

磨料磨具行业技工培训教材

# 磨料制粒工艺学

中 级 本

国家机械委机床工具工业局  
中国磨料磨具工业公司

# 磨料制粒工艺学

(中级本)

编者：余森、刘玉瑛

## 前 言

根据中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》和机械部(86)教函字199号文件,关于“七五”期间开展工人中级技术培训的目标要求。中国磨料磨具工业公司成立了教材编审组,组织磨料磨具磨削研究所、第一、二、三、四、五、六、七砂轮厂有经验的工程技术人员,在编写《磨料磨具工人初级技术理论培训教材》的基础上,又编写出一套《磨料磨具工人中级技术理论培训教材》。它包括:《刚玉冶炼工艺学》、《碳化硅冶炼工艺学》、《磨料制粒工艺学》、《陶瓷磨具制造工艺学》、《超硬材料合成工艺学》、《超硬材料提纯、分选工艺学》、《硅碳棒成型、素烧工艺学》、《硅碳棒烧成工艺学》和《磨削技术基础》,全套共九本,计一百七十万字。

这套《中级技工培训教材》,是根据磨料磨具行业《工人中级技术理论教学计划、教学大纲》的目标要求编写的。在初级技工培训的基础上,根据提高操作技能的需要,全书以工种工艺技术理论为主,侧重应用,深入浅出,主要适用于工人中级技术培训。使用范围:可作为经过初级技术统考合格者;或工资等级已属中级,但技术理论尚未达到中级工要求者的培训教材;也可作为行业技工学校、职工学校、职业

中学或其它岗位职工教育学习的参考书。企业培训时,应按行业《中级技术理论教学计划、教学大纲》的要求进行安排。理论教学应以工种工艺为主,并学习必修的《磨削技术基础》理论以及《机械工业班组长培训教材》等科目,理论联系实际,培养学员解决生产实际问题的能力,以期收到切实的效果。关于树脂磨具、金刚石磨具、涂附磨具和橡胶磨具专业的中级技术理论培训,企业可根据“中级教学计划、教学大纲”要求,暂时采用《磨料磨具制造》丛书中有部分进行适当精选和补充。

《磨料制粒工艺学》是由第一砂轮厂余森副总工程师、第四砂轮厂刘玉瑛工程师共同编写的。其中的第一、九章由刘玉瑛撰写,其余各章均由余森完成。郑州磨料磨具磨削研究所王文标工程师负责审订了全书。对该书付出过辛勤劳动取得的编审成果,以及中磨公司人才开发部在编辑、出版、发行工作上的成就,谨向他们致以诚挚地敬意和感谢。这些显著成绩的取得,与部局的正确指导,以及一砂、四砂、三磨研究所的领导同志、总师室、技术、教育等部门负责同志的热情关注和大力支持分不开的。这里一并表示诚恳的谢意。

由于我们水平有限,缺乏经验,书中难免有错误和不妥之处,在培训中,敬希工程技术教师、学员和教育工作者随时予以更正和补充,并希与中磨公司人才开发部及时联系,提出宝贵意见,以便再版订正,充实完善。

中国磨料磨具工业公司  
一九八七年三月于郑州

# 目 录

绪 论	( 1 )
第一章 破碎	( 16 )
第一节 概述	( 16 )
第二节 破碎过程机理	( 22 )
第三节 破碎机分类	( 24 )
第四节 腭式破碎机	( 24 )
第五节 对辊式破碎机	( 40 )
第六节 反击式破碎机	( 46 )
第七节 球磨机	( 49 )
第八节 自磨机	( 60 )
第九节 环辊磨	( 65 )
第十节 破碎工艺方案的选择	( 69 )
第二章 水洗、酸碱洗和干燥	( 79 )
第一节 磨料的水洗	( 79 )
第二节 磨料酸碱洗的目的、反应式和范围	( 83 )
第三节 酸碱溶液浓度的有关计算	( 86 )
第四节 磨料酸碱洗的常用设备	( 91 )
第五节 酸碱洗操作及安全注意事项	( 97 )

