

高等学校磨料磨具磨削教材

普通磨料制造

张惠民 主编

中国标准出版社

交磨料磨具磨削教材

普通磨料制造

张惠民 主编

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通磨料制造/张惠民主编. —北京:中国标准出版社,
2001.3

高等学校磨料磨具磨削教材

ISBN 7-5066-2380-3

I. 普… II. 张… III. 磨料-制造-高等学校-教材
IV. TG706

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 00975 号

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 303 千字
2001 年 2 月第一版 2001 年 2 月第一次印刷

*

印数 1—3 000 定价 26.00 元

本套书编者的话

以磨料磨具为工具的磨削加工,是机械加工方法中非常重要的一类方法,而且是精密加工和超精加工最基本的和首选的加工方法,在工业上得到广泛的应用。因而磨料磨具作为工业生产中必不可少的工具,具有“工业的牙齿”之誉,与现代工业发展有着密不可分的关系。磨料磨具及其应用技术的发展促进了现代工业的快速发展,而现代工业进一步的发展需求又反过来促进了磨料磨具技术进步和产品品种及应用范围的扩大。磨料磨具的应用已渗透到机床、工具、汽车、船舶、兵器、航空、航天、电子、能源、交通、建筑、地质、冶金、石油、煤炭、化工、轻工、纺织、仪器仪表、医疗器械、工程陶瓷、耐火材料、家具制造、食品加工等各个领域。磨料磨具及磨加工技术不仅影响着机械、汽车、建材、冶金等传统工业的发展,而且影响着新材料、航天航空、信息技术等高新技术及产业的发展。如磨具性能及加工技术影响着工程陶瓷材料的加工效率、加工质量、加工成本及其应用推广速度;导弹端头罩的磨加工精度影响着导弹的制导精度和端头罩的应用;半导体硅片等材料的磨加工技术及质量影响着计算机的进一步发展及信息技术产业的发展。因此,磨料磨具及其磨削应用技术在科技进步和整个国民经济发展中具有极其重要的作用。

当今世界科学技术飞速发展,经济全球化速度明显加快,国际竞争日趋激烈。这种形势对磨料磨具及磨削技术进步和行业从业人员素质提高提出了更高的要求。加强具有创新能力的高素质专业人才的培养,提高磨料磨具行业从业人员的素质,加强高性能新型磨料磨具产品的研究开发,提高磨料磨具制造技术及应用技术水平,为传统工业及高新技术产业发展提供有力的支持,是我们当前面临的迫切任务。

为适应高校磨料磨具和超硬材料及制品等有关专业的教学需要以及有关企业生产及应用发展需要,应广大师生和行业的普遍要求,我们组织了行业有关专家学者、高校教师和企业工程技术人员编写了这套教材。这套教材包括《普通磨料制造》、《超硬材料制造》、《陶瓷磨具制

造》、《有机磨具制造》、《涂附磨具制造》、《金刚石烧结制品》、《超硬材料电镀制品》和《砂轮特性与磨削加工》，共计 8 册。内容涵盖所有磨料磨具的制造及应用技术。这套书可分为三类。第一是磨料类，包括《普通磨料制造》和《超硬材料制造》两部教材，分别介绍了普通磨料刚玉、碳化硅和超硬材料金刚石、立方氮化硼的制造原理、生产工艺及产品检测技术。第二是磨具和其它制品类，包括 5 部教材，其中《陶瓷磨具制造》和《有机磨具制造》分别介绍了以陶瓷和树脂为结合剂的刚玉、碳化硅、金刚石、立方氮化硼磨具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《金刚石烧结制品》和《超硬材料电镀制品》分别介绍了烧结金属结合剂和电镀金属结合剂的超硬材料磨具、锯片、钻头等各种工具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《涂附磨具制造》则专门介绍砂布、砂纸、砂带和砂盘等涂附磨具的制造技术。第三是应用类，即《砂轮特性与磨削加工》一书，该书主要介绍磨具的磨削工艺原理及磨具的科学选择与正确使用的方法。在编写过程中，我们注意吸收了国内外磨料磨具及相关行业的新工艺、新技术成果和国内磨料磨具专业教学改革及示范性专业建设成果，力求做到书中概念科学、准确，内容系统、实用，能够反映行业新产品、新技术、新工艺及其发展趋势，使其既能面向教学，满足高校专业教学需要，又能面向行业，成为磨料磨具和超硬材料制品制造及选择应用方面具有重要实用价值的技术参考资料。本套书的出版，将结束我国磨料磨具人才培养 40 多年来尚无公开出版成套系列教材的历史，对我国磨料磨具磨削方面的高等教育和行业发展都具有重要意义。

