

金刚石工具磨损形式的观察与分析

杨伟光* 李 晨 吴振芳

(北京市粉末冶金研究所, 北京 100078)

张人佶 游 锴 毛小兵

(清华大学, 北京 100084)

摘要 本文对金刚石工具的磨损进行了研究。扫描电镜观测表明, 金刚石工具磨损包括轻微磨损和严重磨损两大类。轻微磨损包括金刚石的犁沟磨损、剥层磨损和点蚀磨损等形式; 严重磨损包括金刚石碎裂磨损、胎体与金刚石界面挤出与离隙和整体脱粒等形式。分析了各种磨损形式产生的原因和机理, 指出金刚石工具的出刃高度 h 随轻微磨损而减小, 却随严重磨损而增大。金刚石的严重磨损虽然可以提高磨削效率, 但却影响工具的使用寿命。

主题词 金刚石 砂轮修整工具 磨损

1 前言

金刚石工具依靠牢固镶嵌在胎体中的金刚石对工件进行加工。对于金刚石工具使用寿命的研究, 主要集中在金刚石颗粒磨削过程中脱落和破坏等问题上。脱落涉及胎体对金刚石的镶嵌与粘结程度。林增栋等^[1]和 Lin. T. P. 等^[2]的研究中, 发现胎体与金刚石颗粒之间存在许多因浸润性能不好而造成的未被金属浸渍填充的孔洞, 这易造成金刚石颗粒早期脱落, 严重影响工具的使用寿命。Meham. R. L. ^[3]指出, 金刚石材料对磨时, 磨损量随着滑动或载荷的增大而增大。Miller. D. 和 Ball. A. ^[4]对金刚石钻头上孕镶的金

石颗粒的破坏情况作了研究, 发现在金刚石磨损过程中正载荷存在一个阈值, 超过这一值时, 金刚石的磨损表面上便可观察到犁沟和微裂纹。文献[5]报导了金刚石工具加工工作面磨损的结果, 提出了磨损速度与金刚石出刃高度之间的关系。但是迄今为止, 对于金刚石工具整体磨损的研究尚属初步。

分析修整工具加工砂轮表面过程的特点, 对研究金刚石工具的磨损有普遍意义。加工过程中, 工具受到砂轮(碳化硅或刚玉)磨料的强烈摩擦, 同时, 机械功绝大部分转换成热, 使金刚石与砂轮接触区产生很高的温度。因此, 金刚石的损耗主要受机械摩擦与温度

表 1 金刚石修整工具样品

Table 1 Sample of diamond dressing tool

编 号	1-1	2-1	2-2	3-1	4-1	4-2
直径, mm	5	6	6	10	12	12
金刚石类型	天然	天然	人造	天然	天然	人造
基体材料	Co-Cu-Ni	WC-Co-P	WC-Cu-P	WC-Co-P	WC-Co-Cu-Ni-P	WC-Co-Cu-Ni

* 杨伟光, 高级工程师, 北京市粉末冶金研究所所长

收稿日期: 1994. 11

的作用。本文对不同胎体的金刚石修整工具进行了磨损的分析研究,包括三个部分:金刚石本身的磨损分析;金刚石与胎体界面处的磨损分析;金刚石工具刃口部分的磨损分析。所得出的磨损规律,也适用于石材、玻璃、陶瓷等非金属材料加工的金刚石工具。

2 实验

2.1 试样

样品情况如表1所示,长度为20~50mm,采用天然及人造金刚石,孕镶热压而成。实验在M1432磨床上进行。滑动距离100mm(砂轮宽度)。具体情况列于表2。

表2 实验条件

Table 2 Experimental conditions

材质	GZ	TH	TL
砂轮 尺寸(直径),mm	350~500		
条件 粒度	46#	60#	70#
硬度	ZR ₁	Z ₁ ~Z ₂	ZY ₁ ~ZY ₂ Y ₁
修整 进给量,mm	0.03~0.50		
条件 修整方式	干修 湿修		

