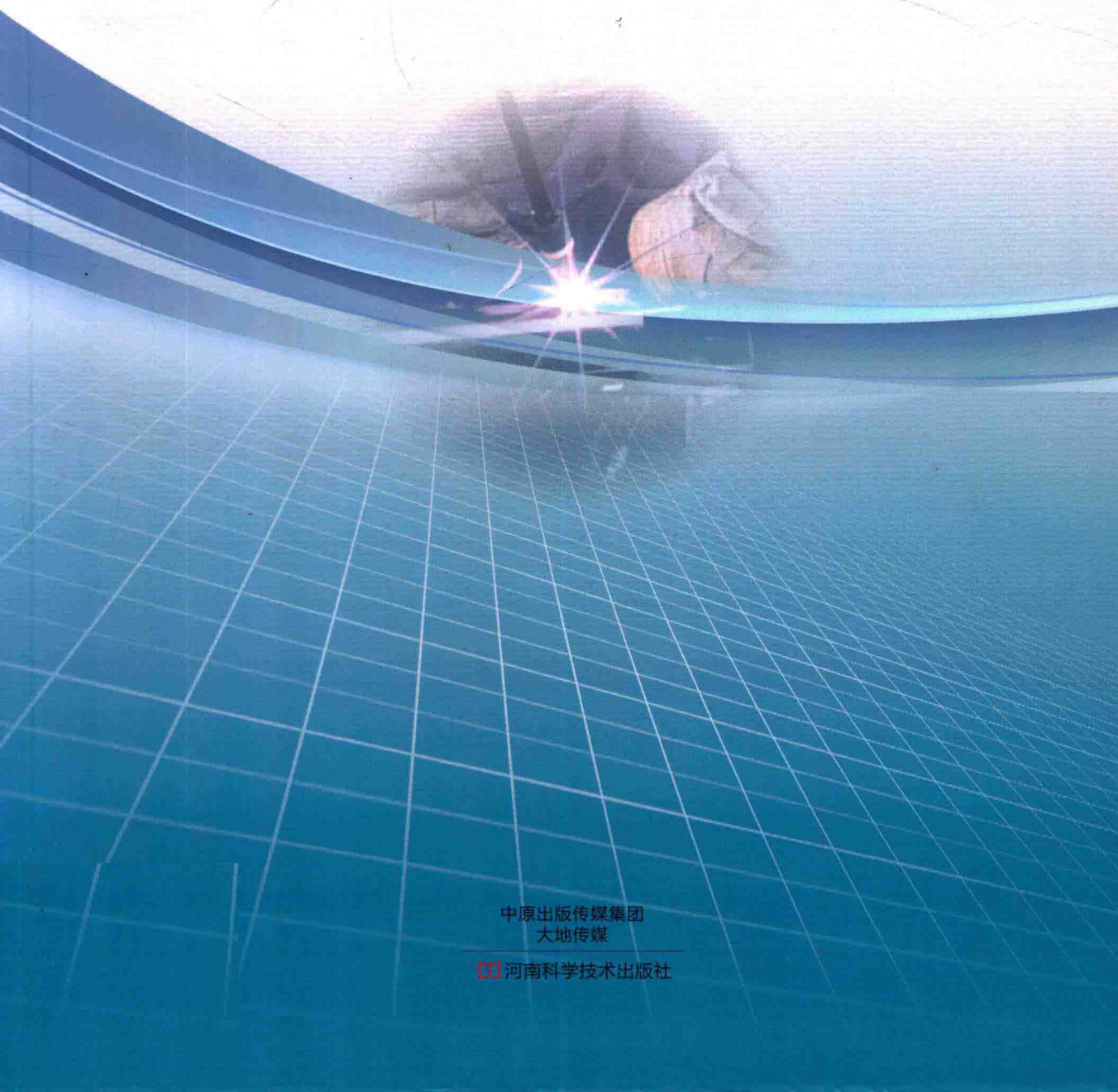


由河南省科技著作项目资助出版

超硬工具钎焊技术

龙伟民等◎编著

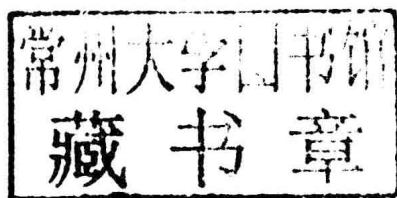


中原出版传媒集团
大地传媒

河南科学技术出版社

超硬工具钎焊技术

龙伟民等 编著



河南科学技术出版社

·郑州·

图书在版编目 (CIP) 数据

超硬工具钎焊技术/龙伟民等编著. —郑州: 河南科学技术出版社,
2016. 10 (2017. 1 重印)

ISBN 978-7-5349-7429-8

I. ①超… II. ①龙… III. ①超硬材料-工具-钎焊 IV. ①TG454

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 081022 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65788613 65788624

