

金刚石工具胎体材料机械性能的概述^①

谢北萍¹, 段隆臣², 孟大维¹

(1. 中国地质大学材料科学与化学工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 金刚石具有高硬度、高强度、高耐磨性等一系列优异特性, 被广泛地用来制备金刚石工具。金刚石工具工作寿命和性能的一个重要指标就是金刚石在金刚石工具中的把持强度, 其在实际工作中的使用效果在很大程度上取决于胎体材料的性能。文章从固结温度、掺杂、金刚石表面涂层等几个方面对胎体材料机械性能的影响进行了概述, 其中包括硬度、屈服强度、弯曲强度和冲击强度。最后指出了金刚石工具胎体材料性能研究存在的问题, 并提出了解决对策, 为胎体材料的设计提供了理论指导。

关键词: 金刚石工具; 胎体材料; 机械性能; 概述

中图分类号: TQ164 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-1433(2008)04-0021-04

Study on the mechanical properties of the matrix for diamond tools

XIE Bei-ping¹, DUAN Long-chen², MENG Da-wei¹

(1. Faculty of Material Science & Chemistry Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: With a series of excellent properties such as high hardness, high strength, high wear resistance, diamond has been widely used to manufacturing diamond tools. One important index of the working life and performance of diamond tools is the retention intensity of diamonds in the diamond tools, to a great extent, the high-effective applying of which is determined by the mechanical properties of the matrix materials in the actual practice. In the essay, the mechanical properties of the matrix, including hardness, yield strength, bending strength and impact strength, are summarized through the effectiveness of various consolidation temperature, contamination, coatings, etc. Some existing problems for studies on the properties of the matrix are put forward and solutions are also suggested, these provide an important theoretical guidance for the design of the matrix materials.

Keywords: diamond tool; matrix materials; mechanical properties; review

1 前言

金刚石由于其极高的硬度和优良的机械性能, 成为加工各种坚硬材料必不可少的工具材料。当今, 金

刚石工具在石油钻井、地质勘探、石材加工、建筑装潢等领域得到了非常广泛的应用, 取得了良好的经济效益和社会效益^[1]。但金刚石工具在使用过程中还存在问题, 具体表现为金刚石颗粒在工作中易于脱落, 降

^① 收稿日期: 2008-04-25

作者简介: 谢北萍(1981-), 男, 研究生, 研究方向为超硬材料。

低了金刚石工具的使用寿命及性能水平^[2],而胎体材料一个重要的作用就是能够牢牢地把持住金刚石颗粒。因此对胎体材料性能的研究具有重要意义。

在使用条件下,金刚石—胎体相互作用,以不同形式出现,其中包括:机械镶嵌力、物理吸附力和化学结合力^[3-4],这些相互作用同时还取决于每单粒金刚石的尺寸和形状,晶粒取向和加载条件,胎体残余应力,金刚石—胎体摩擦系数等等。现有的金刚石把持力理论知识是从简化了的模型中推导出来的,而且在工业实践中,由于金刚石脱落的情况比较复杂,所以不能给出很好的解释。

胎体承受着改变强度的脉冲力,其实际机械响应特性在复杂的加载和缓慢的升温条件下受其脆性的影响。由于不匹配的热膨胀系数在制造过程中,每粒金刚石周围产生内应力^[5],使情况变得更为复杂。该应力具有增强把持力的功能,但是直接量化它们的作用却很困难。

当胎体发生弹性变形或脆断时,并没有使预应力状态消失,这一点很重要。胎体这种现象主要是由加载于工作金刚石外部作用力或是由于在切削区产生的热使胎体发生相反的热膨胀引起的。否则,金刚石变得疏松且提前脱落,如图1所示^[6]。一些材料特性如硬度,屈服强度和冲击强度,通常被认为具有调节胎体对金刚石把持性能的作用,尽管至今对于不同应用条件下上面所提到的指标在实际参考中没有达成一致,但是对硬度,屈服强度,弯曲强度和冲击强度的评估已成为一种常规的工业生产实践。

