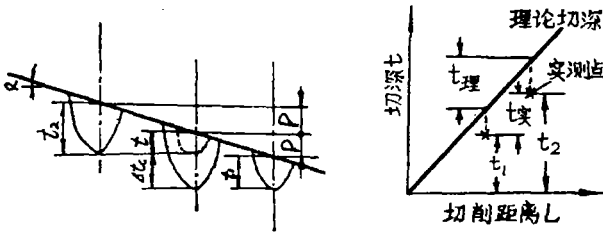


图3 Δt_c 及 Δt_a 计算简图

Δt_c 是指因磨粒碎裂而引起的相邻条痕切深突然改变的量 (图3a)。

$$\Delta t_c = t_1 - t_2 + 2p \quad (2)$$

式中, p 为每划一沟痕时, 理论切深的递增量。本研究中 p 为 $22\mu\text{m}/\text{转}$ 。

3. 磨粒微破率 \bar{f} 及磨粒破碎率 \bar{F}

当 L 增大时, 实际切深会在几个微米范围内作微小变化, 这种波动实际上表示了磨粒的微破碎情况。其幅值表示了微破碎的大小, 其频率则表示了微破碎发生的次数, \bar{f} 为实验条件下多颗磨粒波动次数的平均值, 它反映了磨料的自锐性。

\bar{F} 为相邻条痕实际切深改变较大时, 磨粒发生较大破碎的频率。用多颗磨粒的破碎次数平均值 \bar{F} , 评定磨料的破碎性质, \bar{F} 值过大, 表明磨粒破碎次数多, 磨削比会下降。

4. 磨削比

磨粒端部通常可近似为一直径 d 约为 $2\mu\text{m}$ 的球形, 则磨粒磨损体积 V 为

$$V = V_a + V_c \approx V_c \text{ (因为 } t_a < t_c) \approx \frac{\pi}{2} d \Delta t_c^2 \quad (3)$$

式中, V_a 、 V_c 分别磨粒磨耗磨损体积和磨粒破碎体积。观察表明, 沟痕横截面呈近似 110° 顶角的三角形, 若忽略边缘材料和沟底凹坑材料体积, 便可将整个沟槽看成是一个三棱锥。则磨去材料的体积 V' 近似计算为

$$V' = \text{tg}(110^\circ/2) t_{\text{实}}^3 \times l \quad (4)$$

式中, l 为划痕长度, $l = 100\text{mm}$ 。

磨削比 G_c 为:

$$G_c = V' / V = \frac{\text{tg}(110^\circ/2) t_{\text{实}}^3 l}{\frac{1}{2} \pi \Delta t_c^2 \times d} = \frac{2 \text{tg} 55^\circ}{\pi} \left(\frac{t_{\text{实}}}{\Delta t_c} \right)^3 \times l / d \quad (5)$$

G_c 的大小, 综合反映了磨料磨去被加工材料的能力, 它为磨粒磨损磨去材料的量。

三、实 验 结 果

1. 切削深度的变化

图4示出了五种磨料切削距离(工作台进给量)与切削深度的关系。切削深度 t 都呈一定的波动状态, TS、GZ、TH三种磨粒的 $L-t$ 曲线变化较剧烈; 在切深小于 $25\mu\text{m}$ 时, GB呈稳定变化; 在切深 $25-40\mu\text{m}$ 间, TL变化较小。由图4可见, 五种磨料中, TS可达到的切深最大, 其次是TH、GZ、TL、GB。 $L-t$ 曲线的变化程度, 反映了磨料的磨损变化程度。

