

中国地质大学（武汉）“十一五”规划教材

金刚石工具的设计与制造

JINGANGSHI GONGJU DE SHEJI YU ZHIZAO

段隆臣 潘秉锁 方小红 编



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

中国地质大学(武汉)“十一五”规划教材

金刚石工具的设计与制造

段隆臣 潘秉锁 方小红 编



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

金刚石工具的设计与制造/段隆臣,潘秉锁,方小红编. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2013.3

ISBN 978-7-5625-3025-1

I. ①金…

II. ①段…②潘…③方…

III. ①金刚石-工具-高等学校-教材

IV. ①TQ164.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 294566 号

金刚石工具的设计与制造

段隆臣 潘秉锁 方小红 编

责任编辑:舒立霞

策划组稿:梁志方 菊

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:480 千字 印张:18.75

版次:2013 年 3 月第 1 版

印次:2013 年 3 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—1 500 册

ISBN 978-7-5625-3025-1

定价:38.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

“工欲善其事,必先锐其器”。金刚石钻头及制品是碎岩工具的典型代表,它在机加工、建筑装潢、地质勘探、石油钻井等领域有着广泛的用途。“金刚石工具的设计与制造”涉及材料学、机械学、粉末冶金学、电化学和岩石破碎学等多门学科,目前国内很少有适合于本科生的跨学科的教学用书,为此特编辑此教材。在编写过程中得到谭松成、谢北萍和徐少林等同志的热情帮助,同时还得到中国地质大学(武汉)教务处和工程学院的资助与大力支持。谨在此一并致以谢意!

由于编者水平有限,不妥和错误之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 金刚石工具的发展历程	(1)
第二节 金刚石工具的分类	(3)
一、金刚石微粉磨料	(3)
二、单晶金刚石	(4)
三、镶嵌金刚石工具	(5)
四、金刚石聚晶(PCD)	(7)
五、CVD 金刚石	(9)
第三节 金刚石工具的应用	(10)
第二章 金刚石	(12)
第一节 金刚石的性质	(12)
一、金刚石的晶体结构与形态	(12)
二、金刚石的主要性质	(15)
第二节 天然金刚石	(20)
一、天然金刚石矿床分布及储量情况	(20)
二、天然金刚石的开发	(20)
三、工业金刚石质量等级	(21)
四、天然金刚石粒度	(22)
第三节 人造金刚石	(22)
一、石墨转化金刚石的机理	(23)
二、人造金刚石单晶合成理论	(24)
三、人造金刚石合成方法	(28)
四、人造金刚石的基本表征	(37)
第四节 金刚石烧结体	(41)
一、聚晶金刚石	(41)
二、金刚石复合片	(45)
第三章 金刚石预处理	(49)
第一节 机械方法处理	(49)
一、整粒	(49)
二、浑圆化处理	(49)
三、抛光处理	(50)
第二节 金刚石表面金属化	(50)
一、覆膜的作用	(50)
二、覆膜基本原理	(52)

三、覆膜方法·····	(56)
第四章 金刚石工具切削的理论模型·····	(61)
第一节 圆锯片切割的理论模型·····	(61)
第二节 框架锯切割的理论模型·····	(64)
第三节 绳锯锯切的理论模型·····	(66)
第四节 取心钻切的理论模型·····	(68)
第五节 小 结·····	(69)
第五章 金刚石钻头设计·····	(72)
第一节 概 述·····	(72)
一、金刚石钻头的类型·····	(72)
二、钻头类型的使用范围·····	(72)
三、岩石的力学性质及其测量·····	(72)
四、钻头规格尺寸·····	(77)
第二节 表镶金刚石钻头结构参数选择·····	(77)
一、天然金刚石表镶钻头·····	(77)
二、人造聚晶表镶钻头·····	(83)
三、复合片(PDC)钻头·····	(85)
第三节 孕镶金刚石取心钻头结构参数选择·····	(87)
一、钻头组成和工作层的尺寸·····	(87)
二、钻头唇面形状·····	(87)
三、钻头的工作层·····	(88)
四、金刚石品级和粒度·····	(92)
五、金刚石浓度和金刚石在唇面上的分布·····	(92)
六、钻头的保径·····	(94)
七、水路系统·····	(94)
第四节 不取心金刚石钻头结构特点·····	(101)
一、全面钻头的结构特点·····	(101)
二、设计原则·····	(102)
第六章 其他加工用途的金刚石工具·····	(105)
第一节 概 述·····	(105)
一、金刚石工具分类·····	(105)
二、金刚石工具应用·····	(105)
第二节 金刚石圆锯片·····	(106)
一、金刚石圆锯片分类·····	(106)
二、圆锯片的基体材料和刀头结构参数·····	(109)
三、圆锯片刀头胎体体系·····	(110)
四、影响锯片使用因素·····	(112)
第三节 金刚石框架锯片·····	(114)
一、框架锯的应用·····	(114)

