

大理石磨削研究(I)

大理石单颗粒端面磨削表面研究

王成勇 劉培德 陈培元

(精密机械工程系)

摘 要

本文用 SEM 观察了大理石单颗粒端面磨削表面,并从理论上提出和分析了大理石材料的塑性迁移、断裂迁移磨削切除机理;详析了加工条件及材料组织结构等对磨削过程的影响。最后,提出了不同加工条件下的大理石磨削机理模型。它既有助于正确认识岩石材料的磨削加工特性,又为磨具的改进研究、加工工艺参数的优化研究,提供了理论依据。

前 言

大理石是一种优质建筑装饰材料,目前国内外对其需求量不断增长。它的磨削、抛光加工的好坏,在很大程度上影响了板材成品的生产率和加工质量。目前国内外对陶瓷等脆硬材料的磨削已有研究^[1],但对岩石材料的磨削研究并不多见。作者根据实际生产需求,对意大利 LAU-8 磨抛线的大理石磨削,进行了一系列的研究,以改进磨具和优化磨削工艺参数,提高产品生产率和光泽度。

为给后续研究提供理论依据,把握大理石磨削加工的基本特性,本文通过对单颗粒磨削的大理石表面的观察,提出了大理石磨削机理,对影响磨削过程的各种因素作了分析。

实 验

为模拟实际生产状况,采用单颗粒磨削实验方法。实验在 X8120 万能工具铣上进行,用 XTB-01 立体显微镜、XJL-02 立式金相显微镜、HITACHI 12 扫描电子显微镜 (SEM) 观察磨削表面形貌;用 9 J 表面光洁度仪测量磨削深度。试件为宜兴奶油白大理石,其化学成分: SiO_2 为 0.21%、 CaO 为 54.71%、 Al_2O_3 为 0.53%、烧失为 43.68%,肖氏硬度 59.6。试件抛光至镜面并除污。用 XTB-01 选择磨粒,尽量做到等积、四棱锥形,表面无显见缺陷等。使用 GZ12*、TL16*、TS16*、TH16*、GB14* 等磨粒进行实验。实验装置如图 1 所示。工作台倾斜一定角度,以使切深自动增加,磨粒粘于图 1(b)的刀体凹坑内。

本文 1985 年 10 月 3 日收到。

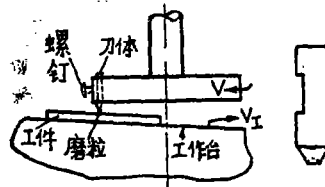
实 验 结 果 与 讨 论

一、大理石材料的塑性迁移、断裂迁移切除机理

对生产上的细磨、精磨和抛光工序的大理石磨削表面进行的观察(图版 I 1)表明:材料加工表面为沟槽,凹坑和磨平平面的组合(图版 I 1c, b)。这些现象的存在,使得我们必须依照实验结果,着重分析加工中存在的材料塑性迁移、断裂迁移切除。

1. 大理石的塑性迁移切除机理:

研究亦已证实,脆性材料在一定条件下仍存在塑性变形^[1]。图2为玻璃受压头作用时的断裂破坏形式。显然,在压头端部下面的材料,有着塑性变形域存在。我们用一直径较小的钢球及136°顶角的金刚石头压于试件表面,得到的图版 I 2、II 11所示压痕凹坑,也表明了大理石材料压痕作用时有塑性变形存在。由图3^[2]也可知,岩石材料确有一定的塑性变形。因为尖压头相当于锐磨粒,钝压头可相当于钝磨粒,则在大理石磨削过程中,也应会产生塑性迁移沟槽。岩石的塑性变形可以看成是晶体缺陷造成的位错运动引起的滑移。



