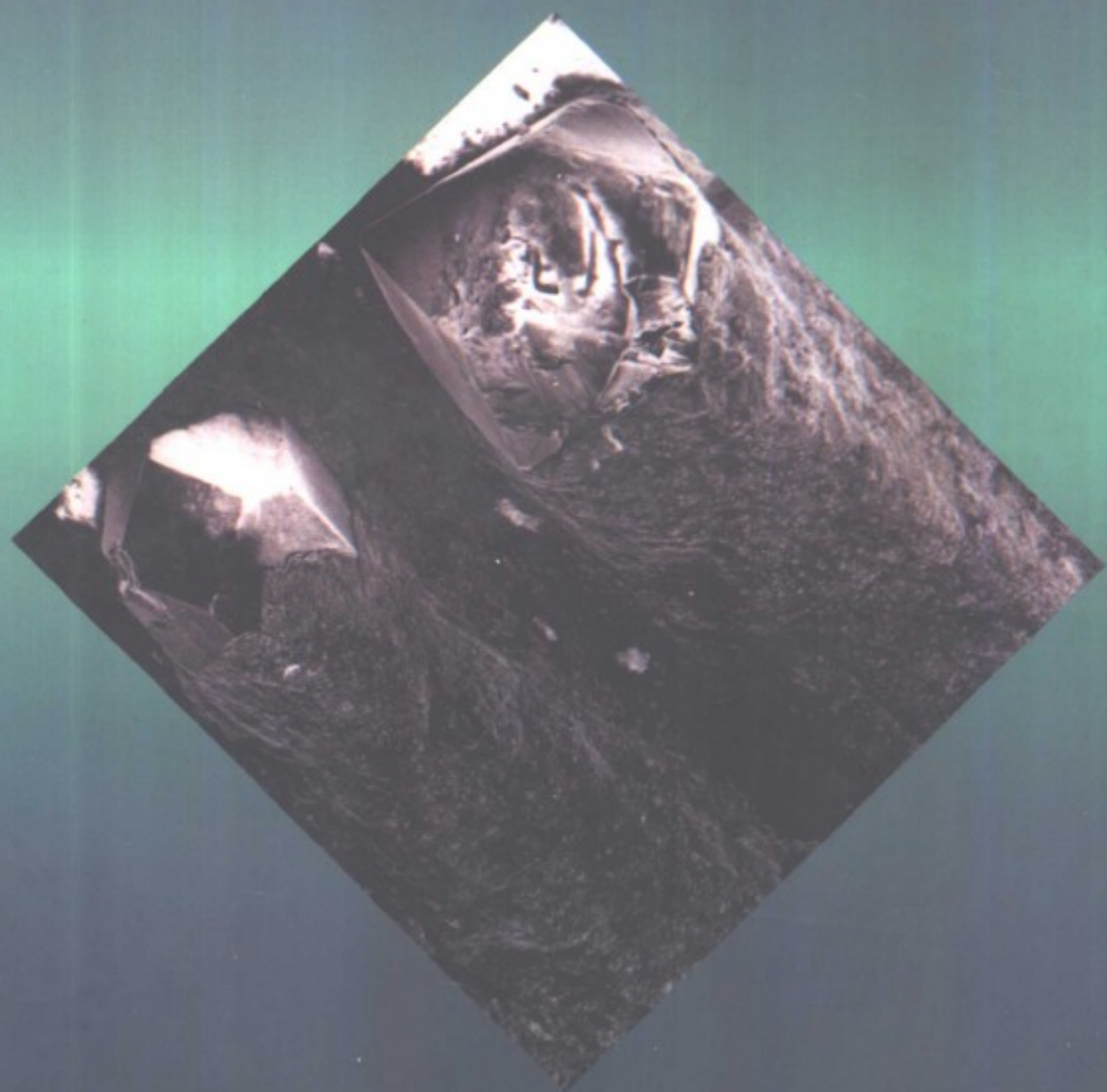
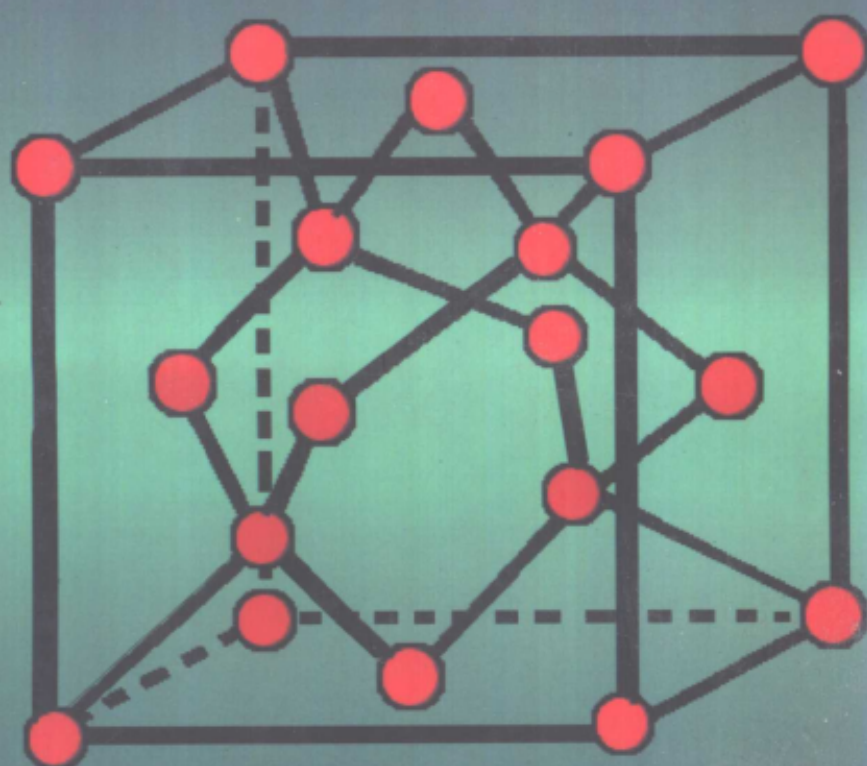