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 孙 彤

责任编辑: 李晓慧

责任校对: 李振方

封面设计: 张 伟

责任印制: 朱 飞

印 刷: 河南新华印刷集团有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 22.75 字数: 568 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版 2017 年 1 月第 2 次印刷

定 价: 78.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

本书编者名单

主 编	龙伟民				
副主任	钟素娟	何 鹏			
编 委	龙伟民	钟素娟	何 鹏	朱 坤	
	张青科	鲍 丽	马 佳	张 雷	
	孙华为	裴寅崙	陈 永	程亚芳	
	刘胜新	董 显	路全彬	杜全斌	
	高 雅	张冠星	纠永涛		

前 言

超硬工具作为加工金属、木材、石材、玻璃、陶瓷、半导体等材料的高效工具，广泛应用于机械制造、木材加工、矿山开采、能源勘探、建筑建材、芯片制造等领域。近年来，我国超硬工具行业发展迅速，目前已成为超硬工具世界第一生产大国，形成了以郑州、石家庄、厦门、山东沿海及珠三角地区为主的超硬工具出口基地。

钎焊是超硬工具制造的常用工艺，钎焊超硬工具出刃高度大、锋利度高、超硬磨粒利用充分、使用寿命长、加工效率高。为获得高质量的钎焊接头，需要合理选择钎焊材料、设计钎焊工艺、进行钎焊操作，目前急需一本涵盖超硬工具钎焊各个方面并集实用性、可操作性于一体的专业书籍，供相关企业的技术人员、管理人员、生产人员学习培训使用，同时也可作为研究人员和高等院校研究生、大中专生的参考书。本书作者基于多年来从事超硬工具钎焊材料与技术研发工作的积累，参阅国内外文献，编著了本书。

本书共分 12 章：第 1 章概论介绍超硬工具的应用情况、发展历程、分类及其制造方法、钎焊特点等；第 2~4 章介绍钎焊基本原理、超硬工具用钎料与钎剂、钎焊方法及设备、超硬工具钎焊工艺过程；第 6~9 章分别介绍锯切工具、磨具、掘进工具和工程工具、钻头、超硬工具的钎焊；第 10~12 章介绍钎缝缺陷及其检验方法、钎焊质量控制方法、钎焊作业操作规程与安全防护，并给出参考建议。此外，附录 1 和附录 2 列出了常见金刚石工具分类及钎焊相关标准。朱坤、张青科、鲍丽、马佳、张雷、孙华为、裴冀崑、陈永、刘胜新、董显、程亚芳、路全彬、杜全斌、高雅、张冠星、纠永涛等同志也参加了本书的编写工作。

本书在编写和出版的过程中得到了 2015 年度国家国际科技合作专项项目（项目编号为 2015DFA50470）的支持。同时，郑州大学、河南工业大学、河南黄河旋风股份有限公司、郑州华晶金刚石股份有限公司、广东奔朗新材料股份有限公司、江汉石油钻头股份有限公司、中煤科工集团西安研究院、泉州众志金刚石工具有限公司、福建万龙金刚石工具有限公司、泉州华大超硬工具科技有限公司、广州晶体科技有限公司等单位为本书提供了案例、图片素材。作者在此表示衷心感谢。

我们专注于超硬工具钎焊材料与技术研发 20 多年，本书是我们工作的部分总结，如能为读者提供借鉴，将是我们最大的快慰！由于作者水平有限，书中错误与疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

龙伟民
2016 年 10 月

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 金刚石及金刚石工具	(1)
1.2 金刚石工具的应用	(6)
1.3 金刚石工具的发展历程	(11)
1.4 金刚石工具的分类及制造	(16)
1.5 金刚石工具钎焊的特点	(20)
第2章 钎焊的基本原理	(24)
2.1 原理简介	(24)
2.2 液体在固体上的润湿现象	(24)
2.3 液态钎料与母材的反应润湿	(27)
2.4 钎料与金属基板间的反应润湿模型	(29)
2.5 相图计算在固-液界面反应及表面张力中的应用	(31)
2.6 钎焊润湿及铺展性能的评价	(33)
2.7 钎焊中影响润湿与铺展的因素	(35)
2.8 液态钎料的填缝过程	(39)
2.9 钎焊界面的形成	(42)
2.10 钎焊圆角的形成	(50)
第3章 金刚石工具用钎料及钎剂	(53)
3.1 钎料的分类、型号及牌号	(53)
3.2 金刚石工具钎焊用钎料	(55)
3.3 钎料性能的评价	(89)
3.4 金刚石工具钎焊用钎剂	(95)
第4章 钎焊方法及其应用	(107)
4.1 金刚石工具常用钎焊方法	(107)
4.2 其他钎焊方法	(134)

