

LIFANG DANHUAPENG

立方氮化硼



制造与应用

ZHIZAO YU YINGYONG

主编 王光祖 副主编 张相法 鲁占灵



 郑州大学出版社

LIFANG DANHUAPENG

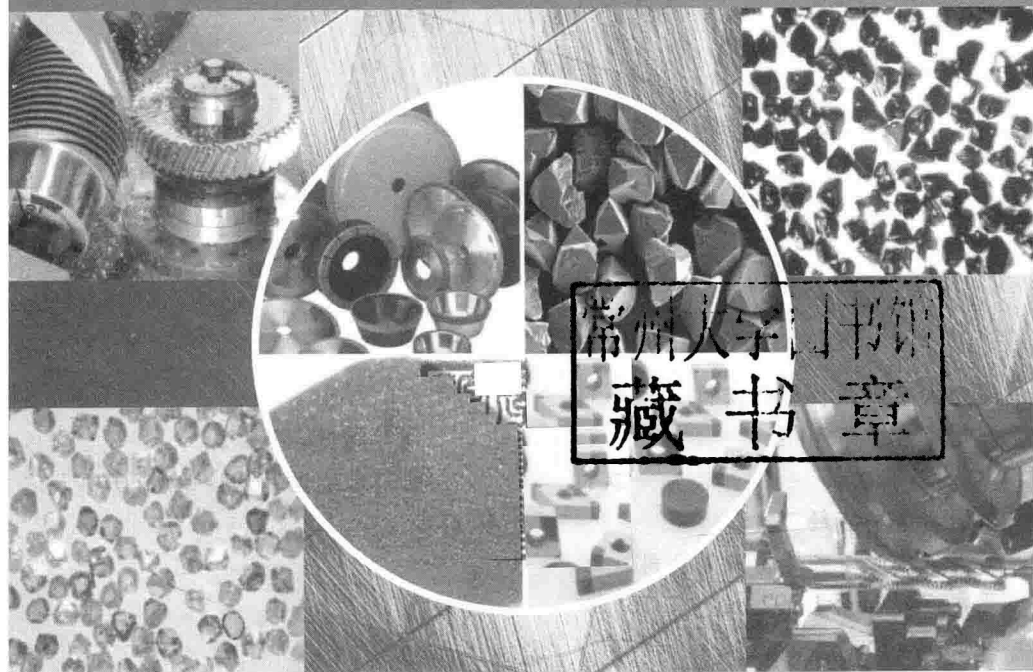
立方氮化硼



制造与应用

ZHIZAO YU YINGYONG

主编 王光祖 副主编 张相法 鲁占灵



常州大学图书馆
藏书章

 郑州大学出版社

郑州

图书在版编目(CIP)数据

立方氮化硼制造与应用/王光祖编著. —郑州:郑州大学出版社,2016. 12

ISBN 978-7-5645-3592-6

I. ①立… II. ①王… III. ①立方氮化硼刀具
IV. ①TG729

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 281963 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:张功员

全国新华书店经销

河南省瑞光印务股份有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:22.25

字数:530 千字

版次:2016 年 12 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2016 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-3592-6

定价:68.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

作者名单

主 编 王光祖

副主编 张相法 鲁占灵

编 委 崔仲鸣 刘金昌

卫凤午 张 奎

前言

此书献给我国第一颗立方氮化硼研制成功五十华诞。

立方氮化硼(cBN)是一种具有高热稳定性、高耐磨性、高化学稳定性——“三高”优异特性的新型高技术材料,为硬韧性难加工金属材料的加工开拓了广阔的前景。因此,发达工业国家把它作为提高经济效益并达到节能、高效、高精、自动化等目的之重要材料加以发展,将其视为衡量一个国家技术进步的一项重要标志。

立方氮化硼主要是用来制造磨具和刀具的材料。

立方氮化硼的出现对磨削加工予以革命性的影响,构成了磨削加工的第二次飞跃。现代磨削加工不仅是一种获得高精度、高光洁度的有效加工方法,而且是一种高效率、高表面完整性的加工方法。因此,扩大立方氮化硼磨具的开发、生产和应用是机械加工发展的必然趋势。