(a) 装置 (b) 刀体

图1 实验装置简图

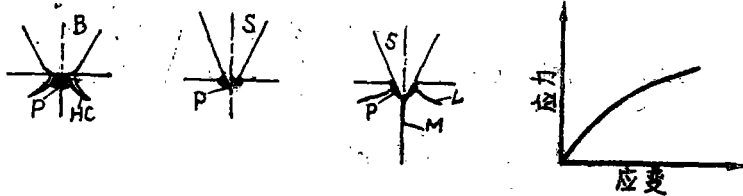


图2 玻璃受压头作用时的断裂破坏形式

B: 钝压头; S: 尖压头; P: 塑性变形域;
HC: Herz裂纹; L: 侧向裂纹; M: 中位裂纹;

图3 岩石轴向受压应力应变关系

实验观察结果进一步表明:在切深小或磨粒钝的时候,塑性迁移切除产生的沟槽多呈光滑状(图版 I 3b, 5)。在一定条件下,可得到没有较多显见的、可使表面产生凹坑的裂纹的沟槽(图版 I 5c);在切深大、磨粒尖锐时,塑性变形区常受到破坏(图版 I 4b),但微小的磨粒尖端切刃仍会产生明显的塑性沟槽(图版 I 4a)。从图版 I 6可以看出材料发生塑性迁移时产生的层叠翘起。

塑性迁移切除不产生材料脱落。若在精磨等加工工序中利用它,使材料发生塑性变形,填补沟槽凹坑,可获得大的磨平平面,提高表面光泽度。

2. 大理石的断裂迁移切除机理:

由图3可知,岩石材料受力作用到一定程度时则会产生脆性破坏。图版I 7、8, II 9、10为磨削时材料呈脆性破坏状的各种沟槽形貌。

由图2、图版II 11可知,在一定条件下,当岩石受压头静压作用时,材料受力作用区将产生各种裂纹(图版II 11a、b、c)。这些裂纹扩展交错到自由表面时,会形成材料断裂,发生脆性破坏(图版II 11b),材料脱落形成碎片,材料表面呈凹坑状。

图4为根据实验结果提出的裂纹扩展产生材料断裂迁移模式。其中,当侧向裂纹从较深的底部扩展到表面时,会形成深的凹坑及切屑(图版I 8a, II 9b、10b)。当侧向裂纹从较浅底部扩展到表面时,则产生了较浅的、底部较平缓的凹坑、沟槽(图版I 7b、a)裂纹交叉于加工表面,有时也并不一定形成凹坑(图版I 5a、b)。这样,由于各种裂纹在塑性沟槽底部的作用,使得塑性层受到了破坏,裂纹交错产生了材料的断裂迁移碎屑(图版I 4b、8a, II 9b)。

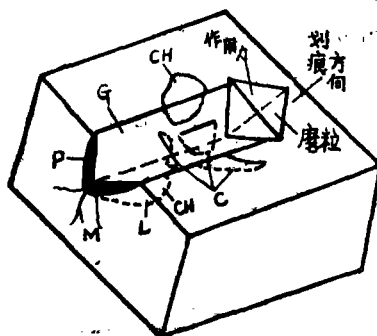


图4 材料断裂迁移模式

C: 裂纹; CH: 切屑; G: 沟槽;
L: 侧向裂纹; M: 中位裂纹; P 塑性域

从岩石力学断裂理论可知,岩石断裂裂纹扩展的破坏形式有三种,即由微裂隙扩展的裂纹引起的非剪切破坏、沿弱面引起的剪切破坏及过渡型破坏。可以认为,上述大多数沟槽形貌的产生属于前两种断裂破坏迁移的综合作用。图版I 8b为材料明显受剪切作用、沿弱面滑移形成的沟槽底部,图中阶梯状面被认为是剪切滑移面,可显见其上的滑移迹线;图版I 3a, II 9b都是由于磨粒磨削过程中的应力作用,使大理石材料受挤、沿某一弱面剪切破坏的结果。

大理石磨削时的材料断裂迁移切除量,远大于塑性迁移切除,其产生了大量的切屑碎片、凹坑以及残余裂纹,在粗加工工序中,可利用它切除较多的材料;在精加工工序中,则应限制它的存在,保证一定的表面平整性。

3. 磨屑形态:

磨屑主要由材料的断裂迁移切除产生,在材料塑性迁移切除过程中,由于材质均匀及摩擦力等的作用,也会产生一些细粉状磨屑。将观察到的磨屑分为三类:(1)层片状磨屑。又分为层片状(图版II 13b)、碎片状(图版II 10b)磨屑等;(2)大颗粒状磨屑。又分为大颗粒脱落晶粒、粉团状磨屑等(图版II 13a);(3)粉状磨屑、又分为细粒粉状碎屑和细小脱落晶粒磨屑等(图版II 12)。

观察表明,层片状磨屑多为大块材料断裂迁移的结果,粉状磨屑多为小块材料断裂迁移的结果,大颗粒切屑则介于它们之间。

二、磨削加工工艺对磨削材料迁移的影响

将磨粒更简便地看成是楔角为 θ 的楔体(图5)。据文[3]可知,当楔体作用于岩石材

料时,理想状态下的材料断裂裂纹沿图中虚线轨迹扩展,在某点(标×处)从稳定扩展转变为不稳定扩展,最后,扩展到材料自由表面,使材料发生断裂迁移,形成切屑,使裂纹扩展发生转折的应力最大值可用下式表示:

$$F_{\max} = \frac{CL}{P} \quad (1)$$

式中, C 为材料粘附系数, (在这里视为常数); L 为楔体与材料的接触长度, $2P$ 则为作用于楔上的、使材料发生断裂切屑形成的临界力。

由式(1)可知: (1)对于一定的 L 值, 存在着可使材料发生断裂迁移的临界荷载 P , 则实际单颗粒作用力越大, 越易产生断裂切屑, 反之易产生材料塑性迁移。(2)对一定的实际作用力值和 θ 值, L 有一产生断裂切屑的临界值存在。因为磨削切深为 $L \cos \theta$, 所以切深越大, 实际 L 值越大, 材料越易产生断裂切屑, 反之则不易。(3)若磨削作用力值一定, θ 越大, 磨粒越钝, 实际 L 值越小, 越易产生材料塑性迁移; θ 越小, 磨粒越锐利, 实际 L 越大, 越易产生材料断裂切屑。

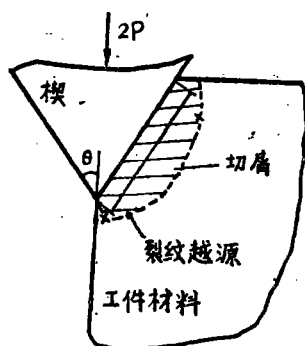


图5 岩石切屑断裂形成

由图5还可看出, 实际断裂点深度大于楔体压入深度, 故切屑形成脱落后, 在材料表面则形成了深度大于理论切深的凹坑。材料产生断裂迁移越容易, 越易生成层片状磨屑; 反之则易生成粉状磨屑。

实验观察表明, 随磨削切深的增加, 磨屑形态变化顺序为: 粉状磨屑→大颗粒磨屑+粉状磨屑→层片状磨屑+大颗粒磨屑+粉状磨屑。同等切深下, 钝磨粒一般使沟槽变宽, 凹坑深度浅, 同时, 磨屑以大颗粒磨屑和粉状磨屑居多; 尖锐磨粒则易产生深沟槽, 磨屑多为