第六节 脱水与干燥	(100)
<b>第三章 筛分</b>	(111)
第一节 筛分作业的分类和流序	(111)
第二节 筛网和筛面的固定方法	(116)
第三节 筛分效率	(122)
第四节 筛分机械	(130)
<b>第四章 磁选</b>	(142)
第一节 磁选的目的与要求	(142)
第二节 磁选机及工作原理	(144)
<b>第五章 刚玉磨料的煨烧</b>	(153)
第一节 刚玉磨料煨烧的意义	(153)
第二节 煨烧设备与工艺	(159)
<b>第六章 磨粒与磨粉成品检查</b>	(163)
第一节 国家标准介绍	(163)
第二节 成品检查用仪器设备	(174)
第三节 检查方法	(178)
<b>第七章 微粉原料及其粉碎</b>	(189)
第一节 制造微粉的工艺流程及原料	(189)
第二节 原料的粉碎	(194)

<b>第八章 微粉磁选及酸碱处理</b> .....	( 197 )
第一节 磁选设备及其原理.....	( 197 )
第二节 酸碱洗设备及其操作.....	( 199 )
<b>第九章 微粉的水力分级</b> .....	( 202 )
第一节 微粉在水中的沉降速度.....	( 202 )
第二节 沉降法分级.....	( 209 )
第三节 溢流法分级.....	( 213 )
第四节 旋流法分级.....	( 223 )
第五节 水的粘度对沉降速度的影响.....	( 224 )
<b>第十章 微粉干燥、筛松和检查</b> .....	( 228 )
<b>第十一章 环境保护</b> .....	( 232 )
第一节 废水处理.....	( 232 )
第二节 磨料粉尘及其对人体的危害.....	( 237 )
第三节 扬尘机理与防尘方法.....	( 240 )
第四节 收尘器.....	( 245 )
<b>附录</b> .....	( 256 )

# 绪 论

## 一、什么是磨料

“磨料”这个名词有广义的与狭义两种概念。广义的磨料指的是可用于磨削、研磨或抛光材料与工具，它包括各种粉粒状坚硬物料，也包括各种砂轮、油石、磨头、砂瓦等磨削工具。在这个意义上“磨料”一词与英语中的“ABRASIVE”是同义的。磨料磨具磨削行业以外的人在使用“磨料”一词时，往往指的是它的这种广义的含义。

狭义的磨料指的是可用于磨削、研磨或抛光的颗粒状或粉状材料。在英语中，这一概念常用“ABRASIVE GRAIN”表示。磨料磨具磨削行业中的人在使用“磨料”一词时都是指它的这种狭义的含义。本书中以下出现的“磨料”一词，也都是指的这种含义。

磨削、研磨、抛光是含义相近但又不完全相同的三个概念。磨削与抛光的区别在于：磨削的目的是要得到精确的尺寸、正确的形状及表面的微观几何形状；而抛光的目的是使表面尽可能更为光亮。磨削与研磨的区别在于：磨削加工是使用磨具的加工方法，而研磨则是在研具（如铸铁盘）表面嵌入磨料或敷涂磨料并添加润滑剂，在一定的压力作用下，使工件与研具接触并作相对运动，从而对工件进行表面光整加工的工艺方法。在磨削、研磨与抛光这三者之中，磨削是



应用最广、最为重要的加工方法。

随着对机器设备、仪器仪表零件及钢坯加工精度、加工质量与加工效率的日益提高，磨料磨具工业在国民经济中的作用和地位也越来越重要。磨削加工虽然在金属切除率方面不及切削加工，但是它是作为更适宜于获得高精度、高表面光洁度的加工方法发展起来的。磨削加工的另一特点是可以加工高硬度的工件。对于磨削刀具来说，与工件的硬度差必须十分显著，但在砂轮中进行切削的磨粒与工件的硬度却可以十分接近。这是因为在这种情况下，由于磨粒的消耗产生了自锐作用，才使得磨粒能以很锐利的刀刃连续的进行切削。所以对于精密工件的最后加工，对于切削加工后又经淬火等热处理及表面处理的工件的最后加工，通常都是采用磨削加工。而且，对于硬质合金及硬质的非金属材料等的加工，除了用磨削外，再没有效率更高的方法了。正是由于这些原因，有人把磨料磨具称为“工业的牙齿”也就不足为怪了。

磨料磨具工业是磨削加工的基础，磨料则更是基础的基础了。什么样的材料可以用作磨料呢？随着被加工工件的性质及加工要求的不同，对磨料的要求也有所不同。但是一般说来，磨料必须具备以下基本性质：