大量事实证明,立方氮化硼刀具基本上符合当今刀具发展的主要方向——提高寿命,提高切削效率,降低加工成本,保证高精度(小于 $1\text{ }\mu\text{m}$)和低粗糙度(小于 $0.02\text{ }\mu\text{m}$),满足难切削材料加工要求等。随着立方氮化硼自身质量的不断提高,刀具制造技术不断改进,立方氮化硼刀具在工业中的应用将得到更大发展。

郑州磨料磨具磨削研究所(简称三磨所)在进行人造金刚石中间试验的同时,在300吨两面砧超高压高温装置上,以六方氮化硼为原料、金属镁为溶剂,开展了立方氮化硼合成工艺的试验研究,于1966年11月10日,成功地获得了我国第一颗立方氮化硼。

20世纪90年代以来,20多年来我国cBN单晶产品有了快速发展。这主要得益于研发投入特别是对触媒的开发研究和应用领域的强劲拉动。我国cBN单晶材料经过50年的发展,取得了长足进步,目

前 cBN 单晶磨料无论从合成技术、产品品种、生产能力方面,还是从产量、市场占有率方面,都已成为 cBN 的生产大国,且正在成为 cBN 的生产强国。

三磨所对我国立方氮化硼工业建立、发展与壮大是功不可没的,将永载超硬材料行业发展史册,现屹立在河南的郑州中南杰特超硬材料有限公司、富耐克超硬材料股份有限公司等立方氮化硼工业企业就是佐证。

2016 年,我国第一颗立方氮化硼研制成功已 50 周年,作为立方氮化硼发展起步、壮大与跨越的参与者、推动者和见证者,能有幸在耄耋之年迎来她的五十华诞,是多么地骄傲、自豪!

早在 20 世纪 60 年代人造金刚石中间试验进行的同时,开始了立方氮化硼的试制工作。与卢飞雄一起,在三磨所理化研究室用硅碳棒管状炉,开展了以硼酸为初始原料,通氮气试制六方氮化硼的工作,并成功获得了纯度很高的白色六方氮化硼结晶体,预示立方氮化硼的研发工作已经启动。

20 世纪 80 年代末为超硬材料行业培养出第一位从事立方氮化硼专业的硕士研究生。

应时任《磨料磨具与磨削》杂志主编卫凤午之约,撰写了“国外立方氮化硼研制技术”。在 20 年前,带领李刚工程师和张相法一起编写了《立方氮化硼合成与应用》一书,该书 1995 年由河南科学技术出版社出版,荣获 1995 年度河南省优秀图书二等奖。所有这些,对拓展和提高立方氮化硼合成与应用技术的认知,起到积极的推动作用。

在 2013 年完成领衔编辑《中国超硬材料工业五十年》发展史和 2014 年为家乡玉宝公司编写《超硬磨具制备与应用》后,于 2015 年萌生为纪念我国立方氮化硼研制成功五十周年之际,编写《立方氮化硼制造与应用》一书的梦。给生活一个梦想,人生将变得诗意与芬芳,生命将变得璀璨与绮丽,因为生活需要梦想。随着年龄的增长,虽然工作精力今非昔比,但在“梦”的力量驱动下,凭借对立方氮化硼事业发展的激情,为了编好该书,仔细翻阅了近十年来行业权威期刊,以及历届超硬材料研讨会文集与相关资料,并进行了反复阅读、摘录并将其录入电脑。材料汇集工作,为写作奠定了丰富、翔实的基础素材。

《立方氮化硼制造与应用》一书由综论、氮化硼的结构与性质、静态高压立方氮化硼合成、立方氮化硼合成方法的多样性、立方氮化硼磨具、立方氮化硼砂轮的应用、聚晶立方氮化硼刀具制造和聚晶立方氮化硼刀具的应用八个部分构成。《立方氮化硼制造与应用》一书力求全面、系统,是一部集众多行业研究者在研发、生产实践中所取得的丰硕理论与实际经验和智慧之大成,能反映当今科研、生产最新水平之作。

《立方氮化硼制造与应用》一书的出版是以郑州中南杰特超硬材料有限公司教授级高级工程师张相法和张奎、郑州大学鲁占灵博士、郑州磨料磨具磨削研究所高级工程师刘金昌和卫凤午、河南工业大学崔仲鸣教授为团队携手共同努力之作。对中国超硬材料