二、金刚石框锯结构	(114)
三、基体材料及金刚石刀头参数	(114)
四、框架锯的分类	(116)
第四节 金刚石绳锯	(116)
一、金刚石绳锯应用	(116)
二、金刚石绳锯结构	(117)
三、金刚石绳锯失效形式和原因	(119)
第五节 金刚石线锯	(120)
一、金刚石线锯应用	(120)
二、金刚石线锯分类	(121)
第六节 金刚石铣磨工具	(121)
一、金刚石铣磨工具应用	(121)
二、金刚石铣磨工具分类	(122)
三、铣磨工序	(122)
第七节 金刚石抛光材料	(123)
一、金刚石抛光材料分类	(123)
二、金刚石研磨膏	(123)
第七章 粉末冶金基础知识及金刚石工具制造	(125)
第一节 金属粉末	(125)
一、金属粉末的制法	(125)
二、粉末性能	(126)
三、粉末粒度及其测定	(131)
四、粉末的比表面及其测定	(133)
第二节 成形	(133)
一、成形前的原料预处理	(133)
二、金属粉末的压制过程	(134)
三、压制过程中力的分析	(137)
四、压坯密度的分布	(140)
五、影响压制过程的因素	(142)
第三节 烧结	(145)
一、烧结过程的热力学基础	(145)
二、烧结的热力学问题	(146)
三、烧结机制	(147)
四、单元系烧结	(149)
五、多元系固相烧结	(152)
六、液相烧结	(155)
七、液相烧结合金举例	(160)
八、熔浸	(161)
九、烧结气氛	(161)

十、热压	(162)
第四节 热压法制造金刚石钻头	(163)
一、工艺流程	(163)
二、模具和钢体设计	(163)
三、胎体配方	(166)
四、装料计算	(170)
五、热压烧结	(171)
第五节 冷压法制造金刚石工具	(175)
一、冷压浸渍法制造金刚石钻头	(175)
二、冷压烧结(焊接)锯片	(181)
三、配方设计	(186)
四、结合剂的配制	(188)
五、压制成形	(188)
六、烧结	(194)
第六节 无压浸渍法制造金刚石钻头和扩孔器	(198)
一、无压浸渍法制造金刚石钻头	(198)
二、无压浸渍法制造扩孔器	(200)
第七节 电阻炉加热法制造金刚石锯片刀头	(204)
一、设备	(204)
二、制造工艺	(205)
第八节 胎体性能及其测定方法	(206)
一、抗弯强度	(206)
二、冲击韧性	(207)
三、胎体硬度	(207)
四、胎体耐磨性	(207)
五、胎体抗冲蚀性	(207)
六、孕镶块包镶金刚石的能力	(208)
七、胎体的金相检验	(209)
八、钻头加工要求	(209)
第八章 电镀基础知识及金刚石工具制造	(210)
第一节 电化学基础	(210)
一、电流通过电镀槽所引起的变化	(210)
二、法拉第定律	(211)
三、溶液的电导率及其影响因素	(212)
四、电极的极化	(213)
第二节 电解液的分散能力	(222)
一、分散能力的概述	(222)
二、影响电流在阴极上分布的因素	(222)
三、金属在阴极上的分布	(225)

四、改善电解液分散能力的途径	(226)
五、分散能力的测定方法	(228)
第三节 金属制品的镀前预处理	(229)
一、机械处理	(230)
二、除油	(230)
三、浸蚀	(233)
第四节 典型电镀	(237)
一、硫酸盐电解液镀镍	(237)
二、氟硼酸电解液镀镍	(239)
三、镀镍层的氢麻点及针孔	(239)
四、镀镍电解液中的污物	(240)
五、光亮镀镍	(241)
六、镍-钴合金电镀	(242)
第五节 电镀设备及电镀间的工业卫生 and 环境保护	(245)
一、电镀设备	(245)
二、电镀间的工业卫生	(247)
三、电镀间的环境保护	(248)
第六节 电铸金刚石钻头和扩孔器	(249)
一、电铸金刚石钻头	(250)
二、电镀扩孔器	(253)
第七节 电镀金刚石制品	(253)
一、电镀人造金刚石什锦锉	(254)
二、电镀金刚石砂轮	(256)
三、电镀金刚石超薄型外圆切割片	(256)
四、电镀金刚石内圆切割锯片	(257)
第八节 金刚石表面电镀金属工艺	(258)
一、电镀槽	(258)
二、电镀镍钴合金镀层	(259)
三、电镀铜金属覆层	(259)
第九章 金刚石工具的焊接	(261)
第一节 概 述	(261)
第二节 银钎焊	(261)
一、银钎焊料	(261)
二、焊剂	(262)
三、加热设备及焊接特点	(262)
四、焊接工艺	(262)
第三节 其他焊接方法	(266)
一、高强度焊接合金的焊接	(266)
二、激光焊接	(267)

