



《磨料磨具制造》丛书之三

刚玉制造

机械工业部机床工具工业局

81.5-99
15.1.133

刚 玉 制 造

编 著

孙 斯 衡

前 言

根据国家劳动总局和机械工业部组织编写技工学校教材和职工技术培训专业教材的要求，为适应全员培训的需要，我们组织磨料磨具磨削研究所、第一砂轮厂、第二砂轮厂、第四砂轮厂、第六砂轮厂和第七砂轮厂等科研生产单位中有较丰富实践经验和相当理论水平的专业技术人员，在一九七八年实行干部业务考核和生产工人考工的基础上，编写了这套《磨料磨具制造》丛书。全书共八卷，包括《刚玉制造》《碳化硅制造》《陶瓷磨具制造》《橡胶磨具制造》《金刚石制造》《金刚石磨具制造》《树脂磨具制造》和《涂附磨具制造》。

这套丛书着力于全面反映我国建国以来磨料磨具生产的全貌，总结这方面的经验和技術成果，展示我国磨料磨具工业的发展趋势。编者试图以生产工艺为中心，对工艺理论和工艺装备进行较为详尽的阐述。这套丛书既是一个统一的整体，又是自成系统的专著。这套中级技术理论教育的综合教材可用于技工学校、中等专业学校和职工业余学校的专业教学，也可作为生产工艺人员的必备工具书和具有初、高中文化程度职工的进修读物，同时对石油、采矿、化工、冶金、耐火材料、地质勘探、电瓷、陶瓷、玻璃材料等工业部门也有一定参考价值。

在本书编写过程中，承蒙各有关单位积极配合，中国磨料磨具工业公司的支持，在此谨表谢意。鉴于时间仓促，经验不足，书中的缺点错误一定在所难免，我们诚恳希望读者不吝批评指正，以期再版时予以修改补充。

机械工业部机床工具工业局

一九八三年七月

编 者 序

磨料一词是磨削材料的简称。人类对磨料的应用可以追溯到石器时代，那个时代的石刀石斧必然须在天然石块上磨琢的。到了青铜时代及至铁器时代，人类广泛使用刀箭之类器械，更需要应用磨石使其锋利，其中还包括对刀箭的再次修磨。人类对磨料的这一种认识和应用一直延续到现代。

磨料应用发展史与人类的文明史是同步前进的。本世纪以来，虽然创造出多种切削方法，但磨削加工不仅没有被淘汰，而且有了极大的发展，目前机械制造业不可没有磨削；日常生活用品之一的自行车，其中飞轮、钢珠、前后轴等都须经过磨加工的。一部柴油机，其中曲轴、汽缸、活塞、油泵、油咀、汽门杆、变速箱齿轮都需要磨加工，由此可见磨加工在国民经济中重要性。虽说是很重要，但是她并不是一个大行业，因为其使用量不是很大的。

磨料工业与机械工业、钢铁工业的发展有密切关系，目前常常用钢铁与磨料的产量比值来予测磨料工业发展水平。这个比值是：每吨钢平均要耗用3—4公斤磨料，据此推算，年产五千万吨钢需有年产15万吨以上磨料工业。

由于磨料兼备耐高温抗腐蚀的优异特性，所以磨料与耐火材料工业有缘分，高档的耐火材料有相当大的一部分是用磨料做的。磨料厂兼营耐火材料工业在国外屡见不鲜。

我国磨料工业是在五十年代初建立起来的，目前已拥有十二万吨年生产能力，从业职工六千余人（不包括砂轮工业），年产量在万吨以上的大厂有三个，产品质量接近国际水平，近年来已进入国际市场。

我国发展磨料工业的原料资源丰富，而且品位很高，是国际上为数不多的矿源优良的几个国家之一。我国磨料制造工业水平与世界先进水平相差并不很大，所以发展我国的磨料工业前景是良好的。

本书是国内第一部介绍刚玉磨料工艺的书，全书分二篇，第一篇是刚玉的电冶炼制造，其中包括原料、供配料工艺、冶炼过程物理化学原理、电炉参数、冶炼工艺、刚玉磨料性质等内容。第二篇是刚玉加工，其中包括粉碎、筛分、磁选、水力分级的工艺原理和设备，并对磨料加工工艺和产品的品种用途作了系统的介绍。