网、中国研磨,为书中图的扫描工作所给予的大力支持,表示衷心感谢;对郑州大学研究生吕奕龙,为书中的专业知识核对工作,表示衷心感谢。

愿我国立方氮化硼工业,勇领潮头,不忘初心,扬帆起航,再创佳绩,打造立方氮化硼研发、生产与应用技术的更加美好、更加灿烂辉煌的未来。

王光祖

2016 年 10 月于郑州

目 录

1 综论	1
1.1 立方氮化硼磨料	1
1.1.1 中国第一颗立方氮化硼的诞生	1
1.1.2 若干发展阶段	2
1.1.3 发展的特征	5
1.2 立方氮化硼磨具	8
1.2.1 立方氮化硼磨具的发展历程	8
1.2.2 国内外陶瓷结合剂 cBN 磨具的比较	12
1.3 多晶立方氮化硼刀具材料	13
1.3.1 PcBN 的地位和作用	13
1.3.2 国内 PcBN 的探索与突破	13
1.3.3 PcBN 发展的几个阶段	14
1.3.4 PcBN 产品发展	15
1.3.5 国产 PcBN 产品存在的问题	16
2 氮化硼的结构与性质	17
2.1 氮化硼的结构	17
2.1.1 六方氮化硼和菱方氮化硼的结构	17
2.1.2 立方氮化硼和密集六方氮化硼	19
2.1.3 六方氮化硼的晶体形态和表面结构	20
2.2 立方氮化硼的性质	21
2.2.1 物理机械性质	21
2.2.2 光学性质	23
2.2.3 电学性质	27
2.2.4 热力学性质	28

2.2.5	化学性质	29
2.3	特征功能研究与分析	31
2.3.1	立方氮化硼的颜色与其内部杂质的关系	31
2.3.2	不同品种立方氮化硼晶体的 Raman 光谱	33
2.3.3	立方氮化硼单晶的光电功能特性	36
2.4	立方氮化硼产品及其特性	40
2.4.1	Sandvik Hyperion(山德维克)公司产品	40
2.4.2	Element Six 公司的立方氮化硼产品及其特性	41
2.4.3	郑州中南杰特公司	43
2.4.4	国内外 cBN 单晶特征对比	45
3	静态高压立方氮化硼合成	48
3.1	静态高压催化剂合成方法	48
3.1.1	六方与立方氮化硼平衡曲线	48
3.1.2	Mg 参与下合成 cBN 的 p - T 平衡曲线	50
3.1.3	氮化物参与下 cBN 生长的 p - T 平衡曲线	51
3.1.4	Li_3BN_2 -hBN 体系 p - T 区	52
3.1.5	B_2O_3 和 B 与 Li_3N 合成 cBN	53
3.2	静态高压催化剂法的影响因素	53
3.2.1	六方氮化硼的影响	53
3.2.2	高压下结晶完整程度不同的氮化硼的多型转变	56
3.2.3	高压和高温对热解氮化硼的影响	56
3.2.4	不同催化剂的影响	62
3.2.5	添加物的影响	70
4	立方氮化硼合成方法的多样性	85
4.1	冲击压缩法合成氮化硼	85
4.2	立方氮化硼大单晶的培育	93
4.2.1	高压高温下 BN - Li_3BN_2 体系中立方氮化硼晶体的生长	93
4.2.2	高压高温下立方氮化硼晶体生长的过程饱和和效应	95
4.2.3	采用多个生长室培育立方氮化硼大单晶的方法	96
4.2.4	自发生成核大单晶	99
4.3	立方氮化硼薄膜制备	101
4.3.1	薄膜制备技术概述	101
4.3.2	CVD 法制备氮化硼薄膜	103
4.3.3	PVD 法合成氮化硼薄膜	112

