


高等学校磨料磨具磨削教材

Moliao Mojü Daolun

磨料磨具导论

华 勇 主编
李亚萍



 中国标准出版社
www.bzchs.com

高等学校磨料磨具磨削教材

磨料磨具导论

华 勇 主编
李亚萍

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

磨料磨具导论/华勇主编. —北京:中国标准出版社,2004

高等学校磨料磨具磨削教材

ISBN 7-5066-3549-6

I. 普… II. 华… III. ①磨料-高等学校-教材
②磨具-高等学校-教材 IV. TG7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079221 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 www.bzchs.com

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.50 字数 490 千字

2004年9月第一版 2004年9月第一次印刷

*

定价 40.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

前 言

根据教育部提出的拓宽专业口径,按专业大类进行人才培养的基本思路,为适应材料类专业(磨料磨具制造、超硬材料及制品、无机非金属材料)的教学内容和课程体系改革的需要,改革传统的按专业分类介绍专业知识的教材模式就显得非常迫切。《磨料磨具导论》正是为适应教改的需求,经过多年的教学实践后修改编写的。

磨料磨具被比喻作“工业的牙齿”,这形象地反映了它与现代工业发展的密切关系。磨料磨具作为一种工具已广泛应用于钢铁、机械、建筑、航天、化工、采矿等各行各业。本书系统介绍了普通磨料的主要性能及生产工艺,介绍了陶瓷磨具、树脂磨具、橡胶磨具和涂附磨具的特性、配方设计、生产工艺及设备、加工方法及检测手段。综合反映了普通磨料磨具制造的新技术、新成果及发展趋势。在文字上力求简单明了,重点突出了实用性。

本书可作为高等院校磨料磨具制造专业、超硬材料及制品专业和无机非金属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等相关行业从事研究、生产与应用的科技或管理人员等也具有较大的参考价值。

本书由河南工业大学华勇、李亚萍任主编,全书共分五章,第一章普通磨料由张惠民、王改民副教授编写;第二章陶瓷磨具由侯永改副教授编写;第三章树脂磨具由李亚萍副教授编写;第四章橡胶磨具由华勇副教授编写;第五章涂附磨具由华勇、李亚萍副教授编写。

本书由王秦生教授主审。本书参考或引用了书后所列著作或文献的内容,在此对这些著作及文献的作者及单位表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误或不足之处在所难免,敬请同行专家和广大读者指正。

编 者

2004年6月

目 录

第一章 普通磨料	1
第一节 概述	1
第二节 刚玉冶炼原理	16
第三节 刚玉磨料生产工艺	24
第四节 碳化硅冶炼原理	44
第五节 碳化硅磨料生产工艺	49
第六节 磨料的制粒加工	67
第七节 磨料的非磨削用途	75
第二章 陶瓷磨具	81
第一节 概述	81
第二节 原材料	87
第三节 结合剂的主要性能及结合剂的选择	95
第四节 配方设计	109
第五节 磨具的成型	114
第六节 干燥与粗加工	131
第七节 磨具的焙烧	134
第八节 磨具制品的加工	142
第九节 磨具成品的检查	149
第十节 特种磨具简介	157
第三章 树脂磨具	162
第一节 概述	162
第二节 原材料	163
第三节 配方设计	178
第四节 成型料的配制	181
第五节 成型方法	188

第六节	硬化	200
第七节	加工与检查	207
第八节	废品分析及预防措施	207
第九节	树脂专用磨具的制造	209
第四章	橡胶磨具	217
第一节	概述	217
第二节	原材料	218
第三节	配方设计	233
第四节	原材料的加工准备	236
第五节	成型料的配制	241
第六节	成型方法	246
第七节	硫化	250
第八节	加工与检查	256
第九节	废品分析及预防措施	257
第五章	涂附磨具	259
第一节	概述	259
第二节	原材料	265
第三节	干磨砂布	284
第四节	干磨砂纸	300
第五节	其他产品	302
第六节	质量检测	315
参考文献		318

第一章 普通磨料

磨料为人类所用已经有数千年之久。在远古时期,原始人就已经使用天然磨料来磨木质工具、骨头和石器等。人类最早使用的是天然石英砂和燧石。随后又相继发现和使用研磨性能更好的天然刚玉、石榴石和刚砂。

磨料从天然开采到人工制造,经历了漫长的历史。19世纪末,人造磨料的研究成功,开创了磨料制造的新篇章。人造磨料具备优异的性能,已经成为发展现代国防、现代工业和高新科技的重要材料。