本书着力于工艺原理的阐明，不具体的引用生产厂数据，如果有相似之处是偶然巧合。其中有些新的论点，仅是作者拙见。但愿借此抛砖引玉，恳望读者指正，为提高我国磨料制造工艺水平，共同努力。

作者才疏学浅，经验浅薄，完成此著，实力不从心，而今既已成册，感谢李复亨同志的鼓励与支持，他卓有成效的组织工作，促成本书完成。书稿承蒙杨朔高级工程师审查、勘校，以及张润宣工程师、秦耿工程师提出宝贵意见，深表感谢。并感谢隋淑贞同志、薛潼同志、杨嗣中同志的鼓励与协助。

孙斯衡于一九八一年十月

目 录

第一篇 刚玉冶炼

第一章 原料及供配料工艺	(1)
第一节 矾土	(1)
1.1.1 化学物理性质	(1)
1.1.2 矾土焙烧	(3)
1.1.3 矾土质量评价	(7)
1.1.4 矾土理论耗用量及经济性	(10)
第二节 还原剂	(12)
第三节 铁屑	(14)
第四节 铝氧粉	(15)
第五节 配料计算	(16)
1.5.1 配炭量计算	(16)
1.5.2 配铁量计算	(18)
1.5.3 配料计算举例	(19)
第六节 备配料工艺	(21)
1.6.1 工艺流程	(22)
1.6.2 数量流程	(26)
1.6.3 设备台数计算及设备年时基数	(28)
1.6.4 原材料贮存量	(30)
第二章 电炉参数	(33)
第一节 电炉容量	(35)

第二节	工作电压及额定电流	(37)
第三节	电极直径	(40)
2·3·1	电极许可电流密度	(41)
2·3·2	电极直径计算	(42)
第四节	电极分布圆直径	(44)
第五节	炉缸直径	(46)
第六节	炉缸深度	(48)
第七节	熔块法电炉参数	(49)
第八节	倾倒炉电炉参数	(52)
第九节	白刚玉炉的电炉参数	(54)
第三章	电炉设备	(58)
第一节	电极把持器	(62)
3·1·1	导电夹板和夹紧装置	(65)
3·1·2	电极压放装置	(65)
3·1·3	升降装置	(67)
第二节	炉体	(68)
3·2·1	熔块法护体	(68)
3·2·2	倾倒炉炉体	(71)
3·2·3	炉壁及常用耐火材料性质	(73)
第三节	电极	(74)
第四章	刚玉冶炼工艺	(78)
第一节	刚玉冶炼原理	(78)
第二节	刚玉冶炼工艺	(79)
第三节	电炉的工艺参数及技术经济指标	(82)
4·3·1	单位耗电量	(82)
4·3·2	料耗	(83)

4.3.3	小时产量	(85)
4.3.4	投料速度	(86)
第四节	棕刚玉倾倒炉冶炼工艺及微晶刚玉制造	(88)
4.4.1	开炉阶段操作	(89)
4.4.2	熔炼阶段操作	(90)
4.4.3	精炼阶段操作	(92)
4.4.4	微晶刚玉制造	(92)
第五节	电炉反常现象处理及沾棍质量鉴别方法	(93)
4.5.1	电炉反常现象处理	(93)
4.5.2	沾棍的质量鉴别	(96)
第六节	棕刚玉熔块法冶炼工艺	(97)
4.6.1	几种特殊炉料用法	(98)
第七节	棕刚玉倾倒法与熔块法工艺比较	(99)
第八节	白刚玉系冶炼工艺	(102)
4.8.1	铬刚玉的熔炼工艺	(110)
第九节	单晶刚玉制造	(111)
4.9.1	单晶刚玉生成机理	(112)
4.9.2	水解反应及酸解反应	(116)
4.9.3	水解工艺	(118)
4.9.4	单晶刚玉冶炼配料原则	(121)
4.9.5	单晶刚玉冶炼	(126)
第十节	矾土烧结刚玉	(127)
第五章	刚玉磨料的性质	(130)
第一节	化学成分	(131)
5.1.1	刚玉熔块的化学成分	(133)
5.1.2	国外刚玉磨料的化学成分	(137)

