



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



硬质合金

CEMENTED CARBIDE

羊建高 谭敦强 陈颢 著
Yang Jiangao Tan Dunqiang Chen Hao



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

硬质合金

CEMENTED CARBIDE

常州大学图书馆藏
Yang Jiegao Tan Dunqiang Chen Hao 著
藏 书 章



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

硬质合金/羊建高,谭敦强,陈颢著—长沙:中南大学出版社,
2012.12

ISBN 978-7-5487-0172-9

I. 硬... II. ①羊... ②谭... ③陈... III. 硬质合金
IV. TG135

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第261981号

硬 质 合 金

羊建高 谭敦强 陈颢 著

☐责任编辑 刘颖维

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷厂

☐开 本 720×1000 B5 ☐印张 32 ☐字数 619千字

☐版 次 2012年12月第1版 ☐2012年12月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0172-9

☐定 价 125.00元

图书出现印装问题,请与出版社调换

作者简介

About the Authors

羊建高，男，材料学博士，国家二级教授，江西理工大学教授、中南大学兼职教授，荣获国务院政府特殊津贴，系中国有色金属工业学术带头人，长期从事钨、钼难熔金属及硬质合金的研究、生产与管理工作。

担任《粉末冶金技术》、《稀有金属与硬质合金》、《硬质合金》、《中国钨业》等杂志编委、全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分技术委员会副主任委员、全国超硬材料专家委员会委员、中国有色金属学会粉末冶金及金属陶瓷学术委员会副主任委员，中南大学粉末冶金国家重点实验室学术委员、国家精密工具工程技术研究中心技术委员等学术职务。

主持、参加国家“863”项目、国家自然科学基金项目、国家重点技术攻关等 30 余个项目的研究工作，均取得重要成果。“切屑控制及刀具失效机理研究、系列产品开发与产业化”和“白(黑)钨矿洁净高效制取超高性能钨粉体成套技术及产业化研究”获国家科技进步二等奖，“稀土硬质合金系列产品产业化及机理研究”等项目获省、部级科技进步奖，获发明专利及实用新型专利 13 项。主编《英汉双解粉末冶金技术词典》、《钨冶金学》、《梯度及新型结构硬质合金》等学术著作，在国内外学术刊物和重要学术会议上发表学术论文 90 余篇。

谭敦强，男，博士、博士研究生导师，南昌大学材料科学与工程学院教授、中组部“西部之光”访问学者，江西省高校中青年学科带头人。长期从事有色金属材料相关的基础理论、应用技术及工程化研究，主持国家自然科学基金项目、国家“863”项目、国家科技支撑计划项目、中国博士后基金项目，江西、广东等省重点科研项目，企业横向项目等 20 余项。申请发明专利 10 余项，在国内外期刊发表学术论文 90 余篇，被 SCI、EI 收录 40 余篇。

陈颢，男，博士，江西理工大学材料科学与工程学院副教授，江西省高校中青年学科带头人、江西省新世纪百千万人才工程人选、江西省青年科学家(井冈之星)培养对象。

主要从事钨及稀土材料相关的基础理论、应用技术和产业化研究。先后主持国家自然科学基金项目、国际热核聚变实验堆(ITER)子项目、国家“863”项目、中国博士后基金项目、江西省重点科研项目及企业横向合作项目等 20 余项。在国内外刊物发表学术论文 30 余篇，获中国有色金属工业科技进步二等奖 1 项。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张懿	中国工程院院士	陈景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周廉	中国工程院院士	钟掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东(教授 中南大学出版社社长)

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 陈灿华

胡业民 刘 辉 谭 平 张 曦 周 颖

汪宜晔 易建国 李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合的金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，《有色金属理论与技术前沿丛书》计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。《有色金属理论与技术前沿丛书》瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程技术方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在《有色金属理论与技术前沿丛书》的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、研究院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010 年 12 月

前言

Foreword

硬质合金是以难熔金属硬质化合物(硬质相或陶瓷相)为基,以金属为黏结剂(金属相),用粉末冶金方法制造的高硬度、高耐磨性材料,也称金属陶瓷材料。硬质相对硬质合金贡献耐磨性,黏结相贡献韧性,普通硬质合金的这种组成导致其性能具有矛盾性。