三、机械镶嵌	(267)
第十章 影响金刚石钻头和锯片使用的基本因素	(269)
第一节 影响金刚石钻头使用的基本因素	(269)
一、钻具组合	(269)
二、温度因素对金刚石钻头使用的影响	(270)
三、钻进规程参数	(273)
第二节 影响金刚石锯片使用的基本因素	(274)
一、岩石性能对锯片锯切的影响	(274)
二、锯切工艺及参数	(276)
附录 1 冶金系列普通双管、单管钻头规格尺寸(YB Ⅲ-B82)	(280)
附录 2 冶金系列绳索取心钻头规格尺寸(YB Ⅲ-B82)	(281)
附录 3 冶金系列扩孔器规格尺寸(YB Ⅲ-B82)	(282)
附录 4(a) 地质系列双管钻头规格尺寸(DZ2. 1-89)	(283)
附录 4(b) 地质系列单管钻头规格尺寸(DZ2. 1-89)	(283)
附录 4(c) 地质系列绳索取心钻头规格尺寸(DZ2. 1-87)	(284)
附录 4(d) 地质系列大口径工程钻头规格尺寸(DZ2. 1-87)	(284)
附录 5(a) 地质系列普通双管扩孔器规格尺寸(DZ2. 2-87)	(285)
附录 5(b) 地质系列普通单管扩孔器规格尺寸(DZ2. 1-87)	(285)
附录 5(c) 地质系列绳索取心扩孔器规格尺寸(DZ2. 1-87)	(286)
附录 6 地质系列金刚石岩心钻探钻具级配	(287)
附录 7 冶金系列金刚石岩心钻探钻具级配	(288)
主要参考文献	(289)

第一章 绪 论

金刚石作为碳的同素异形体,是人们所知最硬的矿物。无瑕的或基本无瑕的金刚石经过加工后,被认为是最珍贵的珠宝。金刚石除了具有宝石的装饰性和稀有性外,还有一些其他的性能和用途,使它成为一种独一无二的材料。它具有极高的热传导性、体积模量和断裂临界张应力,以及很低的摩擦系数和热膨胀系数,并对普通酸碱具有耐腐蚀性。

到目前为止,由于金刚石尺寸有限且价格较贵,在现代工业应用领域,只有一部分的金刚石性能被开发利用。然而,金刚石合成技术的快速进步,正在逐步克服目前存在的问题,为金刚石作为一种先进的工程材料开启了新的机遇。

第一节 金刚石工具的发展历程

虽然公元前 350 年,人类就开始利用金刚石作为雕刻工具,但是现代应用金刚石的历史大约只有 100 年。在基督时期,人们第一次利用金刚石的碎片,将其镶嵌到铁柄上作为工具使用,类似于今天的金属结合剂金刚石工具。

金刚石工具发展历程中的第二个里程碑发生在 1819 年。当时,在英格兰 Brockendon 首先获得了金刚石拉丝专利,但在当时,试验证明不可能将这种发明应用到实际中。大约 40 年后,法国的 Milan 和 Bolloffet 制造了第一个可用于实际应用的拉丝模。

1824 年,Prichard 开始使用成形金刚石磨轮,对显微镜透镜进行研磨和抛光。这些具有一定精细度的磨轮是用细小的金刚石颗粒镶嵌到铸铁胎体表面而形成的。

1854 年法国工程师 Hermann 申请了用于切割、车削和加工成形硬质石料的单晶金刚石工具专利,一年以后,经过改进转变成多晶金刚石工具。1862 年,一位生活在巴黎的瑞士工程师 Leschot 发明了现代金刚石钻头,并随后在钳工 Pihet 的帮助下造出了第一台简单的手摇钻机,获得了一项包括钻机的金刚石钻头专利,开始了金刚石钻探的历史。Diderot 的百科全书里面记述了金刚石钻头发明后的一个多世纪内,该专利得到了较广泛的实际应用。