4.3.4	立方氮化硼膜的研究进展与应用	116
4.4	水热法合成立方氮化硼微晶	122
5	立方氮化硼磨具	125
5.1	cBN 磨具基材特性及其改性	126
5.1.1	立方氮化硼的特性及其改性	126
5.1.2	结合剂	139
5.2	添加(填充)剂与性能关系	143
5.2.1	纳米氧化物对 cBN 磨具陶瓷结合剂性能的影响	143
5.2.2	金属 Al 粉对 cBN 磨具陶瓷结合剂性能的影响	145
5.2.3	F ⁻ 对 cBN 磨具用陶瓷结合剂的结构与性能的影响	148
5.2.4	Li ₂ O 对 cBN 砂轮陶瓷结合剂性能的影响	150
5.2.5	无机铵盐造孔剂	153
5.2.6	石墨自润滑钎焊 cBN 砂轮节块界面微观结构	156
5.3	立方氮化硼磨具制备技术	157
5.3.1	树脂结合剂 cBN 砂轮(通用)生产工艺	157
5.3.2	陶瓷结合剂 cBN 磨具生产技术	159
5.3.3	超精磨金属陶瓷结合剂 cBN 砂轮	161
5.3.4	纳米陶瓷结合剂超硬磨具的制造工艺	164
5.3.5	低温陶瓷结合剂 cBN 平面磨砂轮的制备工艺	167
5.3.6	陶瓷基 cBN 磨盘的研制	168
5.3.7	cBN 陶瓷结合剂磨盘的研究	170
5.3.8	电镀 cBN 蜗杆砂轮的制造和应用	173
5.3.9	钎焊立方氮化硼砂轮的研究	174
5.3.10	陶瓷结合剂 cBN 内圆磨削砂轮的研制	176
5.3.11	陶瓷 cBN 内圆磨砂轮不同成型方法的比较	178
5.3.12	原位凝固法成型 cBN 油石研究	180
6	立方氮化硼砂轮的应用	184
6.1	高速立方氮化硼砂轮与绿色制造	184
6.2	精密研磨发动机喷油嘴中间体的 cBN 磨盘	186
6.2.1	砂轮配方	186
6.2.2	砂轮抗折强度	187
6.2.3	砂轮硬度	187
6.2.4	砂轮耐用度	188
6.3	单层钎焊 cBN 砂轮磨削 CSS-421 钢的试验研究	190

6.3.1	磨削力	191
6.3.2	磨削温度	193
6.3.3	比磨削能	194
6.4	cBN 砂轮磨削轴承内圆表面粗糙度的影响因素	195
6.4.1	轴承内圆表面粗糙度随磨料粒度的变化	196
6.4.2	轴承内圆表面粗糙度随磨削参数的变化	196
6.5	cBN 砂轮高速磨削镍基高温合金磨削力与比磨削能研究	198
6.5.1	cBN 砂轮参数和磨削工艺	198
6.5.2	磨削力	199
6.5.3	比磨削能	201
6.6	陶瓷结合剂 cBN 砂轮高速磨削钛合金 TC4-DT	202
6.6.1	磨削力	202
6.6.2	磨削温度	203
6.6.3	表面粗糙度	205
6.7	单层钎焊 cBN 砂轮 20CrMnTi 磨削温度试验与仿真研究	207
6.7.1	试验结果	207
6.7.2	仿真与试验结果的对比	209
6.8	cBN 砂轮窄深槽加工机制研究	210
6.9	陶瓷 cBN 砂轮高效磨削的弧区冷却液动压的研究	212
6.9.1	磨削弧区压力测量	213
6.9.2	磨削工艺参数对弧区压力的影响	213
6.9.3	磨削速度对工件表面烧伤的影响	216
6.10	热管砂轮磨削高温合金 GH4169 实验研究	217
6.10.1	热管砂轮的结构及制作	218
6.10.2	热管砂轮磨削高温合金 GH4169 实验结果	219
6.11	磨粒有序多孔立方氮化硼砂轮高效磨削高温合金烧伤研究	220
6.11.1	多层磨粒有序排布多孔 cBN 砂轮	220
6.11.2	缓进给磨削工件烧伤特征	221
6.11.3	深切磨削弧区烧伤控制	222
6.11.4	高效深切磨削中的磨削温度	223
6.12	电镀 cBN 砂轮高速磨削高温合金的砂轮磨损研究	224
6.12.1	磨削力的分析	224
6.12.2	砂轮表面形貌分析	226
7	聚晶立方氮化硼刀具制造	228
7.1	性质	228

