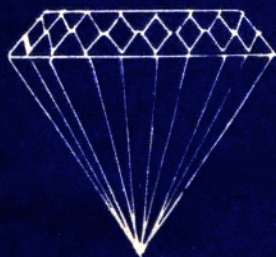


王松顺

编著

人造金刚石工艺学



机械工业部磨料磨具磨削研究所

前 言

现代生产技术的发展对材料的多种、特殊功能的要求愈来愈迫切，所以国家把材料和材料科学作为发展重点。人造金刚石超硬材料是材料科学、晶体学与高压物理学的重要组成部分，是一个年轻的分支。人造金刚石是用高压 高温 技术，人工合成的一种新型无机超硬材料，它具有一般材料所不具备的特殊性能。它作为超硬非金属材料，可为冶金、地质、机械、石油、煤炭、国防空间技术、电子等行业制造超硬工具、刀具、钻探磨具等提供性质优良的材料，广泛用于地质勘探、采矿、煤炭、电子及军工等部门和尖端技术中。

随着我国超高压高温技术和应用技术的迅速发展，从而使新型的人造金刚石工业及其制品工业也得到飞速的发展。为了适应当前研究与工业生产发展的需要，满足从事人造金刚石生产与使用单位研究人员学习人造金刚石的合成实践经验，掌握人造金刚石的合成原理、进一步认识金刚石的性质、了解金刚石的应用范围及其使用的显著效果等，把在科研发生产中积累的实践经验、新的科研成果、文献资料等加以分析、整理、归纳编写成这本书。全书共有四章。在章节的安排和叙述上，力求做到由浅入深；在内容的选择上，尽量反映我国人造金刚石的生产实践经验和科学研究的新成就。（如上海硅酸盐所用晶种法生长大单晶金刚石达毫米以上，人造金刚石拉丝模寿命比硬质合金模高250~300倍以上）。

本书对提高从事人造金刚石的人员的技术水平及指导金刚石生产都有一定的指导意义，在社会主义建设中将促进国民经济迅速发展。

在编写和修改书稿的过程中，王国顺、孟庆云 和 熊新民等同志提出了许多宝贵意见，进行了充实完善，给予了很大的帮助，特在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中缺点、错误在所难免，望读者批评指正。

目 录

第一章 人造金刚石的发展概况

1.1 国内人造金刚石的发展情况	(1)
1.1.1 人造金刚石的研制与发展	(1)
1.1.2 国外金刚石生产与消耗情况	(2)
1.2 合成金刚石的方法	(6)
1.2.1 静压触媒法	(7)
1.2.2 静压直接转变法	(7)
1.2.3 晶种的触媒法	(7)
1.2.4 爆炸法	(8)
1.2.5 常压高温合成法	(8)
1.2.6 低压高温合成法	(8)
1.2.7 低温低压法	(9)
1.2.8 激光法	(10)
1.2.9 六方晶系金刚石的合成	(10)
1.2.10 气相法	(10)
1.3 大单晶人造金刚石的合成途径	(10)
1.3.1 在晶种上生长的途径	(10)
1.3.2 添加与防止杂质的途径	(11)
1.3.3 低压高温生长的途径	(11)
1.3.4 调整金刚石合成工艺的途径	(12)
1.3.5 扩大合成腔的途径	(12)
1.3.6 高温冷凝的途径	(13)

1.4	多晶金刚石烧结的途径·····	(13)
1.4.1	直接生长法·····	(13)
1.4.2	超高压下掺杂的多晶烧结·····	(14)
1.4.3	高压高温下的直接烧结·····	(14)
1.4.4	爆炸法多晶的烧结·····	(14)
1.4.5	粉末冶金法、热压法和渗透法的烧结·····	(15)
1.5	新型超硬材料的合成与高压设备的发展 ·····	(15)
1.5.1	新型超硬材料的合成·····	(15)
1.5.2	高压设备的发展·····	(17)
1.6	人造金刚石的合成机理·····	(17)
1.6.1	石墨变金刚石的直接转变机理·····	(18)
1.6.2	加触媒促使石墨转变为金刚石的机理·····	(22)
1.6.3	外延法人造金刚石的形成机理·····	(28)
1.6.4	溶剂法人造金刚石的形成机理·····	(29)
1.6.5	溶剂法——催化法人造金刚石形成机理 ·····	(30)
1.7	超高压下掺杂多晶金刚石的烧结机理·····	(33)
1.7.1	表面间的结合原理·····	(33)
1.7.2	多晶金刚石的烧结机理·····	(34)
1.7.3	掺结剂的选择原则·····	(38)
1.7.4	烧结条件的影响·····	(39)