4.3	金刚石工具常用钎焊方法的应用	(135)
第5章	金刚石工具钎焊工艺过程	(141)
5.1	金刚石工具钎焊接头	(141)
5.2	金刚石工具钎焊方法的选择与工艺参数的确定	(142)
5.3	金刚石工具钎焊前期准备工作	(146)
5.4	金刚石工具钎焊用钎料与钎剂的选择和使用	(150)
5.5	金刚石工具的钎焊温度和钎焊气氛	(155)
5.6	钎缝的控制与形成	(157)
5.7	金刚石工具钎焊界面的微观结构	(160)
5.8	金刚石工具钎焊的后处理	(161)
5.9	提高金刚石工具钎焊强度的技术措施	(162)
5.10	金刚石工具钎焊工艺的自动化与智能化	(166)
第6章	金刚石锯切工具的钎焊	(170)
6.1	金刚石锯切工具的应用与发展	(170)
6.2	金刚石锯切工具的分类	(172)
6.3	钎焊法制造金刚石锯切工具的一般过程	(176)
6.4	小锯片钎焊与自动焊	(186)
6.5	大锯片的钎焊	(187)
6.6	排锯的自动焊与半自动焊	(190)
6.7	绳锯制造中的钎焊应用	(192)
6.8	PDC 及 PCBN 机加刀具的钎焊	(197)
第7章	金刚石磨具的钎焊	(206)
7.1	金刚石磨具的应用与发展	(206)
7.2	金刚石磨具的分类	(208)
7.3	石材加工类金刚石磨具的钎焊	(210)
7.4	陶瓷加工类金刚石磨具的钎焊	(218)
7.5	玻璃加工类金刚石磨具的钎焊	(219)
7.6	金刚石珩磨条的钎焊	(226)
7.7	单层金刚石磨具的钎焊	(228)
第8章	掘进工具和工程工具的钎焊	(233)
8.1	超硬工具在掘进装置中的应用与发展	(233)
8.2	超硬工具在工程装备中的应用与发展	(241)
8.3	盾构刀具的钎焊	(246)
8.4	工程工具的钎焊	(254)

第9章 金刚石钻头的钎焊	(257)
9.1 金刚石钻头的研究及应用现状	(257)
9.2 金刚石钻头的分类及型号	(261)
9.3 地质类金刚石钻头的钎焊	(263)
9.4 煤矿用金刚石钻头的钎焊	(265)
9.5 油气井用金刚石钻头的钎焊	(270)
9.6 工程施工用金刚石钻头的钎焊	(275)
9.7 天然金刚石和单晶金刚石钻头的钎焊	(279)
9.8 其他金刚石钻头的钎焊	(282)
第10章 钎缝缺欠及其检验	(285)
10.1 钎着率低与钎缝不致密	(285)
10.2 钎缝不饱满	(286)
10.3 夹杂与气孔	(287)
10.4 基体软化与裂纹	(289)
10.5 脱焊机制及应对措施	(290)
10.6 表观检验与宏观检测	(293)
10.7 成分分析与微观检验	(293)
10.8 力学性能检测与评定	(294)
第11章 钎焊质量控制	(296)
11.1 质量控制的目的	(296)
11.2 质量控制的主要内容	(296)
11.3 钎料与钎剂的控制	(297)
11.4 金刚石工具基体与刀头的预处理	(299)
11.5 钎焊温度的控制	(301)
11.6 钎焊时间的控制	(303)
第12章 钎焊作业操作规程与安全防护	(305)
12.1 钎焊作业操作规程	(305)
12.2 钎焊作业中的不安全因素	(306)
12.3 钎料与钎剂中的毒害物质	(311)
12.4 易燃易爆的防护	(312)
12.5 高频电磁场的防护	(314)
12.6 通风与清理	(315)
12.7 常用钎焊工艺的安全操作与防护	(317)

附录	(327)
附录 1 常见金刚石工具	(327)
附录 2 钎焊标准	(336)
参考文献	(352)

第1章 概 论

1.1 金刚石及金刚石工具

1.1.1 金刚石

1. 基本介绍

金刚石，俗称钻石、金刚钻。金刚石是原子晶体，一块金刚石是一个巨分子，N个C的聚合物。只能用它的元素符号加注释来表示[C(金刚石)]。金刚石具有超硬、耐磨性好、热敏性能好、热传导率高、半导体性能及透光性能优异等物理性能，素有“硬度之王”和“宝石之王”的美称。

金刚石是自然界中硬度最高的矿物，在国防和国民经济建设中具有许多重要的用途，如精细研磨材料、高硬切割工具、各类钻头、拉丝模，还被作为很多精密仪器的部件。

优质的天然金刚石（钻石）光泽明亮、透明清澈、无包裹体。故金刚石的颜色与透明度以及晶体大小是作为金刚石的主要质量等级标准。无色透明、纯净者为优质上等品，如图1-1所示；纯净透明带蓝黄者为佳品，多数金刚石带些黄色，如图1-2所示；有些色调很浓，如深色蓝钻、金钻、黑钻为少见珍品。

