

大理石磨削研究(Ⅲ)磨具磨削模型的建立*

陈培元 李亨德

(精密机械工程系)

摘 要

通过用扫描电镜(SEM)和立体显微镜观察大理石单颗粒切痕和磨具磨削表面,提出两种大理石材料切除模型,这两种模型能较好地解析磨具从粗磨到抛光时的磨削现象,为下一步的力学分析打下了基础。

一、前 言

通过进一步用扫描电镜(SEM)和立体显微镜观察大理石单颗粒切削表面和磨具磨削表面,对先前提出的单一的切削模型^[1]进行了改进,提出了两种材料切除模型——塑性流动模型和脆性剪切模型,这两种模型能较好地解析磨具从粗磨到精磨和抛光时的磨削现象,为下一步的力学分析打下了基础。

二、实验条件与方法

1. 压头切削实验

尽管实际磨料的形状是复杂的,但可理想化为锥形和球形两种基本形状。实验中锥形压头是用高速钢制作的,其端部形状有三种,如图1所示。

切削实验是在X53T立式铣床上进行的,实验装置见图2。工件表面有一定斜度,以便切削深度随进给而自动增加。每个圆弧切痕可近似看作是直的,切削速度0.4M/s。

切完后用SEM和立体显微镜观察切削沟槽的形貌。

2. 磨削实验

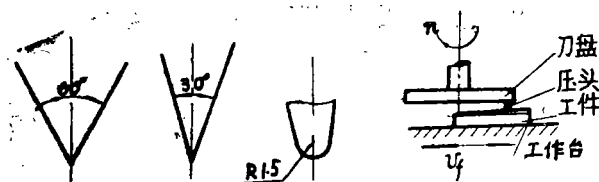


图1 压头端部的形状

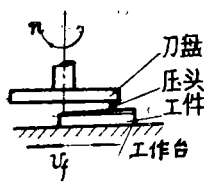


图2 切削试验装置简图

本文1987年7月24日收到。

*本项目为中国科学院自然科学基金资助的课题。

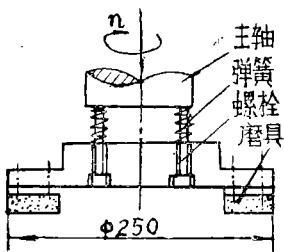


图 3 磨削试验装置简图

磨削实验仍在X53T上进行，(见图3)。通过压缩弹簧来控制磨削压力，磨削时，磨具所承受的压力 $P=8\times10^4\text{Pa}$ ；主轴转速 $n=720\text{r/min}$ ；工作台进给速度 $v_f=630\text{mm/min}$ 。磨具磨料的粒度分别为TL36[#]、TL80[#]、TL150[#]、TL320[#]、TLW14、TLW3.5、GBW1，加水冷却。

磨完后用显微镜观察工件磨削表面。

3. 工件材料

工件材料为大理石，工艺名称为湖南黑，主

要矿物成分为方解石，主要化学成分和机械性能见表1。

表 1 1 湖南黑大理石机械性能和化学成分

机械性能		化学分析结果(%)					
肖氏硬度	抗压强度	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	烧失
52	1472	1.05	0.21	53.18	1.31	0.06	43.37

三、实验结果和分析

1. 球压头的切削模型

图版I2是一组球压头(φ3mm)切削沟槽的照片。可见当切削深度很小时，只形成一微凹的塑性沟槽(图版I2a)；随着切削深度增大，沟槽加深加宽(图版I2bc)，直到此时还没有明显的切屑形成。当切深进一步增大时，随着球压头的切过，整个沟槽的底部的材料都翘起来了，形成带状切屑(图版I2d)。带状切屑翘起的方向与切削方向相反，有时前端仍连接在材料母体上，其长度可达数十毫米。切深越大，带状切屑的厚度和长度也越大，它的横截面呈弓月形，此时实际沟槽深度比名义切削深度大1—2倍，但其宽度与压头切削宽度相当，有大量的工件材料被切除。