第一节 概述

一、磨料及其性质

1. 磨料的概念

磨料的含义是随近代科学技术而发展的。早期的概念可见1982年出版的《科学技术百科全书》:“磨料是用于打磨或磨削其他材料的硬度极高的材料。磨料既可以单独应用,也可以制成砂轮或者涂附在纸或布上应用。”

1983年出版的《英汉双解技术词典》是这样定义的:“磨料是一种用于打磨或磨削物体表面的物质,例如:砂子、金刚砂、碳化硅。”

1992年国际生产工程研究学会编著的《机械制造技术辞典》对磨料有较好的定义。“磨料(天然的或人造的)是具有颗粒形状的和切削能力的天然或人造材料。”

2. 基本性质

(1) 磨料首先应当具备相当高的硬度。磨料硬度要高于被加工的工件。一般,磨料硬度越高,切削性能越好,耐磨蚀性能也越好。

(2) 磨料要有一定的韧性,以保持磨料的切削刃。磨料的韧性就是在磨削加工过程中抵抗破碎的能力。磨料韧性太低在磨削时很快就碎裂难以进行有效的磨削。磨料韧性过高,磨料变钝后也不碎裂,就会降低磨削效率。因此,磨料既要有一定的韧性,又要有一定程度的自锐性,使磨粒变钝后在一定的工作压力作用下碎裂,露出新的锐利的切削刃继续进行有效的磨削。

(3) 磨料应该是一种能够被制粒加工成尺寸范围广泛并且颗粒形态和尺寸整齐均匀的材料。

对磨削加工而言,为了获得要求的加工精度和效率,磨料必须制粒加工成具有一定粒度的形状均匀整齐的颗粒。因此,难以加工成颗粒状的材料就不宜作磨料。例如,硬质合金的硬度很高,但它的韧性也相当高,难以加工制粒,不太适宜于制造磨料。

(4) 磨料要有高温稳定性。在磨削加工过程中,磨料与工件的接触区域会产生大量的

热,局部温度可高达 1500°C 。因此,磨料在磨削产生的高温下,应能保持其固有的硬度和优良的机械性能。

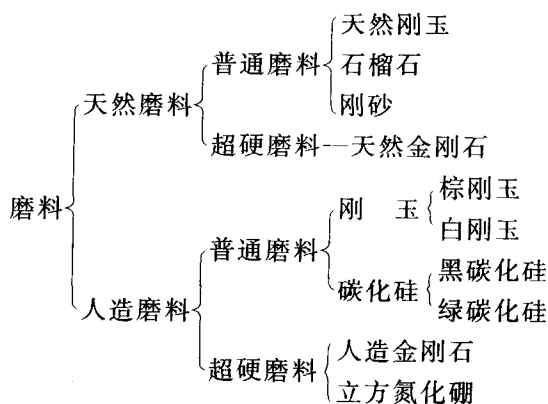
第五,磨料应具备化学稳定性。磨料在磨削高温下,与被加工材质之间往往有一定的化学反应。磨削不是单纯的机械过程,化学反应也在其中起着相当重要的作用。因此,磨料应该具备化学稳定性,避免与工件、磨具结合剂和磨削冷却液之间发生化学反应。

二、磨料分类、品种及代号

1. 磨料分类

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磨削材料称为超硬磨料,其他的为普通磨料。人造普通磨料包括刚玉和碳化硅两大系列的各种磨料品种。同样,人造金刚石和立方氮化硼的各种品种归入人造超硬磨料。

磨料的分类如下:



2. 磨料的品种及代号

我国磨料的主要品种及代号参见表 1-1。

表 1-1 我国普通磨料的主要品种及代号

品种名称	代号	旧代号	品种名称	代号	旧代号
棕刚玉	A	GZ	锆刚玉	ZA	GA
白刚玉	WA	GB	黑碳化硅	C	TH
黑刚玉	BA	GH	绿碳化硅	GC	TL
单晶刚玉	SA	GD	立方碳化硅	SC	TF
微晶刚玉	MA	GW	碳化硼	BC	TD
铬刚玉	PA	GG			

三、磨料粒度

1. 粒度规格

磨料的粒度指磨料的粗细程度。磨料的粒度规格是用粒度号来表示的。根据使用的需要,我国的磨料标准把普通磨料的粒度规格分为二类。一类是固结磨具用的磨料粒度规格,

其粒度号以“F”打头。这是国产磨料的主要粒度规格,绝大多数普通磨料是以这种粒度规格生产、制造和使用的。另一类是涂附磨具用磨料粒度规格,其粒度号以“P”打头,故称“P粒度号磨料”。