2. 磨粒破碎率 \bar{F} 和微破碎率 \bar{f}

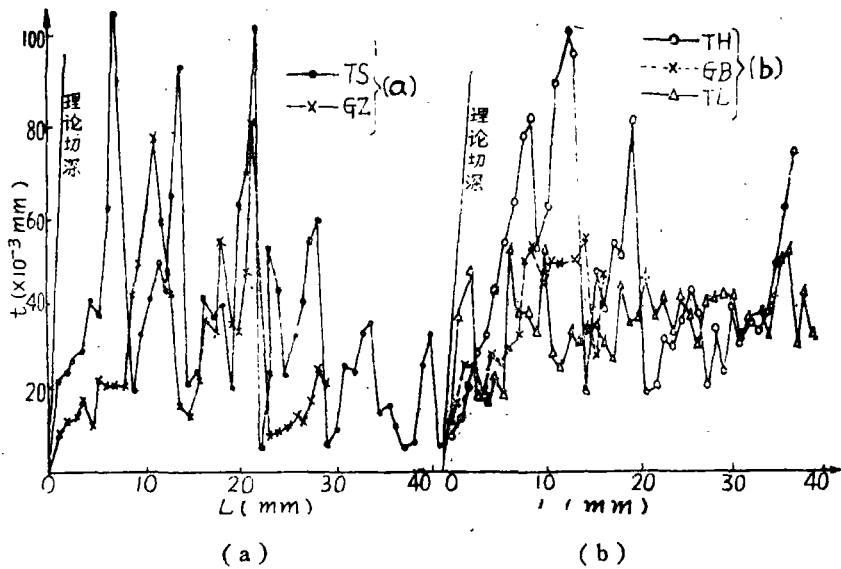


图 4 TS、GZ(a)和 TH、GB、TL(b)的 t 与 L 之间的关系

对每颗磨粒相邻切深值计算得的磨粒破碎量，大于 $10\mu\text{m}$ 的或小于 $10\mu\text{m}$ 的次数分别相加取平均值，求得 \bar{F} 及 \bar{f} 值如表 2 所示。

表 2 各种磨料的 \bar{F} 、 \bar{f} 值					
磨 料	GZ	GB	TH	TL	TS
\bar{F}	4.6	2.6	6.4	3.4	7.0
\bar{f}	4.2	2.4	7.8	5.0	4.8

由表 2 可见， \bar{F} 值的大小顺序是 TS、TH、TL、GZ、GB； \bar{f} 值的大小顺序是 TH、TL、GZ、TS、GB。这表明 GB 在磨削过程中破碎最小，自锐性能较差。将 TL 的 \bar{f} 值与 TS 的 \bar{f} 值相比，表明两者自锐性相差不大，但 TS 的大破碎次数则较多，故其磨削比势必小于 TL。TL 和 GZ 都有适中的 \bar{F} 值，及显示良好自锐性的 \bar{f} 值，TH 的 \bar{F} 、 \bar{f} 值都比 GZ 大，其磨削比可能小于 GZ。

3. 磨粒磨耗磨损量 Δt_a

计算得的 Δt_a 与 t 的关系如图 5 所示。在整个切深范围内，TH、GZ、TS 的 Δt_a - t 曲线都呈下凹形，其中 GZ 下降速度最快，TH 次之。这表明随着切深的增大，磨耗磨损在这几种磨料的磨损中所占的比例下降。在切深小于 $20\mu\text{m}$ 时，TL 的 Δt_a 随 t 之增加迅速上升，随后则呈缓慢上升趋势，表明了 TL 初始主要呈磨耗磨损，随后磨耗磨损量则因磨粒的破碎而有所下降。GB 的 Δt_a 在整个切深范围内呈较稳定的上升。