对金刚石修整工具的磨损试样进行扫描电镜(SEM)观察。观察前样品真空蒸镀约10μm的金膜,以保证试样的导电性。

胎体的作用是嵌镶金刚石,防止和减少金刚石机械损耗和热磨损。胎体的主要成分为WC、Co、Cu、Ni、Mn、P等。WC红硬性高,耐磨性好,在胎体中起提高硬度和增加耐磨性的作用;Co、Ni对WC颗粒的浸润性好,可以起到良好的粘结作用;Cu或Co-Cu合金的导热性好,且不与金刚石产生任何化学作用,可避免金刚石在加工过程中因摩擦生热或化学反应而受损。P的添加是为了与Cu、Ni、Co形成共晶成分的合金,降低烧结温度,避免因烧结温度过高而引起金刚石受损。实验结果表明,采用这些成分制作的修整工具,修整砂轮时耐磨性良好,使用寿命增长,修整效率和修整精度均有所提高。

2.2 金刚石工具磨损表面形貌扫描电镜观测

对金刚石及其工具工作部位的磨损表面

形貌的扫描电镜(SEM)观测表明,金刚石表面出现了多种磨损及破坏形式。按照磨损程度可将金刚石工具的磨损分为三个阶段:

“出刃”→轻微磨损→严重磨损

出刃阶段:金刚石为未磨损状态,更确切地说为可观察到磨损;

轻微磨损阶段:金刚石磨损形貌为表面犁沟、剥层磨损及表面点蚀形式;

严重磨损阶段:金刚石磨损形貌为破碎磨损,胎体表现出挤出与离隙,还可出现金刚石整体脱落形式。

2.2.1 犁沟磨损

图1照片是样品初始磨削条件下的形貌。照片的右方为金刚石颗粒,左方为胎体。可以清楚地看到表面犁沟磨损。这种磨损形貌是细密的同向排列的条状沟槽,其排列的方向与滑动方向一致。不论金刚石与相对较硬(ZY₂, Y₁)或较软的(ZR₁, Z₁)砂轮对磨时,均可观察到这种磨损形貌。

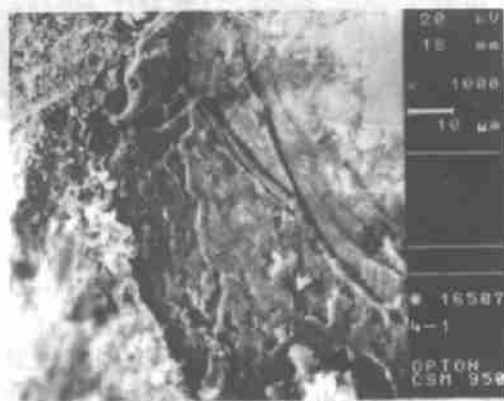


图1 金刚石犁沟磨损表面形貌 试样4-1

Fig. 1 Morphology of grooved wear surface of diamond

2.2.2 剥层磨损

图2为已露头的金刚石表面上观察到的剥层磨损形貌。在金刚石进行了数十次磨削时,其表面发生剥层磨损,即金刚石表面呈片层状的脱落,层厚约为2~10μm。图3为磨层磨损的细微形貌。