第二章 金刚石的主要性质

2.1	金刚石的晶体形态与分类·····	(41)
2.1.1	天然金刚石的晶体形态与分类·····	(41)
2.1.2	人造金刚石的晶体形态与分类·····	(51)

2.2	金刚石晶体	(56)
2.2.1	金刚石晶体	(56)
2.2.2	金刚石与石墨性质的比较	(57)
2.3	金刚石的结晶构造与晶格	(58)
2.3.1	金刚石的结晶构造	(58)
2.3.2	金刚石的晶格	(60)
2.3.3	金刚石晶格常数的测量	(69)
2.4	金刚石的化学组成	(71)
2.4.1	杂质的测定方法	(71)
2.4.2	金刚石的主要杂质	(73)
2.5	金刚石的结构缺陷和内部构造	(74)
2.5.1	晶体结构缺陷的形成	(74)
2.5.2	晶体生长的结构缺陷	(74)
2.5.3	不同类别金刚石的内部结构	(75)
2.5.4	杂质分布与晶体生长速度	(75)
2.5.5	晶体的表面结构	(76)
2.5.6	晶体的生长速率	(78)
2.6	金刚石的力学性质	(81)
2.6.1	硬度	(81)
2.6.2	抗冲击性	(84)
2.6.3	耐磨性	(84)
2.6.4	比重	(86)
2.6.5	解理与断口	(86)
2.6.6	弹性模量	(87)
2.6.7	塑性形变	(88)
2.6.8	强度	(88)

2.7	金刚石的光学性质	(88)
2.7.1	颜色	(88)
2.7.2	光泽	(89)
2.7.3	折光率、散光性	(89)
2.7.4	吸收光谱	(90)
2.7.5	透明度	(91)
2.7.6	发光性	(91)
2.7.7	异常干涉色	(92)
2.8	金刚石的热学性质	(92)
2.8.1	导热性	(92)
2.8.2	比热	(95)
2.8.3	热膨胀性	(95)
2.8.4	耐热性	(95)
2.9	金刚石的电学性质	(96)
2.9.1	导电性	(96)
2.9.2	光电导性	(98)
2.9.3	电子顺磁共振	(98)
2.9.4	电磁性	(98)
2.10	金刚石的表面性质	(98)
2.11	金刚石的化学性质	(99)
2.11.1	金刚石的化学性质	(99)
2.11.2	与金刚石相似矿物的特征	(99)

第三章 人造金刚石的合成

3.1	静压法金刚石的合成设备	(101)
3.1.1	环带式 500t 和 1000t 级两面砧高压设备	(102)

3.1.2 凹形对顶砧高压设备	(115)
3.1.3 拉杆式四面砧高压设备	(120)
3.1.4 DS—029B型六面砧高压设备	(124)
3.1.5 WY1000型单压源六面砧高压设备 ...	(137)
3.1.6 静水压切球式六面砧高压设备	(143)
3.1.7 对压切球式六面砧高压设备	(144)
3.1.8 拉杆式六面砧高压设备	(147)
3.1.9 紧装铰链式六面砧高压设备	(148)
3.1.10 皮囊式六面砧高压设备	(150)
3.1.11 滑块式六面砧高压设备	(152)
3.1.12 QRD18型高压设备	(152)
3.1.13 万吨级两面砧高压设备	(162)
3.1.14 硬质合金压砧	(171)
3.1.15 高温的产生和控制	(178)
3.1.16 动态高压高温装置	(180)
3.1.17 金刚石砧高压装置	(185)
3.2 人造金刚石的合成原料	(191)
3.2.1 碳素原料	(191)
3.2.2 触媒原料	(244)
3.2.3 叶蜡石材料	(278)
3.3 人造金刚石的合成工艺	(301)
3.3.1 超高压高温的产生与测量	(301)
3.3.2 碳的相图与金刚石的合成条件	(333)
3.3.3 金刚石晶粒的形成和长大	(336)
3.3.4 合成块的装填方式	(343)
3.3.5 加热方式	(344)