第二节 矿物组成	(138)
第三节 物理性能	(145)
5.3.1 比重与堆积比重	(145)
5.3.2 安息角测定	(148)
5.3.3 湿润性	(149)
5.3.4 刚玉综合热力数据	(150)
第四节 机械性能	(151)
5.4.1 刚玉的显微硬度	(152)
5.4.2 刚玉的韧性	(153)

第二篇 刚玉加工

第一章 破碎设备	(156)
第一节 破碎及粉磨方法种类	(156)
第二节 破碎比	(158)
第三节 腭式破碎机	(159)
1.3.1 腭式破碎机工作机理	(159)
1.3.2 单摆式腭式破碎机的结构	(163)
1.3.3 复摆式腭式破碎机的结构	(165)
1.3.4 组合摆式腭式破碎机	(166)
1.3.5 腭式破碎机主要参数	(168)
1.3.6 腭式破碎机规格、型号, 及设备安装	(170)
1.3.7 腭式破碎机操作	(175)
第四节 辊式破碎机	(177)
1.4.1 辊式破碎机构造	(177)
1.4.2 辊式破碎机参数	(182)
1.4.3 辊式破碎机型号、规格	(182)

1.4.4 辊式破碎机操作	(183)
第五节 球磨机.....	(185)
1.5.1 球磨机构造	(187)
1.5.2 球磨机参数	(191)
1.5.3 球磨机操作	(194)
第六节 自磨机.....	(196)
第二章 筛分与磁选.....	(200)
第一节 筛分工艺过程.....	(202)
第二节 筛分的透筛概率.....	(205)
第三节 筛分效率.....	(208)
第四节 影响筛分过程诸因素.....	(210)
2.4.1 入筛原料的粒度组成影响	(210)
2.4.2 筛网的影响	(211)
2.4.3 料流量的影响	(212)
2.4.4 机械参数影响	(212)
第五节 筛分机械.....	(214)
第六节 筛析方法.....	(216)
2.6.1 筛析曲线	(220)
2.6.2 标准砂对筛网孔径的补正	(224)
第七节 筛网标准.....	(231)
第八节 磁选作业.....	(236)
2.8.1 磁选的物理基础	(237)
2.8.2 三辊磁选机	(240)
2.8.3 磁选机操作	(242)
第三章 刚玉加工工艺.....	(245)
第一节 破碎工艺流程.....	(245)
3.1.1 破碎段数选择及设备选型	(245)

3.1.2	予筛分作业	(247)
3.1.3	控制筛分与闭路作业	(249)
3.1.4	破碎流程的选择	(250)
3.1.5	三种实用破碎工艺流程	(252)
第二节	筛分工艺流程	(255)
3.2.1	磨料筛分流程	(258)
第三节	数量流程与物料平衡	(266)
3.3.1	数量流程编制方法	(269)
3.3.2	加工成品率及粒度出产比例	(275)
3.3.3	提高加工成品率及常用粒度的措施	(281)
第四节	设备台数及料仓容积计算	(285)
3.4.1	设备台数计算	(285)
3.4.2	料仓容积计算	(286)
第四章	刚玉微粉生产	(291)
第一节	沉降法和溢流法水力分级原理	(294)
第二节	水力旋流器分级原理	(297)
第三节	微粉生产工艺装备	(298)
4.3.1	酸洗设备	(298)
4.3.2	溢流分级桶	(304)
4.3.3	水力旋流器	(303)
第四节	溢流分级工艺	(308)
4.4.1	溢流分级工艺参数	(312)
第五节	沉降法分级工艺	(322)
4.5.1	沉降法分级工艺参数	(324)
4.5.2	料浆浓度计算	(328)
4.5.3	料浆浓度稀释计算	(331)
第六节	旋流法分级	(333)

4.6.1 旋流分级工艺参数	(335)
第五章 磨料品种、规格、用途	(337)
第一节 刚玉磨料品种	(337)
5.1.1 改性刚玉制品	(341)
5.1.2 混合磨料	(344)
第二节 国内外磨料品种及代号	(344)
5.2.1 刚玉系列	(344)
5.2.2 碳化物系列	(345)
5.2.3 人造金刚石系列	(345)
第三节 磨料粒度规格	(347)
5.3.1 国际磨料规格	(351)
5.3.2 磨料粒度组成	(352)
5.3.3 粒度组成中尺寸界限	(363)
第四节 国际磨料粒度标准	(365)
5.4.1 涂敷磨料的粒度标准	(365)
第五节 微粉规格	(370)
5.5.1 微粉粒度组成	(372)
5.5.2 微粉粒度组成尺寸界限	(373)
第六节 国外微粉粒度标准	(375)
5.6.1 FEPA微粉粒度标准	(375)
5.6.2 ГОСТ微粉粒度标准	(376)
5.6.3 日本微粉粒度标准	(378)
第七节 微粉检查	(380)

