

李晓明 著

微粉与 新型耐火材料

WEIFEN YU
XINXING
NAIHUO
CAILIAO

冶金工业出版社

微粉与新型耐火材料

李晓明 著

北 京
冶金工业出版社
1999

内 容 简 介

本书是作者近年在微粉和新型耐火材料方面科研成果的汇编,叙述了耐火材料用各种微粉的性能、种类和 SiO_2 微粉的结合机理,对所研究的 16 个耐火材料新品种作了介绍。

本书可供从事耐火材料工作的科技工作者及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

微粉与新型耐火材料/李晓明著. - 北京:冶金工业出版社,
1997.6(1999.8 重印)

ISBN 7-5024-2034-7

I. 微… II. 李… III. 耐火材料-原料,微粉 IV. TQ175.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 07674 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1997 年 6 月第 1 版; 1999 年 8 月第 2 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 9.5 印张; 258 千字; 298 页; 2001~4000 册
21.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64013877

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是作者以近年来在耐火材料用微粉性能、结合机理方面的研究和在耐火材料新品种开发方面所作的工作为基础,汇集有关资料写成的。

微粉的开发和应用是目前许多专业的热点。微粉的分类是一个相对的概念,而且各专业由于应用的不同,对其性能及分类的描述也有差异,作者的工作主要集中在耐火材料中常用的微粉上,即对微米级微粉进行研究。所研究的微粉主要是已在工业上得到应用并已具备工业生产能力的微粉,例如各种 SiO_2 微粉、各种 Al_2O_3 微粉、锆英石微粉、莫来石微粉、碳化硅微粉和尖晶石微粉。本书在内容叙述上,为了切合实际,不过多地阐述原理,主要谈及应用微粉时所面临的一系列实际问题,诸如:如何方便地测定微粉的粒度、判断微粉的形貌和质量,微粉的加入量对制品烧结性能及其他性能的影响,微粉加入后的机理及对显微结构的影响等等。

耐火材料新品种的开发近年来一直很活跃,本书中列入了作者主持研究的 16 个耐火材料新品种的试验研究内容,其中有结合剂、不定形耐火材料、高纯耐火材料低温烧成以及不烧耐火砖,各品种均介绍了试验所选用的原料、配比、制作工艺及应用范围,这些品种的选择完全是根据作者个人对耐火材料发展趋势的见解而定的,仅供读者参考。

本书中所有的试验研究工作都是在作者所主持的课题组中完成的。在试验中,吴清顺、吴芸芸老师做了大量的工作,参与试验有关内容的同学和试验室人员付出了辛勤的劳动,特向他们致谢。

本书的内容主要反映作者近 5 年来的工作,新的内容难免有许多不够成熟之处,欢迎读者予以指正。

作 者

1996 年 4 月

目 录

第一章 微粉	1
第一节 SiO_2 微粉及其在耐火材料中的应用	1
第二节 SiO_2 微粉的种类和性能	11
第三节 SiO_2 微粉的低温结合机理	21
第四节 SiO_2 微粉的中温结合机理	30
第五节 SiO_2 微粉和 Al_2O_3 的开始反应温度	49
第六节 Al_2O_3 微粉的性能	58
第七节 锆英石、碳化硅、莫来石和尖晶石微粉的性能	74
第八节 凝胶结合剂	92
参考文献	100
第二章 耐火材料新品种	102
第一节 含碳浇注料	103
第二节 纤维不定形耐火材料	116
第三节 硅线石改性无水泥浇注料	131
第四节 固态复合结合剂结合浇注料	144
第五节 降低硅灰用量的高技术浇注料	156
第六节 高技术浇注料防爆裂添加剂	165
第七节 无水泥、无微粉尖晶石浇注料	179
第八节 勃姆石制 $\rho\text{-Al}_2\text{O}_3$ 及其浇注料	197
第九节 免烧铝酸钙水泥及其浇注料	211
第十节 高强度铁沟预制件	223
第十一节 镁铝胶结合低温烧成高纯镁尖晶石砖	240
第十二节 抗铜渣浸蚀低成本耐火砖	256
第十三节 高温推板砖	263
第十四节 莫来石窑具的新制法	272