(1) “F”粒度规格

我国国家标准规定,磨料粒度按颗粒尺寸大小分为 37 个粒度号,记作:

F4 F5 F6 F7 F8 F10 F12 F14 F16 F20 F22 F24 F30 F36 F40
F46 F54 F60 F70 F80 F90 F100 F120 F150 F180 F220 F230 F240
F280 F320 F360 F400 F500 F600 F800 F1000 F1200

根据磨料的生产工艺,这种粒度规格分为二部分:

- a) 颗粒尺寸在 63 μm 以上的磨粒称作“粗磨粒”,范围在 F4~F220,多用筛分法生产。
- b) 颗粒尺寸在 63 μm 以下的磨料称作“微粉”,范围在 F230~F1200,多用水选法生产。

(2) P 粒度规格

P 粒度号磨料以英文字母“P”打头,加上阿拉伯数字表示,如 P60。数值愈大,磨料粒度愈细。P 粒度号起始于欧洲,现在世界各国涂附磨具中广泛使用。“P”为英文 popular 的第一个字母,意指“广泛流行”。

国标规定这种粒度规格的磨料共有 28 个粒度号,记作:

P12 P16 P20 P24 P30 P36 P40 P50 P60 P80 P100 P120 P150
P180 P220 P240 P280 P320 P360 P400 P500 P600 P800 P1000 P1200
P1500 P2000 P2500

前 15 个粒度号较粗,后 13 个为微粉、粒度较细。

P 粒度号磨料的特点:是严格限制粗粒群,基本粒群与混合粒群含量增多,减少细粒群(细粒号变粗)。这是根据涂附磨具的需要而规定的。因为涂附磨具只有一层磨料,如含有粗粒会划伤工件,如有细粒不但不能起磨削作用,还会增大脱砂量。

磨料采用筛分法筛选分级时,每一个粒度的磨料必须在二层筛网之间获得。当然,采用水选法也必须有个上下限值来确定粒度规格。这就是说,磨料粒度大小的变化是依从筛网变化的。筛网的变化是可以人为地纳入一定规律的,让相邻的二个筛网的孔径之比相等,称为磨料粒度的公比,即:

$$\frac{N_0}{N_1} = \frac{N_1}{N_2} = \dots = \frac{N_n}{N_{n+1}} = R$$

式中, N_0 、 N_1 、 N_2 ……为相邻的筛网孔径, R 是其公比数。

这样一个数列就构成了筛网的孔径系列,它从一开始,每隔 R 倍定为一种网孔规格。系列的顺序称作筛序。

在 F 系列中,国家标准规定磨料粒度号 F4~F220 采用 $R_{40/3} = 2^{\frac{1}{4}} \approx 1.1892$ 为公比数。即每隔 4 个筛网号,网孔基本尺寸差一倍,如 30[#] 筛网的网孔尺寸为 600 μm ,与 50[#] 筛网隔 4 个筛网号,所以 50[#] 筛网的网孔尺寸为 300 μm 。这里的 50[#] 筛网,是按国家标准规定作为 F54 磨料的基本粒检查用筛的,参见表 1-2。又如 35[#] 筛网的网孔尺寸为 500 μm ,隔 4 个粒度号,60[#] 筛网的网孔尺寸为 250 μm 。

表 1-2 我国国家标准规定的检查用筛

 μm

筛号	网孔基本尺寸	筛号	网孔基本尺寸	筛号	网孔基本尺寸
5/16	8000	14	1400	70	212
0.265	6700	16	1180	80	180
$3\frac{1}{2}$	5600	18	1000	100	150
		20	850	120	125
4	4750	25	710	140	106
5	4000	30	600	170	90
6	3350	35	500	200	75
7	2800	40	425	230	63
8	2360	45	355	270	53
10	2000	50	300	325	45
12	1700	60	250		

国家标准规定微粉粒度号 F230~F1200,若采用光电沉降仪检测, $R=2^{\frac{1}{3}}\approx 1.4142$ 为公比数;若采用沉降管粒度仪检测, R 从 1.173→1.305→1.197,没有确定的公比数。

在 P 系列中,国家标准规定磨粒粒度号 P12~P220 的公比数以 $R_{40/3}=2^{\frac{1}{3}}\approx 1.1892$ 为主, $R_{20/3}$ 为副。国家标准规定微粉粒度号 P240~P2500,若采用沉降管粒度仪检测, R 从 1.120→1.589→1.196,没有确定的公比数。