硬质合金俗称为“工业的牙齿”,广泛用做切削刀具,冲击工具,耐磨耐蚀零部件等,在切削加工、地质勘探、矿山开采、石油钻井、模具制造等国民经济各领域发挥着重要作用。

世界硬质合金从 1923 年发明以来,人们对改善其性能的研究一直没有停止过,研究课题集中在耐磨性与韧性这对矛盾的和谐上。基于硬质合金成分、结构和性能的相互关系,通过硬质相强化,黏结相强化,高钴细晶、低钴粗晶、不均匀结构、梯度结构、表面涂层等技术制得新型硬质合金,使“双高”(高韧性、高耐磨性)性能成为可能。

硬质合金的发明和发展是材料发展史中,特别是近代工具材料发展史中的划时代变革,它对世界工业的发展起着重要的推动作用,使人类开发自然的效率成倍甚至上百倍提高,已成为现代社会不可缺少的重要材料。

本书在注重基础理论及系统性的基础上,较全面地反映了硬质合金领域中的新成果。全书共分 10 章,其中第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 10 章及第 5 章、第 8 章的部分内容由江西理工大学羊建高教授撰写,第 2 章、第 6 章、第 9 章及第 8 章、第 10 章的部分内容由南昌大学谭敦强教授撰写,第 4 章、第 5 章、第 8 章的部分内容由江西理工大学陈颢博士撰写,第 5 章的部分内容由中南大学刘咏教授撰写,第 7 章由江西理工大学郭圣达老师撰写,华南理工大学材料科学与工程学院覃业霞博士、中南大学机电学院母福生教授、李亚林老师也承担了撰写工作,最后由羊建高教授统稿、修改。

书中大部分装备图片引自湖南顶立科技有限公司产品样本。湖南顶立科技有限公司戴煜博士、谭兴龙博士、刘刚先生、戴晓蕾女士、江西理工大学材料科学与工程学院高远红、吕健、朱二涛、李建波等为本书的撰写做了大量工作；同时，在本书的撰写过程中，作者参阅了大量的文献资料，引用了部分图片，书后的参考文献仅为其中的一部分，在此特对各位文献作者和付出劳动的人们一并表示衷心的感谢。

限于作者水平和时间有限等原因，书中一定存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2012 年 11 月

目录

Contents

第 1 章 绪言	1
第 2 章 晶体结构和相平衡	5
2.1 晶体结构	5
2.1.1 WC	5
2.1.2 钴	7
2.2 二元系	9
2.2.1 W - C	9
2.2.2 Co - C	11
2.2.3 Co - W	12
2.3 三元系	13
2.3.1 WC 和其他难熔金属碳化物的相关系	13
2.3.2 W - Co - C 系中的相关系	21
2.4 不同黏结剂硬质合金的相平衡	28
2.4.1 W - Ni - C 系	28
2.4.2 W - Fe - C 系	30
2.4.3 W - Fe - Ni - C 系	34
2.4.4 W - Co - Ni/Fe - C 系	37
第 3 章 难熔金属碳化物及黏结金属粉末的制备	39
3.1 金属钨粉的制备	39
3.1.1 概述	39
3.1.2 金属钨粉的性能	40
3.1.3 钨氧化物氢还原法制取金属钨粉	44
3.1.4 钨氧化物碳还原法	69
3.2 WC 粉的制备	72
3.2.1 钨粉碳化的基本原理	72
3.2.2 碳化工艺与装备	75