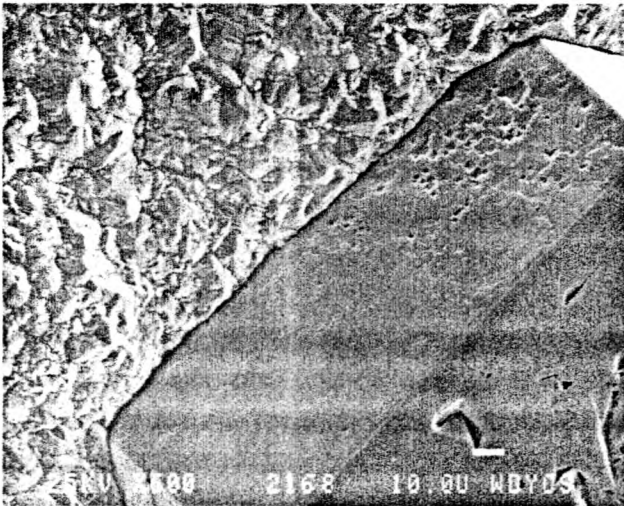


图1 工作金刚石和胎体之间明显的分离^[6]
Fig.1 Separation between the working diamond and matrix

2 胎体材料的机械性能

2.1 硬度

完全致密化胎体要求较窄的硬度范围,在一定程度上,其受到胎体组织和粉末固结加工参数的影响^[7]。就胎体—金刚石混料不完全致密化或误加工情况而言,硬度读数在特定范围内不会下降,因此硬度成为一个有用的主要质量控制参数。胎体硬度与其固结温度之间的特有关系用曲线1表示,如图2所示。

在较低固结温度时,硬度增加与弹性变形量及材料密度成正比。当接近理论密度时,其它过程如再结晶和晶粒长大能够被激活,使材料变软。从质量控制立场来看,在工具制造过程中,期望胎体粉末在硬度—固结温度曲线中出现一个延伸的平台,如图2曲线2所示。

在工具制造实践中,硬度成为完全固结胎体—金刚石把持力的最便捷的指标,然而这个单一标准忽略了一些重要的因素。首先,硬度测量时伴随着5%~12%的塑性变形,因此,受到材料应变硬化特性影响的硬度读数与其弹性变形没有直接的关联。第二,在一些应用中,如圆锯切削中,金刚石/胎体的安放受到高频率脉冲,因此胎体对装载条件的敏感度成为一个重要的参数,是不能从静载实验中推导出来的。最后,当胎体变形时,它将沿着金刚石表面滑移。

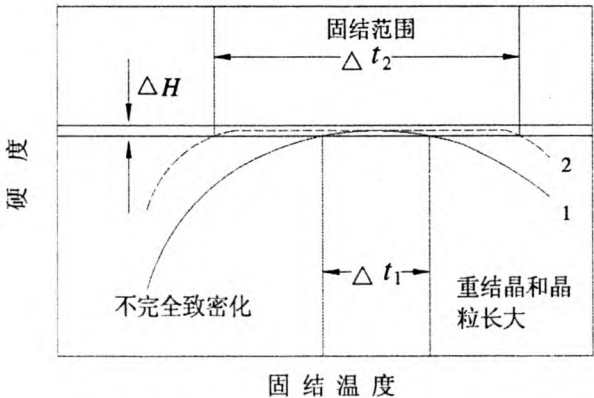


图2 固结温度和硬度的函数关系
Fig.2 Functional relationship between consolidation temperature and hardness

金刚石对于在大多数金属上的静摩擦系数是很小的,因此在分界面处,金属胎体在横向方面几乎能够自由地滑移。当摩擦系数明显增加时,情况发生变化,该系数的增加是由于金刚石制造条件或在胎体固结过程中受到了胎体的化学腐蚀而使金刚石或金刚

石表面涂层不完整导致的。因此增加摩擦力预计要增大压力,为了在工作的金刚石周围使胎体产生塑性屈服,这种压力是必要的。

2.2 屈服强度

屈服强度是胎体的另一个重要性能,该性能与胎体把持金刚石砂粒的能力具有直接的关系^[8-10]。当超过胎体屈服强度时,金刚石砂粒的位置微微裂开,从而使砂粒的把持力被逐渐破坏。

通常由拉伸试验来确定屈服强度,与硬度一样,证明结果与某些特有的高变形应用条件有关,如圆锯切削^[11]。除了表现双屈服值的某些钢外,材料开始发生弹性变形时其应力容易检测到,因此通常测量产生2%弹性变形所需要的应力。