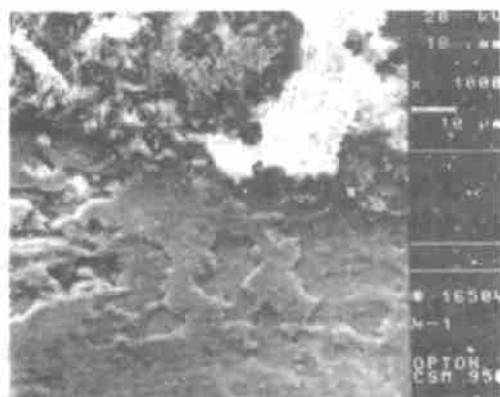


图 2 金刚石剥层磨抛表面形貌 试样 4-1

Fig. 2 Morphology of delamination wear surface of diamond

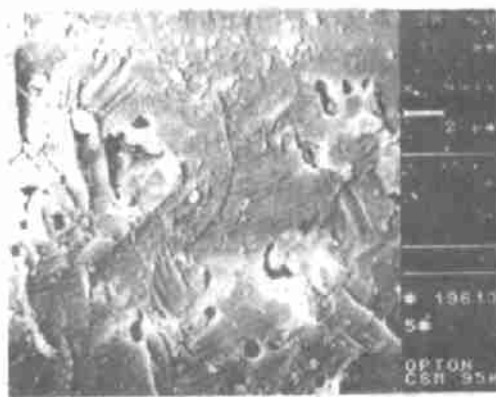


图4 金刚石点蚀磨损表面形貌 试样1 1

Fig. 4 Morphology of spot etching surface of diamond



图3 金刚石剥层磨损细微形貌 试样4—1

Fig. 3 Micro-morphology of delamination wear of diamond

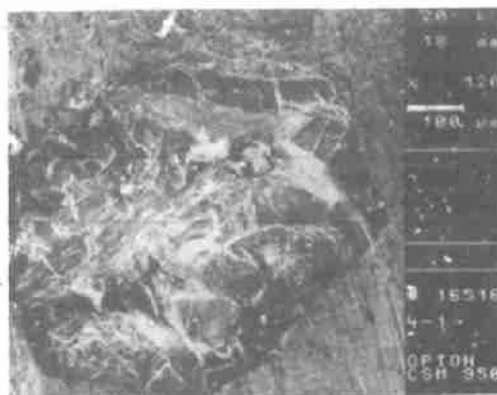


图5 金刚石破碎磨损表面形貌 试样4 1

Fig. 5 Morphology of crack wear surface of diamond

2.2.3 点蚀磨损

图 4 为发生点蚀磨损的金刚石表面形貌。它主要是由于循环应力作用引起的疲劳磨损。通常在露头较多,磨削时间较长的试样表面观察到,仍属于轻微磨损。

2.2.4 破碎磨损

当金刚石的磨损达到严重磨损阶段时,所受的力如果超过金刚石本身的抗压强度,则会发生局部或整体破裂。图5及图6为金刚石破碎磨损的形貌。这个过程也可视作微裂纹的萌生与扩展,破坏了金刚石的整体强度的过程。

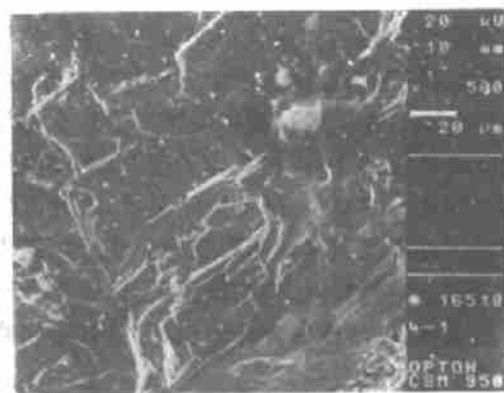


图 6 金刚石破碎磨损细微形貌 试样 4 1

Fig. 6 Micro-morphology of crack wear surface of diamond

2.2.5 胎体-金刚石界面挤出与离隙

在金刚石颗粒与胎体的界面处,可以观察到金刚石颗粒背面(相对于磨削方向)胎体被推挤凸起(图7箭头A所示);而金刚石颗粒前面,胎体与金刚石之间形成离隙沟槽(图7箭头B所示)。通常在WC含量较少,即耐磨性低、延展性好的胎体上,较易看到这一磨损形式。这一磨损形式极易导致金刚石较早地脱落,因而是一种严重磨损形式。许多情况下,磨屑还会掉入这些沟槽中加重胎体的磨损,使金刚石过早脱落。图8所示为离隙沟槽内嵌入的磨屑。X射线能谱微区成分分析表明,为砂轮脱落的 Al_2O_3 磨屑。