从图版I2中各图还可以看到，沟槽边缘基本上是光滑的，没有锯齿状崩裂和残余裂纹。对比球压头压痕形貌(图版I1)就可以发现，这里既没有由赫兹裂纹扩展而产生的切屑，也没有由弹性恢复力而产生的切屑^[1,2]。带状切屑的形成过程可用图4来描述：在压应力作用下材料发生塑性变形；在塑性变形层的底部还可能出现最大剪应力裂纹^[2]；在摩擦力作用下塑性变形层发生二次变形——剪切变形而脱离母体，在向上弯曲力的作用下向上翘起。带状切屑与压头接触的那一面是光滑的，另一面是粗糙的，带状切屑是球压头在大切深情况下发生的。

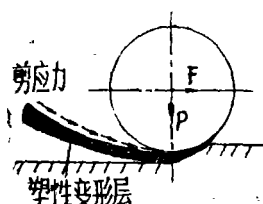


图 4 带状切屑的形成模型

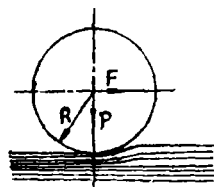


图 5 球压头的切削模型

图 5 表示的在小切深下的球压头切削模型——“塑性”流动模型：忽略材料的弹性变形，在垂直力 P 和水平力 F 作用下，材料流过压头底部时发生完全塑性变形。

1、锥压头的切削模型

锥压头切削时，在切削力作用下，工件内部可分为两个应力区：压应力区(+)和拉应力区(-)如图6。拉伸裂纹沿着最大拉应力方向向沟槽两侧扩展(图6a)，而在压应力区，(复合)剪切裂纹从压头顶部向工件表面扩展(图6b)。三条裂纹互相作用形成切屑。

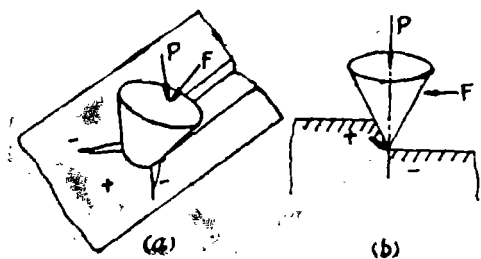


图 6 锥压头切削时工件内部的压应力区(+)和拉应力区(-)

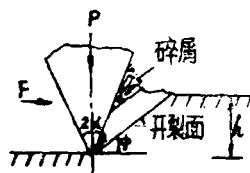


图 7 锥压头切削模型

由于拉伸裂纹向沟槽两侧扩展的结果，使沟槽两侧形成不规则的锯齿状。这是锥压头切削沟槽的基本特征。从图版I3可以看出，从I3a至I3d切深越大沟槽两侧崩裂的锯齿状就越严重、崩裂产生的块状切屑的尺寸也越大。不过当切深较小时，由于锥尖附近应力集中效应，拉伸裂纹的扩展受到抑制，此时工件材料主要是在压头推挤力的作用下发生复合剪切破坏，粉团状的切屑被推向前方或两侧，形成无明显锯齿状的“光滑沟槽”(图版I3a)。

由于实际锥压头的顶部不可避免地有一个圆弧，因而在切削沟槽的底部会出现塑性变形以及翘起等现象，与球压头切削时相同。

今假设压头是理想的锥形，而切削深度又不太大，即拉伸裂纹的作用可忽略时，可得到如图7所示的脆性剪切模型：压头锥尖首先与工件材料接触，使其发生局部剪切破坏，形成密实核，在密实核和锥面的挤压下，工件材料沿着某一面发生剪切破坏，然后重复上述过程。

3. 磨具的磨削机理

磨具的磨削作用比压头的切削作用复杂得多，表现在：

磨料的形状是不规则的，在磨削过程中还会发生破碎、脱落、磨损等现象；

后面的磨粒是在前面磨粒切过的表面上进行切削的，因而切削深度、宽度是变化的；

磨削时加有冷却水，结合剂和切屑对工件表面产生摩擦、挤压作用。

图版Ⅱ 1a至Ⅱ 1d是用粗至细粒度的磨具磨削后工件表面的显微照片。可见从粗磨到抛光,工件表面都是由大量互相平行的沟槽组成的,说明磨具的磨削作用可分解为大量单颗磨料的切削作用。