1885 年,法国 Fromholt 发明了第一个用于切割石料的圆形锯片,13 年以后,大直径的锯片首次应用于 Euville 石料采集。早期的锯片采用巴西卡邦金刚石(Carbon),并将它们镶在外围。在那个时期,卡邦金刚石是一种非常贵重的材料,其强度大,抗裂性好。在 20 世纪巴黎大型建筑的建设过程中,这些卡邦金刚石锯片用于切割石灰石和大理石。

在金刚石工具制造历程中,进一步的发展发生在 1927 年至 1931 年期间,美国 and 英国最早发表了用粉末制造金属基研磨工具的专利。根据 Gauthie(1927)的观点,粉末混合体只有在冷压下才能固结,直至 1931 年,Neven 首次建议采用热压方法。早期使用的金属粉末是电解

铁粉。

通过金属粉末黏结金刚石的想法可追溯到 1883 年。当时, Gay 提出了在金属基体中通过加入石英或金刚砂等传统磨料来制造研磨材料的思想。他提出了使用黄铜、铁或钢粉末, 并且建议充分利用粉末冶金技术(如热压法或浸渍法)来形成基体。然而, 直到 20 世纪 20~30 年代, 才有研究者对 Gay 的设想进行了实践和改进。这一改进明显地加快了孕镶金刚石工具的发展, 从而使其在 1940 年前后成功应用于工业当中。

在这个时期, 非金属黏结剂也得到了迅速发展。1925 年, Bakelite 公司首次获得了 Plendic 树脂黏结剂的专利。20 世纪 30 年代早期, 英国 Wickman 有限公司(1933), 瑞士 Voegeli & Wirz 公司(1934)和美国 Norton 公司(1934)相继获得了树脂黏结剂天然金刚石砂轮的专利。

20 世纪 50 年代以前, 金刚石工具发展相对缓慢。在那个时期, 人们可用的只有昂贵的天然金刚石晶体, 这些晶体是在数百万年以前由碳在高温高压作用下转变而形成的。

在 20 世纪 50 年代以后, 人造金刚石合成技术的成功突破带来了金刚石工具制造技术的快速发展。试图人工制造金刚石晶体的时间至少可追溯到几百年前, 但 1953 年以前一直没有取得成功。1953 年, ASEA 一组科技人员获得了肯定和满意的重复性结果。1955 年, 美国通用电气公司在对 ASEA 所做的研究成果完全不了解的情况下, 宣布了其具有在工业规模上制造金刚石的能力。与此同时, 美国通用电气公司第一个在科学杂志上描述了其制造过程, 并取得了专利, 而 ASEA 则一直对人造金刚石的实验情况秘而不宣。

制造技术方面的不断进步, 使人造金刚石具有重要的市场价值, 其占有所有工业金刚石消耗量的 95% 以上。更值得一提的是, 在 20 世纪后 50 年内, 工业金刚石消耗量急剧增长了约 50 倍。在这段时期内, 金刚石工具制造业的发展又反过来促进了金刚石工业生产技术的革新, 使金刚石生产产量更高、质量更优且成本更低。在建筑业、道路维修、石油钻探、地质勘察, 以及由各种玻璃、陶瓷、金属、塑料和橡胶组成的零部件加工等方面, 更新了其机械加工技术。

人造金刚石在更广泛领域内的里程碑式的进步和发展, 可按年代排列如下。

20 世纪 60 年代: 开发了用于树脂黏结剂工具的金属镀覆金刚石, 与 Du Point 介绍的聚酰亚胺相同。1969 年意大利制造了用于石材切割的电镀金属基体金刚石绳锯; 同年, 立方氮化硼(CBN)被应用到工业中, 用以弥补金刚石加工铁合金的不足。

20 世纪 70 年代: 由于石材加工(如切割花岗岩)的需求, 高品质金刚石的合成技术得到了发展。金刚石聚晶 PCD 具有更强的适用性, 使其在硬质合金加工领域得到广泛应用。

20 世纪 80 年代: 锯切用金刚石涂层得到了较广泛的应用。一种苯酚热固性树脂用于提高工具性能, 被发展应用到树脂黏结剂金刚石工具和 CBN 磨轮上。

20 世纪 90 年代: 通过 CVD 方法, 在低压条件下合成聚晶取得了突破性的进展, 使得采用 CVD 涂覆的金刚石刀具、麻花钻和可焊接于刀架之上的 CVD 金刚石厚膜得以市场化。