2. 粒度组成

各粒度号磨料产品不是单一尺寸的粒群,也不是尺寸仅限于相邻二筛网孔径之间的粒群,而是跨越几个筛号的若干粒群的集合。在规定各粒度号磨料的尺寸范围以及每个粒度号中各粒群的质量比例关系时,把各粒度号磨料的颗粒分为五个粒群,即最粗粒、粗粒、基本粒、混合粒和细粒。基本粒是指该粒度对应的筛网与相邻的粗一号筛网孔径尺寸之间的粒群;粗粒是与基本粒最邻近的较粗的一个粒群;细粒是与基本粒邻近的较细的一个粒群;最粗粒是比粗粒尺寸更大的粒群;混合粒是基本粒群与相邻的较细粒群之和。

以 F36 磨料为例,说明各粒群的尺寸范围,如图 1-1 所示。

磨料粒度组成就是测量计算各粒群所占的质量百分数。

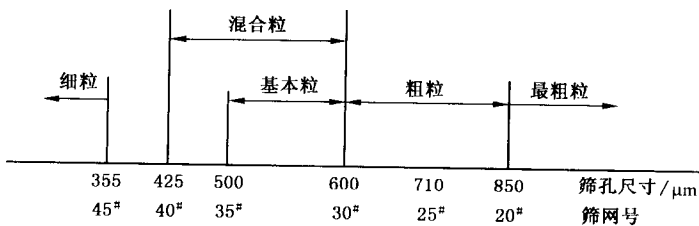


图 1-1 磨料各粒群的尺寸范围

磨具制造工艺确实对混合粒群有一定程度的要求。它可以提高磨具强度或改变磨具组

织结构。研究表明,当基本粒含量为 45%~50%,粗粒含量为 10%~25%,单一的混合粒中较细的一个粒群含量为 25%~35%时,磨料有最大的堆积密度值。此外,磨削加工工艺对磨料的要求也并不希望只是单独一个粒群。当有一些较细粒群包含在磨料里时,可以提高工件的加工光洁度。

我国国家标准规定了磨料粒度组成的测定方法,F4~F220 用筛分法,F230~F1200 用沉降管分析法。筛分法采用的筛机型号为 $\phi 200$ 型拍击式振筛机,如图 1-2 所示。筛机转数 290r/min,拍击次数 156 次/min,检查筛直径(200 \pm 1)mm。

筛分法检查用筛参见表 1-2。各号粒度组成应符合国家标准规定,参见表 1-3。

在磨料粒度组成测定时,对长期使用的检查筛网须定期用“标准砂”校对。对已破损的筛网要及时更换。每次更换的检查筛网也必须用“标准砂”校对,才能使用。

由于磨粒是在一定的筛分条件下自然筛分所得,其粒度组成和颗粒尺寸的分布规律基本上符合正态分布。所以,运用已知粒度组成的“标准砂”,并将测定数据绘在正态概率纸上,就能达到测算检查筛网孔径的实效尺寸和换算出粒度分布比例的目的。

四、普通磨料的物理性质

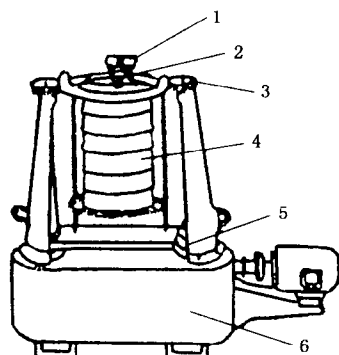
普通磨料物理性质的检测,行业已开展了十四项,其中的三项:粒度组成、颗粒密度、磁性物含量已作为磨料技术条件的必检项目列入国标。另外的三项:堆积密度、亲水性、pH 值的测定方法被列入国标。其余项目正在补充完善。

1. 硬度

硬度是指外力侵入时物体所表现的抵抗能力。依据外力作用方式的不同,硬度又分为刻划硬度与压入硬度两类。莫氏硬度是一种刻划硬度,标以德国矿物学家 Frederic Mohs 的姓氏,用肉眼鉴定矿物,十五种典型矿物的莫氏硬度参见表 1-4。

表 1-3 磨料粒度组成(F4~F220)

粒度	最粗粒	粗粒		基本粒		混合粒		细粒	
	100%通过下列筛号	不通过筛号	质量 \leq /%	不通过筛号	质量 \geq /%	不通过筛号	质量 \geq /%	通过下列筛号质量最多 3%	
F4	5/16	3 $\frac{1}{2}$	20	4	40	4	5	70	6
F5	0.265	4	20	5	40	5	6	70	7
F6	3 $\frac{1}{2}$	5	20	6	40	6	7	70	8
F7	4	6	20	7	40	7	8	70	10