第十五节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$ 系材料的低温烧成	··· 279
第十六节	低导热钢包不烧砖	····· 288
参考文献	·····	296

第一章 微 粉

微粉是陶瓷、电子、化工等专业近年来研究和应用的热门话题，它的高比表面积和高表面活性为各专业在制造制品时带来一系列优异性能，从而引起了广泛的兴趣。

在陶瓷和耐火材料中，人们早就发现提高细粉的细度能促进制品烧结并带来一系列优异性能。随着微粉制作方法的进步，人们可以在工业中应用粒径更小的微粉，对其性能有了更深的认识。从 20 世纪 60 年代开始，微粉的理论研究开始提上日程。目前微粉按其粒径和应用范围可以不太严格的分为两类：一类为用于电子、磁性材料、光学材料及一些特殊精细陶瓷的超微粒子，其粒径范围大约为 $1\sim 100\text{nm}$ 之间；另一类为主要用于一般陶瓷材料，粒径为 $100\sim 10000\text{nm}$ ($0.1\sim 10\mu\text{m}$) 的微粒子，本书主要研究这一类微粉的性能。

第一节 SiO_2 微粉及其在耐火材料中的应用

一、微粉的命名及定义

前面已经提及，微粉这一名词的含义比较含混，各个专业根据本专业的习惯或常用粒径的大小有各种各样的称呼。例如：微粉、超微粉、超细粉、微粒子（或微颗粒）、超微粒子、亚微粒子、极微粒子等等，这很不科学。特别是在普通耐火材料的应用中，相当一个时期，一部分资料把当时工艺所用一般细粉粒径作为标准，称小于 $44\mu\text{m}$ 的细粉为超细粉，这显然很不合适了。目前，大多数资料比较认可的微粉或超细粉是指微米级 (μm) 的。即使这样，也有诸多的分法，例如有人把粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的细粉称为超微粉，还有人认为只有在电子显微镜下可见的粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的微粉才称得上超微颗粒，而且又按 $0.1\mu\text{m}\sim 10\text{nm}$ 、 $10\text{nm}\sim 2\text{nm}$ 、 $<2\text{nm}$

三档分别称之为大、中、小超微颗粒。而 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 之间则称为亚超微颗粒。作者比较同意《超微粒子》一书中的分类方法，即：

粉体粒径尺寸	$10\sim 10^3\mu\text{m}$
微粒子（微粉）粒径尺寸	$0.1\sim 10\mu\text{m}$
超微粒子（超微粉）粒径尺寸	$1\sim 10^2\text{nm}$
极微粒子粒径尺寸	$<1\text{nm}$

上述分类不仅粒径界限明确，而且其划分与这类微粉的特性和用途均有密切联系，比较科学。由于目前陶瓷和耐火材料中最常用的细粉尺寸正好处在上述粉体尺寸范围，而常用的明显表现出其特性的超细粉尺寸正好处于上述微粒子尺寸范围，因此本书将以往所称的“超细粉”统称为“微粉”。目前大多数应用于陶瓷和耐火材料中诸多的超细粉、超微粉实际上都处在 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 之间，而且把常用细粉称粉体，超细粉称微粉也较符合耐火专业的习惯。

二、微粉的性质

我们在这里讨论的不是所有的超微粒子特性，而是在微粒子（微粉）这一粒径范围内，那些对陶瓷和耐火材料特别有用的特性。

微粉表现出的特性的理论基础是表面现象理论。以固体为例，当其破碎时，表面积迅速增大，表 1-1 显示出立方体粒子分割时，微粒总表面积和比表面（分散度）的数据。表 1-2 显示了耐火材料和陶瓷工业中常用的 SiO_2 颗粒在破碎到 1nm 时，比表面积的增长。从两表的数据可以清楚地看到：随着颗粒粒径变小，表面积增大幅度很大，而表面层的质点与内部质点所受周围质点（原子、离子或分子）的相互作用力是不同的，如图 1-1 所示。这样，表面质点在不平衡力的作用下，就会偏离平衡位置，加上边角处质点缩小表面积趋势造成质点位置的偏离，还有机械粉碎作用在达到一定粒径后继续对表面的破坏作用，这一切都使固体表面的质点比其内部质点具有更高的能量（表面能）和质点可动性，这就使具有高比表面积微粉能在那些必须由质点迁移来完成的反应和烧结过程中表现出更大的活性，从而促进这些过程的完成。