不过磨料粒度不同,沟槽的特征是不一样的。当用粗、细磨料磨削时,磨粒的切削沟槽被大量的凹坑所中断,其上还有许多细小的塑性划痕,如图版Ⅱ 1(a)所示。凹坑的形成至少有三种机制:磨粒切削时发生大块崩裂,切痕互相交叉时发生崩裂,前面磨粒留下过深的切痕,其中以第一种机制为主,可见这时的磨削沟槽与锥压头的切削沟槽相似。

当用微粉磨料磨削时,如图版Ⅱ 1(b)、(c)、(d),磨痕是光滑的,没有凹坑和撕裂现象,也没有明显的边界,磨料越细越是如此,这与球压头的塑性沟槽相似。

综上所述,磨具的磨削机理可总结如下:

对于粗磨和细磨(磨料粒度320[#]以粗),磨具的磨削作用可看作是大量锥压头切削作用的总和;对于精磨和抛光(磨料粒度W14以细),磨具的磨削作用可看作是大量球压头切削作用的总和。

四、讨 论

一般认为大理石是典型的脆性材料,但是脆性是相对而言的。由岩石力学可知,在围压足够大时,大理石也可表现出良好的塑性。所以当用球压头切削时,由于压头底部的材料的变形受到四周的限制,在此情况下表现出一定的塑性变形是不难理解的。然而当用锥压头切削时情况就不同了,压头前方的工件材料的受力是开放性的,因而极易产生裂纹,发生脆性破坏。

由于实际锥压头顶部不可避免地会有一个圆弧,该部分的切削作用将与球压头的相同。用 r 表示圆弧半径, h 表示切削深度,则当 $r \gg h$ 时,压头可看作是球形的。反之,当 $r \ll h$ 时,压头可看作是锥形的;若 r 与 h 相当,压头可看作是两者的复合体,此时工件材料的脆性破坏和塑性破坏兼而有之。

对于实际磨料,其形状一般为不规则的多面体,棱边上也有一个圆弧,不过,对粗、细磨料颗粒较粗,这个圆弧半径与磨粒尺寸相比就显得很小。图版Ⅱ 2表示粗细磨具表面上磨料的形状,看来磨料轮廓是分明的,磨料是锋利的,磨粒越粗越是如此,因而划出沟槽与锥压头的相似。对于粒度W14以细的精磨抛光磨料,一方面由于磨料尺寸显著减小,另一方面圆弧半径未能相应成比例减小,磨料形状成浑圆体,因而实际上主要靠圆弧部分进行切削,所起的作用与球压头相似。

五、结 论

1. 用球压头切削时,形成塑性沟槽。大切深时,在摩擦剪切力的作用下,沟槽底部的材料会翘起形成带状切屑。

2. 用锥压头切削时,工件材料主要是在剪应力作用下发生脆性破坏。当切深较小时,

切屑呈粉团状；当切深较大时，则有块状崩裂切屑生成。

3. 根据上述，提出了两种切除模型：塑性流动模型和脆性剪切模型。

4. 用磨具磨削时，大理石材料切除机理依磨料粒度大小有所不同，对于粗、细磨削，材料是按锥压头切削机理被切除的；其性质属脆性；对于精磨和抛光，材料则是按球压头切削机理被切除的，其性质属塑性。

参 考 文 献

- 〔1〕王成勇等，大理石磨削研究（I）——大理石单颗粒磨削表面研究，华侨大学学报（自然科学版）7，2（1986）。
- 〔2〕徐小荷、余静，岩石破碎学，煤炭工业出版社，（1984）。