层片状、大颗粒状磨屑的混合, 这些现象与上面的分析结果是一致的。

在实际磨削加工时, 加工工艺参数、磨料性质等是交互影响着磨削过程的。

三、大理石的组织结构对磨削时材料迁移的影响

大理石是一种天然岩石材料, 有复杂的矿物组成成分和各种裂隙, 它们影响了材料内部的应力状态, 因而影响了材料的磨削过程。

1. 晶体性质的影响: (1)由于矿物晶粒表面电价不平衡而具有的结合力, 一般弱于矿物内部键的结合力, 故各种矿物及同一矿物间的晶界相对较弱, 应力易于集中。又因为两个晶粒结晶方位的不同, 更使晶界成为大的应力源, 所以裂纹扩展受其影响很大。观察表明, 细晶粒晶界裂纹扩展一般沿晶界环绕而行, 扩展到一定程度后晶粒断裂脱落成粉状磨屑(图版 I 4b)。在磨削试件后, 也可以看出隐晶质方解石晶粒。大颗粒晶粒(如散布石英颗粒)的晶界大多会使材料中的裂纹扩展中止。若晶粒中有裂纹, 可使裂纹穿晶而过, 使晶粒局部破碎, 生成碎片磨屑和粉状磨屑(图版 II 15b), 在晶界处也产生了凹坑(图版 15a), 并有时也会产生大晶粒脱落现象。另外, 晶界裂隙的存在, 使得塑性变形明显化(图版 II 11), 因

而使晶粒塑性变形有了一延伸空间。在一定条件下,当较多细晶粒受挤压时,晶粒晶界裂纹出现一定程度的闭合,晶粒挤压和滑移变形,形成粉团状磨屑或细长层片状磨屑(图版 II 13)。

(2) 矿物晶体中存在着的解理,也使得晶粒有时沿解理面断裂脱落。(图版 II 14)。

2. 材料中各种其它缺陷的影响:

(1) 粗加工工序在材料表面留下的残余裂纹,会使得材料易于出现断裂迁移。图版 II 16a 为粗加工留下的一沟槽,在实验时,磨粒垂直于沟槽划过,在沟槽附近的表面上产生了大的凹坑。

(2) 工件材料表层有微裂隙存在,这使得在一定条件下,沟槽底部产生了翘起层片磨屑,(图版 II 9a)。它是因为材料受磨粒作用时,微裂隙沿几乎平行于磨削划痕的方向扩展并到达表面,材料产生了剪切滑移所致。

(3) 材料中有各种软质点、符合图6特征的缝合线存在,它们为岩石中的粘土、岩石形成时的溶解残余物质,是一弱面,故在这些地方易产生裂纹交错,出现裂纹及凹坑(图版 II 17, I 1a)。

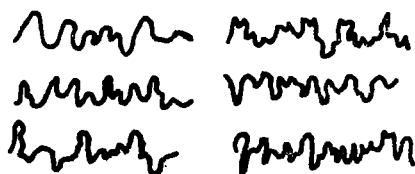


图6 缝合线构造素描图^[2]

四、大理石磨削机理

综合上述讨论,提出了大理石磨削机理模型如图7所示。

1. 在磨削压力小、磨粒钝、磨削切深小等条件下,磨削机理模型一般如图7(a)所示:在材料表面有未产生碎片脱落的中位裂纹、侧向裂纹等存在。较薄表面材料层呈塑性迁移切除机理,生成微量细粉状磨屑。在切深很小、磨削压力很小等条件下,材料仅呈塑性迁移而表面无显见裂纹出现。这模型相当于精磨加工和机械抛光加工(图版 I 1a, 5, 6, II 12等)。

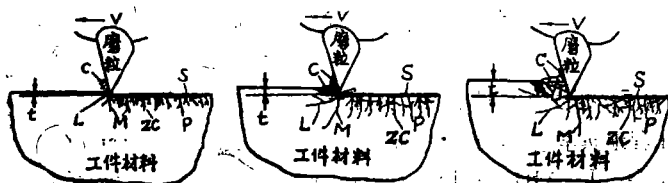


图7 大理石磨削机理模型

C: 磨屑; L: 侧向裂纹; M: 中位裂纹; ZC: 残余裂纹;

P: 塑性; 域S: 已加工表面; t: 理论切深;

2. 在磨削压力、磨粒尖锐状态、磨削切深等一定时,材料断裂裂纹扩展到了材料表面,形成交错、产生了断裂迁移材料切除,其磨削机理模型如图7(b)所示。由于断裂点不深入于材料内部,裂纹是在较浅范围内扩展交错,表面缺陷引起裂纹扩展,使材料剪切滑移形成翘起层片磨屑以及凹坑。塑性变形域未破坏殆尽,沟底仍明显可见材料塑性迁移痕迹。