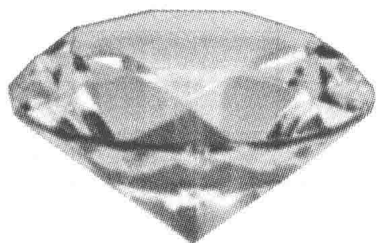


图1-1 优质上等金刚石

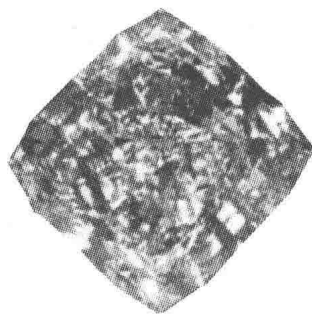


图1-2 佳品金刚石

金刚石的折射率非常高，色散性能也很强，所以会反射出五彩缤纷的闪光。金刚石在X射线照射下会发出蓝绿色荧光。

2. 金刚石的结构

金刚石晶体由碳原子构成，构成金刚石晶体的碳原子以共价键结合，键长为0.15 nm，键与键之间的夹角为109°28'。图1-3为金刚石的结构模型，其为面心立方点阵（FCC），晶格碳原子半径小，化学键强，排列紧凑，晶格常数 $a = 3.5667 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$)，空间群为 $Fd3m$ 。

金刚石常见单晶分为：共聚形六-八面体、立方体 [100]、八面体 [111] 和菱形十二面体 [110] 等类型。单晶尺寸大小不一，直径由小于1 mm到数毫米，也有少数大颗粒产出。

3. 金刚石的分类

金刚石按用途分为两类：质优粒大可用作装饰品的称宝石级金刚石，质差粒细用于工业的称工业用金刚石。

金刚石按所含微量元素可分为Ⅰ型金刚石和Ⅱ型金刚石两个类型。金刚石中硼、氮杂质处于替位式状态，引起金刚石晶体的红外吸收谱的变化，根据单声子区红外吸收谱的不同，大体将金刚石分成Ⅰa、Ⅰb、Ⅱa、Ⅱb四类。不同类别的金刚石中氮原子的存在状态不同，其具体性质见表1-1。

表 1-1 金刚石的分类及其性质

		Ⅰ型金刚石			Ⅱ型金刚石	
		Ⅰa	Ⅰb		Ⅱa	Ⅱb
自然界中的含量		约98%	约0.1%		1%~2%	近乎0%
合成金刚石			微粉/单晶		单晶	
杂质	氮 (10^{-6})	约 210^3 聚集态	$10^2 \sim 10^3/1 \sim 10^2$ 弥散态		约1 高纯	约1
	其他杂质 (10^{-6})		金属包裹体 $10^4 \sim 10^5$			硼 ~100
颜色		无色至黄色	绿色至棕色	黄色	无色	蓝色
电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)		$10^4 \sim 10^{16}$		10^{16}	10^{16}	$10^1 \sim 10^4$
		绝缘体				p型半导体

4. 金刚石的主要性质

金刚石是一种在机械、热学、光学、化学、电子学等方面具有极限性能的特殊材料。与其他材料相比，金刚石具有大的原子密度 (176 个/nm^3)，最大可能的单位原子共价键数目 (4)，极强的原子键合能 (7.4 eV)。这些性能使得金刚石成为一种目前已知的极限材料：最高硬度、最高热导率、最高传声速度、最宽透光波段、抗强酸强碱腐蚀、抗辐射、击穿电压高、介电常数小、载流子迁移率大，既是电的绝缘体，又是热的良导体，而

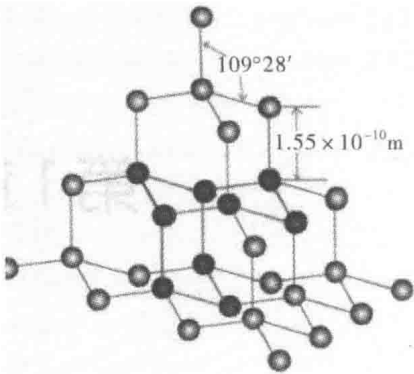


图 1-3 金刚石的结构模型图

掺杂后又可成为卓越的 p 型或 n 型半导体。金刚石的极限性能如表 1-2 所示。人们通过对金刚石这些极限性能的综合作用,使其成为目前不可替代的特殊物质,这也正是人们热衷于研究金刚石的原因和意义所在。