21 世纪以来, 金刚石工具市场继续保持着稳定快速的生长。2001~2009 年国内人造金刚石产销量由 16 亿克拉增长到 54 亿克拉, 年均复合增长 16.4% 左右。未来几年我国人造金刚石的市场需求量仍可以保持在年均复合增长 15%, 预计 2012 年国内市场需求量可以达到 70 亿克拉。根据市场增长趋势预计, 全世界人造金刚石需求量除中国外今后仍可达到 10% 以上的增长率, 2012 年全世界的需求量可达到 120 亿克拉。目前, 金刚石价格快速降低, 与传统磨料如碳化硅和氧化铝相比, 工业金刚石在性价比方面具有更强的竞争力。

第二节 金刚石工具的分类

金刚石工具这个名词具有很广泛的意义,可根据金刚石含量与来源,工具外观、内部结构、类别及其用途等多种标准对其进行分类。在本书中为了便于对金刚石工具型号进行区分,从制造方法上对其进行了分类,具体如图 1-1 所示。

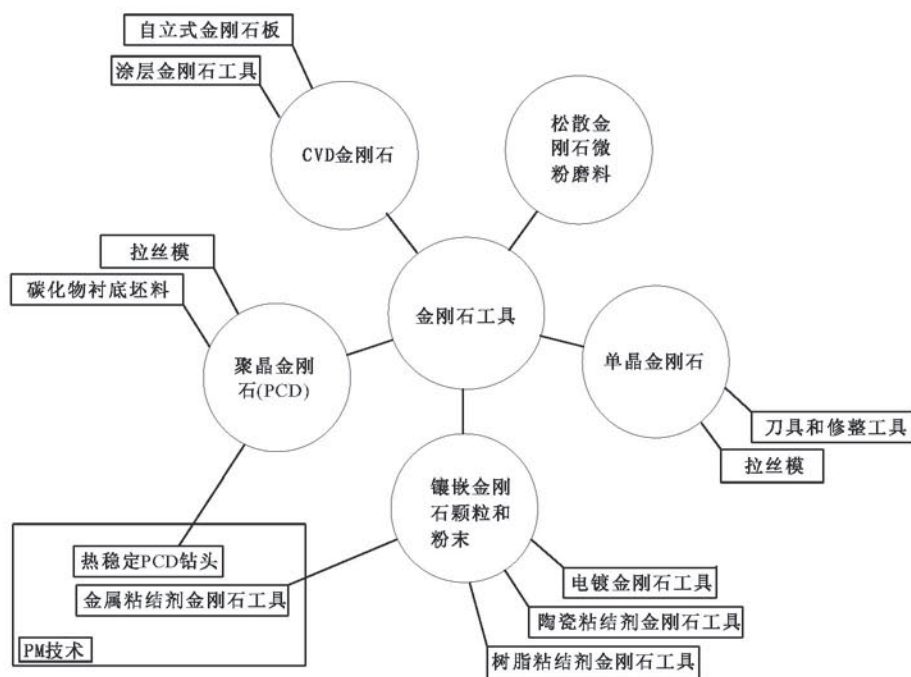


图 1-1 金刚石工具分类

一、金刚石微粉磨料

金刚石微粉磨料构成了最简单的金刚石工具,如图 1-2 所示。虽然各厂家采用的金刚石尺寸标准不尽相同,但目前行业内普遍认为,金刚石微粉的颗粒尺寸应小于 $84\mu\text{m}$ 。大多数以胶体或悬浮液形式存在的天然金刚石和人工金刚石微粉主要用于各种细磨和抛光作业。典型的应用包括金相陶瓷和矿物标本前期处理、金刚石刀具整形、金刚石拉丝模造型和校准、宝石抛光、硬质钢和碳化钨工具组件的精加工等。

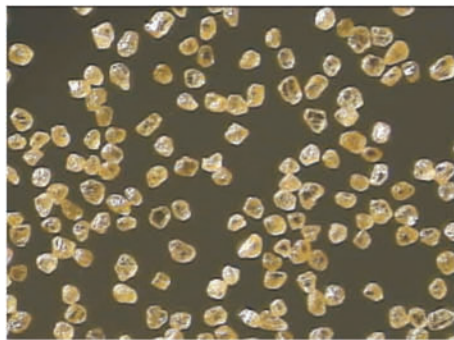


图 1-2 金刚石微粉磨料

二、单晶金刚石

天然和人工合成的单晶金刚石常用于刀具、修整工具和拉丝模等。然而大颗粒的天然金刚石性能不均匀、稳定性差,且金刚石选取和工具尖部预处理过程比较耗时,这些因素限制了天然金刚石工具的发展。近年来在高温高压合成金刚石技术方面的发展,使生产具有足够尺寸和形状,结晶方向和性能一致的人造单晶金刚石成为可能,这些性能都是天然金刚石难以达到的。