7.1.1	PcBN 刀具材料的物理机械性能	228
7.1.2	影响 PcBN 可加工性的因素	230
7.1.3	影响立方氮化硼复合片耐磨性的工艺因素	233
7.1.4	不同牌号立方氮化硼聚晶硬度研究	236
7.1.5	Al 添加量对 cBN 复合片显微结构和性能的影响	242
7.1.6	不同组分 cBN-TiC-Al 材料对 PcBN 性能的影响	243
7.1.7	Ti(C,N) 系结合剂对 PcBN 复合片的性能的影响	248
7.1.8	干切削 PcBN 刀具材料共价键化合物结合剂烧结及性能研究	253
7.2	制造	259
7.2.1	PcBN 制造工艺简述	259
7.2.2	cBN 粒度及组装方式对 PcBN 性能影响的研究	261
7.2.3	不同体系结合剂合成的研究	263
7.2.4	以 β -Sialon 为结合剂的 PcBN 聚晶的制备	266
7.2.5	淬火钢加工用 PcBN 新材料的研制	271
8	聚晶立方氮化硼刀具的应用	275
8.1	PcBN 刀具在干切削中的应用	275
8.1.1	干切削对刀具、工件和机床的要求	275
8.1.2	PcBN 刀具干切削的金属软化效应	275
8.1.3	PcBN 刀具干切削的加工表面质量	276
8.1.4	PcBN 刀具干切削的磨损与寿命	276
8.2	PcBN 刀具断续车削淬硬钢的试验研究	277
8.2.1	试验条件	277
8.2.2	试验过程及刀具失效机制分析	278
8.2.3	切削方式对刀具寿命的影响	280
8.2.4	切削速度对刀具寿命的影响	280
8.3	硬加工时 PcBN 与硬钢之间的相互作用	281
8.3.1	硬钢切削中切削形成的机制	281
8.3.2	切削硬钢时的切削力和刀具表面应力	284
8.4	PcBN 刀具切削中锯齿形切屑形态的动态切削力识别	287
8.4.1	刀具结构和性能	287
8.4.2	锯齿形切屑的形态	288
8.4.3	带状切屑和锯齿形切屑的切削力信号识别	288
8.4.4	锯齿形切屑剪切失稳的切削力信号小波检测	291
8.4.5	锯齿形切屑生成频率与切削力频率的关系	291
8.5	PcBN 刀具干湿切削加工淬硬钢时的磨损对比	292

8.5.1	试验条件	292
8.5.2	刀具寿命	293
8.5.3	磨损形式及磨损原因	294
8.6	PcBN 刀具干湿切削淬硬钢表面完整性研究	297
8.6.1	刀具材料及切削材料	298
8.6.2	表面白层	298
8.6.3	表面粗糙度	299
8.7	PcBN 刀具异常损坏的原因分析	300
8.7.1	试验条件	300
8.7.2	试验结果	300
8.7.3	不同装刀位置时刀具切削受力分析	301
8.8	PcBN 刀具车削硬镍基高温合金切削性能	303
8.8.1	试验条件	303
8.8.2	刀具几何参数对磨损的影响	304
8.8.3	PcBN 材质及切削参数对磨损的影响	305
8.8.4	切削工艺对磨损的影响	306
8.9	PcBN 刀具断续干式切削 ADI 时切削力与寿命的研究	307
8.9.1	试验用工件及刀具	307
8.9.2	准静态切削力	308
8.9.3	刀具寿命	310
8.10	不同结合剂 PcBN 刀具切削钛合金 TC4 的性能研究	311
8.10.1	PcBN 的合成	312
8.10.2	切削实验	312
8.10.3	不同结合剂 PcBN 刀具的寿命分析	313
8.10.4	不同结合剂 PcBN 切削钛合金 TC4 的磨损形态分析	313
8.10.5	PcBN 切削钛合金磨损机制分析	314
8.11	PcBN 刀具加工铁基粉末冶金材料	316
8.11.1	试验条件	316
8.11.2	PcBN 刀具成分对切削性能的影响	316
8.12	新型 PcBN 工具高效加工难切削黑色金属材料	319
8.12.1	新型 PcBN 的特征	319
8.12.2	用于灰口铸铁加工的新型 PcBN 的切削性能	321
8.12.3	应用实例	322
8.13	PcBN 的最新动向及其适用事例	324
8.13.1	关于淬火钢切削	324
8.13.2	涂覆 PcBN-BNC 系列	327

8.13.3 BNC 系列应用实例	329
8.13.4 非涂覆 PcBN 材料种类 BN 系列	333
8.13.5 最新 PcBN 材料的应用方法	335
参考文献	337

1

综论

从郑州磨料磨具磨削研究所 1978 年 3 月的内部资料(1978 年第 1 期《人造金刚石》杂志第 4 页)得知,中国第一颗立方氮化硼于 1966 年 11 月 10 日由郑州磨料磨具磨削研究所试验成功,从而开创了中国立方氮化硼产业化及其工具制造的新纪元,可歌可泣!我作为其发展、壮大的参与者和见证者,能有幸在髦耄之年,与弟子们携手迎来她的五十“华诞”,欣哉呀欣哉!