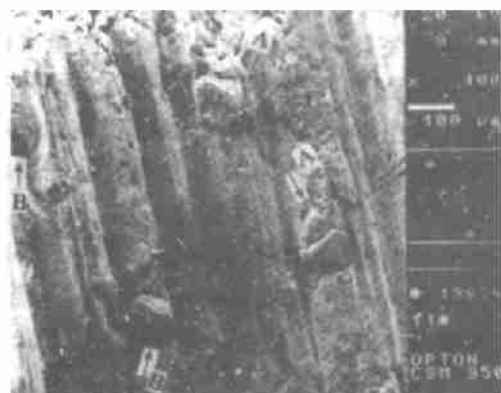


图7 金刚石颗粒的离隙与胎体的界面挤出

Fig. 7 Squeezing at interface separation between diamond particle and matrix

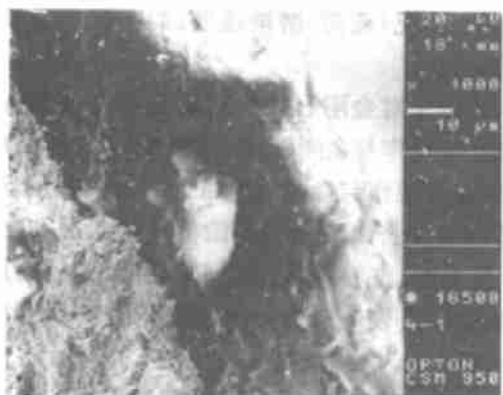


图8 金刚石离隙沟槽内的 Al_2O_3 磨屑 试样4-1

Fig. 8 Al_2O_3 scraps in separating groove of diamond

2.2.6 金刚石脱粒

图9、图10所示为金刚石碎裂后整体或部分脱落,在胎体上留下的孔洞。金刚石工具在工作时,胎体的磨损程度总是大于金刚石的磨损程度,当胎体磨损严重,金刚石颗粒出落面积超过其最大截面时,胎体不再能继续牢固包镶住金刚石,则在摩擦力和法向冲击力的作用下,金刚石整体脱落而遗留下孔洞。

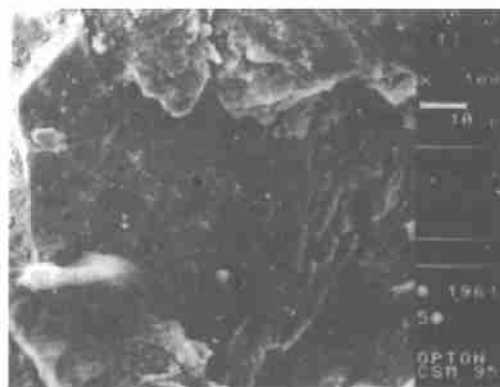


图9 金刚石整体脱落后遗留的孔洞 试样2-1

Fig. 9 Pore remained after breaking off of whole diamond

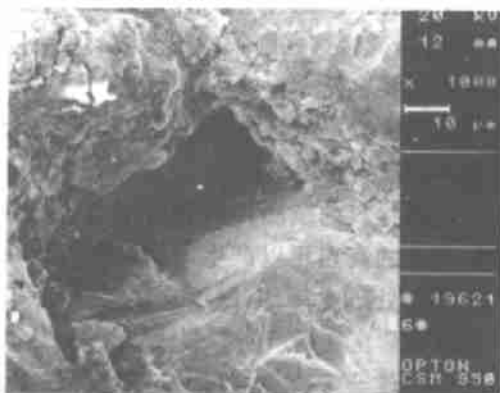


图10 金刚石部分脱落后遗留的孔洞 试样2-1

Fig. 10 Pore remained after breaking off of partial diamond

3 讨论

3.1 金刚石工具的磨损形式

金刚石工具中镶嵌的金刚石,不论其使用环境如何,磨损通常分为两个阶段。第一阶段是轻微磨损阶段。此时的磨损机制为正常

的磨粒磨损和疲劳磨损,具体可分为犁沟磨损、剥层磨损和点蚀磨损。

犁沟磨损是一种热氧化磨损,其产生的微观机理是:金刚石(化学成分为C)表面温度达到或超过700℃时,在未隔绝空气的情况下,即会发生氧化。当被加工材料表面微凸体连续划过已发生氧化的金刚石表面时,即会在其上留下犁沟,产生犁沟磨损。

剥层磨损也是一种常见的轻微磨损形式,亦属热疲劳磨损。金刚石与对磨材料每个微凸体的接触都可看作一个应力循环过程,因此剥层磨损可看作是由应力循环产生的一种疲劳磨损。

点蚀磨损也是由于循环应力作用产生的另一种疲劳磨损。实验表明,点蚀疲劳裂纹起源于表面,再沿着滑动方向向表层内扩展,形成纵剖面为三角形的疲劳蚀坑。决定点蚀磨损最重要的因素是载荷的大小。在我们的实验条件下,载荷值超过金刚石表面发生点蚀磨损的临界载荷,因而观察到点蚀坑的存在。