金刚石工具 与金属学基础

孙毓超等 编著



中国建材工业出版社



ISBN 7-80090-940-9



9 787800 909405 >

ISBN 7-80090-940-9/TG · 1

定价: 80.00 元

金刚石工具与金属学基础

孙毓超 刘一波 王秦生 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

金刚石工具与金属学基础/孙毓超等编著. - 北京:中国建材工业出版社,1999.10

ISBN 7-80090-940-9

I. 金…… II. 孙…… III. ①金刚石-金属加工-工具 ②金属学 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 36644 号

内 容 简 介

本书基于作者多年从事金刚石工具的科研和生产实践,并参阅大量中外有关文献编著而成。全书共九章,内容包括:常用金属粘结剂的种类与性能及工具胎体中元素的行为;金属(合金)对金刚石的润湿;金刚石表面金属化的方法及热力学机制的探讨;聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼的反应烧结和质量控制;电镀金刚石工具的电沉积原理和电镀工艺控制;工具和工具中金刚石的破坏形态分析;金刚石工具烧结理论与合金化等。本书还介绍了现代金相技术与装备及其在金刚石工具中的应用、相图基础等。

本书可供金刚石工具行业科研、生产及应用部门的工程技术人员参考,也可供大专院校师生在教学和学习中参考。

金刚石工具与金属学基础

孙毓超 刘一波 王秦生 编著

沈主同 主审

执行编辑 金京仙

责任编辑 赵从旭

封面设计 李秀琴 陈晓

中国建材工业出版社

(北京百万庄国家建材局内 邮政编码:100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

北京东燕郊冶金印刷总厂印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 30.5 字数: 730 千字

1999 年 10 月第一版 1999 年 10 月第一次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 80.00 元

ISBN 7-80090-940-9/TG·1

序

1963 年至今已是 36 个年头了。自那时起,我国以人造金刚石为主的超硬材料与工具(制品)领域从无到有,从实验室发展到具有一定规模的新兴产业,尤其在改革开放的大好形势下,超硬材料与工具的科技队伍、科技内容、产业规模和行业发展等方面都有了长足的进步,并在我国科技和工业等部门中发挥着越来越重要的作用。事实表明,我国超硬材料和工具工业的发展是相当迅速的,受到国内外相关行业和各界人士的密切关注。然而,从跨世纪的角度来看,我国超硬材料和工具工业在发展战略和现实发展状况同世界先进工业国家和国际集团公司相比,无论在产品质量、品种和系列方面,还是在理论和方法、工艺和技术、设备和装置等方面,都有相当大的差距,并在有些关键方面存在着不断扩大差距的趋势。显然,我国超硬材料和工具工业正面临着严峻的挑战。

当前,我们正处在一个科教兴国的重要时代,正面临向 21 世纪迈进的承前启后的关键时刻,只有抓住科技兴业的机遇,制定超硬材料与工具科技创新的战略和对策,才能把现有超硬材料与工具向优质、高产、低消耗的方向发展,才能扩展超硬材料与工具的品种,才能增加超硬材料与工具的系列,才能研究开发出各种新型高级超硬材料与工具。这样,我们才能主动地迎接挑战,振兴超硬材料与工具行业。只有这样,我们才能迅速赶超世界超硬材料与工具工业先进水平,为我国创造更大的经济效益和社会效益,为增强我国综合国力作出应有的奉献。

36 年来的实践表明,超硬工具同超硬材料一样具有科技含量高、应用范围广和经济效益大等特点,它们的发展是相辅相成、相互促进、唇齿相依、休戚相关、患难与共的。因此,振兴超硬行业,既要抓超硬材料科技创新的能力,也要抓超硬工具科技创新的能力。

《金刚石工具与金属学基础》一书的编著者孙毓超教授级高级工程师以金属材料学(包括金属学、粉末冶金学、合金化理论等)为主线,结合自己在科技和生产实践中的工作经验和体会,提出编写大纲