表 1-2 金刚石的极限性能

	性能
机械	目前已知最硬的材料 硬度 (kg/mm^2): 金刚石: 5 700 ~ 10 400; CBN: 4 700; SiC: 1 875 ~ 3 980; Al_2O_3: 2 080
热学	目前已知室温下最高的热传导率 热传导率 [$(\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k}))$]: 金刚石: 600 ~ 2 100; 氧化铍: 220; 银: 428; 铜: 401
光学	宽波段范围内的光学透明性 (特别是在某些重要的红外波长区) 光学透明性: 金刚石: 340 ~ 2.5 nm $> 6 \sim 10 \mu\text{m}$
电工/电子	优良的电的绝缘特性 非常大范围内的半导体特征 电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$): 金刚石: $10^{-1} \sim 10^{24}$; 半导体: $10^{-1} \sim 100$
化学	较高的耐酸特性

5. 人工合成金刚石技术

人造金刚石自问世以来,其发展历程已有 60 年。目前在工业和高科技领域已取代了大部分天然金刚石,在珠宝行业也逐步占有一席之地。

据估计,2013 年全球天然金刚石产量约 13 000 万 carat (克拉,1 carat = 0.2 g),其中宝石级的不超过 40%,工业级的接近 8 000 万 carat,回收的约 500 万 carat;而人造金刚石产量超过 460 000 万 carat。在珠宝行业,天然金刚石占 92%,回购的占 6%,人造金刚石只占 2%,不到 100 万 carat。在工业用金刚石中,人造金刚石占 98%,而天然金刚石只占 2%,为 8 000 万 ~ 10 000 万 carat。

目前世界上能够生产人造金刚石的国家有 20 多个,如美国、中国、英国、爱尔兰、俄罗斯、乌克兰、德国、日本、瑞典、韩国、法国、白俄罗斯等。据桂林矿产地质研究院国家特种矿物材料工程技术研究中心有关专家估计,全世界现在每年生产 50 亿 carat 人造金刚石,其中有 40 亿 carat 产自中国,占国际市场的 80%。中国已成为世界人造金刚石第一大生产国,为世界人造金刚石生产的超级大国,中、低端产品的产量为世界之最,但其价格之低也是世界之最。

人工合成金刚石的方法从原理上基本可分为:高压法(静压法、动压法)和低压法(气相沉积法或亚稳定向生长法)。

(1) 静压法是通过液压机产生压力,通过固态传压介质产生准静水压,并通电流加热

产生高温的方法合成金刚石。该方法可以随意调节保温保压时间,根据需要控制晶体粒度、质量和晶形等,具有很强的操作性,是目前工业用磨料级金刚石合成使用的唯一方法。但是,这种方法要求有一定的高压高温装置系统,设备复杂、庞大,导致合成金刚石的成本过高。

(2) 动压法,又叫爆炸法。本法也要求高温高压条件,是利用烈性炸药 TNT 等爆炸时产生的平面波直接作用于石墨,产生足够的温压。但高压高温是瞬间产生与消失的,可瞬间形成细微粒金刚石。其不需要复杂庞大的高温高压装置,费用低,设备较简单。动压法合成的金刚石颗粒更细,称为金刚石微粉。但是这种方法合成的金刚石后处理十分困难,其提纯工艺非常复杂。

(3) 气相沉积法是在低压、高温条件下,由含碳气体沉积成金刚石,不需要复杂的高压高温设备,费用低。目前最有成效的是用化学气相沉积法生长金刚石薄膜。金刚石在亚稳态形成,人们采用外延法生长金刚石。采取化学气相法(CVD)和物理气相沉积法(PVD)生产多晶金刚石薄膜。低压法可分为:热丝法(HFCVD)、燃烧火焰法、等离子体法、化学输运、反应法(CTR)和激光 CVD 法(LECVD)。

近年来,低压合成金刚石又创新了几种方法,如低压固态碳源法(LPSSS)、水热合成法(hydrothermal reaction)、激光辐射法(laser irradiation)、加速急冷法(accelerated quenching)和超声法(ultrasonic booming)。这些方法目前尚处于实验室研究阶段,距达到工业化生产还有相当远。

1.1.2 金刚石工具

1. 金刚石工具定义

金刚石工具是指用结合剂把金刚石(一般指人造金刚石)固结成一定形状、结构、尺寸,并用于加工的工具产品。

广义上,金刚石研磨膏、滚压锯片、冷镶金刚石拉丝模、冷镶金刚石刀具、钎焊金刚石复合片刀具等,也都属于金刚石工具。

2. 金刚石工具分类

(1) 根据加工对象不同,金刚石工具可分为:

1) 金刚石碎岩工具。如各种类型的金刚石钻头和扩孔器;各种类型的金刚石锯片和金刚石磨头。

2) 金刚石机加工工具。金刚石车刀一方面能够加工硬质合金和陶瓷等超硬材料,另一方面又可以在不锈钢或非金属和合金工件上车出镜面光洁度,如用金刚石车刀精车铝、铜等零件和切端面,得到的加工精度为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$;而普通车刀所保证的精度不高于 $12.7\text{ }\mu\text{m}$ 。用金刚石油石搪磨汽车发动机气缸时,一块金刚石油石相当于300块普通油石的使用寿命,加工的表面光洁度能提高2级。