为此,我们怀着自豪的心绪,提笔对立方氮化硼(cBN)磨料及其磨具、聚晶刀具(PcBN)简要历程做了必要的回顾。

1.1 立方氮化硼磨料

在人造金刚石中间试验进行的同时,开始了立方氮化硼的试制工作。中国第一颗立方氮化硼,于 1966 年 11 月 10 日,在第一机械工业部郑州磨料磨具磨削研究所第六研究室研制成功。标志中国超硬材料发展史上又一高科技产品的诞生。历经五十年的发展,我国不仅是世界立方氮化硼的生产大国,而且也是强国。

1.1.1 中国第一颗立方氮化硼的诞生

第一颗立方氮化硼的整个试验工作是在国产 300 吨两面顶压机上进行的。先后进行了合成用组装件的制备,低压下测温试验等,初步确定了功率与温度的关系,为合成立方氮化硼的工艺控制提供了依据。经过多次试验于 1966 年 11 月 10 日试验成功。合成压力为 55 000 大气压(5.5 GPa),触媒为镁粉,配比为 $Mg : BN = 1 : 3$ 。经 X 射线衍射鉴定,样品中有立方氮化硼物相。这是我国第一颗立方氮化硼的诞生,以后经过多次试验,均能获得立方氮化硼。

1967 年 4 月至 1968 年 6 月,为了扩大超高压高温领域合成新型材料的成果,根据国家科委人工晶体七年科研规划及磨料磨具行业有关规划中研制立方氮化硼的安排,对立方氮化硼的生成条件及其使用性能,进一步进行了试验研究。对原料产地、触媒及其用

量、合成压力等参数进行了优选试验,并对温度控制、保温时间等因素进行了探讨,制订了立方氮化硼的合成工艺条件。

立方氮化硼试生产合成工艺如下:

合成设备:国产 DS-023 型铰链式六面顶压机

原材料:六方氮化硼(天津红旗化工厂产一级品或二级品)

触媒:镁粉(101 厂产,粒度 $100^{\#} \sim 200^{\#}$,纯度 99%)

触媒用量:六方氮化硼与镁粉重量比为 9:1

叶蜡石立方体:28 mm×28 mm×28 mm

试棒直径 ϕ : 9.3 mm×13 mm

合成压力:59 000 kg/cm²(表压 1 000 kg/cm²)

表压 500 kg/cm²时加温,温度控制到合成棒砸开后断面呈白色筛带黑点到发亮的黑色,保温时间为 2 min。

在上述合成条件下平均单产量约 1.5 克拉,其中粒度 $\geq 150^{\#}$ 的约占 50%,粒度 $80^{\#}$ 样品的抗压强度约 1.5~2.0 kg/cm²。

试生产的立方氮化硼多为不完整黑色晶体(透光下观察为深咖啡色,半透明),较大晶体尺寸为 300 μm ,样品的物理机械性能:

显微硬度:6 492~9 340 kg/cm²

热稳定性:1 340 $^{\circ}\text{C}$ (空气介质中)

比重:3.465~3.485 kg/cm³

由于合成时顶砧寿命较高,原材料能充分利用,分选提纯费用较低,因此,立方氮化硼的生产成本略低于或大体接近 JR1 型人造金刚石,可以投入工业生产。

1.1.2 若干发展阶段

1.1.2.1 缓慢发展期

从 1967 年至 20 世纪 80 年代中期大约 20 年,是缓慢发展期。

1966 年立方氮化硼在我国问世后,由于当时技术稳定性限制,加之当时我国基础工业薄弱,机械工业落后,工业需求不如金刚石那么迫切。到 1970 年也仅在部分刀具的加工中得到了一定的应用。用于立方氮化硼触媒合成材料仅有单一的金属镁,合成技术和生产发展非常缓慢,只能生产一种灰黑色、晶型差如“煤渣”状的 I 型产品;合成腔体小,最大腔体直径只有 $\phi 14$ mm;产量低、合成稳定性差。从事 cBN 试验及生产也仅有寥寥几个国营单位,如郑州磨料磨具磨削研究所、第六砂轮厂、第二砂轮厂等。直到 1980 年,10 年间全国立方氮化硼总产量才仅为 60 余万克拉,产量及应用水平与国外差距明显。1983 年第六砂轮厂立方氮化硼 cBN—I 型单次产量达 2.4 克拉以上, $150^{\#}$ 以粗比例达 64% 以上, $80^{\#}$ 抗压强度达 2 kg/cm² 以上,为我国生产 cBN 微粉、cBN 刀具、cBN 磨具提供了优质原料,给行业的技术发展打下了基础。