和写作分工,几位同志历时两年撰写而成。在撰写中重视了排除已有科技书籍中一度出现的那种拼凑着不知来源和缺乏主线的内容、罗列着从天突降和滥竽充数的章节、堆积着五花八门和眼花缭乱的图表等惯习。该书着重阐述和讨论了金属粘结剂的性能和对金刚石的润湿特征、合金元素的作用和行为、形成碳化物的元素和金刚石键合反应、工具中金刚石的破坏形态和工况分析、烧结过程和扩散等问题。此外,还对电镀金刚石工具(由王秦生教授编写)、聚晶烧结体和复合片工具(由刘一波博士编写)的质量控制、微观机制和现状作了综合介绍。全书理论联系实际,汇集或综述了国内外有关科技和生产中的进展,收入了作者在研究和实践中的有效科技成果,简介了金属粉末性能测定及其相关的现代金相测试技术,具有理论和应用的指导意义。该书的出版,一定能进一步推动广大从事超硬工具科技和生产的工作人员重视和提高不断创新能力的主人翁自觉性,同时亦将激励更多作者撰写出有利于提高超硬工具科技不断创新能力的书籍来,以振兴超硬工具,推动超硬行业更上一层楼。

沈主同

1999年6月6日

前 言

金刚石工具材料学是新兴的发展前途十分广阔的科学技术,已经在国民经济和新材料工程中显示出愈来愈重要的地位。为了更有力地推动金刚石工具材料科学技术发展,加快培养金刚石工具材料科学技术人才,编著者基于多年从事金刚石工具的科研和生产技术工作实践,在一系列有重复性的基础测试分析结果的基础上,参阅并引用中外有关文献撰写而成《金刚石工具与金属学基础》一书。目的是使本专业的教师、学生和从事该专业的工程技术人员,充实金属学方面的基础知识,了解和掌握开发金刚石工具必备的基础测试技术和装备,以求通过对材料的组织、结构的控制,来改善工具的性能,并逐步探索金刚石工具材料的组织和性能之间的定量联系。

本书的编写以金属材料学为主线,用基础测试结果结合生产研究实践进行机理探讨,力求使读者易于领会;某些研究实验结果已涉及到超硬材料学科的前沿工作,这缩短了本书和目前科研、生产实践的距离。同时对与金刚石工具关系密切的现代金相技术及装备、倒易点阵、中子衍射、相图基础知识和常用二元、三元合金相图也给予一定篇幅的介绍,使读者方便查找。

本书绪论、第一章至第五章、第八章、第九章由孙毓超编写;第六章由北京钢铁研究总院刘一波博士编写;第七章由郑州工业高等专科学校王秦生教授编写。刘一波并参与了部分汇稿工作。全书由孙毓超统稿总成。

全书由北京钢铁研究总院高压与超硬材料研究与开发中心主任、中国物理学会高压物理专业委员会副主任沈主同研究员审查、修改后定稿,在此谨致谢忱。

在本书编写期间,国家冶金工业局地质勘查总局、第一地质勘查局、北京钢铁研究总院、北京有色金属研究总院、北京科技大学、郑州工业高等专科学校等有关单位的领导和专家、企业界的领导和专家,对本书提出很多宝贵的意见,并给予了极大的支持;第一地勘局总工办李秀芹高工、陈晓等,信息中心邸文柱高工、金京仙工程师等,对本书打印排版编辑给予的支持;燕郊金刚石工业公司钟铷为全书描图,谨此致以谢意。

由于编写人员水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

1999年7月

目 录

序	I
前言	III
绪论	1
第一章 金属与合金的晶体结构、缺陷、扩散及合金热力学初步	6
第一节 晶体学基础	6
1.1 空间点阵的概念	6
1.2 晶体结构与空间点阵	9
1.3 晶面指数与晶向指数	9
1.4 晶带与晶面间距	11
1.5 晶体的对称性	12
第二节 金属的晶体结构	14
2.1 典型的金属晶体结构	14
2.2 晶体中原子的堆垛方式	17
2.3 晶体结构中的间隙	18
2.4 原子半径	19
2.5 亚金属的晶体结构——金刚石结构	20
第三节 合金相结构	21
3.1 固溶体	21
3.2 中间相	25
3.3 间隙相和间隙化合物	27
第四节 金属晶体的缺陷	30
4.1 点缺陷	31
4.2 位错概念	33
4.3 位错运动和位错弹性性质	35
4.4 金属界面	42
第五节 固体金属中的扩散与合金热力学初步	48
5.1 扩散定律	48
5.2 合金热力学初步	66
第二章 金属粘接剂及合金元素的作用	75
第一节 常见的金属粘接剂	78
1.1 青铜基粘接剂	78
1.2 白铜基粘接剂	80
1.3 黄铜基粘接剂	83
1.4 铜基粘接剂	84
1.5 钴基粘接剂	85
1.6 铁基粘接剂	86