3) 加工某些特殊材料的金刚石工具。现在金刚石工具已在光学玻璃的加工中广泛使用,例如在下料、切割、铣磨等工序使用它,可使生产效率可提高数十倍,在电子工业中使用金刚石拉丝模,比硬质合金拉丝模使用寿命要长250倍;对于贵重、脆硬的半导体材料用金刚石锯片切割时,切缝为 $0.15\sim 0.2\text{ mm}$,切口精度高,从而大量减少了半导体材料的加工损耗。玉器的切割加工现在是采用金刚石工具进行的。

(2) 根据采用金刚石类型不同, 金刚石制品可分为:

1) 天然金刚石工具。如表镶天然金刚石绳索取心钻头, 玻璃刀、压模头等。

2) 人造金刚石工具。如人造金刚石单晶孕镶钻头、人造聚晶表镶钻头、复合片钻头、扩孔器、人造金刚石锯片、磨头等。

(3) 根据结合剂的不同, 金刚石工具可分为: 树脂结合剂、金属结合剂和陶瓷结合剂工具三大类。金属结合剂工艺分为烧结、电镀和钎焊等几类。与金属结合剂胎体相比, 树脂、陶瓷结合剂胎体强度较低, 不适合做锯切、钻探、修整类工具, 一般只有磨具类产品。

3. 金刚石工具选用

在实际生产中, 常使用的金刚石工具有两种: 一种是聚晶金刚石 (PCD), 另一种是化学气相沉积 (CVD) 金刚石。

(1) PCD。PCD 具有天然金刚石的硬度、强度和抗磨性, 但没有天然金刚石对破损的敏感性。它是在高温、高压下, 由人造金刚石颗粒聚合而成。在工艺过程中, 形成聚晶的颗粒同时被整体黏结到一块硬质合金基体上, 以提高机械强度和抗冲击性能。

PCD 很适用于铝的高速切削, 特别适用于须达到良好表面粗糙度的场合; 它在加工高耐磨性材料时, 也表现出优异的性能。通常, PCD 推荐用于切削高硅铝合金, 也用于黄铜、紫铜、青铜以及碳化物的加工。使用的工序包括车、镗、仿形、切槽、铣和孔加工等。

由于金刚石和铁之间有化学作用, 一般来说 PCD 不适用于加工黑色金属材料, 但是它能应对双金属材料的加工, 如铝和铸铁的组合。例如: 某汽车零件供应商在加工铝和铸铁双金属气缸体时, 使用直径 305 mm 的刀夹式面铣刀, 刀尖圆弧 2.36 mm, 带修光刀, 切削速度 304.8 m/min, 进给 0.10 mm/齿, 切深 5 mm, 加工达 5 000 个气缸体后, 刀片才需转位一次。

PCD 工具在应用范围和生产效率方面, 都为加工过程带来诸多好处。尽管金刚石在现有材料中是最硬的, 其材料特性和韧性等问题仍需进一步研究。改善 PCD 韧性的一个因素是, 加钴元素使其进入随机不定向排列的金刚石晶粒之间。此外, 硬质合金基体对金刚石磨料层也能起机械支撑作用, 从而增加了抗冲击能力, 并在工具制造中便于钎焊。

PCD 的另一个好处是, 现有的各种牌号系列已能满足任何有色金属加工使用的需要。一般说来, 细颗粒金刚石用于被加工材料的耐磨性较低而表面粗糙度要求非常高的场合; 中颗粒金刚石一般作为机械加工的通用牌号; 粗颗粒金刚石用于粗加工特别抗磨的材料, 但表面粗糙度要求不高之处。

(2) CVD 金刚石。化学气相沉积金刚石, 是一种高抗磨性的纯金刚石材料, 不含黏结剂。金刚石沉积分为两种形式: 一种是厚膜金刚石, 沉积成整体的、单独的薄片, 然后切割成所需尺寸; 另一种是薄膜金刚石, 沉积在硬质合金刀片或回转式刀具上。

迄今为止, CVD 金刚石最有前景的用途是加工石墨。CVD 金刚石几乎适用于全部有色金属。在高硅铝合金的断续切削以及预烧结硬质合金、黄铜、紫铜和碳纤维材料的加工中, 正在取得良好的结果。CVD 金刚石在加工很宽范围的铝合金材料 (包括 6061 及其他) 时, 能够和 PCD 旗鼓相当。

CVD 金刚石和 PCD 相比, 主要优点在切削刃的品质。虽然 CVD 也是聚晶, 但它不含

钴黏结剂，是纯金刚石，所以切削刃是连续的。这样就能采用有较高的切削速度并获得较好的表面粗糙度，且刀具不易变热。

CVD 金刚石的导热性比 PCD 高 50%。其原因是 CVD 刀片为整体金刚石，可以立即把热量导出。而 PCD 刀片的热传导要穿过钴 - 金刚石复合体，导热性就差一些。