本套书的编写工作得到了郑州工业高等专科学校、国家磨料磨具质量监督与检验中心、郑州磨料磨具磨削研究所、郑州白鸽集团股份有限公司、国家机械工业局第六设计院、中国磨料磨具工业公司、中国第六砂轮厂、第七砂轮厂、国家冶金工业局地勘一局、北京人工晶体研究所、长沙矿冶研究院等单位领导和同志们的重视、关心和大力支持。在编写过程中，国家磨料磨具质量监督与检验中心常务副主任张长伍高级工程师、郑州工业高等专科学校磨料磨具工程系副主任李志宏副教授作了大量的组织协调工作。在此，向所有关心支持本书出版，并为本书出版作出贡献的单位、领导和有关人士表示衷心的感谢！

编 者

2000 年 5 月

前 言

磨料是磨具中最重要的成分,是磨具具有磨削性能的主导因素。刚玉和碳化硅是人造普通磨料的主体,而人造普通磨料又是磨料最重要的组成部分,在磨料构成比例中居首位,广泛用于磨具制造、磨削加工、耐火材料、炼钢脱氧剂、电热硅碳棒等领域。因此,《普通磨料制造》是磨料磨具专业的主要专业课程,也是本套系列教材的重要组成部分。

本书系统地介绍了普通磨料的基本概念、主要性能、用途和普通磨料的制造技术,重点介绍了普通磨料所用原材料的性能及作用、生成原理、冶炼工艺、主要设备及磨料产品质量检查等内容。本书吸收了磨料磨具及相关领域的新技术、新成果,反映了普通磨料制造技术的发展趋势。

本书可作为高等院校磨料磨具专业学生的磨料制造课程教材与相关专业师生的参考书,对从事磨料磨具及磨削加工研究、生产与应用的科技人员和管理人员也具有参考价值。

全书共分八章。第一章的内容是磨料概论;第二章至第四章分别介绍了刚玉生成机理、刚玉制造和刚玉冶炼设备;第五章至第七章分别介绍了碳化硅冶炼原理、碳化硅制造和碳化硅冶炼设备;第八章的内容是磨料的制粒加工。全书由郑州工业高等专科学校张惠民副教授主编。该校程宝珠副教授、李斌工程师与三信新技术陶瓷有限公司丁旗高级工程师参加了编写。第一章由张惠民、程宝珠编写,第二、三章由张惠民、李斌编写,第四章至第七章由张惠民编写,第八章由张惠民、丁旗编写,全书由张惠民副教授统稿。

全书由磨料磨具与磨削研究所钱惟圭教授、张长伍高级工程师主审。他们仔细审阅了全部书稿,对本书提出了许多宝贵意见。编写工作得到了郑州工业高等专科学校领导、校教材建设委员会领导和校图书馆情报室、国家磨料磨具质检中心领导及有关单位领导的大力支持。在此向他们谨表衷心的感谢!本书也参考或引用了书后所列著作与文献的内容。在此也对这些著作及文献的作者与单位表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中错误与不足之处在所难免。敬请同行专家及广大读者指正。

编 者
2000年12月

主编简介

张惠民，男，1945年生，1968年毕业于华东理工大学无机化工系硅酸盐专业，长期从事磨料磨具的教学与研究工作。现任郑州工业高等专科学校磨料磨具工程系副教授和新材料研究所副所长，中国磨料磨具标准化技术委员会涂附磨具分会委员，河南省硅酸盐学会磨料磨具分会会员。

三十多年来，创建了涂附磨具课程，主讲了《陶瓷磨具制造》、《涂附磨具制造》、《普通磨料制造》等课程；主编或参编了《磨料磨具技术手册》等高校教材和技术专著六部；发表科研论文、译文数十篇。主持完成了涂附磨具、普通树脂磨具、金刚石树脂磨具等方面的多项省部级课题，并获部级科技成果一等奖。