氧化相的含量和分布,与粉末颗粒尺寸和固结条件有关,控制着再结晶发生和胎体最终粒度,因此材料的拉伸特性可以通过改变粉末性能或加工工艺流程来进行设计。在相对较高的温度对粉末进行固结,目的是对晶粒长大的敏感性进行对比,同时表明杂质如氧和硫对拉伸性能有影响。在细晶粒材料中,均匀分散的稳定氧化物含量高时,很明显获得的屈服强度最大^[12]。另一方面,当钴粉在还原气氛中通过烧结进行固结或不含氧化物粉末承受热压时,钴的屈服强度发生剧烈地下降。当屈服强度降低时,伸长率一般增加,除了在一些情况,当其它因素如硫的存在时,会降低材料的韧性。

值得一提的是:在固结之前,通过掺杂其它粉末到金属胎体中,可以使屈服强度进一步多样化^[13]。精细碳化钨常常通过将胎体转变成为颗粒强化复合物,用于增加屈服强度^[14]。

2.3 弯曲强度

在弹性范围内获得的结果,不考虑其方法方面的错误和有问题的解释。弯曲试验已成为一种广泛推广的筛选方法,因此,用一种简单的方法来评估材料烧结的完整性具有重要的意义。在工业生产实践中,沉淀在金刚石表面以增强其在胎体把持的涂层,弯曲试验在评估其效果时证明也非常有用^[15-16]。与未添涂层的金刚石样本相比,具有相同尺寸和浓度的浸渍涂层金刚石砂粒,其弯曲强度可以达到较高的级别。更重要的是,试验样品经过破碎,涂层胎体中破碎的百分率,与非涂层相比显著较高^[17]。因此同时为工具制造者提供了量化指标,可以正确地选择工具组成和固结条件。

2.4 冲击强度

工作刃周期性地承受剧烈冲击,从而在胎体周围

产生应力。除此之外,金刚石工具通常易被误用,因此,不良的振动进一步增加了胎体的冲击载荷,降低了牢牢把持金刚石的能力,镶嵌在较脆的胎体上的金刚石颗粒易遇到这种情况,此时胎体开始断开而不是磨损掉。因此在大多数应用中,胎体的冲击强度对工具性能具有重要作用。

采用粉末冶金制造的材料,其密度以一种复杂方式影响着本身的冲击强度、化学组成、晶粒尺寸、杂质含量等,材料必须完全致密化,否则其粗糙度随着孔隙率增加而剧烈地下降^[10,18]。

通过热压比 $2\mu\text{m}$ (费希尔亚筛尺寸)精细的粉末,使其完全达到理论密度从而制成非合金化钴样本,断裂其所需要能量受材料中的杂质的影响,钴的韧性明显受到氧化程度和硫掺杂程度的控制。

由掺杂硫的湿法冶金学粉末组成的试样尽管不含氧但还是会产生非常低的冲击强度值^[19]。在几乎无硫的材料中,当氧含量从0.01以下增加到0.2wt%时,冲击强度迅速下降,在此范围之外,冲击强度降低比较缓慢。热压温度从800℃增加到950℃时,具有边缘效应且似乎受限于低的氧含量($\sim 0.01\text{wt}\%$)。在此升高温度有助于促进韧性。

通过仪器测试获得的冲击响应表明了氧在材料失效过程中的影响作用,含有0.36wt%氧的试样,在宏观弹性领域中容易破碎,然而可以提高承受能力。另一方面,含低氧的钴(0.07wt%)在较低作用下先屈服,却经历了相当大的弹性变形,同时由于弹性变形和裂纹扩展消耗了较多的能量。

从金刚石把持力立场来看,希望材料具有消除一些变形的能力,否则在锐利的金刚石边缘附近产生的较大应力会引发裂纹产生并在胎体中扩散^[20]。

3 存在的问题和拟解决的方法

目前胎体材料性能的特征都还是采用弯曲强度、硬度、冲击强度等指标,而这些指标不能准确反应胎体对金刚石的把持力以及两者磨损的匹配性,更不能和金刚石制品的最终使用性能建立直接对应关系。而仅仅能检验制作过程的工艺参数是否在设计范围,因为通常一个具体的胎体配方在精确的工艺条件下压制烧结后,其强度、硬度、冲击强度等力学性能是稳定的。但由于实际生产过程中影响因素较多,各因素的影响此长彼消,在不同的工艺条件下可以获得相近的力学性能指标,但两个相近的力学性能指标不一定对应相同的使用性能。更何况,制品加工的对象也会存