1—拍击铁锤;2—跳动杆;3—上偏心轮;
4—筛网;5—下偏心轮;6—传动机构

图 1-2 $\phi 200$ 型拍击式振筛机

续表 1-3

粒度	最粗粒	粗粒		基本粒		混合粒		细粒	
	100%通过 下列筛号	不通过 筛号	质量 ≤/%	不通过 筛号	质量 ≥/%	不通过 筛号	质量 ≥/%	通过下列 筛号质量 最多 3%	
F8	5	7	20	8	45	8	10	70	12
F10	6	8	20	10	45	10	12	70	14
F12	7	10	20	20	45	14	16	70	18
F16	10	14	20	16	45	16	18	70	20
F20	12	16	20	18	45	18	20	70	25
F22	14	18	20	20	45	20	25	70	30
F24	16	20	25	25	45	25	30	65	35
F30	18	25	25	30	45	30	35	65	40
F36	20	30	25	35	45	35	40	65	45
F40	25	35	30	40	40	40	45	65	50
F46	30	40	30	45	40	45	50	65	60
F54	35	45	30	50	40	50	60	65	70
F60	40	50	30	6	40	60	70	65	80
F70	45	60	25	70	40	70	80	65	100
F80	50	70	25	80	40	80	100	65	120
F90	60	80	20	100	40	100	120	65	140
F100	70	100	20	120	40	120	140	65	200
F120	80	120	20	140	40	140	170	65	230
F150	100	140	15	170 200	40	170 200	230	65	325
F180	120	170	15	200 230	40	200 230	270	65	
F220	140	200	15	230 270	40	230 270	325	60	

表 1-4 典型矿物的莫氏硬度

矿物名称	莫氏硬度	新莫氏硬度	矿物名称	莫氏硬度	新莫氏硬度
滑石	1	1	石膏	2	2
方解石	3	3	莹石	4	4
磷灰石	5	5	正长石	6	6
石英	6.5	7	水晶	7	8
黄玉	8	9	石榴石	8.3	10
氧化锆	8.7	11	刚玉	9	12
碳化硅	9.3	13	碳化硼	9.6	14
金刚石	10	15			

现在,磨料的硬度多采用显微硬度表示。显微硬度是一种压入硬度,测定方法又分为维

氏硬度与努普硬度两种。维氏(Vickers)硬度的测定方法是:用对棱角为 136° 的金刚石正四棱锥,以荷重 $P(\text{kg})$ 在试样表面压出菱形凹坑,由凹坑对角线长度 $d(\text{mm})$ 按下列公式换算出维氏硬度:

$$\text{HV} = 18.18 \times P/d^2 \quad (\text{MPa})$$

努普(Knoop)硬度是用对棱角为 130° 和 $170^\circ 30'$ 的矩形金刚石四棱锥,以荷重 $P(\text{kg})$ 在试样表面压出菱形凹坑,用凹坑长对角线长度 $L(\text{mm})$,按下列公式求出努普硬度:

$$\text{HK} = 139.5 \times P/L^2 \quad (\text{MPa})$$

我国和欧洲各国采用维氏硬度,美国则采用努普硬度。常用磨料的维氏显微硬度值见表 1-5。

表 1-5 普通磨料的显微硬度值

磨料品种	显微硬度/MPa	磨料品种	显微硬度/MPa
棕刚玉	19600~21600	白刚玉	21600~22600
微晶刚玉	19600~21600	铬刚玉	21600~22600
单晶刚玉	21600~23500	矾土熔结刚玉	16700
锆刚玉	14700	绿碳化硅	31000~34000
黑碳化硅	31000~34000		

测定显微硬度的仪器是显微硬度计。它实际上是一台设有加负荷装置的显微镜,如图 1-3 所示。

硬度值的大小是由晶体结构中质点间联结力的大小决定的。联结力亦称键力。键力越强,晶体抵抗外力变形的能力也越强,硬度就越高。一般说,由分子键或金属键构成的分子晶格晶体的键力不强,硬度偏低。如高分子有机物的硬度都很小,大概在莫氏硬度 1~2 级。又如铜的莫氏硬度是 2.5~3 级。共价键的键力很强,所以以共价键构成的原子晶格晶体的硬度很高,如金刚石、氮化硼、碳化硼、碳化硅等。离子键也有很强的键力,所以离子晶格的晶体,如氧化铝刚玉是离子型紧密六方堆积体,硬度也很高。