2 / 硬质合金

3.2.3 超细 WC 粉末的生产	87
3.2.4 超粗 WC 粉末的生产	94
3.3 复式碳化物的制取	95
3.3.1 TiC - WC 复式碳化物的制取	95
3.3.2 TiC - WC - TaC (NbC) 复式碳化物的制取	104
3.4 其他难熔碳化物粉末的生产	107
3.4.1 相图	107
3.4.2 超细 VC 粉末的制备	111
3.4.3 超细 Cr ₃ C ₂ 粉末的制备	113
3.4.4 TaC 与 NbC 粉末的制备	117
3.4.5 ZrC、ArC、Mo ₂ C 粉末制备	119
3.5 黏结金属粉末的生产	119
3.5.1 黏结相	119
3.5.2 金属钴粉的生产	120
3.5.3 超细均匀钴粉的生产	123
3.5.4 新黏结相	129
3.5.5 镍、铁金属粉末的生产	130
3.6 超细 WC - Co 复合粉末的生产	136
3.6.1 喷雾转换法制备纳米 WC - Co 复合粉末	136
3.6.2 氧化 - 还原法制备纳米 WC - Co 复合粉末	138
3.6.3 原位渗碳还原法合成纳米 WC - Co 复合粉末	140
3.6.4 共沉淀法制备纳米 WC - Co 复合粉末	140
3.6.5 溶胶 - 凝胶法制备纳米 WC - Co 复合粉末	141
3.6.6 高能球磨制备纳米 WC - Co 复合粉末	142
第 4 章 硬质合金生产工艺与装备	144
4.1 硬质合金生产原理概述	144
4.1.1 硬质合金的组成	144
4.1.2 硬质合金生产工艺流程	146
4.1.3 硬质合金生产中的成形剂	146
4.1.4 硬质合金中的添加剂	148
4.1.5 硬质合金的成分、结构与性能的关系	149
4.2 混合料制备	149
4.2.1 配料球磨	150
4.2.2 干燥制粒	155
4.2.3 混合料的质量控制	165

4.3 成形	167
4.3.1 成形原理	168
4.3.2 成形的基本参数	171
4.3.3 普通模压成形	172
4.3.4 等静压成形	183
4.3.5 挤压成形	186
4.3.6 注射成形	192
4.3.7 成形坯的质量控制	201
4.3.8 增塑性成形坯加工	202
4.4 烧结	204
4.4.1 烧结原理	204
4.4.2 烧结工艺与装备	210
4.5 烧结后处理	225
4.5.1 热处理	225
4.5.2 研磨	229
4.5.3 硬质合金涂层	231
第5章 硬质合金材料	249
5.1 硬质合金切削工具材料	249
5.1.1 WC-Co 硬质合金	250
5.1.2 WC-Ni 硬质合金	261
5.1.3 WC-Ni-Fe 硬质合金	262
5.1.4 WC-TiC-Co 硬质合金	263
5.1.5 WC-TaC(NbC)-Co 硬质合金	268
5.1.6 WC-TiC-TaC(NbC)-Co 硬质合金	268
5.1.7 TiC(N)基硬质合金	271
5.1.8 钢结硬质合金	273
5.1.9 涂层硬质合金	277
5.1.10 梯度结构硬质合金切削工具材料	287
5.1.11 超细晶粒硬质合金	293
5.2 硬质合金冲击工具材料	309
5.2.1 不均匀结构硬质合金	309
5.2.2 超粗晶粒硬质合金	317
5.2.3 梯度结构硬质合金冲击工具材料	319
5.3 硬质合金耐磨耐蚀零部件	320
5.3.1 梯度结构硬质合金顶锤	321

4 / 硬质合金

5.3.2	复合结构硬质合金辊环	327
5.3.3	硬质合金模具	328
5.3.4	耐腐蚀硬质合金	331
5.4	硬质合金表面强化材料	332
5.4.1	超细结构热喷涂材料	333
5.4.2	球形铸造 WC	336
5.4.3	硬质合金球粒	340
第6章 硬质合金的微观结构		342
6.1	硬质合金中的物相	342
6.1.1	硬质相	342
6.1.2	黏结相	345
6.1.3	脱碳相(η 相)	347
6.1.4	非化合碳	350
6.2	显微结构参数	350
6.2.1	晶粒度	350
6.2.2	邻接度	352
6.2.3	黏结相平均自由程	354
6.2.4	孔隙度	355
6.2.5	单独相的体积比	356
第7章 硬质合金的性能与检测		357
7.1	化学成分	357
7.1.1	碳的测定	357
7.1.2	氧的测定	360
7.2	物理机械性能	360
7.2.1	密度的测定	360
7.2.2	硬度的测定	361
7.2.3	横向断裂强度的测定	364
7.2.4	断裂韧性的测定	366
7.2.5	孔隙度与非化合碳的测定	366
7.2.6	合金晶粒度及物相的测定	369
7.2.7	矫顽磁力的测定	372
7.2.8	磁饱和的测定	374
第8章 硬质合金的应用		375
8.1	硬质合金应用分类	375