CVD 金刚石还具有较低的摩擦系数。硬质合金和 PCD 都会粘连工件材料，CVD 金刚石则不粘。与此同时，低摩擦系数还使 CVD 金刚石刀具能承受较大的切削负荷，从而使切削更快速、更有效。

CVD 金刚石在使用中呈现热稳定性和化学稳定性。而 PCD 和硬质合金在这方面就受到含有金属成分黏结剂的影响。把 CVD 金刚石放进盐酸里，什么都不会发生。但若把 PCD 金刚石放进去，酸会吃掉钴结合剂。这就意味着 CVD 金刚石能经受住某些材料在加工中生成酸的侵袭，如酚醛树脂、尿脲橡胶、降碳酸酯等。

虽然所有形态的金刚石（包括 PCD）在高温时都要和黑色金属或超级合金中的一些成分发生化学反应，但对多数材料而言金刚石仍具有化学惰性。PCD 和硬质合金因为含有钴结合剂，切削温度高时会发生化学稳定性降低现象。CVD 金刚石不含结合剂，就避开了这种现象。此外，CVD 金刚石还有良好的润滑性和导热性，使其具备了在高速和干式切削中使用的关键优势。

CVD 金刚石最后一项优点是：即使在切削温度很高时，仍能保持高硬度和耐磨性。

1.2 金刚石工具的应用

1.2.1 金刚石工具的应用范围

金刚石工具有超硬性，故制成的工具特别适合加工硬脆材料，尤其适用于非金属材料，如石材、墙地砖、玻璃、陶瓷、混凝土、耐火材料、磁性材料、半导体、宝石等；也可以用于加工有色金属、合金、木材，如铜、铝、硬质合金、淬火钢、铸铁、复合耐磨木板等。

金刚石工具在有色金属和耐磨材料的加工应用中，有出色的适应性。在合适的加工条件下，金刚石比高速钢、硬质合金、陶瓷以及聚晶立方氮化硼的使用寿命都长。它也有不足之处，就是一般不适用于黑色金属材料的加工。但在高速大批量生产中，加工诸如铝和石墨等材料，金刚石往往是最有效的工具。

目前金刚石工具已广泛应用于建筑、建材、石油、地质、冶金、机械、电子、陶瓷、木材、汽车等行业。金刚石工具消耗量日益增长，它的应用范围主要有以下几个方面：

（1）地质勘探和工程勘察。在我国地质、煤炭、石油、矿山、建工、化工、水利、电力、铁道、交通和国防等部门的地质勘探及工程勘察中广泛采用金刚石钻进，各种不同类型的金刚石钻头及扩孔器是金刚石钻进的主要消耗材料。

（2）石材加工业。石材加工业是我国近几年来发展迅速的产业，在该行业中，从石材毛坯开采、板材锯切到精加工，广泛使用金刚石锯片、金刚石磨头。

（3）机械加工行业。如金刚石车刀、金刚石修磨砂轮等，据国外统计资料：工业金刚

石用于机械加工方面的占工业金刚石总量超过 40%。

(4) 其他工业部门。如玻璃加工业、玉器加工业、电气和电子工业广泛采用金刚石切割片、什锦锉、磨头和拉丝模。此外，在民用建设工业中亦采用金刚石薄壁钻头在混凝土，预制板上钻供水、气、电的管道孔。