内 容 提 要

本书系统地论述了刚玉和碳化硅的种类、性能及测试方法，原料、设备和制造工艺，形成机理和结晶过程，介绍了有关的工艺装备和检测仪器，同时还讲述了这两种普通磨料的磨削应用和非磨削用途。本书吸收了磨料磨具及相关领域的新技术、新成果，反映了普通磨料制造的发展趋势。

本书可作为高等院校磨料磨具专业和无机非金属材料专业学生的课程教材，或相关专业师生的参考书。对磨料磨具及磨削加工领域从事研究、生产、应用、管理和质量检测的专业人员，也具有较大的参考价值。

目 录

第一章 磨料概论	1	第三章 刚玉制造	67
第一节 概述	1	第一节 棕刚玉磨料的制造	67
一、人造磨料的发展和展望	1	一、原料	67
二、我国磨料工业的概况	2	二、配料计算	72
三、磨料的概念和用途	3	三、棕刚玉冶炼工艺	73
四、磨料的分类、品种及代号	4	第二节 白刚玉磨料制造	82
第二节 磨料的性质	7	一、主要原料	82
一、磨料的基本性质	7	二、冶炼原理	83
二、磨料的化学性质	8	三、白刚玉冶炼工艺	84
三、磨料的物理性质	16	第三节 其它刚玉磨料制造	90
第三节 磨料的应用	38	一、微晶刚玉磨料制造	90
一、磨削用途	38	二、铬刚玉磨料制造	90
二、非磨削用途	41	三、单晶刚玉磨料制造	92
第二章 棕刚玉生成机理	57	四、锆刚玉磨料制造	97
第一节 棕刚玉冶炼原理	57	五、烧结刚玉磨料制造	100
一、杂质还原	57	六、黑刚玉磨料制造	103
二、杂质分离	59	七、空心球刚玉制造	103
第二节 棕刚玉系统相图	60	第四章 刚玉冶炼设备	104
一、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系统	60	第一节 电弧炉的机械设备	104
二、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ 系统	60	一、炉体	104
三、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 系统	61	二、电极	107
四、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系统	61	三、电极把持器	107
五、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ 系统	62	第二节 电弧炉的电气设备	110
六、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系统	62	一、电炉变压器	110
七、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$ 系统	63	二、短网	111
八、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$ 系统	63	三、开关、测量仪表和过电保护 装置	113
九、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO}$ 系统	64	第三节 辅助设备	114
第三节 刚玉结晶	64	一、給料装置	114
一、熔体成分与冷却制度	64	二、水冷装置	115
二、刚玉晶体	65	三、排烟除尘装置	115
		四、操作平台	116

第四节 电弧炉主要参数的选择和设计	117
一、变压器容量	117
二、工作电压	117
三、额定电流	118
四、电极直径	118
五、电极圆直径和电极距离	119
六、炉缸直径	120
七、炉缸深度	120
八、炉衬厚度与炉底厚度	121
九、二次短网	121
第五章 碳化硅冶炼原理	122
第一节 碳化硅的生成机理	122
一、反应的物理化学原理	122
二、碳化硅形成解释	123
三、碳化硅炉内反应	124
四、杂质的影响及其重新分布	126
第二节 碳化硅晶体化学	127
一、碳化硅晶体结构	127
二、碳化硅晶型的命名	128
三、晶型研究	129
第三节 碳化硅系统相图	130
一、常压下的硅-碳系统相图	130
二、100个大气压下的硅-碳系统相图	130
三、硅-碳-氧系统相图	131
第六章 碳化硅制造	132
第一节 炉料	132
一、硅砂	132
二、碳素原料	133
三、木屑	134
四、食盐	135
五、回炉料	135
六、乏料	136
第二节 配料计算	137
一、配料计算前准备	137
二、配料单制定原则	138
三、配料计算	141
第三节 碳化硅冶炼工艺作业	142
一、工艺流程	142
二、配料与混料	143
三、电炉准备	144
四、送电冶炼	146
五、停炉	148
六、冷却与扒炉	148
七、出炉分级	148
八、出炉现象分析	150
第四节 立方碳化硅及非磨削用途碳化硅制造	151
一、立方碳化硅磨料制造	151
二、电工和耐火材料碳化硅制造	153
第七章 碳化硅冶炼设备	155
第一节 碳化硅冶炼炉	155
一、碳化硅电阻炉的分类	155
二、碳化硅电阻炉结构	157
三、电阻炉设计	159
第二节 供电系统	162
一、电阻炉变压器	162
二、交流供电	163
三、三相整流直流供电	163
四、短网	165
第八章 磨料的制粒加工	166
第一节 制粒加工的工艺流程	166
一、刚玉磨粒加工概况	166
二、碳化硅制粒工艺流程	167
第二节 破碎	167
一、破碎形式	167
二、破碎机械	168
三、破碎比	173
四、破碎方式	173
第三节 磨粒整形	174
第四节 碳化硅的水洗、酸碱洗和干燥	174
一、综述	174