工具使用中,这三种磨损形式均为金刚石的正常磨损。通过合理选用工作压力,改善冷却条件,减轻这些磨损的程度,是延长工具寿命的重要途径。

第二阶段是严重磨损阶段。其表现形式是金刚石碎裂和脱落。

对磨材料的微凸体刻划金刚石表面时,接触部分的高温可以产生犁沟;而微凸体划过后犁沟处迅速冷却,温度反复急剧变化的结果将在犁沟底部产生微裂纹。当裂纹长度增大到超过一个临界阈值时,即会发生爆发性扩展。实验所用天然金刚石本身就存在大量微裂纹,施加的压力大于金刚石的剪切强度时,即会产生碎裂磨损。

表面挤出与离隙是金刚石工具胎体在磨削加工时产生的磨损形式,是导致金刚石脱落的主要原因。在磨削时,金刚石嵌入对磨材料时,胎体受到的反作用力超过胎体的弹性极限时,胎体产生塑性变形。这一塑性变形的

积累,造成金刚石颗粒背面(相对于磨削方向)一边的界面处,胎体被金刚石推挤而凸起;而在胎体与金刚石结合不够强时,金刚石颗粒前面(相对于磨削方向)一边胎体将与金刚石分离,产生离隙沟槽,降低胎体的嵌镶能力。通常金刚石工具胎体材料的磨损程度又总是大于金刚石的磨损程度,当胎体磨损达到一定程度后,一旦金刚石受到的外力超过胎体与金刚石的粘结强度时,金刚石将发生整体脱粒。

金刚石碎裂和脱落是工具的非正常损坏。试验看到,金刚石加工不同材质、不同硬度的材料,均出现以上所述的磨损形式。这说明金刚石出现何种磨损形式与对磨材料的性质无明显关系,导致碎裂的首要原因是金刚石本身的品质。表面挤出与离隙是由胎体材料的机械性能,特别是耐磨性决定的,因此应针对不同材质的加工对象,合理选择强度适宜的金​​刚石,使其在正常工作条件下,处于第一阶段磨损状态。同时,增加胎体中WC等硬质化合物的含量,提高强度与耐磨性,是避免工具使用中出现第二阶段磨损的有效方法。

3.2 金刚石工具刃口部分的磨损

金刚石工具刃口部分的磨损决定了金刚石工具的磨削效率和使用寿命,受到广泛的重视。它不仅与金刚石本身的性能、胎体材料的性能和粘结性能有关,而且与对磨材料的性能、工况(载荷、磨削速度、润滑状况等)有关。

本文对金刚石磨损的研究可知,出刃高度 h 可视作与金刚石正常(轻微)磨损有关的量,也可视作与金刚石严重磨损有关的量。离隙与表面挤出表征的是胎体磨损状况,它使 h 值变大;整粒脱落后使下一层面内的金刚石露出,亦使 h 值变大;碎裂磨损使一颗金刚石刃口变为数个,亦等效于使 h 值变大。因此,出刃高度体现了金刚石轻微磨损和严重磨损的综合影响。而金刚石工具的使用寿命则集中反映了金刚石严重磨损的影响。除非

在极不正常的工况下,金刚石不发生严重磨损。在这种情况下,虽然其使用寿命可达到极长,但其出刃高度 h 很小,致使磨削效率明显降低。

3.3 金刚石磨损对工具效率与使用寿命的影响

金刚石磨损虽然分为轻微磨损和严重磨损两个阶段,但是由于金刚石工具和对磨材料的不均匀性,致使金刚石的严重磨损并不一定在时间上总是落后于轻微磨损。例如砂轮内分布着的硬质点与金刚石发生碰撞时,由于金刚石很脆,极易在磨削的早期产生碎裂磨损;而邻近区域的金刚石却仍然处于轻微磨损阶段。通常,金刚石整体脱粒在磨削早期甚少发生,只有当磨损达到一定阶段后,胎体被大量磨掉,剩余部分无法把持住金刚石,此时才发生脱粒。

金刚石磨损对工具的效率和使用寿命的影响也是较复杂的。在金刚石的轻微磨损阶段,金刚石刃部(即棱角处)逐渐被磨钝,而使磨削效率大大下降。而在金刚石的严重磨损阶段,金刚石的碎裂磨损可产生更多的新刃口,有利于提高磨削效率,但对于工具的寿命则有不利的影响。金刚石的脱粒有类似的影响。在工具的实际使用中,有时应将两个阶段结合。如玻璃加工人造金刚石工具严重