### 1、比工件硬度高

磨料硬度高于被磨工件是实现磨削加工的首要条件，否则在加工时便不能有效地从零件表面磨下碎屑。当其它条件相同时，磨料越硬，耐磨性就越好，切削性能也越好。目前广泛应用的磨料如刚玉、碳化硅、碳化硼、立方氮化硼、金

刚石等，都是莫氏硬度为9以上的硬质材料。其中以金刚石最硬，在许多场合下，它的耐磨性和磨削效率也比普通磨料高得多。

## 2、能加工获得不同大小颗粒的磨粒

密削加工与切削加工不同，它是利用磨具表面许多颗粒构成的无数细小切削刃来剥削掉加工件的表面颗粒的。所以为了得到必要的加工精度和效率，磨料必须加工成一定粒度的颗粒。

有些物质，如硬质合金，虽然硬度很高，但是由于韧性太高，难以加工成颗粒状，所以不适于制造磨料。

## 3、有适度的自锐性

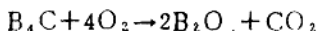
对磨削过程而言，磨粒的韧性，即抵抗碎裂的能力也是重要的指标。如果韧性太低，磨削时磨粒很快碎裂，就难于进行有效的磨削；韧性太高，磨粒变钝后也不碎裂，就会降低磨削效率。所以磨粒应当具有相当尖锐的切削刃和某种程度的脆性，以便在工作过程中能自行磨锐，即能在一定压力作用下裂开，露出新的锋利的刀刃来进行磨削。磨料的这种性质一般称为自锐性。

## 4、耐高温，在磨削的高温下仍保持其固有的硬度和强度

磨具工作时，常发生大量的热，磨削区温度可以达到1000℃以上，这就要求磨料具有一定的耐热性。

金刚石固然硬度最高，但超过800℃时就会发生氧化和表面层的石墨化，硬度、强度急剧下降，这就在一定程度上限制了它的应用。

碳化硼的硬度比刚玉、碳化硅都高，但在400℃以上的温度下就会被氧化：

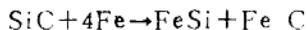


所以不适于制作磨具，仅用于自由研磨。

#### 5、与被加工材料不易产生化学反应

近期的研究使人们注意到，不能再把磨削看成单纯的机械过程；化学反应也在过程中起重要作用。

例如，碳化硅的最大缺点是不适于研磨钢材，这是因为发生了如下反应：



碳化硅适用于加工许多非金属（玻璃、陶瓷等）和某些非铁金属（铝、铜及其合金）也和磨料、工件之间的化学相容性有关。

### 二、磨料工艺学（制粒部分）的主要任务

磨料的工业生产过程大致可以分为冶炼与制粒两大工序。磨料的冶炼大都是在电弧炉或电阻炉中借助电热产生的高温完成的，这一过程具有化工冶金的特点。制粒工序则是将冶炼过程得到的块状结晶进行破裂、提纯、粒度分级，从而最终获得在化学矿物成分、颗粒密度、磁性物及铁合金含量、粒度组成上符合要求的单号磨粒。由于它是磨料制造的最后一道工序，因而对于产品质量具有重要的影响。这一加工过程与选矿加工、其它粉体的制备过程有许多相同的特点，研究这些过程的理论与实践的结果逐步形成了一门新兴的工程科学——粉体工学。

磨料工艺学（制粒部分）的任务就是以粉体工学的基本

原理为指导，研究普通磨料的破碎、洗涤、化学处理、脱水、干燥、磁选、煅烧、粒度分级、贮存、检查等单元过程的工艺原理，工装设备及质量控制方法，使学员了解磨料制粒加工的基本任务、质量要求与操作原理，掌握操作要领与控制产品质量、加工效率的方法，从理论与实践的结合上加深对于生产工艺、工装设备、检测仪器的了解，为创优质高产、为业务上的进一步深造奠定良好的基础。

### 三、磨料发展简史

早在上古时代，人类就已经知道磨制加工了，这从出土文物中的经过磨制的石斧、骨针和装饰品可以得到证明。《诗经·淇澳》中“如切如磋，如琢如磨”可算是我国关于磨制加工概念的最早的文字记载了。

在漫长的历史年代里，人们进行磨制加工，乃至制造磨具，用的都是天然磨料。人造磨料的出现不过是上世纪末期的事，至今还不到一百年。可是由于人造磨料克服了天然磨料杂质多、成分不均匀、售价高、优质磨料资源缺乏等不足，因而发展十分迅速，不到半个世纪的历程，它就差不多完全取代了天然磨料，并在促进二十世纪机器制造业、汽车工业，军事工业的发展中立下了汗马功劳。