8.2 硬质合金的应用	381
8.2.1 切削加工工具的应用	381
8.2.2 冲击工具的应用	418
8.2.3 耐磨耐蚀零部件的应用	428
8.2.4 硬质合金表面强化材料的应用	437
第9章 硬质合金废料的高效利用	448
9.1 破碎处理	448
9.1.1 基本原理	448
9.1.2 工艺流程	448
9.1.3 再生硬质合金性能及主要影响因素	449
9.1.4 破碎法的主要特点	451
9.2 锌熔处理	453
9.2.1 基本原理	453
9.2.2 工艺流程	453
9.2.3 熔炼设备	455
9.2.4 锌熔处理工艺条件	455
9.2.5 锌熔法的主要特点	459
9.3 电化学处理	460
9.3.1 选择性电解法	460
9.3.2 电解电析法	464
9.3.3 电渗析电溶法	465
9.4 氧化还原处理	467
9.4.1 硝石熔炼法	467
9.4.2 氧化还原碳化法	470
第10章 硬质合金生产过程中的防护	472
10.1 粉尘的防护	472
10.2 气体的防护	477
10.3 噪声的防护	480
10.4 高温的防护	481
参考文献	483
附录	491

第1章 绪论

硬质合金是以难熔金属硬质化合物(硬质相或陶瓷相)为基,以金属为黏结剂(金属相),用粉末冶金方法制造的高硬度、高耐磨性材料,也称金属陶瓷材料。

WC-Co 硬质合金由 WC 相和 Co 黏结相组成; WC-TiC-Co 硬质合金由 WC 相、WC-TiC 固溶体相和 Co 黏结相组成;其中的 WC 相、WC-TiC 固溶体相属于硬质相,它们对硬质合金贡献耐磨性,Co 相起黏结作用,将硬质相黏结在一起,对硬质合金贡献韧性,普通硬质合金的这种组成导致其性能具有矛盾性,即韧性好,则耐磨性差;耐磨性好,则韧性差。

两种典型硬质合金的组成及微观组织结构如图 1-1、图 1-2 所示。

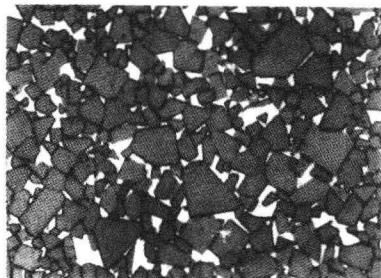


图 1-1 WC-Co 硬质合金的
微观组织结构(1350×)

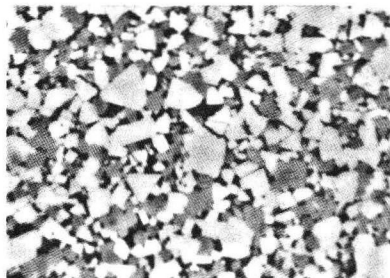


图 1-2 WC-TiC-Co 硬质合金的
微观组织结构(1350×)

硬质合金具有以下基本特点:

- ①高硬度和高耐磨性,特别是在较高的温度下仍有高的硬度(也称红硬性好)。
- ②高弹性模量,刚性好。
- ③高抗压强度。
- ④高化学稳定性、高耐酸碱腐蚀性。
- ⑤低膨胀系数。
- ⑥断裂韧性较低。

由于上述特点,硬质合金俗称为“工业的牙齿”,广泛用作切削刀具、冲击工具、耐磨耐蚀零部件等,在切削加工、地质勘探、矿山开采、石油钻井、模具制造