磨损阶段迟迟未能发生,则金刚石工具的“自磨出刃”不能很好地发挥作用,影响工具的使用效率;而若金刚石的碎裂磨损和脱粒出现过早过频繁,则金刚石很快被磨损掉,将影响工具的使用寿命。因此,应从工具的应用类型、被加工材料的材质出发,合理地选用不同强度等级的金刚石及耐磨性与之相适应的胎体。

4 结论

(1) 金刚石工具中金刚石磨损可分为轻微磨损和严重磨损两个阶段。

(2) 轻微磨损包括犁沟磨损、剥层磨损和点蚀磨损等形式,是机械摩擦和温度综合作用的疲劳破损,属于工具使用中的正常损耗。

(3) 严重磨损包括碎裂磨损、表面挤出与离隙和整体脱粒等形式,主要由金刚石的品质和胎体的性能决定。

(4) 金刚石工具刃部磨损不仅取决于金刚石的严重磨损,而且取决于金刚石的轻微磨损。前者有助于提高磨削效率,但使使用寿命降低。后者则相反。

致谢 清华大学摩擦系国家重点实验室夏为民、马晓华在扫描电镜实验上给予了大力帮助,特致谢忱!

5 参考文献

- 1 林增栋. 金刚石—金属工具的发展与现状, 粉末冶金技术, 1992, 10(增刊): 65.
- 2 Lin T P, Hood M, Cooper A G, Li X H. Wear and Failure Mechanism of Polycrystalline Diamond Compact Bits. Wear, 1992, 156: 133
- 3 Meham R L. Dry Sliding Wear of Diamond Materials. Wear, 1982, 78: 365
- 4 Miller D, Ball A. The Wear of Diamond in Impregnated Diamond Bit Drilling. Wear, 1991, 141: 311
- 5 Deawar B, Nicholas M, Scott P M. The Solid Phase Bonding of Copper, Nickel and Some of Their Alloys to Diamonds. J Mater Sci, 1976, (11): 1083
- 6 Snh N P, Tribophysics. Englewood cliffs, N J, Prentice—Hall, 1986

OBSERVATION OF WEAR FORMS OF DIAMOND TOOL

Yang Weiguang, Li Chen and Wu Zhenfang

(Beijing Research Institute of Powder Metallurgy, Beijing 100078)

Zhang Renji, You Kai and Mao Xiao bin

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The wear of diamond tools has been studied. The SEM observation has shown two kinds of wear including mild wear and severe wear. The mild wear involves grooved wear, delamination wear and spot etching, while the severe wear covers crack wear, squeezing and separating interface matrix and diamond, breaking off of whole diamond, etc. The cause and mechanism of the production of various forms of wear have been analysed. It has been found that the height above the edge of diamond tools decreases with mild wear but increases with severe wear. Though the severe wear of diamond can present a higher grinding efficiency, it diminishes tools' lifetime.

Key words Diamond dresser tool for grinding wheel wear

· 简讯 ·

机械工业粉末冶金科技信息网第三届网员大会在广西南宁召开

粉末冶金科技信息网第三届网员大会于1994年11月20日~24日在广西南宁市召开,网长与副网长单位共同主持了会议。

中国机械通用零部件工业协会粉末冶金专业协会周开礼会长出席会议并作了题为“蓬勃发展的我国粉末冶金工业”的报告,得到了全体代表的热烈欢迎。信息网秘书长李祖德作了两年来信息网工作总结,指出信息网在上级领导、粉末冶金专业协会的大力支持和全体网员单位的努力下,适应市场经济发展趋势,转变观念,明确服务方向,为企业办了不少实事。

对于信息网两年来的工作,与会代表给予了充分肯定,审议并通过了工作总结。同时围绕信息网工作如何适应市场经济的发展问题提出了可行的意见与建议。

出席会议的论文作者宣读了论文,并进行了热烈的讨论与广泛的交流。

与会代表认为,为进一步搞好信息网工作,必须加强与学会、协会的合作,并责成秘书处抓紧筹备合作项目的具体事务。

会议表彰了论文作者和积极分子。

[张宝珍供稿]