3.3.6 压力温度的引进与解除程序	(345)
3.3.7 磨料级金刚石的合成工艺	(349)
3.3.8 粗颗粒金刚石的合成工艺	(352)
3.3.9 大单晶金刚石的合成工艺	(354)
3.3.10 宝石级金刚石的合成工艺	(363)
3.3.11 芬兰的金刚石的合成工艺	(366)
3.3.12 爆炸法金刚石的合成工艺	(370)
3.4 人造金刚石的提纯与粒度分选工艺 ...	(372)
3.4.1 剥离石墨	(372)
3.4.2 溶解金属	(372)
3.4.3 清除石墨	(375)
3.4.4 金刚石整形	(376)
3.4.5 清除叶蜡石	(377)
3.4.6 金刚石粒度分级	(377)
3.4.7 金刚石选形	(382)
3.4.8 金刚石单颗抗压强度测量	(385)
3.4.9 金刚石粒度组成	(389)
3.4.10 金刚石中杂质含量	(389)
3.4.11 金刚石的堆积密度	(389)
3.4.12 包装入库	(391)
3.5 爆炸法金刚石的提纯工艺	(391)
3.5.1 工艺流程	(392)
3.5.2 提纯时注意事项	(392)
3.6 人造金刚石品种牌号、质量检验及适用 范围	(392)
3.6.1 人造金刚石品种代号及其适用范围 ...	(392)

3.6.2 国内外人造金刚石牌号及其质量检验···	(393)
3.7 人造金刚石提纯的废气装置	(397)
3.7.1 废气装置原理与结构	(397)
3.7.2 芬兰废水处理装置	(401)
3.8 高压下多晶金刚石的掺杂烧结	(402)
3.8.1 高压下多晶金刚石的掺杂烧结	(403)
3.8.2 高压下多晶金刚石的烧结	(482)
3.8.3 多晶金刚石复合体的烧结	(409)
3.8.4 多晶金刚石烧结体的规格	(412)

第四章 金刚石的主要用途

4.1 金刚石钻头	(414)
4.1.1 地质钻探	(417)
4.1.2 冶金开采	(418)
4.1.3 煤炭勘测	(419)
4.1.4 国内外金刚石钻头发展使用情况	(421)
4.2 金刚石磨具	(424)
4.2.1 金刚石磨具的结构	(425)
4.2.2 金刚石砂轮的特征及标志方法	(426)
4.2.3 金刚石砂轮的特性	(426)
4.2.4 金刚石砂轮磨削用量的选择	(433)
4.2.5 金刚石砂轮形状与尺寸的选择	(435)
4.2.6 金刚石砂轮冷却液的选择	(438)
4.2.7 金刚石砂轮的修整	(439)
4.2.8 金刚石磨具的磨削特点	(441)
4.2.9 金刚石磨具的主要用途	(443)
4.3 金刚石锯片	(450)

4.3.1	概述	(450)
4.3.2	金刚石锯片的制造	(452)
4.3.3	金刚石锯片的产品规格	(458)
4.3.4	金刚石锯片的工业应用	(459)
4.4	人造金刚石精磨片	(461)
4.4.1	光学玻璃的硬度与分类	(461)
4.4.2	金刚石精磨片与光学玻璃的磨削关系	(461)
4.4.3	金刚石精磨片的制造	(464)
4.4.4	金刚石精磨片的规格	(466)
4.4.5	金刚石精磨片的应用	(467)
4.5	金刚石刀具	(470)
4.5.1	金刚石刀具的特点及应用范围	(470)
4.5.2	人造金刚石多晶刀具	(472)
4.5.3	人造金刚石复合刀具	(474)
4.5.4	人造金刚石刀具的制造	(475)
4.6	金刚石拉丝模	(478)
4.6.1	金刚石模制造与产品规格	(478)
4.6.2	金刚石模的用途	(481)
4.6.3	新型金刚石模	(483)
4.7	金刚石修整工具	(484)
4.7.1	金刚石笔(片)修整的特性	(486)
4.7.2	金刚石笔(片)的选择	(487)
4.7.3	BD型金刚石修整笔的性能	(490)
4.7.4	金刚石多晶修整笔	(492)
4.7.5	成型修整工具	(493)
4.8	金刚石在对顶砧装置上的应用	(495)