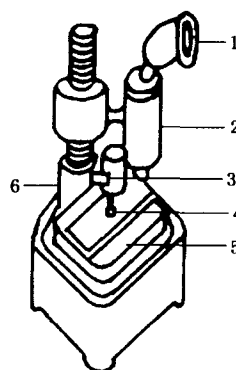
同种组分所形成的同质多向体,它们晶体中质点的堆积松紧程度不同,表明其键力的差异。堆积的松紧可从密度上反映出来。因而密度的大小与硬度的高低有正相关性。例如金刚石与石墨的化学成分都是碳,但金刚石的密度为 3.51 g/cm^3 ,石墨为 2.23 g/cm^3 ,所以金刚石是最硬的物质,而石墨只有莫氏硬度 1 级。

晶体的硬度各向异性。所以碳化硅晶体在不同晶面方向上的硬度值不同,参见表 1-6。

磨料的硬度一般都随温度的升高而降低,参见表 1-7。

2. 韧性

磨料的韧性是指磨粒在磨削力的作用下抵抗冲击而不破碎的能力。



1—目镜测微器;2—显微镜;
3—负荷机构;4—金刚石;
5—载物台;6—支架

图 1-3 显微硬度计

表 1-6 碳化硅不同晶面方向上的硬度值

晶面	测锥方向	硬度值/GPa		
		最低	平均	最高
(0001)	//(10 $\bar{1}$ 0)	28.42	28.59±0.10	28.76
(0001)	//(10 $\bar{2}$ 0)	28.59	28.95±0.27	29.65
(00 $\bar{1}$ 0)	//C轴	19.86	20.86±0.44	20.86
(00 $\bar{1}$ 0)	⊥C轴	26.46	27.00±0.39	27.70
(00 $\bar{2}$ 0)	//C轴	22.75	23.43±0.33	23.85
(00 $\bar{2}$ 0)	⊥C轴	26.63	26.80±0.22	27.34

表 1-7 碳化硅和白刚玉的热态硬度

温度/℃		200	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
硬度/ MPa	白刚玉	24.11	23.03	22.05	20.09	18.13	14.60	12.25	9.60	5.59
	碳化硅	32.34	24.11	22.05	21.36	16.76	14.90	13.57	11.47	9.51

磨料要具备一定的韧性,才能保证磨粒切削刃的切削能力,并且又能在磨粒切削刃被磨钝的情况下自行磨锐,表现出一定的自锐性,从而获得良好的磨削效果。

一般说来,磨料的韧性愈好,被磨金属的单位磨下量也就愈多。但是,过高的韧性会阻碍磨粒的自锐性。这就是说,磨料有了适当的韧性才能在磨粒与结合剂粘结之后,使磨具具备一定的磨削能力;并且当磨具与工件接触的表面变得平坦之后,磨粒受到的总作用力增大,使磨料破碎脱落,露出新的磨粒或切削刃,从而恢复磨具应有的磨削能力。

具体测量磨料韧性的方法有静压法和球磨法两种。静压法的测定值比较稳定。球磨法测定时,磨粒的受力方式更接近于磨粒在磨削时的受力情况。磨料的韧性值是一个相对值,用百分率表示。模压法测定韧性是用一定粒度规格、规定质量的磨粒在压模内承受一定的静压后,以其未破碎颗粒的质量百分数作为磨料的韧性值。球磨法测定韧性是以一定质量、粒度规格的磨料于一定转速的球磨机中(内装一定规格、质量的钢球)转至规定的总转数后,以未被破碎颗粒的质量与回收样总质量之比,作为磨料的韧性值。

在磨削过程中,磨料的磨损与磨料的硬度、抗热震能力、抗冲击、抗震动、抗压以及抗磨蚀能力密切相关。磨料的韧性是这些性能的综合反映。

磨料的颗粒形状、尺寸和显微结构是影响磨料韧性的重要因素。如单晶体磨粒的韧性较集合体的高。磨料粒度对韧性值的影响参见表 1-8。

表 1-8 不同粒度磨料的韧性值

磨料品种	测试方法	韧性值/%						
		F16	F24	F30	F46	F80	F120	F180
棕刚玉	球磨	29.0	18.4	9.7	19.4	39.4	51.0	61.2
	静压	39.4	41.9	44.5	50.8	60.5	60.8	61.2
白刚玉	球磨	17.1	16.4	10.9	24.6	46.0	57.8	59.6
	静压	27.4	40.1	36.4	55.6	53.7	61.7	62.3