人造磨料工业性生产方法的最早研究是1891年的事。美国的青年工程师艾奇逊（E·F·Achson）在一个铁碗里装满粉状焦炭与粘土的混合物，通电把这些混合物加热至熔化，他本想研究合成金刚石的方法，但是却意外地得到了碳化硅。1893年艾奇逊取得了制备碳化硅工业方法的专利权（美国专利号492767），当时还只能制造黑色碳化硅，1893

年艾奇逊所在的美国卡普伦登公司(Carborundum Co.)又宣布研制成功绿色碳化硅。

薇林恩于1893年取得了电熔刚玉的第一份专利(法国专利号233996)。后来他又对该专利作了补充,提出采用铝矾土作为原料的适用性。生产电熔刚玉的最大厂商美国诺顿公司(Norton Co.)也在1897年宣布人造刚玉研制成功。

到二十世纪中叶,人造磨料已发展到十几个品种,除号称“四大金刚”的棕刚玉、白刚玉、黑碳化硅、绿碳化硅外,微晶刚玉、铬刚玉等也已批量投入生产。1954年便出现了人造金刚石。1957年另一种适宜于磨钢的超硬磨材——立方氮化硼在美国通用电器公司(General Electric)研制成功。如此众多性能各异的磨料品种在各个磨削、研磨、抛光领域中大显神通,充分发挥着“工业牙齿”的作用。

我国解放前一直不能生产人造磨料,而要从日本和南朝鲜进口。解放后我国的人造磨料工业从无到有、从小到大,发展十分迅速。1949年12月黑碳化硅首先由第一砂轮厂赵广和等人试制成功,接着该厂又于1951年试制成功棕刚玉、1952年试制成功绿碳化硅和白刚玉。这些科技成果的取得,为我国磨料磨具工业的发展奠定了基础,为国民经济的恢复与发展作出了贡献。

国际上及国内各主要磨料品种的研制时间如表1。

目前(据八十年代的统计)全世界电熔刚玉、碳化硅的产量约160万吨,其中电熔刚玉约90万吨,碳化硅约70万吨。我国普通磨料总产量约11.6万吨,其中电熔刚玉约9万吨,碳化硅约2.6万吨。这些产品除用于磨削与研磨外,还在许

多非磨削领域，如耐火材料、钢铁冶炼、铸造、电力、无线

表1 人造磨料国内外诞生年代

磨料名称	发明年代	发明者	我国研制成功年代与单位
黑碳化硅	1891	(美)艾奇逊	1949, 一砂
棕刚玉	1893	薇林恩	1951, 一砂
微晶刚玉	1916		1965, 四砂
白刚玉	1919		1952, 一砂
绿碳化硅	1924	(美)卡善伦登公司	1952, 一砂
单晶刚玉	1935	苏联	1966, 四砂
人造金刚石	1954	(美)通用电气公司	1963, 郑州三磨所
立方氮化硼	1957	(美)通用电气公司	1967, 郑州三磨所
锆刚玉		(美)诺顿公司	

电行业中获得广泛应用，因而目前我国的磨料生产正在不断扩大，以满足四个现代化建设和出口贸易不断增长的需要。

#### 四、磨料生产的工艺过程

##### (一) 棕刚玉

棕刚玉是用量最大的一种人造磨料，大约有75%的磨具（按重量比）采用棕刚玉为磨料。它是在电弧炉中以矾土为

主要原料而制造出来的。

矾土是一种以含水氧化铝为主的土色矿物，它在用作冶炼棕刚玉的原料之前一般应先进行焙烧（ $1100^{\circ}\text{C}$ ）以除掉其中大部分的水分，把它与细粒焦炭（无烟煤）、铁屑以适当比例混合后加入圆柱形电弧炉中冶炼。这种电炉的炉底用碳砖砌筑，侧壁可不砌砖，在其外围有水包。当电炉工作时，往水包中通水进行冷却，当电炉投入使用时，在炉壁四周处炉料形成了一个有效的保护层，可保护钢铁炉壁免受电弧高热的作用。