4.8.1 金刚石砧高压装置的使用与兆巴压力的 获得	(496)
4.8.2 金刚石砧高压技术的应用	(498)
4.9 特殊类型金刚石的应用	(505)
4.9.1 金刚石类型	(506)
4.9.2 特殊类型金刚石的用途	(506)
4.10 金刚石测量仪器	(508)
4.10.1 金刚石压头	(508)
4.10.2 金刚石测头	(508)
4.10.3 金刚石探头	(508)
4.10.4 金刚石耐磨镶块	(508)
4.10.5 金刚石唱针	(509)
4.10.6 金刚石喷嘴	(509)
4.10.7 金刚石轴承	(509)
4.10.8 金刚石透镜	(509)
4.11 金刚石珩磨油石	(509)
4.11.1 使用优点	(509)
4.11.2 珩磨油石的选择	(510)
4.11.3 珩磨机类型	(510)
4.12 金刚石微粉和金刚石研磨膏	(511)
4.12.1 金刚石微粉	(511)
4.12.2 金刚石研磨膏	(511)
4.13 金刚石锯	(513)
4.13.1 使用优点	(513)
4.13.2 锯条厚度选择	(513)

第一章 人造金刚石的发展概况

1.1 国内外人造金刚石的发展情况

1.1.1 人造金刚石的研制与发展

我国人造金刚石工业发展很快，仅在二十余年中就形成了人造金刚石及其制品的新型工业体系。

金刚石具有很多特殊优异的物理性质。它的硬度在自然界已知物质中是最硬的，其力学性质如耐磨性和研磨能力都很好，有的金刚石还具有良好的热敏、热传导、半导体性、化学惰性和透远红外光的性质。因此它是发展现代工业、国防科学技术所不可缺少的重要材料，常被人们称为重要的战略物资。美国国库内储备有可用几年的金刚石。金刚石在地质、机械、冶金、石油、煤炭、光学仪器、电子、石材加工、陶瓷、军工等各种工业部门中都有广泛的用途，在国民经济的发展中占有很重要的地位。

随着科学技术、工业生产的迅速发展与人们对金刚石物性的逐渐深入了解，它的用途正在不断扩大，耗用量与日俱增。近半个世纪以来，世界工业耗用金刚石量平均每年增长10%左右，比同时期工业增长速度快2.5倍。1940年世界工业金刚石耗量700万克拉，1979年增到一亿五千万克拉以上，1981年仍保持在1980年数目的水平，估计为一亿五千万克拉左右（包括人造金刚石）。这说明，金刚石在国民经济中的作用越来越显得重要。国外通常把工业金刚石的耗用量与钢产

量的比例（一吨钢耗用0.1~0.16克拉金刚石）作为衡量某个国家工业发展水平的标志。

金刚石分天然的和人造的两种类型。因天然矿物中金刚石含量低（在一吨矿石中仅含有0.1~0.25克拉的金刚石，在扎伊尔的矿石中最高达3克拉），开采困难，成本高，所以国内外都很重视发展人造金刚石工业。人造金刚石一般是在高压高温条件下，在金属触媒的作用下由石墨转变而成。这项工作，国外在1940年利用高压高温技术开始了研究人造金刚石，经过几十年的研究试验，于1953年和1954年分别由瑞典通用电气公司和美国通用电气公司试制成功，并分别在1962年和1957年投入工业生产；南非1959年试制成功，在1961年投产；苏联1960年制成，在1962年投产；日本1961年制成，1963年投产。可见，世界人造金刚石工业是在本世纪五十年代末和六十年代初建立起来的。人造金刚石工业在六十年代得到了迅速发展，1960年到1969年每年平均增长率为40%，十年中增加了20倍，而天然金刚石在同一时期内每年增长率为5%。七十年代金刚石多晶烧结体从试验研究阶段走向工业生产阶段。

1.1.2 国外金刚石生产与消耗情况

目前世界上工业金刚石生产的国家有美国、南非、苏联、瑞典、爱尔兰、西德、加拿大、捷克、日本、英国、荷兰、比利时、意大利、、法国、波兰、罗马尼亚和朝鲜。其中第十名以后的国家为七十年代以后进行工业生产的。南非、瑞典和爱尔兰的生产厂，均属于国际金刚石垄断组织戴比尔斯公司。美国通用电气公司，英国戴比尔斯公司和苏联，无论在人造金刚石、立方氮化硼、金刚石与立方氮化硼的多晶

烧结体等超硬材料的生产规模、品种和质量上，还是在生产技术和有关高压技术的科研发展上，均处于国际先进水平与竞争地位。据美国矿物局1981年统计，通用电气公司和戴比尔斯公司的产量占世界总产量的83%。而苏联自称金刚石产量占世界第一位。