4. 磨粒碎裂量 Δt_s

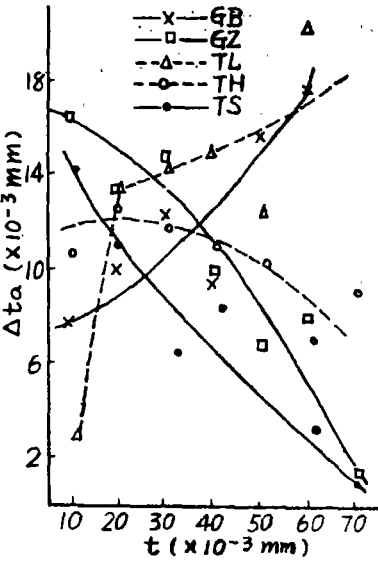


图 5 Δt_0 与 t 之间的关系

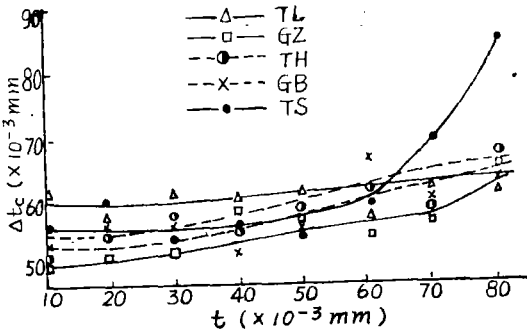


图 6 Δt_0 与 t 之间的关系

计算得的 Δt_0 与 t 的关系如图 6 所示。在切深 $40\mu\text{m} < t < 60\mu\text{m}$ 时, Δt_0 值依 TL、GB、TH、TS、GZ 递减; $t > 60\mu\text{m}$ 时, Δt_0 依 TS、GB、TH、TL、GZ 递减; $t < 40\mu\text{m}$ 时, Δt_0 依 TL、TS、TH、GB、GZ 递减。这表明了不同的磨料在不同切深范围内的破碎特征不同。这不仅与 \bar{F} 、 \bar{f} 值有关, 也与每一次破碎时的破碎量值有关。由图 6 可知, TS 的 Δt_0 增加较快, TL 的 Δt_0 较为平稳, TH 的 Δt_0 大于 GZ 的 Δt_0 ; GB 在小切深时 Δt_0 较小。

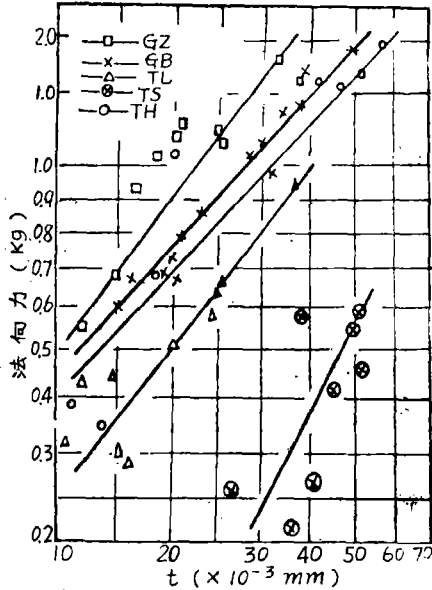


图 7 磨削法向力与 t 之间的关系

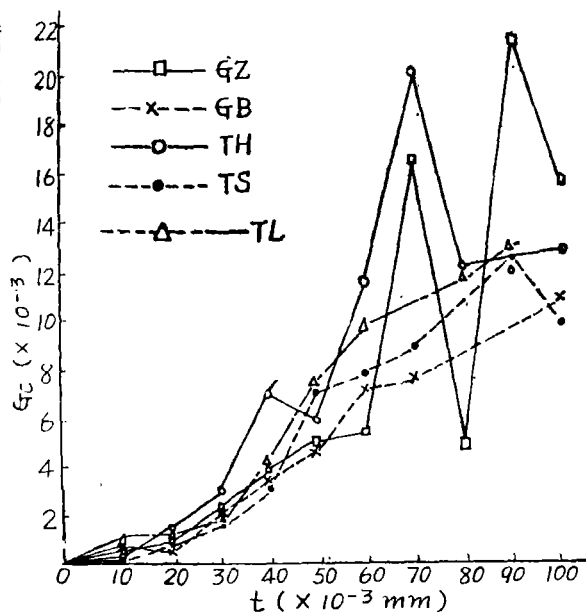
5. 磨削法向力

测得的磨削法向力与切深的关系曲线如图 7 所示。GZ 的法向力值最大, GB 次之, TH、TL、TS 的磨削力较小。实验测得的最大磨削法向力约为 20kg。

6. 磨削比 G_0

由式(5)计算得的磨削比值如图 8 所示。随着切深的增加, G_0 呈增加趋势, GZ 的 G_0 最大, 其次是 TH、TL、TS、GB。

GZ 韧性最高, 其 Δt_0 、 \bar{F} 、 \bar{f} 值均低于 TH、故破碎量也较小, 而其磨削法向力又最大, 由文 [1] 可知, 其可切除较多的材料, 故有较高的磨削比; TS 与 TL 相比, 由于其磨粒碎裂量, \bar{F} 及 \bar{f} 值均大于 TL, 故磨粒磨损较大, 而其磨削法向力又小于 TL, 切除材料量也较小, 因此磨削