1.7	镍基粘结剂	90
1.8	钨(碳化钨)基胎体合金	91
1.9	铝基粘结剂	92
第二节	粘结剂中元素的行为	94
2.1	铜(Cu)在粘结剂中的行为	95
2.2	锡(Sn)在粘结剂中的行为	96
2.3	锌(Zn)在粘结剂中的行为	96
2.4	铝(Al)在粘结剂中的行为	97
2.5	铁(Fe)在粘结剂中的行为	99
2.6	钴(Co)在粘结剂中的行为	100
2.7	镍(Ni)在粘结剂中的行为	101
2.8	锰(Mn)在粘结剂中的行为	102
第三节	骨架材料元素和化合物	104
3.1	碳化物骨架材料	104
3.2	难熔金属元素骨架材料	105
第四节	碳化物形成元素的行为	105
4.1	铬(Cr)的行为	106
4.2	钨(W)的行为	107
4.3	钛(Ti)的行为	109
第五节	特种作用金属和非金属元素的行为	113
5.1	镧(La)和铈(Ce)的行为	113
5.2	硅(Si)的行为	120
5.3	硼(B)的行为	121
第三章	金属和合金对金刚石的润湿及金刚石表面金属化	123
第一节	金属(或合金)对金刚石的润湿	123
1.1	相关概念	123
1.2	金属(或合金)对金刚石的润湿	128
1.3	高温固相金属与金刚石的作用	134
第二节	金刚石表面金属化	140
2.1	概念、分类与实施途径	141
2.2	金刚石表面金属化	141
2.3	有界面反应的金刚石表面金属化	141
2.4	金刚石表面金属化的热力学机制描述	146
2.5	金刚石表面金属化对工具性能的影响	157
2.6	国内金刚石表面金属化研究工作情况	158
第四章	烧结与烧结合金化	159
第一节	固相烧结	159
1.1	金属混合粉末压坯的固相烧结	160
1.2	关于烧结机构	161

第二节 液相烧结	165
2.1 液相烧结阶段划分	166
2.2 液相烧结的优缺点	167
2.3 液相烧结的应用	167
2.4 液相烧结的组织机构	168
2.5 液相烧结时液相对固相的润湿	169
2.6 孔隙度和孔隙形状	172
2.7 液相烧结中晶粒尺寸和形状	172
第三节 金属粉末的热固结	173
3.1 热压	174
3.2 烧结气氛的热力学基础	175
3.3 有关致密化理论的简单介绍	177
第四节 通电热压烧结	179
4.1 电阻热压烧结	179
4.2 电火花热压烧结	181
4.3 烧结与合金化对工具性能的影响	184
4.4 电火花烧结对人造金刚石强度的影响	187
4.5 人造金刚石的热强特性与烧结工艺	194
第五节 其它热压烧结	197
5.1 中频热压烧结	197
5.2 外热式热压烧结	199
第五章 工具及工具中金刚石的破坏形态	200
第一节 金刚石工具种类的划分	200
1.1 按制作法分类	200
1.2 按用途分类	200
1.3 按粘结剂分类	201
第二节 金刚石工具常见的破坏形态	202
2.1 地质钻头的几种常见破坏形态	202
2.2 框锯焊后基体变形与掉齿	208
第三节 工具中金刚石的破坏形态	212
3.1 金刚石的特性	212
3.2 工具中金刚石出刃形貌与受力状态	217
3.3 金刚石出刃高度的定义与测定	222
3.4 影响出刃高度的主要因素	224
3.5 钻头金刚石出刃高度对钻进性能的影响	225
3.6 金刚石常见破坏形态记录与分析	227
3.7 金刚石破坏形态分析后的几点看法	238
第六章 超硬材料烧结体	240
第一节 发展概述	240

1.1	简介	240
1.2	种类	240
1.3	特点和应用	241
第二节	超硬材料烧结体的制造与性能测试方法	243
2.1	制造工艺流程	243
2.2	性能测试	244
第三节	金刚石烧结体制造技术	248
3.1	金刚石聚晶与复合片的粘结剂	248
3.2	影响金刚石烧结体性能的主要因素	250
3.3	金刚石烧结体的组织、结构与性能	256
第四节	PCBN 烧结体	260
4.1	PCBN 的粘结剂	260
4.2	Al - TiC _{0.5} - B 系烧结 PCBN 的试验结果	262
4.3	PCBN 的相分析和显微组织分析	268
第五节	PCBN 的反应烧结机理与烧结体强化	276
5.1	粘结剂的作用及对性能的影响	278
5.2	cBN 原始粒度对 PCBN 性能影响	279
5.3	PCBN 的反应烧结机理	280
5.4	PCBN 烧结体的强化	285
第七章	电镀金刚石工具与材料学基础	286
第一节	超硬材料电镀制品概述	286
第二节	基体表面镀前处理	288
2.1	基体	288
2.2	基体表面镀前处理	289
第三节	金属电沉积	291
3.1	概述	291
3.2	电极过程动力学	295
3.3	电镀溶液中的导电和传质过程	297
3.4	金属离子的阴极还原	299
3.5	金属电结晶	300
3.6	合金电沉积	306
3.7	金属电沉积过程中的阴极析氢	309
3.8	电镀中的阳极过程	313
3.9	金属镀层分布	316
第四节	超硬材料与金属的复合电镀	319
4.1	超硬材料复合镀层概述	319
4.2	超硬材料复合镀层电镀工艺的基本要求	324
4.3	电镀液的成分及其作用	325
4.4	电镀工艺条件	332