第一篇 刚玉冶炼

第一章 原料及供配料工艺

第一节 矾土

矾土是炼制刚玉的主要原料，因为矾土中含有大量的氧化铝成份。矾土也是极为重要的经济矿物，是炼铝工业主要矿源。耐火材料工业、水泥工业也大量使用矾土，其次是磨料制造业及化工工业。矾土矿品位高低，是按氧化铝含量多少来分的。冶金部颁标准如表1—1

表1—1

高铝矾土质量标准

级 别	化 学 成 分			耐火度 ℃
	Al_2O_3	Fe_3O_3	CaO	
特	>75	<2.0	<0.5	>1770
一	70~75	<2.5	<0.6	>1770
二	60~70	<2.5	<0.6	>1770
三	55~60	<2.4	<0.6	>1770
四	45~55	<2.2	<0.6	>1770

注：摘自YB327—63

熟矾土的质量标准，按冶金部公布的YB—2212—78如表1—1b

1·1·1 化学物理性质

矾土是矿石，不是土。别名叫铝矾土，指其含有丰富的铝元素。国产矾土有三种外观特征，第一种是白色至浅灰色，质地松软，品位很高；第二种是浅灰至深灰色，比较硬，断口成片状、豆状或是块状，有明显的水成岩特征；第三种是淡黄色至赭色，硬度和断

口形状和第二种差不多,但组织比较细,品位多般不如前两种高。

表 1—1b

高铝矾土(熟料)质量标准

指 标 等 级	化 学 成 分			耐火度 ℃	吸水率 %
	$Al_2O_3 + TiO_2$	Fe_2O_3	CaO		
特 级	>85	≤2.5	≤0.6	≥1770	≤3
一 级	>80	≤3.0	≤0.6	≥1770	≤5
二级甲	70—80	≤3.5	≤0.8	≥1770	≤7
二级乙	60—70	≤3.5	≤0.8	≥1770	≤7
三 级	50—60	≤3.5	≤0.8	≥1770	≤7

矾土质量难以用外观特征来判断,因为各地成矿环境不同,差别很大,下列三点鉴别经验仅供参考。

(1)断口有豆状结构的,质量好,氧化铝含量可望在75%以上。

(2)颜色浅的,色纯的好。

(3)结构细而致密的好。

我国矾土蕴藏量极为丰富,大型的新矿不断有发现,山西阳泉、河南巩县,贵州清镇等地都是有名的矾土产地,而且品位都很高。几个地区的矾土化学成分如表1—2,物理性能如表1—3。

表 1—2

矾土的化学成分

产 地	化 学 成 分					灼 减
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO+ MgO	
贵州清镇	71~79	2~6	0.6~2	3~5	0.5~1	13~15
贵州小山坝	74~78	1.8~6.9	0.9~1.2	2.5~3.5	—	14~14.5
山西阳泉	52~77	3.4~30	1~4	2.4~3	—	14~15
山东淄博	50~73	7~15	5~10	1~3	0.5	13~15
河南巩县	68~75	4~10	1.5~6	3~4.5	0.5~1.0	14~15

表 1—3

矾土的物理性质

项 目	指 标
比 重	2.5~3.5
耐 火 度	>1770℃
熔 点	1850—2000℃
莫 氏 硬 度	5—7
热 膨 胀 系 数	$8 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

矾土的岩相成分主要是一水铝石—— $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，也就是氧化铝在矾土矿中是一水铝石形态存在的，此外尚有一部分与氧化硅相结合形成高岭石—— $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ 。