表 1-1 立方体的粒子在分割时总表面积和比表面的变化

立方体边长 l/m	微粒数	微粒的总表面积 A/m^2	比表面 (分散度) A_s/m^{-1}
10^{-2}	1	6×10^{-4}	6×10^2
10^{-3}	10^3	6×10^{-3}	6×10^3
10^{-4}	10^6	6×10^{-2}	6×10^4
10^{-5}	10^9	6×10^{-1}	6×10^5
10^{-6}	10^{12}	6×10^0	6×10^6
10^{-7}	10^{15}	6×10^1	6×10^7
10^{-8}	10^{18}	6×10^2	6×10^8
10^{-9}	10^{21}	6×10^3	6×10^9

表 1-2 不同尺寸颗粒 SiO_2 所具有 A_w 值

l/m	$A_w / (\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$
10^{-2}	0.26
10^{-4}	2.6×10
10^{-8}	2.6×10^5
10^{-9}	2.6×10^6

对于晶体而言，细小晶体表面的饱和蒸气压大于大晶体表面的饱和蒸气压，这就使破碎后的微小晶体的熔点比大晶体降低，而其溶解度则比大晶体增大，这无疑对陶瓷及耐火材料在烧结过程中的晶体长大有促进作用（如图 1-2 和图 1-3 所示）。

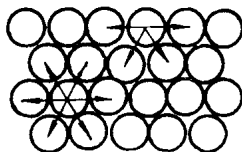


图 1-1 表面能产生示意图

由于表面能的存在，微粉的表面物理和化学的吸附表现得比较明显，这类吸附作用会使它们在制造微粉的细磨工艺和烧结工艺中视情况分别产生促进或阻碍作用。同样，表面能也使微粉易相互作用而形成团聚体（凝聚）。充分发挥微粉的分散作用，则成为微粉应用中经常遇到的重大问题，相反，利用它的分散-凝聚作

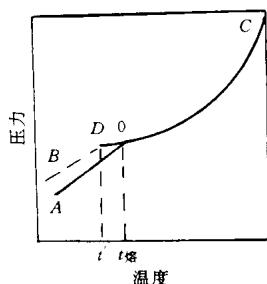


图 1-2 分散度对熔化温度的影响

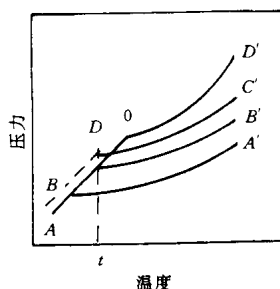


图 1-3 分散度温度对溶解度的影响

用又是陶瓷和耐火材料工艺中成型和胶结工艺的重要课题。

对于微粉所具有的电学、光学和磁学性质上的一些特性，我们就不在这里予以讨论了。

三、微粉的制备

微粉的工业制备方法从根本上分为两种：即粉碎法和聚集法。粉碎法一般用机械粉碎。此法有大量成熟的机械设备，生产批量大，但是，一般难以制成 $1\mu\text{m}$ 以下的微粉。聚集法则是由离子或分子先成核，再通过生长并控制其粒径。该方法所用设备较复杂，操作精细，但是可以控制生长而获得 $1\mu\text{m}$ 以下的超微粉。这类方法又分成液、气、固相法 3 种。固相法原料来自液、气相法，所以实质上是两种。对于陶瓷和耐火材料工业而言，目前绝大多数采用粉碎法制备微粉，已有相当数量的精细陶瓷和特种耐火材料采用聚集法制备超微粉。另外，目前建筑和耐火材料工业中大量使用的硅灰 (SiO_2 超微粉) 实际上就是聚集法中的气相法生成的。由于本书并不着重讨论微粉的制备，这里仅是概要地介绍一下这两种方法的概况和所用设备。