图 8 G_c 与 t 之间的关系

比小于 TL, 虽 TH 破碎量比 TL 要大, 但因其切除量大, 故磨削比会大于 TL, GB 耐磨性较好, 它以磨耗磨损为主要磨损特征, 虽磨削力较大, 但由于磨粒磨损平面较大, 与自锐性好的磨粒相比, 并不容易产生断裂切除^[1], 因此磨削比较小。

四、讨 论

1. 从磨削比的角度来看, 五种磨料中, 最适合于大理石粗磨加工的磨料为 GZ, TH 稍次, 而 TL, TS 都适用于对磨削比要求不高的半细磨和过渡细磨加工。由于 GB 的磨削比较小价格又贵, 故宜用于对磨

削比要求较小的精磨、抛光加工工序。

2. 从磨料的破碎性能可以看出, GB 自锐性较差, 宜用于切削量较小的工序。TL 的自锐性在 25 μ m 至 40 μ m 间很平稳, 适用于切深在此范围的过渡细磨, 半细磨加工工序。TS 的破碎性能比 TL 要好, 但其磨削比较小, 故只适用于切削量为 25-40 μ m 间的半细磨、过渡细磨加工。半细磨加工对切削量有一定的要求, 磨削比又不是很大, 故 TH 也适用于这一工序。

3. 从磨料的磨耗磨损及法向力大小来看, GB 的 Δt_a 在整个切深范围内呈稳定增长, 虽其法向力值较大, 但如前所述, 它不易形成材料断裂迁移。从文[1]可知, 细磨抛光工序的磨削机理是材料的塑性迁移, 因此, GB 适用于细磨、抛光工序。由于在细磨切深范围内 ($t < 25\mu$ m), TL 的 Δt_a 有上升趋势。且其有一定的磨削比, 自锐性也较好, 故 TL 也适合于有一定微切削作用的细磨加工, 其能力弱于 GB。从价格方面考虑, 用它细磨板材比用 GB 便宜。TS 有较小的法向力, 其自锐性好, \bar{F} 、 Δt_a 随切深之增加下降最快, 故不适用于细磨加工, 其 G_c 大于 GB, 故适于半细磨工序。由于 TH 的 Δt_a - t 曲线较 GZ、TS 为平坦, 它也适用于半细磨及过渡细磨加工。

4. 上述分析表明, 磨料磨削大理石的适应性是复杂而又有一定规律的, 生产上 TL、TH 不分, 粗磨时, 有时用 GZ、有时用 TH, 都未能充分利用并发挥磨料的特长。

五、结 论

1. 宜兴奶油白大理石磨削加工工序合理磨料种类是: 粗磨 GZ-TH, 半细磨 TH-TL, 过渡细磨 TL-TH, 细磨 TL-GB, 抛光 GB。

2. 新型磨料 TS 的磨削性能不如 TL 好, 鉴于其价格高于 TL20% 等原因, 不适宜在生产上使用。
3. 本实验结果可供大理石加工厂参考。
4. 由于实验中存在的一些误差, 有些问题仍需进一步重复进行实验。生产性实验结果后续给出。

参 考 文 献

- (1) 王成勇、刘培德、陈培元, 大理石端面磨削研究(I)大理石单颗粒端面磨削表面研究, 华侨大学学报 7, 2(1986)。
- (2) 松尾哲夫、大岛荣一、重研削用高韌性砥粒つナツピンウ破坏特性について一砥粒と被削材の適合性に関する研究(第二报), 精密机械, 37, (1971), 403—409。
- (3) T. Matsuo and E. Oshima Kumamoto, Evaluation of Superhard Abrasive Granis by Overcut Fly-milling Test, Annals of the CIRP, 33, (1984)。

Face Grinding of Marble (II)

A Study on the Adaptability of Adrasive Grains to Marble Grinding

wang Chengyong Chen Peiyuan Liu Peide

Abstract

The marble grinding with various kinds of abrasive grains was tested by face milling method. The characteristic of microchippings, chippings of abrasive grains, and the wear of them under different cutting depth were analysed. The grinding ratio was calculated and the grinding normal force was measured. The adaptability of various kinds of abrasive grains to mardle grinding was evaluated comprehensively.

The results may be useful for choosing grinding wheels in a marble factory.