1.2.2 金刚石工具的性能与应用领域

金刚石工具类别关系划分如图 1-4 所示。

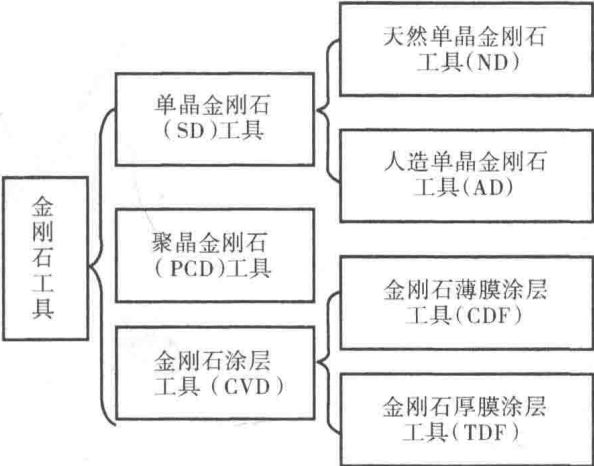


图 1-4 金刚石工具的分类

金刚石工具的不同类别导致其性能的差异和应用领域的不同，如表 1-3 所示。

表 1-3 金刚石工具的性能和应用领域

金刚石工具 比较项	SD 工具	PCD 工具	CVD 工具
材料成分	纯金刚石	含钴等黏结剂成分	纯金刚石
耐磨性	优秀	与金刚石颗粒有关	比 PCD 高 2~3 倍
耐温性 (℃)	约 700	约 500	约 700
焊接性	差	较好	差
质量密度 (g/cm ³)	3.52	4.1	3.51
韧性	差	较好	略差
热导率 [W/(m·K)]	1 000~2 200	560	750~1 500
断裂强度 (MPa)	3.4	6.9	5.5
应用场合	精加工和超精密加工用，如用于镜面加工	粗加工、精加工，湿切，不适合复合材料。主要用车削和低速铣削	半精加工、精加工，连续切削，湿切，干切，适合加工复合材料和高速铣削领域

1. SD 工具性能与应用

单晶金刚石 (SD) 工具是金刚石工具中最耐磨的材料。它本身质地细密, 经过精细研磨, 切削刃的刃口圆弧半径可小到 $0.01 \sim 0.002 \mu\text{m}$, 可以达到表面粗糙度 $Ra 0.02 \mu\text{m}$ 的镜面加工。因此, 单晶金刚石作为超硬工具材料在机械加工领域有着重要地位, 并得到了广泛应用, 尤其在超精密加工领域。如用于原子核反应堆及其他高技术领域的各种反射镜、光学平面镜的加工领域, 用于导弹或火箭中的导航陀螺、计算机硬盘基片零件超精密的加工领域。采用 SD 工具, 无论是在价格上还是在精度上都比传统加工方法具有明显优势。

SD 工具包括两种: 天然单晶金刚石 (ND) 和人造单晶金刚石 (AD) 工具。ND 的矿藏量稀少, 其价格昂贵, 是制约 ND 工具广泛应用的瓶颈。随着 AD 工具制造技术的发展与合成成本的降低, 其作为切削工具的广泛应用成为可能。图 1-5 所示为天然单晶金刚石刀具。

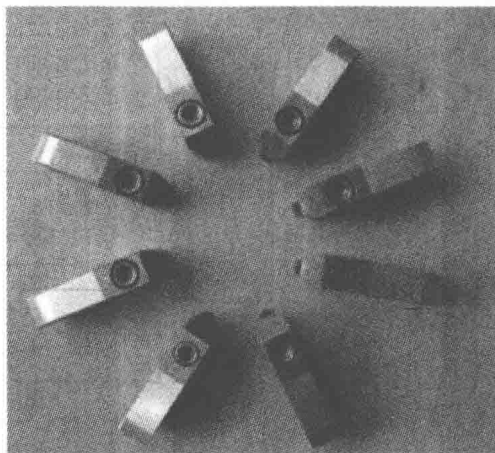


图 1-5 天然单晶金刚石刀具

2. PCD 工具性能与应用

PCD 工具有许多优异性能, 晶粒呈无序排列、各向同性、无解理面, 具有较高的抗冲击强度, 且冲击时只产生小晶粒破碎, 不像 SD 那样大块崩裂。图 1-6 为聚晶金刚石螺纹刀, 图 1-7 所示为 PCD 木地板成型铣刀。

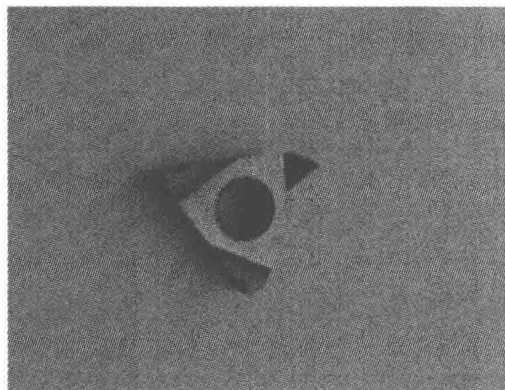


图 1-6 聚晶金刚石螺纹刀

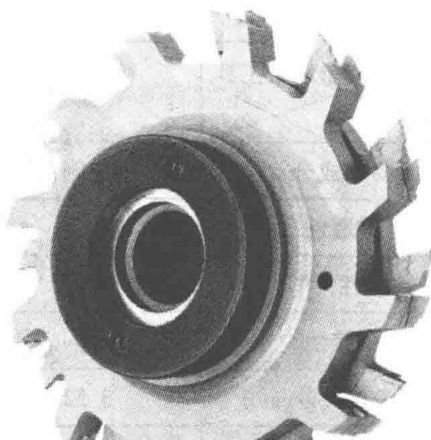


图 1-7 PCD 木地板成型铣刀

由于 PCD 工具有极高的硬度、强度、耐磨性、热稳定性和化学稳定性, 使 PCD 工具得到了广泛应用。PCD 工具应用于有色金属材料及几乎所有的非金属材料加工, 如表 1-4 所示。