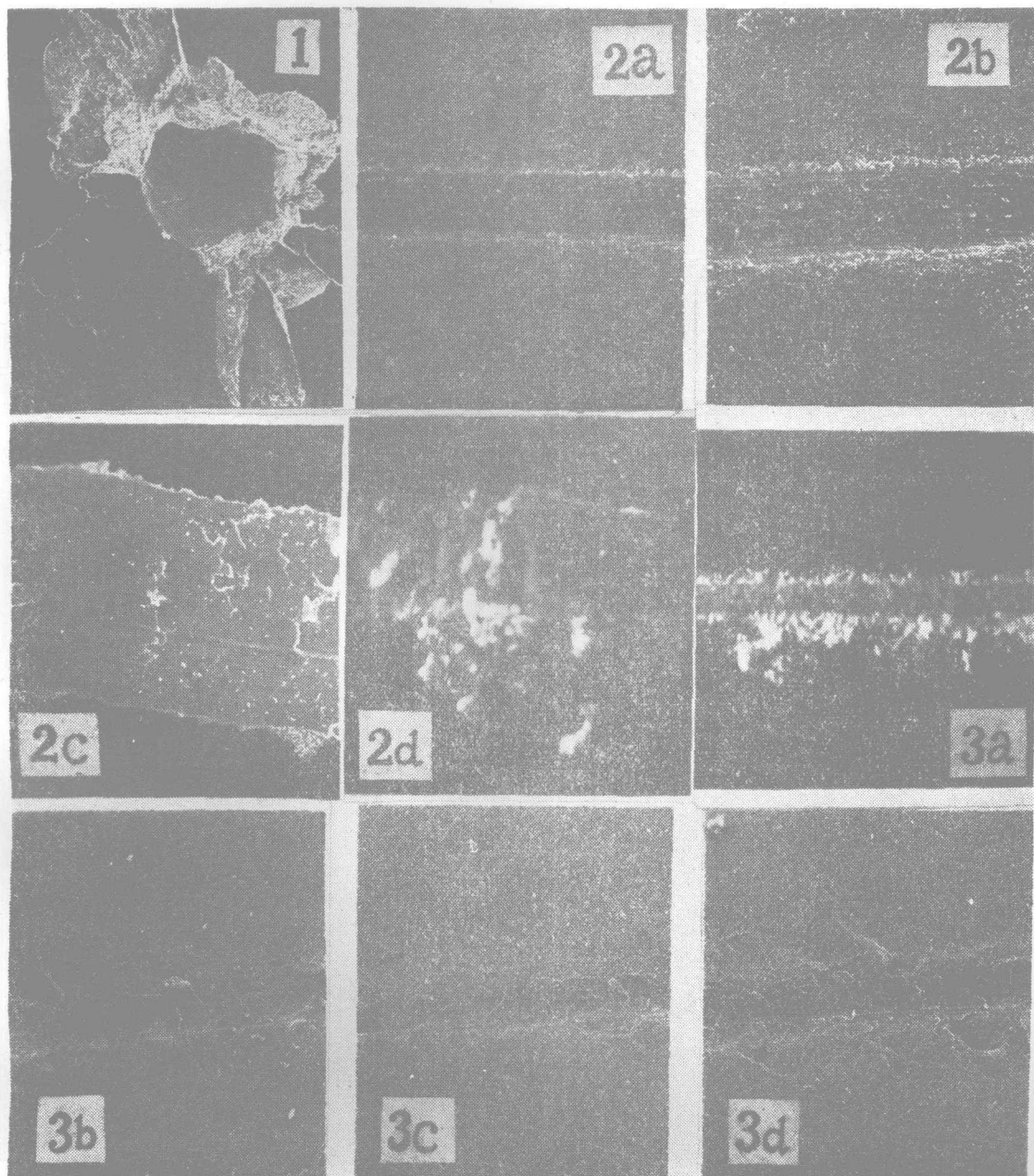
A study on the Grinding of Marble (III) Presentation of a Grinding Model

Chen Peiyuan Li Xiangde

Abstract

By using SEM and stereomicroscope to observe the shear mark of single marble granula and the grinding surface of grind apparatus, this paper presents two kinds of material removal models of marble.

By means of these models the grinding processes from snagging to polishing can be described very well. Thus they may serve as a basis for the further analysis in mechanics.