1. 刀具和修整工具

金刚石切割块和修正笔是通过对原单晶进行激光切割制造而成的。与天然金刚石相比,合成金刚石在形状方面更规则,晶体的结晶取向更易确定,因此人工合成金刚石能够切成薄片,且能够利用激光进行切割以制成具有一定宽尺寸范围的合适形状,其标准值大约可高达8mm。金刚石的结晶各向异性面和刀刃示意图如图1-3所示。其中 (abc) 为晶面指数, $[abc]$ 为晶向指数, $\{abc\}$ 表示晶面族, $\langle abc \rangle$ 表示晶向族。

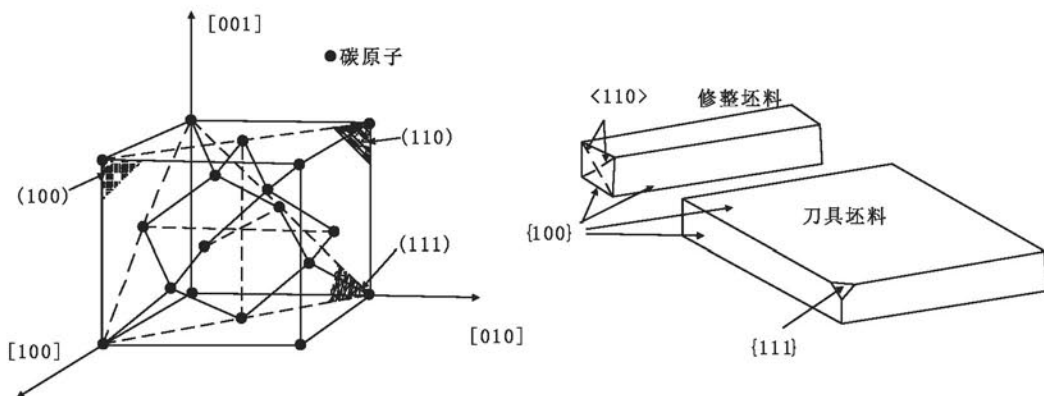


图1-3 金刚石晶体结构(左)和单晶金刚石工具坯料理想形状(右)

单晶金刚石是一种各向异性的材料,在不同晶面及不同方向上性能差异很大。如 $\{110\}$ 晶面的磨削率大约为 $\{100\}$ 晶面的两倍,但 $\{100\}$ 晶面较其他晶面具有更高的抗应力、腐蚀和热退化能力,因此综合微观强度考虑,一般选用 $\{100\}$ 面做刀具的前后刀面。而 $\{111\}$ 面易发生解理,并且该面的任何方向都不易磨,刀具制造工艺困难,因此一般予以避免。可见,对于单晶金刚石工具制造,科学合理地进行晶面定向,对于充分发挥金刚石刀具的优异性能,提高加工质量和经济效益具有重要意义。如图1-3所示,通过沿着纵向轴移动坯料,使耐磨性最高的结晶方向作为工作方向,可提高工具的耐磨性能。

单晶金刚石工具一直应用于非铁金属、无熔渣碳化物、塑料、玻璃、木材及层压板的高精度加工和砂轮廓廓的修理等。由于制造方便,焊接性能不断得到提高,并且工具重新磨光和再修锐操作的停工时间大为缩短,使得人造金刚石工具得到了广泛的应用。

2. 拉丝模

在性能方面,天然金刚石一直被认为是最理想的冲模材料,但其主要缺点是成本过高,因

为只有高品质的金刚石晶体才能完全适合冲模制造。这些高品质金刚石需要精心地筛选并经过平滑处理才能使用。近年来,高品质的人工合成单晶模具坯料数量不断增加,正逐步取代天然金刚石模具坯料。合成的金刚石中金属夹杂物含量低而且具有可控性,使其具有优越的断裂抗力;此外,在超过 1 000℃ 的无氧环境下,通过对结晶取向进行预先设计,可合成适合制造模具坯料的金刚石。采用该方法可消除天然金刚石模具中经常出现的模具不均匀磨损现象。