生成的磨屑多为大颗粒磨屑和粉状磨屑。这个模型一般适用于细磨、过渡细磨加工工序,它可切除一定量的材料,使粗加工表面沟槽变浅,凹坑变小,有一定的材料塑性迁移,有利于进一步的精加工(图版 I 16, C, 3, 7, II 13)。

3. 在切深和磨削压力较大,磨粒磨削性能好等条件下,大理石磨削机理模型如图7(c)所示,在负前角磨粒切削的前部,材料受挤压作用,小区域内的材料形成大颗粒碎屑,大的石英晶粒等,在等于或小于实际切深的材料表面断裂脱落,塑性沟槽基本被破坏掉,沟槽边缘和沟底呈不规则凹凸状,裂纹沿弱面大规模向前扩展,从而形成大的层片磨屑、粉状磨屑等,沟底残余裂纹严重。这一模型适用于以材料断裂迁移切除为主的粗磨、半细磨加工(图版 I 4, II 15, 16)。

4. 由于材料性质及磨削过程的复杂性,这几个模型在实际加工中可同时发生。例如,图版 II 9 可用图 7 (b)、(c)解释,图版 I 3 可用图 7 (a)、(b)解释。

结 论

1. 大理石磨削过程是材料受挤压,产生塑性迁移和断裂迁移,沿弱面的剪切、滑移和断裂破坏共同作用的过程,加工表面因此为塑性沟槽、断裂凹坑和磨平平面的组合。不同加工条件有着不同的磨削机理模型。

2. 磨屑形态有层片状,大颗粒状和粉状磨屑。

3. 采用较大的磨削压力、较大的磨削切深,以及磨削性能好的磨料,可以获得较大的材料切除量,反之可获得较好的表面平整度和光泽度。

4. 材料的组织结构对磨削过程的影响很大。

5. 上述研究结果可推广到砂轮磨削中去,进一步的研究将后续给出。

参 考 文 献

- [1] 田中芳雄、井戸宇,セラミックス機械加工はまざり材料除去機構,機械と工具,172, 6 (1983)。
- [2] 长春地质学院等,工程地质学基础,地质出版社,(1984)。
- [3] D. L. Sikarskie, N. J. Altiero, The formation of chips in the penetration of elastic-brittle Materials (Rock), Journal of Applied Mechanics, Transaction of ASME, (1973) 791~798.

Face Grinding of Marble(I)

Surface Morphology Study

Wang Chenyong · Liu Peide · Chen Peiyuan

Abstract

In this report, the surface morphology of marble in face grinding with single abrasive grain has been observed by SEM. The mechanism of grinding by fracture removal and plastic removal has been analysed, and the effect of working conditions and material properties on grinding process has been discussed, and then the models of mechanism of its face grinding have been presented for different working conditions.

This report would be helpful both for the understanding of the characteristics of machinework of rock materials and for improving the grinding wheel and optimizing the processing parameters.