(一) 粉碎法

这种方法主要是选用各类粉碎机，目前常用的制微粉的机械设备列于表 1-3。

表 1-3 制微粉的机械设备

总 类	分 类	细 分 类
高速旋转研磨机 (冲击式粉碎机)	圆盘式粉碎机 丝网磨机 离心分级型磨机	
球 磨 机	转动球磨机 振动球磨机 游星磨机	瓷罐球磨机, 圆筒球磨机, 锥形球磨机, 超临界罐机圆振动磨机, 旋转振动磨机 离心磨机 垂直轴, 水平轴
介质搅拌磨机	塔式粉碎机 搅拌槽型机 流通管型磨机 环形磨机	搅拌棒型, 高速旋转圆盘型垂直搅拌轴, 水平搅拌轴圆筒型, 圆锥型
喷射粉碎机	气流吸入式 喷嘴吸入式 碰撞体冲击式 对向喷射冲击式 复合式	
其 他	乳 钵 石 臼等	

由于耐火材料中相当多的微粉具有硬度大、难磨细及聚集体等问题, 所以耐火材料专业也有为此投入研究的人员, 例如武汉冶金科技大学的李楠教授就做了不少研究工作, 他们与工厂合作生产的环缝磨已供应工厂用于磨微粉。作者认为: 这类方法由于受到机械设备的限制, 它的应用范围看来在相当一段时期只能局限于提供微米级的微粉, 更细的超微粉仍然主要依靠聚集法。

(二) 聚集法

上面已提及这种方法是利用分子或离子成核然后再生长成微粉, 其原理如图 1-4 所示。这类方法又分为气相法和液相法, 下面

简要地叙述该法。

1. 气相法

该法特点是其成核的离子或分子来自气相，它又可分为化学法和物理法。

化学法是指原料气体是通过化学反应后才生成与微粉化学组成相同的质点，这种质点再通过成核、长大凝聚而成微粉。这类方法按其反应器的不同又分为电阻炉法、化学火焰法、等离子体法、激光法等，这类方法能得到各种组成的超微粉，而且可以得到一般方法难以获得的准稳态（介稳态）超微粉，还能形成特种陶瓷和耐火材料所需要的氮化物和碳化物微粉，工业上常见的用这种方法制备的超微粉体系列于表 1-4~表 1-6。

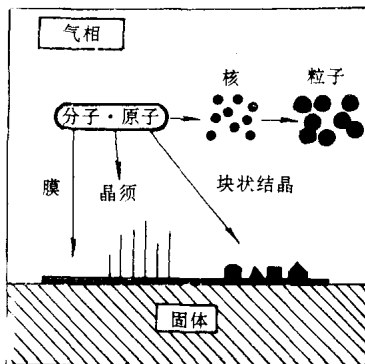


图 1-4 由气相析出微粉

物理法是指通过蒸发-凝聚控制与微粉成分（化学组成）相同固体的粒径来制备超微粉的方法。但是，由于此法在蒸发过程中往往会发生分解等反应，所以实质上它是物理与化学的组合方法。它按加热方式的不同，又分为电阻加热法、等离子加热法、高频感应加热法、电子束加热法、激光束加热法和高频溅射法等。