单晶金刚石模具在拉伸非铁金属、合金、重金属以及高温拉伸难熔金属等方面得到了广泛的应用,可提供无与伦比的工艺优势和高质量的极细金属丝。

三、镶嵌金刚石工具

到目前为止,镶嵌金刚石工具在加工磨削领域应用最广泛。该类金刚石工具是通过各种制造工艺将金刚石镶嵌在不同的金属或非金属基体中而制成的。就金刚石在胎体中存在的形态划分,镶嵌金刚石的工具分为表镶金刚石工具和孕镶金刚石工具;按结合剂划分,可分为树脂黏结剂金刚石工具、陶瓷黏结剂金刚石工具和金属黏结剂金刚石工具;按制造工艺划分,可分为电镀金刚石工具和粉末冶金金刚石工具,粉末冶金金刚石工具又包括热压金刚石工具、冷压浸渍金刚石工具和无压浸渍金刚石工具。在本书后续的章节中将主要讨论电镀金刚石工具和粉末冶金金刚石工具。

1. 电镀金刚石工具

电镀法制备金刚石工具是在金属基体上通过金属的电沉积,将松散的金刚石颗粒固结在电镀层中,制备成单层和多层金刚石工具,其最初的应用是在牙科治疗方面。目前,电镀金刚石工具已广泛应用于切割、研磨、钻孔和抛光各类玻璃、陶瓷、硬质合金与塑料等其他材料的表面加工处理工业。

金刚石电镀工作层的形成是将金属工具基体的非工作面采用油漆或蜡封的形式进行覆盖绝缘处理,然后将整个工具浸没到电解液中;在电解液中,首先在基体的工作表面沉积一薄层金属,然后将金刚石颗粒或粉末与该薄层沉积层相接触,并通过后续沉积的金属层将金刚石颗粒或粉末牢固包镶起来形成金刚石工具的工作层。鉴于工具的应用领域和使用方式不同,工作层内的金刚石层数可以是一层到多层不等,包镶金刚石的金属电沉积层多为金属镍或镍合金,如 Ni-Co、Ni-Mn 或者 Ni-Co-Mn 等。为了使工作层与金属工具基体具有较好的结合强度,在严格控制不同添加剂含量的条件下,通常需要对工具基体进行预处理。常见的电镀金刚石工具如图 1-4 所示。

无论是天然的还是人工合成的金刚石,都可以用于电镀。人造金刚石在合成过程中可能包裹了少量的溶剂金属,而这些残留物在电镀过程中很可能会导致金刚石颗粒或微粉的局部沉积过快。因此,在电镀前,通常需要对人造金刚石进行提纯处理。天然金刚石若不含金属包裹体,镀前处理工作相对



图 1-4 电镀金刚石工具

简单,非常适合采用电镀法制造金刚石工具。

2. 陶瓷黏结剂金刚石工具

陶瓷黏结剂金刚石工具最显著的特点是高孔隙率,孕镶金刚石层的孔隙率最高可达 55%。这些气孔具有重要的作用,主要用于贮存和去除研磨过程中产生的碎屑。高孔隙率的另一个优点是在工具接触面上可使冷却液起到良好的分散效果。

与其他类型的孕镶金刚石工具相比,陶瓷黏结剂金刚石工具虽然应用范围比较窄,但也具有工具寿命较长、尺寸精度高和容易修整等一些独特性能。此外,陶瓷黏结剂金刚石工具热硬性较好,能够在温度较高的情况下继续工作,且金刚石颗粒在使用过程中,可通过极小的修整来保证工具的锋利性。这些特点使其在研磨单晶和聚晶金刚石工具、硬质合金、陶瓷以及某些复合材料方面具有显著的优势。常见的陶瓷黏结剂金刚石工具如图 1-5 所示。



图 1-5 陶瓷黏结剂金刚石砂轮

陶瓷黏结剂的成分与玻璃相似,由 SiO_2 、 Na_2O 和 CaO 等组成,通过加入一些其他组分如 SiC 、 Al_2O_3 、 B_2O_3 、 ZnO 、 K_2O 、长石、黏土和其他天然矿物,改变其成分比例,从而改变工具的性能特征。粉末冶金金刚石工具中的金刚石浓度一般为 75%~150%(体积浓度 18.75%~37.5%)。既可以在惰性气体氛围下,先进行冷压,然后再在加热炉中加热到 900~950℃ 制作而成,也可以在 730℃ 左右直接进行热压烧结。后者的优势在于烧结温度较低,且所需要的工艺时间明显缩短。如果采用的是人造金刚石磨粒,该工艺生产出的工具具有较低的孔隙率,对金刚石韧性的影响较小。