二、水洗设备及工艺	175	措施	181
三、酸碱洗设备及工艺	175	一、提高磨料加工成品率	182
四、脱水	176	二、提高常用粒度产出比	182
五、干燥	176	第七节 磨料的微粉生产	183
第五节 筛分与磁选	177	一、概述	183
一、筛分	177	二、微粉磨料制造工艺	184
二、磁选	180	主要参考文献	195
第六节 提高加工成品率及常用粒度的			

第一章 磨料概论

人类使用磨料已经有数千年之久，磨料从天然矿石到人工制造经历了漫长的历史时期。早在远古时期，原始人就已经使用天然矿石来加工木质工具和骨头。考古发现公元前4000年，埃及人已经使用天然磨料了。大约在公元前2000年，在中东地区，随着冶金工艺的发展，磨料的应用得到了相应的发展。磨料用于磨削金属的最早记载是在公元前1500年，人类广泛使用刀箭之类器械后，更需要用磨石对其进行修磨，使其锋利。中国是最早使用磨料的国家之一，在我国黄河流域曾经多次挖掘出经过很好地研磨加工过的石斧、石箭、石刀和动物的骨和角制饰品。在我国奴隶制社会时，已经出现了用研磨法制成的青铜镜。今日在西安兵马俑陈列馆看到的稀世珍宝铜马车，很多部位都经过精湛的琢磨，表现出很高的磨削水平。

磨料的应用史与人类的文明史是同步前进的。到了19世纪末，人类研制成功了人造刚玉和碳化硅磨料。由于人造磨料的优异性能，所以在20世纪取得了极快的发展和广泛的应用，成为国民经济中一门不可缺少的工业。在21世纪，人造刚玉和碳化硅除了作为普通磨料的主体继续与超硬磨料同时作磨削使用外，还将在非磨削用途上突飞猛进。

第一节 概 述

一、人造磨料的发展和展望

在应用天然磨料的漫长历史中，人类逐渐认识到几乎所有的天然磨料都含有结晶氧化铝，并且起磨削作用的正是结晶氧化铝。基于这种认识，开始时人们设法将含氧化铝的物质熔融制成磨料，其磨削效果优于天然磨料。1893年法国人，1894年德国人分别获得熔融刚砂的专利权。1895年法国人对他的原专利加以修改，采用矾土代替原来所用的刚砂作原料。但是，首先研制出磨料级氧化铝晶体的是美国人雅可布(C. B. Jacobs)。到1901年由于赫金斯(A. C. Higgins)熔炉的创立，人造刚玉发展为工业化大规模生产。人造刚玉磨料生产的进一步发展是通过在原料中加入铁屑，用物理方法除掉刚玉熔液中悬浮的金属杂质。然而，这个方法的发明目的是用矾土生产纯氧化铝而不是刚玉磨料。从人造刚玉开始生产之后，又出现了刚玉产品的许多品种。各种产品的主要区别是氧化铝的含量，杂质的种类及其含量和熔块冷却速度所致的结晶尺寸不同。

碳化硅没有天然的，人造碳化硅是19世纪末研究成的。特别应提到的是美国人艾奇逊(E. G. Acheson)。他采用含氧化铝的粘土，配上焦炭，对该混合物通以强大的电流，直到中心的粘土熔化。冷却后，他在电极的端部和混合物料中发现了明亮闪光的坚硬物质。艾奇逊多次重复这一试验，并且把这些坚硬物质收集起来试验它的磨削性能，结果竟能磨损他的金刚石戒指。当时艾奇逊认为所发现的物质是碳和刚玉的化合物，所以将这种物质取名为“卡普伦登”(carborundum)。它是英文carbon(碳)和corundum(刚玉)两个词复合构成的。