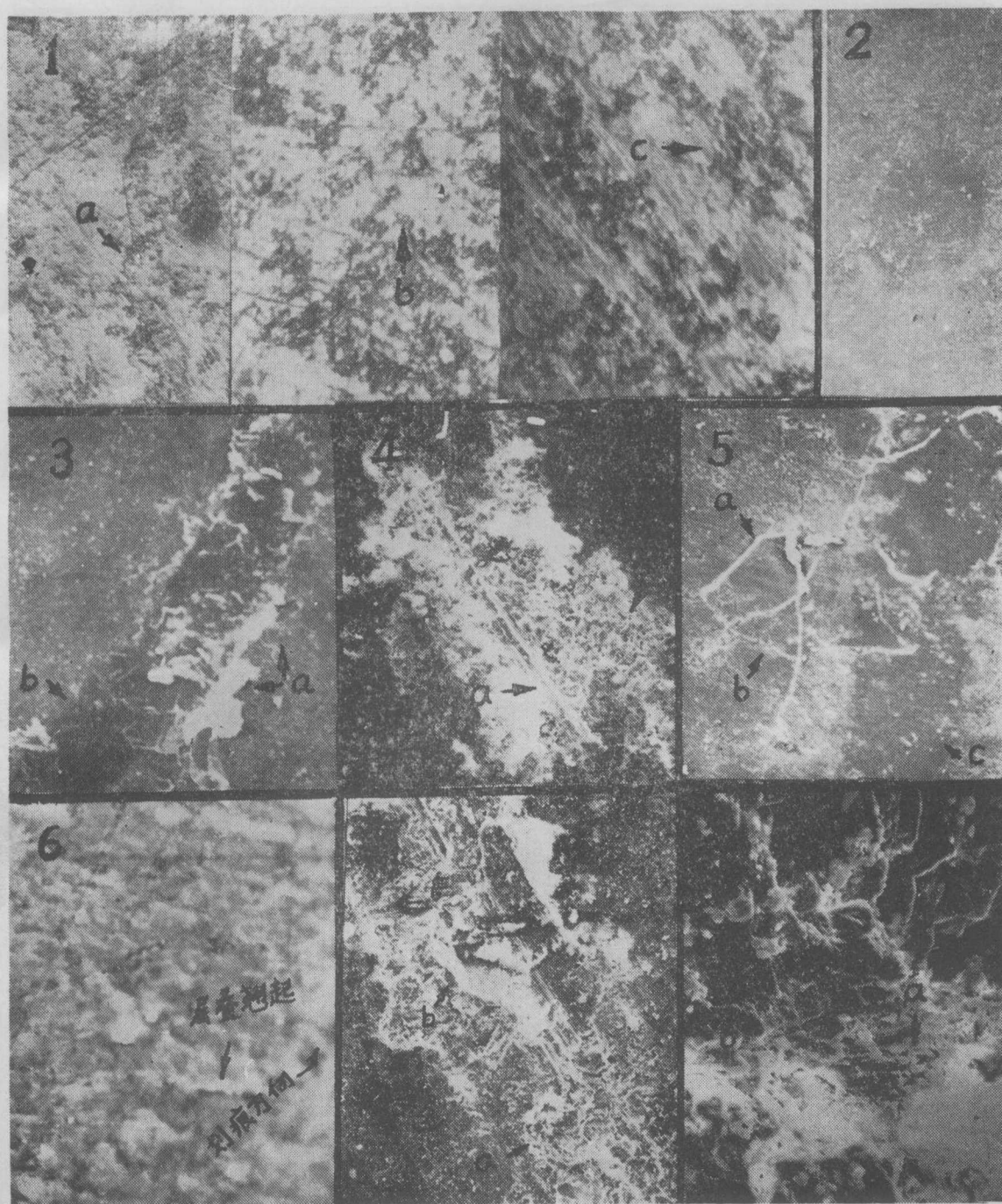


图 1 砂轮磨削加工表面形貌(a)抛光(b)精磨(c)细磨(400×)

图 2 球形压头压痕(40×)

图 3 塑性沟槽(GZ12*, 切深10μm, 100×)

图 4 塑性沟槽(GZ12*, 切深30μm, 200×)

图 5 塑性沟槽(GZ12*, 切深6μm, 200×)

图 6 图5 局部放大(100×)

图 7 沟槽形貌(GZ12*, 200×)

图 8 沟槽形貌(GZ12*, 切深35μm, 700×)