3. 树脂黏结剂金刚石工具

在大多数情况下,树脂黏结剂采用酚醛树脂或热稳定性较好的酚醛-芳树脂,以微细粉末的形式分别应用于磨轮和湿磨轮中,其在黏结剂中的含量大约为 30%~40%。为增加黏结剂的强度,常在树脂中混有 SiC 添加剂;为降低和散发研磨过程产生的摩擦热,则常在树脂中加入少量的氧化剂、干燥剂、石墨或聚四氟乙烯润滑剂,以及铝、铜或银粉末等。树脂黏结剂金刚石工具的制作过程是首先在树脂中精心地加入适量天然或人造金刚石颗粒,然后将混合物倒入到模具中进行热压形成研磨刀片,随后加适当的黏结剂将研磨刀片与工具基体黏结在一起,也可以将混料通过热压烧结的方式直接黏结在工具轮毂上。这些轮毂在其圆周上进行了环切,有助于机械键合。为使金刚石工作层与工具基体结合牢固,通常在磨料上涂上一层具有耐热性的黏结剂薄膜。

树脂黏结剂金刚石工具大多采用金属镀膜金刚石,与采用未镀膜金刚石相比,可获得更好的把持力和热耗散性。镀膜金属可以选择镍合金、铜或银。镀镍金刚石含有 30%~60% 镍合金,镍镀层可形成粗糙多峰的表面,在黏结过程中有利于提高金刚石的把持力,使金刚石在剧烈的研磨条件下不易脱落。镀铜金刚石约含 50% 的铜合金,主要应用于干磨加工。镀银金刚

石约含 50% 的银合金,近年来已经向硬质合金磨削方面发展,在磨削过程中一般采用纯油冷却剂。正如在某些镀镍产品中,多峰型镍镀层增强了黏结剂对金刚石的把持力,银镀层和铜镀层降低了工具与工件之间的摩擦,通过增加磨削砂轮工作刀片的热传导性,极大地提高了其热耗散性能,从而降低了加热过度对热敏性树脂黏结剂造成的破坏程度。

树脂黏结剂金刚石工具可得到精密的尺寸公差和良好的表面光洁度,其不仅在磨削硬质合金、各种陶瓷和玻璃中得到了广泛应用,同时也可应用于天然石材的精磨打磨和抛光作业。常见的树脂黏结剂金刚石工具如图 1-6 所示。

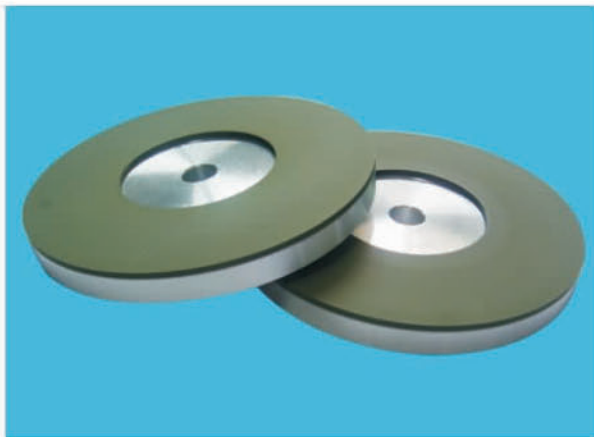


图 1-6 树脂黏结剂金刚石磨盘

4. 金属黏结剂金刚石工具

金属黏结剂工具约占整个黏结金刚石工具市场的三分之二。从冶金的角度来看,“金属黏结剂”这一术语既可适用于电镀产品,也可适用于金属基金刚石复合材料,然而该术语越来越多地出现在通俗的技术语言中,如金属黏结剂金刚石工具或烧结工具。因此本书中金属黏结剂金刚石工具主要是指采用各种粉末冶金技术生产的金刚石工具。典型的金属黏结剂金刚石工具如图 1-7 所示。



图 1-7 金属黏结剂金刚石磨盘

四、金刚石聚晶(PCD)

20 世纪 70 年代 GE 公司成功开发 PCD,标志着人类对超硬材料的应用进入新阶段。随着 PCD 技术研发的深入,其性能不断提高,适用范围也日益扩大到工业加工生产的许多领域。目前,PCD 主要用于制造钻探钻井用金刚石复合片(PDC)钻头、PCD 高品级拉丝模胚以及各类工业用刀具刀头,并在这些领域逐渐取代了传统的工具。PCD 是由金刚石粉末与结合剂(其中含钴、镍等粉末)按一定比例在大约