在差异,相同力学性能的金剛石制品在不同的使用条件下也会得到差异较大的使用结果。因此需要找到准确而又直接的胎体使用性能表征方法,建立科学的性能评价体系^[21]。

大量研究表明,胎体材料的强度、硬度、冲击强度等机械力学性能指标只能作为胎体使用性能的辅助表征方法。最有效的是建立金剛石的最大出刃高度和工作出刃高度测定的手段,再辅以建立金剛石制品切割试验台和磨损试验台,就可建立金剛石制品性能评价体系。

参考文献:

[1] 史晓亮,段隆臣,汤凤林,等. 提高金剛石—硬质合金超硬复合性能的研究[J]. 探矿工程,2002(2):35-37.

[2] 黄志伟,卢汇洋,李立波,等. 金剛石工具中金剛石与胎体结合力的提高方法[J]. 金剛石与磨料磨具工程,2007(3):45-47.

[3] 丁华东,浩宏奇,金志浩. 金剛石钻头胎体材料设计新思路[J]. 西安交通大学学报,1997(4):32-34.

[4] 黄漫,陈哲,王凤荣,等. 孕镶金剛石工具中金剛石与胎体间机械包镶力的研究[J]. 金剛石与磨料磨具工程,2004(4):43-45.

[5] 林增栋. 金属—金剛石的粘结界面与金剛石表面的金属化[J]. 粉末冶金技术,1989(1):1-9.

[6] 潘秉锁. 稀土对提高电镀金剛石钻头性能的研究[D]. 武汉:中国地质大学,2003(5):43.

[7] 邹庆化,汤凤林,杨凯华,等. 热压金剛石工具材料及其致密化[J]. 中国有色金属学报,2001(S2):119-126.

[8] de Chalus, J. R.. Metal powders for optimum grain retention [J]. Industrial Diamond Review,1994,54(4):170-172.

[9] Chalkley, J. R., Thomas, D. M.. The tribological aspect of metal-bonded diamond grinding wheels[J]. Powder Metallurgy, 1969,12(24):582-597.

[10] Bonneau, M., Tensile rupture on sintered cobalt specimens. In proceedings of Seminar on PM Diamond Tools, Lausanne, Switzerland, November 2-3, 1995, 41-47.

[11] 戴秋莲, 吴惠贞. 铁基金剛石圆锯片胎体材料的研究[J]. 金剛石与磨料磨具工程, 2000(4): 45-47.

[12] 宋月清, 甘长炎, 夏志华, 等. 金剛石工具胎体性能的弱化问题研究[J]. 人工晶体学报, 1998(4): 13-16.

[13] Konstanty, J., Cobalt as a Matrix in Diamond Impregnated Tools for Stone Sawing Application. 2nd Edition, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Krakow, 2003.

[14] 王镇全, 王克雄. WC类硬质合金胎体材料的试验研究[J]. 探矿工程, 2000(5): 25-26.

[15] McEachron, R., Connors, E. J., Slutz, D. E., Multi-layer metal coated diamond abrasives with an electrolessly deposited metal layer. U. S. Patent 5,232,469. 2005, (03).

[16] 张凤林, 魏昕, 王成勇. 金剛石表面镀覆金属的性能研究[J]. 工具技术, 2002(1): 23-25.

[17] 王凤荣, 陈哲, 刘一波, 等. 关于几种表面处理金剛石的对比试验研究[J]. 金剛石与磨料磨具工程, 2007(2): 23-25.

[18] Konstanty, J.. The materials science of stone sawing [J]. Industrial Diamond Review, 1991, 51 (1): 27-31.

[19] 宋月清, 甘长炎, 夏志华, 等. 添加剂对预合金粉末胎体性能及其金剛石工具使用效果的影响[J]. 粉末冶金技术, 1997(4): 12-13.

[20] Dudek, K., Pietrzyk, M., Konstanty, J., Analiza stanu naprezenia w otoczeniu kryształu diamentu w segmencie metaliczno-diaamentowyn. In Proceedings of 10th Conference on Computer Science in Metal Technology, Wisla Jawornil Poland, 12-15 January 2003. 95-102.

[21] 谢志刚, 贺跃辉, 王智慧, 等. 金剛石制品的金属胎体的研究现状[J]. 金剛石与磨料磨具工程, 2006(3): 54-56.