事实上,参与反应的不是粘土里的氧化铝,而是二氧化硅。1893年,艾奇逊获得碳化硅生产专利权,使碳化硅成为世界上最早商品化的人造磨料。当时只能制取黑色碳化硅,日产125克。它被人们誉为“研磨宝石”,每公斤价格高达1600美元。

人造刚玉和碳化硅从19世纪被研制成功后,白刚玉和绿碳化硅到20世纪20年代也相继出现,构成了人造普通磨料的基础体系。从20年代至60年代是人造普通磨料高速发展时期。磨料工业与机械工业和钢铁工业的发展有密切的关系,随着钢铁、汽车、机械制造工业的飞速发展,各种刚玉与碳化硅磨料相继出现,品种日臻完备,构成了一个完整的人造普通磨料体系。相比之下,人造金刚石与立方氮化硼(简称CBN)在50年代才被研制成功,开始登上磨料的历史舞台。

从70年代至今天,刚玉和碳化硅表现出技术上的成熟、新品种出现态势缓慢,但是在磨削领域它们仍是人造磨料的主体、被广泛应用。其中较为突出的新产品有微晶烧结刚玉(Norton公司的商品牌号为SG)。在此期间,碳化硅和刚玉都开始向非磨削领域发展,如:耐火材料、钢铁和铸铁冶炼、电工硅碳棒和避雷器、工程陶瓷材料、金属—非金属复合材料等领域。在非磨削用途上,刚玉和碳化硅的研究工作和产品开发都十分活跃,如高铝刚玉。

在21世纪,人造刚玉与碳化硅仍是应用最广的磨料,占全部磨料的三分之二以上,它被广泛地用于制造各种磨具,并在非磨削用途方面不断发展。展望21世纪,人造磨料的发展方向是硬度和韧性,以满足高速、重负荷和强力磨削的工艺要求,实现经济、高效的磨削加工。磨料品种的发展结果是趋向专用,具备特效。人造金刚石和CBN的研究还将保持强劲的态势。在磨削领域里,人造金刚石和CBN将继续取代刚玉和碳化硅磨料。有人称之为从AC到BD的进展过程。A指刚玉Alundum, C指碳化硅Carborundum, B指立方氮化硼Borazon(即cubic boron nitride), D指人造金刚石Diamond(即synthetic diamond)。但是在韧性上,普通磨料将发展高韧性刚玉磨料,仍会与超硬磨料并行使用。在非磨削用途中,普通磨料将会有迅猛的发展,并将成为其主要用途。

人造磨料发展史上的重要年代,见表1-1。

表 1-1 人造磨料发展史上的重要年代

年代	磨料名称	备注	年代	磨料名称	备注
1891	黑碳化硅	研制成功	1953	人造金刚石	研制成功
1897	棕刚玉	研制成功	1954	微晶刚玉	研制成功
1910	白刚玉	研制成功	1957	立方氮化硼	研制成功
1924	绿碳化硅	研制成功	1962	铬刚玉	研制成功
1934	碳化硼	开始生产	1962	烧结刚玉	研制成功
1936	低钛半脆性刚玉	开始生产	1963	锆刚玉	研制成功
1946	单晶刚玉	研制成功	1972	微晶烧结刚玉	研制成功

二、我国磨料工业的概况

我国的人造磨料工业是新中国成立后才建立的,是随着工农业的发展和国防的需要而发展起来的。我们依靠自己的力量,建立了完整的研究、生产和开发体系,相继研制了各种人

造磨料(见表 1-2)。建国 50 年来,我国的磨料行业从无到有、从小到大。全国有大小磨料厂近五千家、拥有职工近 50 万(不包括砂轮厂),还有专门的研究所和大专院校。我国的磨料产量逐年增加。1952 年为 700 余吨,1983 年全国总产量近 12 万吨,1990 年近 50 万吨,1998 年为 80 万吨,预计 2000 年可达 100 万吨。除了满足国内需要外,国产磨料还大量出口,供应国际市场,并获得良好的声誉。国产磨料的质量也稳步提高。就磨料品种而言,如今我国不但能制造各种普通磨料产品,还能制造各种超硬磨料产品,基本能满足磨削加工的需求。尤其是作为人造普通磨料基本产品的棕刚玉和碳化硅,我国不但是世界上最大的生产国和出口国,而且质量也是一流的。我国发展磨料工业的资源十分丰富,而且品位很高,是世界上为数不多的优良矿源国家之一,所以我们发展磨料工业的前景是良好的。