据1981年资料报导，世界工业金刚石产量达一亿克拉。其中人造金刚石占总产量的70~80%。据《Mining Annual Review》1982年报导，美国矿物局统计，世界天然金刚石产量十多年来几乎不变，并在近年来有所下降。1978年为47.30百万克拉、1979年为47.98百万克拉、1980年为47.21百万克拉、而到1981年为45.53百万克拉，产量下降2百万克拉。而天然金刚石产量统计列于表1.1。据《Industrials Minerals》

表1.1 十年来世界天然金刚石的产量

年份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
产量 (百万克拉)	49.70	49.80	50.40	48.04	46.87	47.85	47.30	47.30	47.21	45.53

1982年报导，世界人造金刚石产量1977年为70.9百万克拉，1978年为81.7百万克拉、1979年为84.0百万克拉，三年平均增长率为6.8%，以此年增长率推算，1980年产量约为89.7百万克拉，1981年为95.8百万克拉，世界人造金刚石产量在七十年代间，年平均增长率为7%左右。表1.2为1970年以来世界人造金刚石产量统计。

近十几年来，人造金刚石在工业金刚石中所占比重日益增加，1968年约占60%，1977年约占70%，据1981年报导，

表1.2

1970年世界人造金刚石产量

年 份	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
产 量 (百万 克拉)	46.0	49.0	55.0	61.0	62.0	63.0	69.3	70.9	81.7	84.0	89.7	95.8

人造金刚石所占比例高达80%。

随着世界工业化水平的不断提高，工业金刚石的消耗量增长很快。据戴比尔斯公司发表的1910~1980年工业金刚石消耗情况分析：近几十年来，工业金刚石消耗量的年增长率为9~10%。

1976年世界工业金刚石总消耗量为84万克拉，到1979年已达一亿5千万克拉。据《Minning Annual》统计：1980年西方世界工业金刚石消耗量大约为一亿克拉左右。美国、加拿大消耗了大约30百万克拉，西欧消耗了30百万克拉，日本消耗了20百万克拉，其余20百万克拉为其他国家所消耗。1980年人造金刚石约占西方世界对工业金刚石需求量的80%。苏联等东欧国家的年消耗量大约为30~40百万克拉，由于世界衰退和金刚石行业的紧缩，1981年工业金刚石的消耗量几乎仍然保持在1980年数目的水平上，估计为一亿五千万克拉左右。

工业金刚石世界各国1977年的耗用量为114,000,000克拉，绝对消耗量的增长情况以每年10%的提高率计算（把金刚石工具制造质量和使用技术进步的因素估计在内），则金刚石在工业中的用途实际上在以年20%的速率增长，即每4~5年翻一番。

工业金刚石粒径在0.5mm以上者多用于制造工、模具和钻头；在粒级0.5mm以下者用于制造锯片、砂轮、微粉和研磨膏。

我国人造金刚石开始研制于1961年，1963年12月6日研制成功，并在1968年投入工业生产。目前我国人造金刚石的科研生产单位几乎遍及全国，产量、品种和质量都在不断的提高和发展。大单晶金刚石的研制在科研中已获5mm左右的晶体，成功率约70~80%，在合成与控制的技术上已有突破，在为期不远的将来有可能投入生产。人造金刚石多晶烧结体已投入生产，品种、质量、规格正在发展和提高中，来适合各种工业部门的需要。超高压设备已形成多种类型、这为进行超高压技术研究和超硬材料的科学实验提供了有力的基础。高压高温条件下的测试技术已获得了明显的效果，这对取得高压高温条件下合成的信息是有利的，对研究超硬材料的生长机制是一大促进。这些对于提高人造金刚石的合成技术，经济效益是显著的。

近年来，我国人造金刚石制品的品种、数量发展很快，除能生产树脂、青铜、电镀结合剂多种规格的金剛石砂轮、油石、磨头、微粉、研磨膏、光学玻璃加工锯片、陶料刀、手工工具等产品之外，还能生产专用的异型砂轮、修整笔、修整滚轮等之类的产品。金刚石磨具的尺寸从0.5mm的磨头到直径1000mm切割锯片都可以制造。开采工业所需的系列金刚石钻探磨具已进行了系列生产，在“开发矿业”大打矿山之仗中发挥了巨大的作用。人造金刚石多晶烧结体由单一品种已发展为多品种和多规格，在应用中发挥了它自身特性，取得了显著的使用效果。CBN制品在近几年中，从质量