4.5	超硬材料复合镀的有关计算	335
4.6	典型制品的制造工艺举例	337
第八章	金属粉末性能测定、现代金相技术及其在金刚石工具中的应用	340
第一节	金属粉末性能测定与相关仪器简介	340
1.1	金属粉末性能测定	340
1.2	成分、组织、结构的测定	351
1.3	扫描图象显微镜	357
1.4	倒易点阵	357
1.5	电子衍射和中子衍射	365
第二节	现代金相技术简介	367
2.1	扫描电镜(SEM)	367
2.2	电子探针	373
2.3	透射电镜(TEM)	375
2.4	Auger 电子谱仪和低能电子衍射仪	377
2.5	超高压电镜的发展	377
2.6	结语	379
第三节	现代金相技术在金刚石工具中的应用举例	380
3.1	扫描电镜	380
3.2	电子探针	392
3.3	透射电镜(TEM)	394
第九章	相图基础及常用二元、三元相图	396
第一节	相图基本概念	396
1.1	固态合金的相	396
1.2	相律和杠杆定律	400
第二节	二元合金相图	401
2.1	匀晶相图	401
2.2	共晶相图	402
2.3	包晶相图	403
2.4	具有金属化合物的相图	403
2.5	具有固态相变的相图	404
第三节	三元合金相图	404
3.1	三元相图的表示方法	405
3.2	三元系中的直线法则、杠杆定律及重心法则	406
3.3	三元匀晶相图	407
3.4	三元共晶相图	408
第四节	常用二、三元合金相图	409
4.1	二元相图	409
4.2	三元相图	445
参考文献		474

绪 论

1. 若干回顾

还在 18 世纪末人们就已测定出金刚石和石墨都是由碳组成的, 而且人们早就意识到人造金刚石代替天然金刚石的重要性, 于是人造金刚石的探索研究不断地、时起时伏地蓬勃开展起来^[1]。经过较长时间的艰难历程, 终于在本世纪 50 年代中期国际上首先由美国和瑞典有关实验室各自报道了采用两面顶、六面顶静态超高压高温技术和触媒方法(简称为静压熔媒法), 合成出金刚石小晶体的研究成果^[2,3]。随后, 南非、前苏联、日本等国的有关实验室和机构也分别报道了获得相应重复性的实验结果。从此, 人造金刚石为主干的超硬材料及工具(制品)行业开辟了新纪元。

国际上人造金刚石的重大进展, 受到我国领导人和科技界、工业界的高度关注。我国自然科学十二年规划和工业建设发展计划中列进了有关人造金刚石的重点科研项目和攻关任务, 并在 50 年代末和 60 年代初分别组织筹建与实施。我国从事人造金刚石工作的科技人员认真承担着国家的重托, 积极克服着重重困难, 默默为公拼搏奉献。1963 年分别在我国有关实验室和单位各自采用四面顶和两面顶静压熔媒法在国内首次成功进行了人造金刚石的实验, 并在 1964 年第三届全国晶体生长会上同时宣布了该项重要实验结果, 报道了静态超高压高温技术、人造金刚石热力学和动力学等若干研究进展^[4]。接着, 在 1965 年还成功进行了立方氮化硼的实验。随后, 我国就展开了人造金刚石小晶体的中试、人造金刚石大颗粒多(聚)晶体的研制*、人造金刚石形成机理的研讨和人造金刚石工具(制品)的制造等工作, 其中人造金刚石中试生产设备选型和建立六面顶压机、聚晶体研制中采用钛硅硼等掺杂物强化晶界以提高耐热性能和组成特种界面结合状态以提高整体性能、形成机理研讨中有关掺杂效应和熔媒效应的实验分析等均有独到之处或具有赶超世界先进水平的内容。这些都是我国科技规划指导和工业建设发展推动的结果, 也是我国从事人造金刚石工作全体人员奋发图强、辛勤劳动的必然结果。

60 年代中期, 对人造金刚石中试生产设备选型, 是经过对国内外情况, 特别是结合我国实际反复推敲和研讨后才确定的。当时国际上已公开报道的可用于合成金刚石的静压

* 关于金刚石晶体的分类主体名称问题, 国内外正规出版的科技文章和书籍中, 从凝聚态物理学、晶体生长、矿物学、硅酸盐材料等角度, 只确认分为单晶(体)和多晶(体)。天然多晶金刚石(天然金刚石多晶体)中为人类所关注的, 并有专称为卡邦纳多(carbonado)和巴拉斯(ballas), 其力学性能十分优良, 在钻探技术中往往优于大单晶, 但十分稀少。人造多晶金刚石中受到人们所重视的为静压掺杂法烧结多晶金刚石, 若不加说明时的人造多晶金刚石、多晶金刚石、金刚石多晶体、烧结多晶金刚石、多晶金刚石烧结体、金刚石多晶烧结体、烧结体、多晶体、金刚石烧结体等均属通称, 具有广泛应用价值和占有重要生产地位。其它还有静压熔媒法生长多晶金刚石和低压气相外延法生长多晶金刚石薄膜(金刚石多晶薄膜)。由于从事人造金刚石工作的人员来自多个专业和多种行业, 因此对静压掺杂烧结多晶金刚石又加以相应的色彩, 如金刚石陶瓷(体)等。国内在这方面的称谓更为活跃, 其中用聚晶已成为企业的惯称, 译成外文仍保持意为多晶。本书中相应把主体词称为多晶、烧结体和聚晶。若有它意, 将加词说明。