电炉下部先用矾土装填，再在其上放置起弧用的冶金焦炭，这些焦炭的位置要与三根电极的位置相对应。将三根垂直电极下降到与起弧焦炭相接触的位置上，就可以合闸通电了。这时起弧焦炭受热很快达到白炽状态。矾土也开始熔融。熔融的矾土具有相当大的导电性，此后，电极之间的导电主要通过熔融体进行。电流产生的高热（熔体的温度可达 $2050^{\circ}\text{C}$ 左右）造成了矾土继续不断地熔化和大部分杂质的还原。这些杂质还原后便和熔融铁结合在一起并沉降到炉的底部。

随着冶炼过程的不断进行，从炉的顶部把更多的炉料加入炉内，直至炉缸被熔体所充满。在整个冶炼期间（约16—36小时），电极自动或人工控制其升降以保持输入功率的稳定。冶炼过程完成之后，将电极提升起来，把电炉送去冷却。数天后卸去炉壳，使刚玉熔块暴露在空气中进行约七天的冷却。然后剥去熔块的未经熔融的表层，将其破碎到可喂入破碎机的小块。破碎之后再行筛分、磁选等操作以得到合格的各号磨料。

用以冶炼棕刚玉的上述方法称为“熔块炉法”，它属于间歇式冶炼法。另一种冶炼棕刚玉的方法是“倾倒炉法”，它是一种连续冶炼法。这时炉缸每隔十多个小时倾倒一次，把刚玉熔体倒入耐火材料做成的容器接包车中，使熔体缓慢冷却以得到晶体尺寸较大的产品。与此相反，当制造微晶刚玉时，则将熔体倒入通水冷却的小接包车中，由于每个接包车中接收的熔体数量很少，所以熔体可快速冷却而获得细晶结构的产品。

棕刚玉熔块再经搗碎、分级、破碎、筛分、磁选以得到各种不同粒度的磨料产品。

### (二) 白刚玉

白刚玉的生产过程与棕刚玉相似，只是冶炼时所用的原材料不同，它只是一种原料——铝氧粉。铝氧粉是 $Al_2O_3$ ，含量高达98.5%以上的白色细粉。白刚玉冶炼过程基本上只是原料的熔融与冷却时结晶的过程。

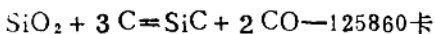
### (三) 黑碳化硅

黑碳化硅是在电阻炉中冶炼出来的。这种电炉呈槽形，带有可拆卸的侧墙。两端有石墨电极穿过固定端墙伸向炉内。现代我国的工厂中，这种电阻炉长可达14米、宽可达2.5米、高可达2.5米，其中可容纳约70吨炉料，每炉送电约8万千瓦小时，可获得9吨左右的磨料级产品。

往电阻炉内装入由硅砂（约占60%、石油焦炭（约占40%）和少量木屑配制而成混合物。在冶炼过程中，占木屑重料70%以上的挥发物在电热的作用下逸出炉外，增加了混合物中的气孔率，促进了基本化学反应产生的气体的流通。



电阻炉内除装有上述混合料外，还借助于一种叫隔板的工具，在炉料的中心部位水平地装置一个石墨粉质炉心，用它把电阻炉两端墙内的电极连接起来，构成一条导电的通路。冶炼时通过石墨电极往炉内供电约24小时。上述尺寸的炉子的最初供电电压高达340伏，然而在冶炼过程中随着炉子电阻的逐步下降，需要将电压逐步降低，最低电压常在260伏左右。炉内炉心表面的最高温度超过2400℃。炉内发生的化学反应可由如下总的方程式表示：



冶炼结束之后断开电源，并把炉子送去冷却。然后是依次从外向内卸去侧墙、扒掉外层未反应的炉料、取出碳化硅结晶筒，再将结晶块分级、破碎、洗涤（水洗或酸碱洗）、磁选和筛分成各种粒度。

#### （四）绿碳化硅

生产绿碳化硅的工艺过程基本上与生产黑碳化硅时相同，但应选用杂质较少的原料，并应往炉料中加入少量食盐（氯化钠），以促进产品呈绿色。

其它品种的磨料的生产工艺过程就不一一介绍了。

### 五、磨料的系列、品种、理化性能及用途

常用磨料按其成分、来源与性质，可分为若干类别、系列与品种，如图1所示。

以下就普通人造磨料的各主要品种的特点、理化性质及用途逐一作简要介绍。

#### （一）棕刚玉

是磨料工业生产中最重要的一种，其产量占电熔刚玉的