2. 液相法

这类方法采用金属盐溶液合成微粉，一般分为沉淀法和溶剂蒸发法，其工艺过程如图 1-5 所示。

沉淀法中又分为共沉淀法、水解法、均匀沉淀法、氧化水解法和还原法。

溶剂蒸发法分为冻结干燥法、喷雾干燥法、喷雾热分解法等。

液相法虽有容易控制组分、多组分混合方便等优点，但所形成的超微粉中聚集状态多于气相法。

表 1-4 气相化学法反应平衡常数与生成的微粉

反应系	生成物	平衡常数 $\lg k$		粉体的生成		
		1000℃	1400℃			
氧化物						
$\text{SiCl}_4\text{-O}_2$	SiO_2	10.7	7.0	○		
$\text{TiCl}_4\text{-O}_2$	TiO_2A	4.6	2.5	○		
$\text{TiCl}_4\text{-HO}_2$	TiO_2A	5.5	5.2	○		
$\text{AlCl}_3\text{-O}_2$	Al_2O_3	7.7	4.2	○		
$\text{FeCl}_3\text{-O}_2$	Fe_2O_3	1.5	0.3	○		
$\text{FeCl}_2\text{-O}_2$	Fe_2O_3	5.0	1.3	○		
$\text{ZrCl}_4\text{-O}_2$	ZrO_2	8.1	4.7	○		
$\text{NiCl}_2\text{-O}_2$	NiO	0.2		×		
$\text{CoCl}_2\text{-O}_2$	CoO	-0.7		×		
$\text{SnCl}_4\text{-O}_2$	SnO_2	1.0		×		
		1000℃	1500℃	≤1500℃	等离子	
氧化物 碳化物						
$\text{SiCl}_4\text{-H}_2\text{-N}_2$	Si_3N_4	1.1	1.4	×	○ ○	
$\text{SiCl}_4\text{-NH}_3$	Si_3N_4	7.5	7.5	○		
$\text{SiCl}_4\text{-NH}_3$	Si_3N_4	15.7	13.5	○		
$\text{SiH}_4\text{-CH}_3$	SiC	3.3	4.5	×		
CH_3SiCl_3	SiC	4.5	(6.3)	×		
$\text{SiH}_4\text{-CH}$	SiC	10.7	10.7	○		
$(\text{CH}_3)_4\text{Si}$	SiC	11.1	10.8	○		
$\text{TiCl}_4\text{-H}_2\text{-N}_2$	TiN	0.7	1.2	×		
$\text{TiCl}_4\text{-HH}_2\text{-H}$	TiN	4.5	5.8	○		
$\text{TiCl}_4\text{-CH}_4$	TiC	0.7	4.1	×		
$\text{TH}_4\text{-CH}_4$	TiC	0.8	4.2	○		
$\text{TH}_4\text{-C}_2\text{H}_2\text{-H}$	TiC	1.6	3.8	○		
$\text{ZrCl}_2\text{-H}_2\text{-H}_2$	ZrN	-2.7	-1.2	×	○	
$\text{ZrCl}_4\text{-NH}_3\text{-H}_2$	ZrN	1.2	3.3	○		
$\text{ZrCl}_4\text{-CH}_4$	ZrC	-333	1.2	×		
$\text{NdCl}_4\text{-NH}_3\text{-H}_2$	NbN	8.9	3.1	○		
$\text{NdCl}_4\text{-CH}_2\text{-H}_2$	NbN	4.3	3.7	○		
$\text{MoCl}_4\text{-CH}_4\text{-H}_2$	Mo_2C	19.7	18.1	○		
$\text{MoCl}_3\text{-CH}_4\text{-H}_4$	Mo_2C	11.0	(8.0)	○		
$\text{WCl}_6\text{-CH}_2\text{-H}_2$	WC	22.5	22.0	○		
金 属						
SiH	Si	6.0	5.5	○		
$\text{WCl}_6\text{-H}_2$	W	15.5	15.5	○		
$\text{MoO}_3\text{-H}_2$	Mo	10.0	5.7	○		
NdCl-H_2	Nb	-0.7	1.6	○		

注：○—生成；×—未生成。

表 1-5 形成准稳态（介稳态）微粉的体系

反应系	温度/℃	生成相	稳态相
$\text{FeCl}_2 + \text{O}_2$	700~1990	$\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ $\nu\text{-Fe}_2\text{O}_3$ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
$\text{FeCl}_3 + \text{O}_2$	600~900	$\eta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
$\text{TiCl}_4 + \text{O}_2$	700~1400	锐钛矿型 TiO_2 金红石型 TiO_2	金红石型 TiO_2
$\text{AlCl}_3 + \text{O}_2$ $\text{AlBr}_3 + \text{O}_2$ }	1000~1200	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
$\text{ZrCl}_4 + \text{O}_2$	900~1200	ZrO_2 （正方晶系） ZrO_2 （单斜晶系）	<1200℃ 单斜晶系
Zr (OR)_4 解	325~450	ZrO_2 （立方晶系）	<~1900℃ 立方晶