设备类型较多^[5]，并且报道了 $6 \times 27\text{MN}$ ($6 \times 2700\text{t}$) 铰链式压机的图片和有关示意图及校压测试结果^[6]。静压设备归纳起来大致有三类，1. 单压力源压机上采用对顶压砧——压缸式容器，具体称为环状容器、年轮容器等，我国惯称为两面顶；2. 多压力源压机上采用油缸活塞前端的压砧组成为四面体型、六面体型容器等，由于我国把压砧惯称顶锤，所以相应惯称为四面顶、六面顶等；3. 单压力源压机上采用对顶凹砧式容器、紧装四面体型、六面体型容器，一般相应称为凹砧、单压力源紧装四面顶和六面顶等。显然，在选型问题上，既要考虑到各种类型静压设备在技术上的特点、长处和短处^[7]，也要考虑到人造金刚石生产对设备的基本要求和今后中、大型化的可能性，更要考虑到我国工业发展的现实水平和实施部件、整体加工制造的可靠性等。在选型过程中基本上对前述考虑作了综合处理，所以 $6 \times 6\text{MN}$ ($6 \times 600\text{t}$) 铰链六面顶压机（设备）的设计基本上是合理的，在此后的几十年的生产中发挥了重要作用，并随着我国工业的发展逐步，不断向中、大型化迈步前进。当然，这种压机本身，尤其是向中、大型化发展过程中，需要在技术上进一步完善与提高。例如，压机需要改善同步性和对中精度，合理选择加载和回程油压及其速度的可变性，提高保压能力和控制水平，提供便于人工和机械调砧（锤）、换砧、维修和操作的空 间条件；改善加热系统和控温技术等。这些问题，有的是当时只有合成一般小晶体的实践所制约而造成的，有的是在生产中和向高级小晶体生产发展过程中才显露出来的。这些问题的存在并非是六面顶压机本身不能或难以生产高级人造金刚石的主要原因。从目前设备和工艺状况来看，矛盾的主要方面在于工艺，只要高级产品的工艺能提出明确的技术要求，现有设备经过相应的完善，甚至改造，还是可能适应工艺要求的。事实上，国外的两面顶压机和工艺也是在使用和发展过程中不断完善和改造后才有现在的状况。我国的两面顶压机和工艺更是在使用和引进国外两面顶压机过程中有所启发、移植、消化等才有今日的。当然，怎样根据我国六面顶的实情，把已取得的两面顶工艺精华，有选择地参照或移植到六面顶上来，这是有意义的。然而，从根本上来分析，关键还在于我国应加强发展人造金刚石等超硬材料和工具制造的工艺理论水平，从而能具体指导这种条件下特殊相变特种晶体生长和相应的工具（制品）制造工艺。显然，这种相变和晶体合成的过程是复杂的，其机理是多元的和精细的历程，用局部的一个简单模型或唯象概念不能代替整体的、真实的本质，也不能进一步完善和发展相应的形成机理、工艺理论和具体工艺。静压设备人造金刚石等超硬材料具有单机生产的性质，在单机上研究、开发、中试性的工作有利于生产工艺的合理化，有利于生产技术的提高，有利于形成生产力。显然，压机的中、大型化是有利于高级小单晶与大颗粒多晶金刚石生产工艺的实施和改善的，在技术上不会存在鸿沟的。这些是应予以重视的。至于在中、大型化方面我国选型以那种为主的问题，一方面要参照 60 年代中期选型过程中综合考虑种种的类似情况，另一方面还应着重结合当前的实际，如 1. 六面顶在我国几十年来的人造金刚石生产中发挥着重要作用，似已遍地开花，若予以一定的完善，甚至改造，是否可能和应该发挥更大的作用；2. 我国已引进了相当数量的中、大型化的两面顶，至今并没有运转起来，更谈不上投入市场显示实力；3. 我国现有少量的国产化的两面顶，从单机角度已向中、大型化发展，所生产的高级小单晶在市场上的竞争能力情况是否作过实际测算分析。这些也是应予以重视的。总之，既然生产设备大型化问题已经提出来了，并且有种种说法，那就应引导综合种种考虑，予以统一处理。众所周知，前面所涉及到的事，都是由人来进行实施的，因此提高从