氧化铁在矾土中岩相形态是赤铁矿，并与氧化铝构成固熔体。

矾土中各种化合物是微粒状结合在一起，所以不能用眼来识别各种氧化物，也很难用一般选矿法使各种氧化物分离。

矾土焙烧前后的色变——由灰变白。

1·1·2 矾土焙烧

矾土所以需要进行焙烧处理，是因为化学分析结果表明有 14—15% 的烧减量。焙烧主要目的是脱水。

矾土经焙烧后品位可以提高，因为氧化铝成分将会有显著增长，虽然其他氧化物的成分也增长了，但是从提高品位角度对待矾土的焙烧工艺，无疑是有益的。

如表 1—2 所示，矾土平均灼减量为 14.5%，焙烧后氧化物成分可以算得：

$$A_1 = A_0 \cdot \frac{100}{(100 - 14.5)} = 1.17 A_0$$

式中： A_1 ——焙烧后氧化物的化学成分

A_0 ——焙烧前氧化物的化学成分

鉴于焙烧作业不可能是完全的，通常总还有0.5%灼减量，所以焙烧后氧化物实际增值。

$$A = A_0 \cdot \frac{100}{100 - (14.5 - 0.5)} = 1.162 A_0$$

计算表明，焙烧后矾土品位可增值16.2%

矾土焙烧过程物理性能的变化，如综合热谱图所揭示的那样。

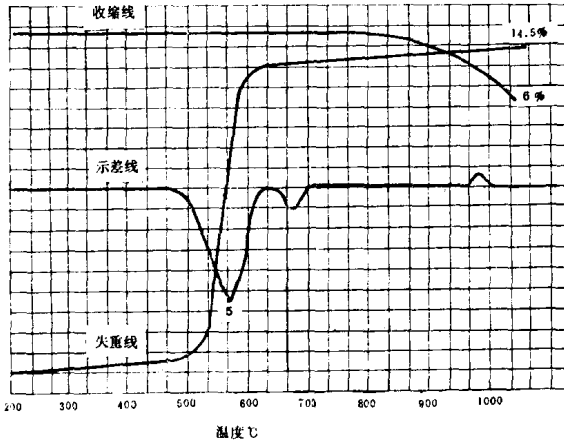


图 1—1 矾土综合热谱图

综合热谱图有三条特性曲线，即差热线，失重线，收缩线。差热线由差热分析法得出的，差热分析是用一种没有放热和吸热反应的材料（称为中性体）与有热效应的材料作温升比较。中性体在加热过程中温度是持续上升的，温度是时间的线性函数。有热效应的材料当有吸热效应时，与中性体出现了温差，温升滞后，在这个温度区间形成一个吸热峰；如果是放热反应，材料温度将高于中性体。于是出现了一个放热峰。放热峰说明是有晶体转变，或者是有析晶现象，吸热峰除了晶体的变异外，还有晶体的失水过程。

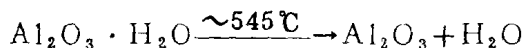
差热分析仅提供在某一个温度范围内有晶体变异或失水物理过程，但究竟是那一种？须通过矿相分析等手段来释疑。

失重曲线是随着温度的升高重量减小的百分率。

收缩曲线是随温度的升高体积线性收缩的百分率。

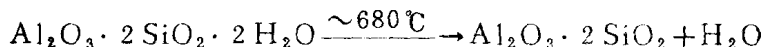
矾土综合热谱图说明以下几个问题：

1. 510—590℃区间有一个吸热峰，系一水铝石的失水过程。



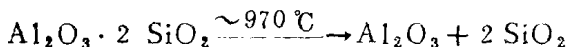
失重曲线也相应的说明在此温度区间有大量的结晶水失去。但从收缩曲线看变化是不大的，说明矾土经过540℃的焙烧质地会变松。

2. 670℃左右另有一个吸热峰，系高岭石失水过程。



因高岭石在矾土中是少量的，因之吸热不多，所以在失重曲线上反应不出来。

3. 965—980℃区间有一个放热峰，系高岭石析晶过程。



矾土脱水全过程如表 1—4（这份矾土的烧减量是 14.33%）

表 1—4

矾 土 脱 水

温度℃	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
脱水率%	0.48	1.18	5.18	11.73	12	13	14	14.2	14.2

由失重曲线以及表 1—4 所揭示的。矾土经过 900℃ 的焙烧，脱水 14%，已接近灼减量。在 600℃ 焙烧已有大量脱水（失重 11.73%），在此温度下脱水出来的氧化铝是 γ 形的晶体。