1.1.2.2 发展活跃期

从 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期大约 10 年,是发展活跃期。

进入 20 世纪 80 年代,随着汽车、航空航天、机械电子、微电子等工业的发展,为我国立方氮化硼发展注入了新的活力。对外技术交流开始活跃,与日本、美国、苏联等技术交流频繁。

1983 年,日本国立无机材质研究所的福长修来到郑州三磨所访问,进行了立方氮化硼合成的技术讲座及交流,对新型化合物触媒、如何合成好的立方氮化硼晶体等内容做了专题讲解。

1987 年,同为无机材质研究所的远腾忠来到郑州三磨所做立方氮化硼合成技术报告,指出合成高品级的立方氮化硼必须用高纯度的复合触媒如 $\text{Mg}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 、 $\text{Ca}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 、 $\text{Sr}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 、 $\text{Ba}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 等,并在铰链式六面顶压机上进行了合成试验,对我国的研究启发很大。

郑州三磨所、吉林大学、中科院长春应用化学研究所等几个骨干科研单位,开始重视和加大对立方氮化硼合成技术研究的投入。通过对原材料、触媒及合成技术等进行开发研究,采用新的触媒陆续取得进展,产生了一系列科研成果,合成出各种色泽的高品级立方氮化硼,并逐渐由实验室向小批量中试过渡。

在这期间出现了一批强有力的团队,分别是:

郑州三磨所王光祖教授等的研究团队。王光祖教授指导研究生张相法开展了六方氮化硼性能对立方氮化硼合成影响的系统研究,研制新型氮硼化合物触媒,合成琥珀色、黑色等品种的立方氮化硼。1991 年和 1993 年王光祖、张相法等在全国第六届和第七届全国高压学术讨论会上发布,包括:《六方氮化硼结晶度对立方氮化硼合成的影响》《Mg-BN 系中 B_2O_3 对 cBN 晶体生长的影响》《国内外几种典型 hBN 的性能特点》《高温高压下水白色 cBN 晶体的合成》《高压高温下 hBN 的再结晶》;还有徐国泰高级工程师、刘祥慧工程师的生产及科研团队,开展镁基多元合金触媒的研究,1989 年 12 月“优质 cBN 合成系统工艺”通过机械部科技成果鉴定,黑色 II 型 cBN 投入生产。

吉林大学张铁臣教授、马文俊讲师等的研究团队。研究成果在 1991 年和 1993 年全国第六届和第七届全国高压学术研讨会上集中发布,包括:《不同颜色立方氮化硼的合成及耐热性的研究》《大颗粒立方氮化硼单晶的合成》《六角氮化硼的氧化特性对立方氮化硼合成的影响》《立方氮化硼合成中的金属膜》《Me-B-N (Me=Mg、Ca) 体系中 cBN 的生长机制》《MgO 对使用 Mg 系触媒合成 cBN 的影响》《Mg-B-N 系中毫米级单晶的合成》《高压合成 cBN 的颜色》《提高立方氮化硼产量的一种新的组装方式》。

中科院长春应用化学研究所闫学伟研究员、崔硕景研究员等的研究团队。1988 年发表了《高压合成立方氮化硼的新触媒材料》,这是国内第一篇有关合成立方氮化硼用新触媒材料 $\text{Mg}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 及 $\text{Ca}_3\text{B}_2\text{N}_4$ 的论文,其后续研究成果及样品在庐山全国立方氮化硼行业研讨会和第六、第七届全国高压学术研讨会上发布,包括:《高压高温下 hBN-cBN 转化行为的研究》《立方氮化硼的振动光谱与反射光谱的研究》《立方氮化硼高压合成腔体中压力和温度的分布、动态过程及其对产物影响的研究》《乳白色立方氮化硼的高压合成》。