事人造金刚石行业的工作人员科技和管理素质,就更为关键,更为重要。

60年代末,冶金部地质勘探部门的领导向有关科研单位通报,所提供的人造金刚石小晶体制成的孕镶钻头在台架钻进试验表明有可能取代当时采用的钢粒钻进技术;同时提出有一种呈黑色或灰色的天然金刚石团块,对冶金地质和石油等勘探与开采用的表镶钻头十分重要,但天然矿和产量十分稀少,急需用人造金刚石代替天然金刚石。经调研,在60年代初国际上就对此类多晶金刚石进行人工合成的实验,并在60年代末有所进展。1970年美国G.E.公司宣布,并随后进入市场的多晶金刚石复合片,被称为具有划时代意义。这种产品具有优良的耐磨和抗冲击性能,而耐热温度只有700℃左右。据称是采用Sweep Through Catalysed Recrystallization,即国内译为扫越式催化再(重)结晶方法制成的,并称所用金属钴为粘结剂或结合剂。经测试分析表明,我国在静压下烧结与生长所得到的多晶金刚石其烧结过程中所用非金刚石等元素和化合物的作用已非一般粘结剂或结合剂的作用,具有更为复杂的效应,需要进一步深入研究这种异质效应。晶体生长科学与技术中将这种异质物亦称掺杂物,掺杂剂的作用称为掺杂效应。由此可见,这种复合片是在高压高温下主要采用硬质合金基片中金属元素钴通过掺杂扩散,发生掺杂效应使金刚石层中颗粒间、基片层中颗粒间、金刚石层同硬质合金层之间,结合成一个整体。这种方法的实质仍是属于(静压)掺杂法烧结技术中的一种,具体可称为(静压)掺杂扩散自体烧结技术*。由于当时我国的表镶钻头采用较高温度($\geq 1100^{\circ}\text{C}$)才能保证有效钻进质量,所以在实际需要推动下就着重研制具有较高耐热性、耐磨性和抗冲击强度的大颗粒多晶金刚石,才有重要价值。在掺杂物与金刚石相互作用——掺杂效应研究的基础上,采用钛硅硼等二元和三元掺杂物强化晶界烧结方法,研制成功具有耐热性达1100~1300℃并有较高耐磨性和抗冲击强度的多晶金刚石^[8],在国内外生产中得到应用。进而在多元体系中有关凝聚相界面结合理论研究^[9,10]的基础上,采用自体键合状态的模糊效应方法,研制成功具有特种界面结合状态的新型高级大颗粒多晶金刚石^[10],其产品从1993年起逐步进入商品市场,显示出其重要特色。根据金刚石多晶体中界面结合的特征,把这类产品分为普通和高级及其过渡型品级是有利于研究与应用的^[7]。至于立方氮化硼多晶体的制备方法十分类似于金刚石多晶体,只是成团所需要的压力前者低于后者。由于立方氮化硼和立方金刚石的晶体结构十分接近,所以一些性能也十分近似。但立方氮化硼的耐热性比金刚石高,而耐碱能力、耐磨性和硬度均次于金刚石。立方氮化硼易同碱金属、碱土金属发生化学反应,而金刚石则易同过渡族金属发生化学反应。这些必然在其多晶体的性能方面相应的表现出来。因此,探索具有相当或高于金刚石硬度和同时具有耐高温、耐化学反应的新型超硬材料或在金刚石的基础上予以相应的改性等有关前沿性研究与开发工作正在进展中^[11]。

2. 有关现状和发展

自90年代以来,我国人造金刚石工业曾历经两三年的过热发展,盲目上马的厂点很多,其中大多数不具备生产人造金刚石的能力,规模太小、技术人才短缺,再加上市场不

* 在具体实施方案中可把金刚石小晶体或同一一定量的石墨粉混合后作为金刚石层用料。在复合片制备方面,也有把已制成的金刚石片同硬质合金片通过焊接技术形成整体。此外,还有夹心式复合片和柱式径向复合体等等。关键是质量。

规范,使国有企业经受极大的冲击,自1993年下半年整个行业滑坡,步入低谷。

1995年以后,国有企业强化了管理,有一定规模的乡镇企业包袱小,机制与国有企业截然不同,渐渐走出低谷。那些规模小、经营不善的小厂点相继跨掉,开始了规模化和集约化经营,有实力的企业通过低成本扩张,兼并小厂,金刚石行业出现复苏的势头。尽管多数企业资金短缺,金刚石行业的技术进步,仍有相当大的进展。

人造金刚石的制作成本大幅度降低。生产万克拉金刚石顶锤消耗由20kg/万克拉,下降到10kg/万克拉左右,甚至有的企业低达2~3kg/万克拉。

合成装备的大型化和合成腔体的扩大,越来越被企业接受。单缸压力12MN和13.5MN压机已投入商品化生产,Φ35腔体合成工艺研究进展顺利。

新型粉末触媒合成工艺,在提高六面顶压机合成金刚石单产、改善金刚石质量、提高粗粒比都已收到了初步的效果。

此外,在压机工作时温度压力的精细控制和快速电解的推广应用都引起了企业的极大关注。

人造金刚石工具的用途很多,可用作磨具、锯切工具、钻具、刀具、拉拔工具、修整工具和其它工具。

人造金刚石小晶体,按其质量和粒度可分别制成磨具、锯切工具和孕镶钻具。磨具可用于陶瓷、耐火材料、硬质合金、宝石、石墨、玻璃等有色金属和非金属材料进行研磨、抛光、切割等。锯切工具主要用于石材、陶瓷、耐火材料、半导体、宝石、电碳制品和木材等切割;还可用于机场跑道、水泥马路、建筑结构件的切割和切槽,甚至作为家庭使用工具。孕镶钻具主要用于地质、石油、煤田、各类工程施工中硬质性的勘探与开采,也用作家庭使用工具。