表 1-2 我国磨料发展大事记

年代	磨料名称	备注	年代	磨料名称	备注
1949	黑 SiC	研制成功	1964	铬刚玉	研制成功
1950	黑 SiC	投入生产	1965	微晶刚玉	研制成功
1951.2	棕刚玉	成功并投产	1966	单晶刚玉	研制成功
1952.8	绿 SiC	研制成功	1969	碳化硼	研制成功
1954.7	白刚玉	研制成功	1972	立方碳化硅	研制成功
1955	白刚玉	投入生产	1974	立方氮化硼	研制成功
1963	人造金刚石	研制成功	1984	锆刚玉	研制成功

虽然在普通磨料的整体质量水平上我们已经达到国际先进水平,但是在个别品种上,如锆刚玉磨料,还存在着较大的质量差距。我们更应该清醒地看到,我国的磨料工业在环境保护、劳动条件、能量利用率等方面还与国际先进水平有相当大的差距。我们应该加紧学习和研究,同时加强国际交流,尽快地缩短和消除这些差距。

三、磨料的概念和用途

1. 磨料的概念

磨料的概念是随着科学技术发展的,在不同的阶段有不同的含义。早先的概念强调磨料的用途,如:①“磨料是用于磨削、打磨、抛光等工作的物质。”(见《韦氏大辞典》Webster's Collegiate Dictionary 1962 年)。②“磨料是一种用于打磨或磨削物件表面的物质,例如:砂子、金刚砂、碳化硅。”(见《英汉双解技术词典》Technical Dictionary 1983 年)。③“磨料是用于打磨或磨削其他材料的硬度极高的材料,既可单独应用,也可制成砂轮或涂附在纸或布上应用。”(见《科学技术百科词典》McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology 1982 年)。后来的概念补充了磨料的形状,如:“磨料是具有颗粒形状的和切削能力的天然或人造材料。”(见《机械学制造技术辞典》Technical Dictionary on Mechanical Manufacturing 1992 年)。2000 年 5 月中国标准出版社出版的《机械工程标准手册 磨料与磨具卷》比较完整确切地规定了磨料的概念为:

(1) 磨料

在磨削、研磨和抛光中起切削作用的材料。

(2) 磨粒

用人工方法制成特定粒度、用以制造切除材料余量的磨削、抛光和研磨工具的颗粒材料。

(3) 粗磨粒

4~220 粒度号的磨粒。

(4) 微粉

不粗于 240 粒度号的普通磨料磨粒或细于 $36/54\ \mu\text{m}$ 的超硬磨料磨粒。

(5) 自由磨粒

在自由状态下直接进行研磨或抛光的磨粒。

2. 磨料的用途

磨料的主要用途是磨削应用。多数磨料被制成磨具,进行磨削加工。因为磨料具有极高的硬度和耐热性,所以制成的磨具在加工速度、切削深度和工件表面粗糙度等方面都有卓越的性能。此外,磨料也可以直接作磨削使用,如用于研磨膏、喷砂切割、喷砂清理等。

随着冶金、化工、建材、电气、航空航天、交通以及一些新兴工业的发展,对材料性能的要求不断提高,除磨削应用外,更多的人造普通磨料被用于非磨削用途。如今,耐火材料、炼钢脱氧剂、硅碳棒用的碳化硅量已经超过磨削用量。碳化硅增强的金属材料具有优良的抗热蠕变性和抗热震性,已经成为航天飞行器的外壳和火箭发动机必不可少的材料。用刚玉与碳化硅制造的耐火材料和工程陶瓷材料显示出良好的抗氧化性、耐冲击性、热传导性,将是 21 世纪的汽轮机、发动机和热交换器的关键零件。