磨料颗粒形状对其韧性的影响也是十分明显的。磨料颗粒形状是指磨粒的长、宽、高之间的比例。通常被归纳为四种不同的形状类型：

- (1) 等积形:宽:长:高=1:1:1 (2) 片状形:比值=1/3:1:1
(3) 剑状形:比值=1/3:1/3:1 (4) 其他形

采用球磨法测定磨料韧性的实验证明,等积形的磨粒具有较高的韧性,参见表 1-9。

表 1-9 不同形状磨粒的韧性值

磨 粒 形 状	球磨韧性值/%
等积形	64
短而粗的颗粒	53
片状和剑状(对辊破碎)	44

磨料颗粒形状取决于磨料本身的晶体结构和制粒的加工方法。采用不同的破碎设备加工制粒,被破碎的磨粒形状是不同的。一般认为自磨机 and 球磨机等破碎设备可制得含有较多的等积形颗粒,对辊机和颚式破碎机等设备制得的颗粒含有较多的片状和剑状颗粒,参见表 1-10 和表 1-11。

表 1-10 棕刚玉磨料的颗粒形状

破碎设备	颗粒形状含量/%			
	等积形	剑状	片状	集体
颚式破碎机	49.1	28.0	17.6	5.3
辊式破碎机	48.4	34.9	8.7	8.0
(湿法)棒磨机	65.6	21.5	8.2	4.7
轮碾机	69.0	22.9	3.6	4.5

表 1-11 不同破碎设备的生产性能

破碎设备	生产能力/(t/h)	成品率/%	等积形含量/%
带筛球磨机	4.8	80.10	82.6
对辊机	2.5	90.72	64.7
自磨机	8~10	69.95	75.1

由于磨料的韧性主要受颗粒形状等因素的影响,因此,要提高磨料的韧性值,通常可采取整形和选形工艺。整形就是把球磨机转速减慢,筒内钢球减少之后运转,把磨粒的棱角修整。选形是选形机依靠振动将颗粒形状规则整齐的与不规则的磨粒分开。整形后磨料的韧性值比整形前有明显提高,参见表 1-12。

表 1-12 白刚玉磨料韧性比较

磨料粒度	模压法韧性值/%	
	整形前	整形后
F24	76.6	90.0
F46	84.0	94.0

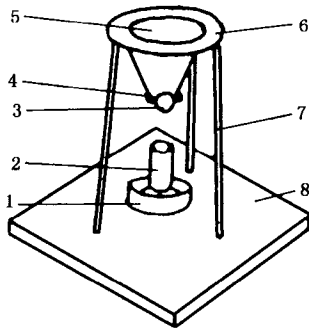
煅烧也能提高磨料的韧性。刚玉磨料,特别是棕刚玉的韧性提高尤为明显。煅烧温度为1000~1300℃。煅烧能够消除磨粒加工过程中产生的应力,还能弥合加工过程中磨粒所产生的微裂痕和晶体本身的小缺陷。煅烧的时间以1~4 h为宜。

3. 堆积密度

磨料的堆积密度是指粒状磨料在自然堆积情况下,在空气中单位体积内所含的质量。单位是 g/cm^3 。磨料的堆积密度与磨料的颗粒密度、粒度、粒度组成、品种、颗粒形状等因素有关。一般说,粗粒度磨料比细粒度磨料的堆积密度大,如表1-13所示;混合粒度磨料的堆积密度大于单一粒度;刚玉比碳化硅的堆积密度大;等积形颗粒比针片状颗粒的堆积密度大。

表 1-13 不同粒度棕刚玉磨料的堆积密度

磨料粒度	F14	F16	F20	F24	F30	F36	F46	F60	F70	F80	F100	F120	F150	F180	F220
堆积密度/ (g/cm^3)	1.99	1.95	1.92	1.90	1.87	1.84	1.82	1.75	1.72	1.70	1.70	1.66	1.65	1.61	1.56



1—集料盘;2—测量筒;3—橡皮球;
4—弹簧;5—漏斗;6—漏斗架;
7—漏斗支杆;8—底座

图 1-4 堆积密度测定仪

堆积密度是磨料的物理性质,更是磨具制造的工艺参数。它与磨具成型、制品强度及气孔率都有密切关系,也能影响磨具的磨削性能。不同用途的磨具对磨料堆积密度的要求亦不同。涂附磨具要用堆积密度较小的磨料;重负荷磨具要求磨料有较高的堆积密度。