人造大颗粒金刚石,按其质量和尺寸分别可制成表镶钻具、刀具、拉拔工具、修整工具和其它工具。表镶钻具主要用于地质、石油、煤田等软质或介硬软质性的勘探与开采,具有较高的钻进效率。刀具主要用于硬质塑料、玻璃、橡胶、碳纤维、陶瓷、耐火材料、水泥组件、铜、铝及其合金等非金属和有色金属材料的车、钻、镗、铣等加工。拉拔工具主要对铜、铝、钨、钼、镍铬、不锈钢、不锈铁、钢及相应合金进行线材或丝材的拔拉工序。修整工具一般用在普通磨具的整形、修锐和成型修整等。其它工具,如砂盘、研磨盘、抛光片等柔性工具;又如加工量具、刃具和钨钢模具的手工工具;还有用于压硬头、抗震轴承、玻璃刀、雕刻笔、医疗用具等。

人造金刚石作为工具材料按其材质和固结状态的分类,参见下表。

人造金刚石工具结构结构的种类

序号	种 类	工 具 产 品
1	细粒金刚石	研磨粉、研磨膏、研磨液、柔性工具
2	聚晶金刚石	表镶钻具、拉丝模、修整工具
3	复合片金刚石	表镶钻具、切削工具、修整工具、木工锯片
4	树脂结合剂金刚石制品	磨具
5	金属结合剂金刚石制品	孕镶钻具、磨具、修整工具、石材和建筑材料加工工具
6	陶瓷结合剂金刚石制品	磨具
7	电镀金刚石制品	孕镶钻具、切割工具、磨具、修磨工具、雕刻工具、医疗工具
8	焊接型金刚石制品	车刀、砂轮刀、压硬头、木工锯、玻璃刀和其它修整工具

人造金刚石工具领域，制作成本降低十分惊人，在激烈竞争的市场环境中，优胜劣汰，许多小厂相继垮掉。与此同时，人造金刚石工具领域的技术进步得到快速地发展。

铁基粘结剂石材切割锯片，不断完善，使用范围进一步扩大；侧向压制生产的多层刀头，使锯片的质量有一定的提高；经济实力较强的企业和研究部门已进口或购买国产的激光焊接设备，提高了焊接质量，并占有了一定份额的国际市场；工具制作装备，如程控烧结机、微型焊接机等都已投放市场；从业者越来越重视应用技术中的基础机制研究，在这方面作得好的企业和部门，生产经营的效果就好。市场的竞争，就是人才与实力的竞争，管理和经营的竞争，看不到这一点，就会在竞争中被淘汰。

国内的人造金刚石聚晶烧结体和人造金刚石与硬质合金的复合片发展很快，与国际上先进国家的差距在逐渐缩小，有的已属或正在跨入国际先进水平。在这个领域，我国具有一定的优势，应迅速增加品种、规格，扩大生产规模，可望产生更大的经济效益。

金刚石工具和先进国家相比差距更大。要在国际市场上占领一席之地，只有依靠科技进步，要瞄准目标开发，开发者必须对国外情况作到心中有数，清楚地知道本学科的前沿工作，盲目地满足于传统的观念和作坊式生产方式是不行的。相当一部分人错误地认为，人造金刚石工具谁干都行，没有什么高深的技术，再加上作坊式家庭企业投资少，曾一度使金刚石工具业搞成泡沫经济，一时间作坊式家庭企业铺天盖地，使金刚石工具的发展步入歧途。

实际上，金刚石工具是技术含量高、应用范围广和效益大的深加工领域，涉及到多种学科和行业。若能生产出性能优异的金刚石工具，不仅反映出工具制作业的发展，也能反映出金刚石及其烧结体、复合片制造业的发展以及与金刚石工具制造业相关的行业的发展。

人造金刚石单晶是决定金刚石工具质量的重要因素，金刚石单晶和金刚石工具是相互制约又相互促进的，人造金刚石主要应用在金刚石工具上，工具发展了，会给金刚石单晶开辟更大的市场，所以应该重视金刚石工具业的发展，并以工具带动工具原材料——金刚石的发展。否则会出现原材料生产过剩、金刚石工具业萎缩的局面。几年来的事实，恰恰证明了这一点，由于石材加工业的波动，使金刚石工具和金刚石市场也随之波动。

把握金刚石工具的性能和质量，绝非易事，由于制约因素多，缺乏定量的研究工作，给企业造成的影响是巨大的，金刚石工具的性能和质量涉及到金属学、粉末冶金学、电镀工艺学、热力学、晶体学、金相等，尤其是合金元素在金刚石工具中的行为机制，对金刚石工具的质量控制尤为重要。

金刚石及其工具的制造业前景是广阔的。但是，目前行业的状态很不尽人意，尤其是金刚石工具制造业，上不了水平，上不了档次，有相当一部分金刚石工具市场被国外产品占领。不尽快发展我国的金刚石工具制造业，就不会给金刚石开辟更大的市场，从而使金刚石的发展受到影响。金刚石工具能多方面反映一个国家的工业技术水平，发展金刚石工具业，需要金刚石工具业的从业人员和相关行业人员的共同努力，美好的前景必须用有关人员的辛勤劳动去换取。

* 注：本书中提到的钻具，系指钻头。如表镶钻具即表镶钻头。