四、磨料的分类、品种及代号

1. 磨料的分类

磨料可分为天然磨料和人造磨料两大类。依据磨料的磨削性能,又可将金刚石等高硬度材料称为超硬磨料,其他的为普通磨料。普通磨料包括刚玉和碳化硅两大系列的各种磨料品种。超硬磨料包括金刚石和 CBN 的各种品种,磨料的分类见图 1-1。

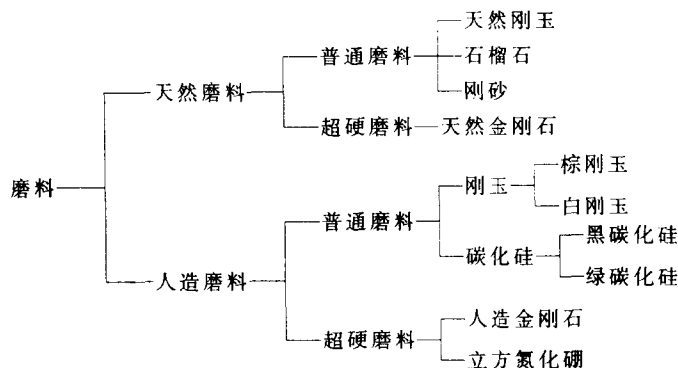


图 1-1 磨料的分类

2. 磨料的代号

(1) 我国主要的磨料品种及代号(见表 1-3)。

(2) 牌号

棕刚玉、白刚玉和碳化硅磨料牌号见表 1-4。

表 1-3 国产普通磨料主要品种及代号(GB/T 2476—1994)

系 列	磨料品种	代 号	英文全称
刚 玉	棕刚玉	A	Brown alundum
	白刚玉	WA	White alundum
	黑刚玉	BA	Black alundum
	单晶刚玉	SA	Single crystalline alundum
	微晶刚玉	MA	Microcrystalline alundum
	铬刚玉	PA	Pinck alundum
	锆刚玉	ZA	Zirconia alundum
碳化物	黑碳化硅	C	Black silicon carbide
	绿碳化硅	GC	Green silicon carbide
	立方碳化硅	SC	
	碳化硼	BC	Boron carbide

表 1-4 棕刚玉、白刚玉和碳化硅磨料牌号(GB/T 2478—1996)

磨料种类	用 途	牌 号
棕 刚 玉	陶瓷结合剂磨具	A
	高速砂带(含机加工页状砂布)	A-P ₁
	页状砂布	A-P ₂
	树脂结合剂和橡胶结合剂磨具	A-B
	喷砂抛光	A-S
白 刚 玉	陶瓷结合剂磨具	WA
	有机结合剂磨具	WA-B
	涂附磨具	WA-P
黑碳化硅	陶瓷结合剂磨具、砂带	C
	有机结合剂磨具	C-B
	手工用张页式涂附磨具	C-P
绿碳化硅	陶瓷结合剂磨具、砂带	GC
	有机结合剂磨具	GC-B
	手工用张页式涂附磨具	GC-P

3. 磨料的品种

(1) 棕刚玉

棕刚玉是用矾土经电弧炉冶炼而成的棕褐色人造刚玉,故名棕刚玉。因其硬度高($HV=1\ 800\sim 2\ 200\text{ kg/mm}^2$),韧性好,熔点高($1\ 800\sim 2\ 000^\circ\text{C}$),故可作磨削材料。棕刚玉的主要化学成分是 Al_2O_3 ,其含量为95.00%~97.00%。是最基本的磨料。因其磨削性能好,适用范围广,价格便宜,所以被广泛应用。棕刚玉磨料的外观是棕褐色砂粒,细的如粉粒状。产品鉴定通常用物理检测及化学分析法。棕刚玉磨料适用于加工碳钢、合金钢、可锻铸铁、硬青铜等材料。

(2) 白刚玉

白刚玉是以铝氧粉为原料,经电弧炉高温熔融再结晶而成的一种高纯度刚玉晶体。色泽洁白,故名白刚玉。主要成分为 Al_2O_3 ,含量在98.5%以上。其化学稳定性好,硬度比棕刚玉稍高($HV=2\ 200\sim 2\ 300\text{ kg/mm}^2$),韧性比棕刚玉低。在磨削时,磨粒容易碎裂。因其磨削时发热量小,适用于磨削淬火钢,高碳钢、高速钢及薄壁零件等。由于白刚玉有微刃结构,所