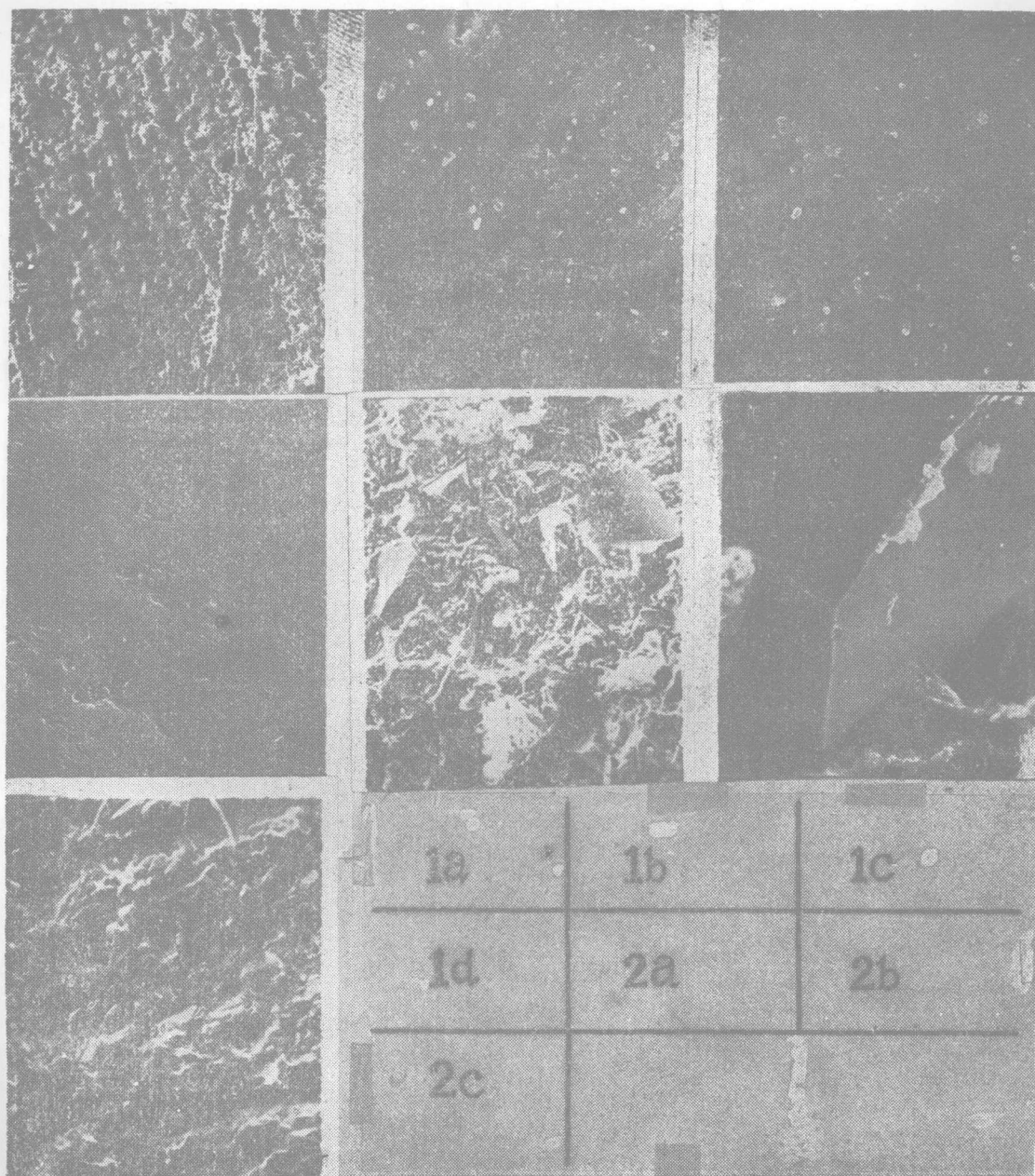


图版 I 说明

图1 球压头压痕形貌 ($\times 57$)；

图2 球压头切削沟槽的形貌（切深由 a 到 d 逐步增大，a、b、c 均放大 114 倍）；

图3 锥压头切削沟槽的形貌（切深由 a 到 d 逐步增大，b、c、d 均放大 114 倍）。



图版Ⅱ说明

图1 工件被磨削的表面：(a) TL 150、 $\times 64$ ，(b) TLW 14、 $\times 3600$ ，(c) GBW 3.5、 $\times 3600$ ，
(d) GBW 1、 $\times 6000$ ；

图2 磨具磨损的表面：(a) 和 (b)——TL 150、 $\times 240$ 和 1200，(c) TL 320、 $\times 3600$ 。