如要提高磨料的堆积密度,可在磨料粒度组成标准允许的情况下,调节各粒群之间的含量。同时,还可以选择不同的制粒加工设备和采用整形方法来提高磨料的堆积密度。

国家标准已经规定了堆积密度测定方法,采用普通磨料堆积密度测定仪,如图1-4所示;使粒状磨料从规定高度自由溶下,充满一定体积的容器,然后称量容器内磨料的质量。各种磨料的堆积密度参见表1-14。

表 1-14 普通磨料的堆积密度

磨料品种	棕刚玉	白刚玉	单晶刚玉	微晶刚玉	铬刚玉	黑碳化硅	绿碳化硅
堆积密度/ (g/cm^3)	1.68~1.95	1.75~1.95	1.85~1.91	1.64~1.72	1.79~1.88	1.30~1.56	1.45~1.56

4. 颗粒密度

磨料的颗粒密度是指排除了开口气孔后单位体积磨料颗粒的质量。单位: g/cm^3 。这就是说,磨料颗粒密度测定用的是未经处理的磨料原颗粒。由于这样测定磨料密度时,磨料颗粒的闭口气孔并未排除,所以在“密度”之前加上“颗粒”两字,以示区别。事实上,磨料产品正是具有各种不同粒度的颗粒,因此磨料的颗粒密度是有实际意义的。

磨料的颗粒密度取决于两个主要因素,一是晶体化学组成中所含元素的原子量大小,另一个就是晶体结构中质点堆积的紧密程度。在化学组成相同或相似的晶体之间,密度应是

指示晶体结构中质点堆积紧密程度的主要标志。例如,金刚石和石墨这两个同质异构体的密度不同,就是第二个因素对密度影响的实例。金刚石和石墨都是由碳原子组成的,原子量以及原子半径都相同。但是,金刚石结构中碳原子为四次配位,形成等轴晶系的立方面心格子。石墨的碳原子配位数则为3,通常形成六方晶系2H型的原始格子。配位数越高,说明其晶体结构中质点堆积越紧密,其密度也就大。金刚石的密度值为 3.51 g/cm^3 ,石墨为 2.23 g/cm^3 。

国家标准规定,磨料颗粒密度测定采用静水力学称量法。该法测定时以煤油为介质,并经过真空抽气装置抽气来排除磨料试样的开口气孔体积。依据“阿基米德”原理,固体在液体中失去的重量等于它所排除的同体积液体的重量。测定时,分别称出试样在空气中的质量 G 和试样在介质(煤油)中的质量 M ,按下式计算出磨料的颗粒密度:

$$D_{\text{颗粒}} = \frac{G}{G - M} \rho_{\text{煤油}}$$

式中,煤油的密度 $\rho_{\text{煤油}}$ 可用精度为 0.001 g/cm^3 的精密比重计测出,也可用韦氏天平测出。韦氏天平如图1-5所示。

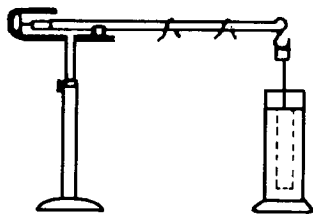


图 1-5 韦氏天平

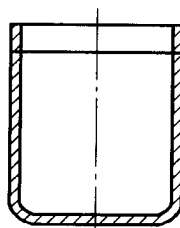


图 1-6 盛样杯

称取磨料试样时,通常借助于盛样杯。盛样杯如图1-6所示。试样在空气中的质量 G 等于盛有试样的盛样杯质量减去盛样杯的质量。试样在煤油中的质量 M 等于盛有试样的盛样杯浸在煤油中的质量减去盛样杯浸在煤油中的质量。

用静水力学称量法测得的各种磨料的颗粒密度参见表1-15。

表 1-15 各种磨料的颗粒密度

磨料品种	颗粒密度/(g/cm^3)	磨料品种	颗粒密度/(g/cm^3)
棕刚玉	3.97	白刚玉	3.98
单晶刚玉	3.98	微晶刚玉	3.94
铬刚玉	3.98	锆刚玉	3.98
黑碳化硅	3.20	绿碳化硅	3.20

5. 亲水性

亲水性指晶体表面对水分子的引力大于水分子之间的引力,易被水所湿润的程度。

原子键或离子键的晶体属亲水性。相反,分子键的晶体表面不易被水湿润,属疏水性。刚玉磨料属离子键晶体,碳化硅磨料属原子键晶体,因而都具有一定的亲水性。

亲水性是磨料的一项基本性质。亲水性的大小是磨料与结合剂结合牢固程度的重要因素。对涂附磨具所用的磨料,亲水性更是一项重要的工艺参数。在微粉生产过程中,亲水性的大小可影响其分级和沉淀。