以适合镜面磨削。

白刚玉磨料的外观主要特征是白色,粗粒度的是青白色,随粒度变细而白度增强。产品鉴定要用化学分析法。白刚玉与铝氧粉的化学成分是相同的,但是密度、结晶形态、岩相组成不一样。白刚玉外观呈玻璃状光泽,明亮、反光性较强,而铝氧粉没有这些特征。铝氧粉的密度为 $3.55\sim 3.80\text{ g/cm}^3$,白刚玉为 3.98 g/cm^3 。确切的鉴别可以用岩相分析法。

(3) 单晶刚玉

单晶刚玉由单晶体组成,是用矾土、黄铁矿、无烟煤和铁屑为原料,在电弧炉内熔炼而成的。在外观上用肉眼是观察不出单晶与否的,只能用岩相分析检查。单晶刚玉的 Al_2O_3 含量为 98% 以上,硬度 ($\text{HV}=2\ 300\sim 2\ 400\text{ kg/mm}^2$) 和韧性都比白刚玉高,颗粒呈球状、大部分是等轴晶体,单晶体数量达 80% 以上,具有良好的多棱切削刃,在磨削加工中有较高的抗破碎性。

单晶刚玉磨料的外观特征是砂粒表面油亮、有树脂光泽。这是因为单晶刚玉在制造过程中经过酸洗处理的缘故。单晶刚玉呈浅玫瑰色,但有时也近似白刚玉呈白色或浅灰色。单晶刚玉的质量检测要用化学分析法及岩相鉴定。

单晶刚玉可加工不锈钢和高钒高速钢等韧性大、硬度高的钢材,特别适用于易变形、易烧伤工件的磨削。但是,单晶刚玉在制造过程中有 H_2S 毒气及废水产生,严重污染环境。单晶刚玉成品率低,以致单位电耗比棕刚玉高 50% 左右,几乎与白刚玉相当。因此,现在国内外基本上都停止生产了。

(4) 微晶刚玉

微晶刚玉的原料和冶炼工艺与棕刚玉类同,化学成分与棕刚玉基本一致,色泽较棕刚玉深。二者的主要差别是:微晶刚玉将电炉冶炼好的刚玉熔液,采取急速冷却,使刚玉晶体尺寸较小,得到 $50\sim 280\ \mu\text{m}$ 的晶体。由于微晶化结果,其强度较棕刚玉高,而且磨粒的自锐性能良好。

微晶刚玉磨料的外观形状与棕刚玉相同。产品鉴定用化学分析法。其与棕刚玉的鉴别要通过岩相检查,由其晶体尺寸而定。微晶刚玉适用于磨削不锈钢、碳素钢、轴承钢、球墨铸铁等材料,还可用于重负荷磨削和精密磨削。

(5) 铬刚玉

铬刚玉也是用铝氧粉作原料,在铝氧粉中加入 0.5%~2.0% 的氧化铬,经电弧炉熔炼而成。铬刚玉呈玫瑰红色,韧性比白刚玉高、硬度与白刚玉相近。玫瑰红色是铬刚玉磨料的主要外观特征。这种红色随粒度变细而变浅。用铬刚玉做的磨具也是玫瑰红色。铬刚玉在磨削加工中的应用范围和白刚玉相仿,但磨具的耐用度和被加工的工件表面粗糙度比白刚玉磨具稍好一些,因此适用于精磨刀具、量具、仪表零件。

(6) (矾土) 烧结刚玉

以高品位矾土为原料,不经过电弧炉熔炼,而是将矾土磨至 $3\ \mu\text{m}$ 以细、压铸成坯体、高温烧成。烧结刚玉的特点是韧性好,但硬度不及棕刚玉,另一个特点是可以制成各种规格、形状和几何尺寸的颗粒。常见的为圆柱状,但也可以制成无规则的砂粒。

烧结刚玉的主要成分是 Al_2O_3 ,含量在 86% 以上,其次是 Fe_2O_3 和 SiO_2 ,色泽与微晶刚玉相似。烧结刚玉是真正的微晶质人造刚玉。其晶体尺寸在 $5\ \mu\text{m}$ 左右。烧结刚玉的外观与微晶刚玉相同,唯其砂粒的锐角不及微晶刚玉锋利。其粒度组成中的等积形颗粒比其它任何