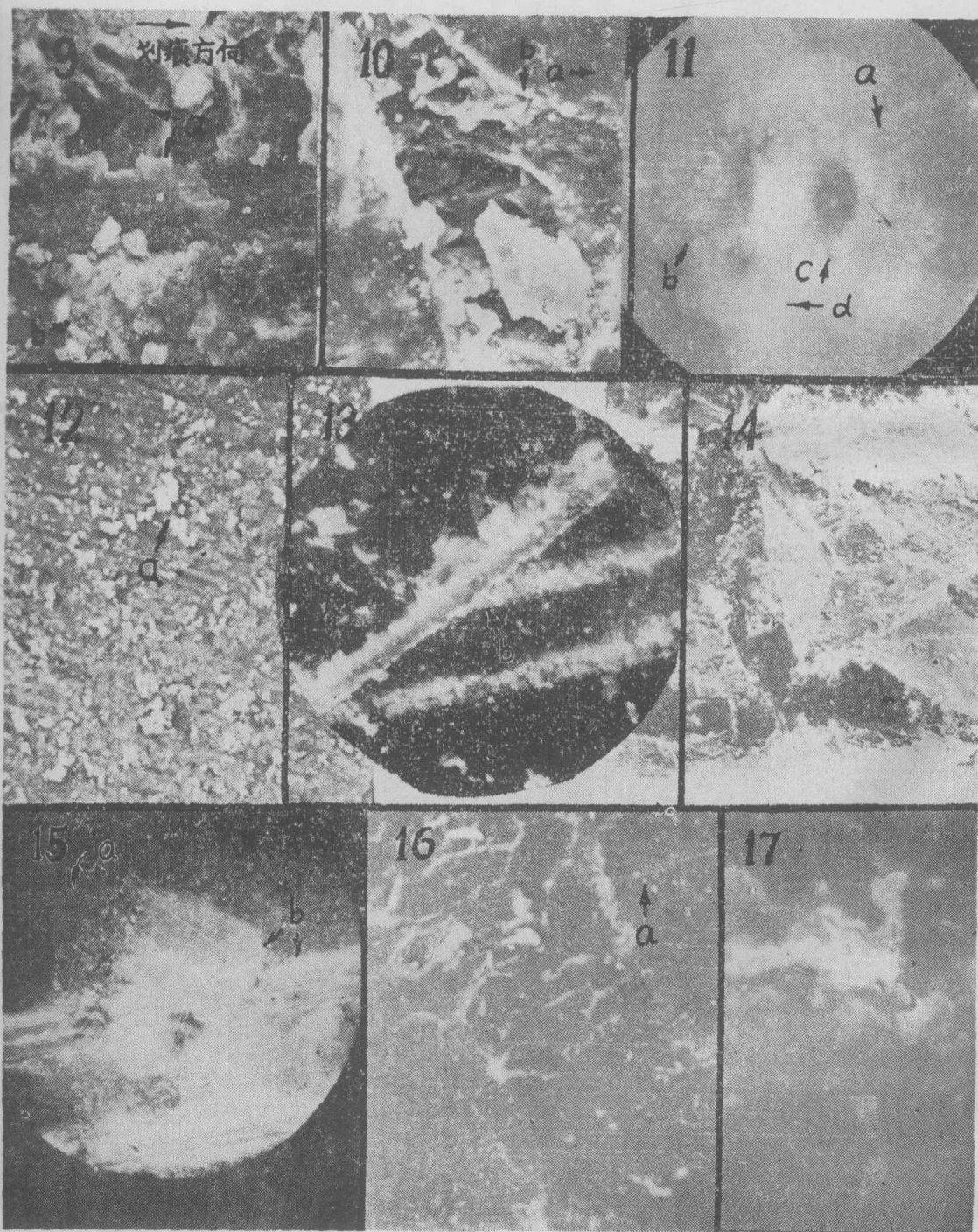


图 9 沟槽形貌(GZ12*, 切深35μm, 700×)

图 10 沟槽形貌(GZ12*, 切深16μm, 1.2k×)

图 11 136°锥形压头压痕形貌(A—中位裂纹;
B—凹坑; C—塑性域; D—侧向裂纹)

图 12 切屑形貌(TS16*, 1000×)

图 13 切屑形貌(TH16*, 20×)

图 14 沿解理面的晶粒脱落(GZ12*, 切深30μm, 100×)

图 15 穿晶裂纹的作用(GZ12*, 35μm, 200×)

图 16 表面缺陷的影响(250×)

图 17 材料软质点处的裂纹