表 1-6 气相化学法形成氮化物、碳化物微粉的体系

反应系 ^①	反应温度/℃	生成物	粒径/ μm
$\text{SiCl}_4\text{-NH}_3$	1000~1500	SiN_xH_y ^③	0.01~0.1 } >0.2
$\text{SiH}_4\text{-NH}_3$	500~900	SiN_xH_y ^③	
$\text{TiCl}_4\text{-NH}_3$	600~100	TiN	0.01~0.4 $\begin{cases} T_M^{\text{②}} \leq 250^\circ\text{C} \\ T_M > 600^\circ\text{C} \end{cases}$
$\text{ZrCl}_4\text{-NH}_3$	1000~1500	ZrN	<0.1 $\begin{cases} T_M < \sim 750^\circ\text{C} \\ T_M > \sim 1000^\circ\text{C} \end{cases}$
$\text{VCl}_4\text{-NH}_3$	700~1200	VN	0.01~0.1 $T_M \sim 400$
Si(CN)_3	900~1400	SiC	0.01~0.2
$\text{Si(CH}_3\text{Cl)}_3$	等离子	SiC	<0.03
$\text{SiH}_4\text{-CH}_4$	1300~1400	SiC	0.01~0.1
$\text{TiCl}_4\text{-CH}_4$	等离子	TiC	0.01~0.2
$\text{TiI}_4\text{-CH}_4$	1200~1400	TiC	0.01~0.15
$\text{NbCl}_5\text{-CH}_4$	等离子	NbC	0.01~0.1
$\text{MoCl}_4\text{-CH}_4$	1200~1400	Mo_2C	0.02~0.4 $\begin{cases} T_M > \sim 800^\circ\text{C} \\ T_M < \sim 600^\circ\text{C} \end{cases}$
$\text{MrO}_2\text{-CH}_4$	1356	Mo_2C	0.01~0.3

续表 1-6

反应系 ^①	反应温度/℃	生成物	粒径/ μm
$\text{WCl}_6\text{-CH}_4$	1300~1400	WC	0.02~0.03 $\begin{cases} T_M > 100^\circ\text{C} \\ T_M < 1000^\circ\text{C} \end{cases}$

- ① 合成碳化物时有氢共存大于 90%。合成氮化物时一般也要有氢共存。金属化合物浓度小于 10%；
- ② T_M ：对氮化物是 MCl_4 与 NH_3 的混合温度；对碳化物是 $\text{MCl}_x\text{-CH}_4$ 系与 H_2 的混合温度；
- ③ 在 Si_3N_4 中含有过剩的 N 和 H，当温度大于 1300°C 时，转化为 Si_3N_4 。

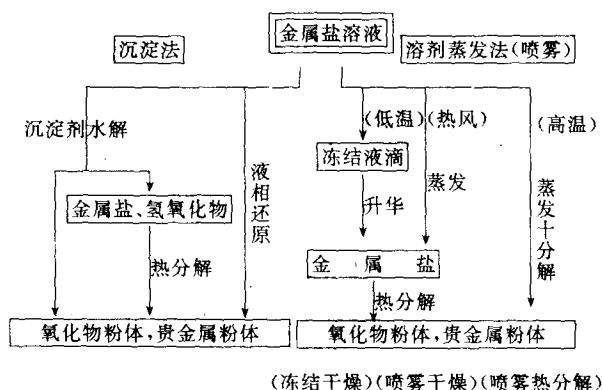


图 1-5 液相法制微粉的工艺过程

四、微粉的应用

微粉和超微粉广泛用于生产电子元件材料、集成装配材料、磁性材料、光学材料、建材、陶瓷及耐火材料，在气体传感器、催化剂材料等也有用武之地。实际上，在所有类型的烧结材料中，微粉都能有效地促进烧结、改善性能或在某些条件下具有特定的性能，它的主要应用范围列于图 1-6。

图 1-6 虽然列入了微粉的主要用途，但是对于陶瓷和耐火材料应用的进展并未提及，实际上目前的应用状况是：

$10\sim 10^3\mu\text{m}$

普通陶瓷及耐火材料

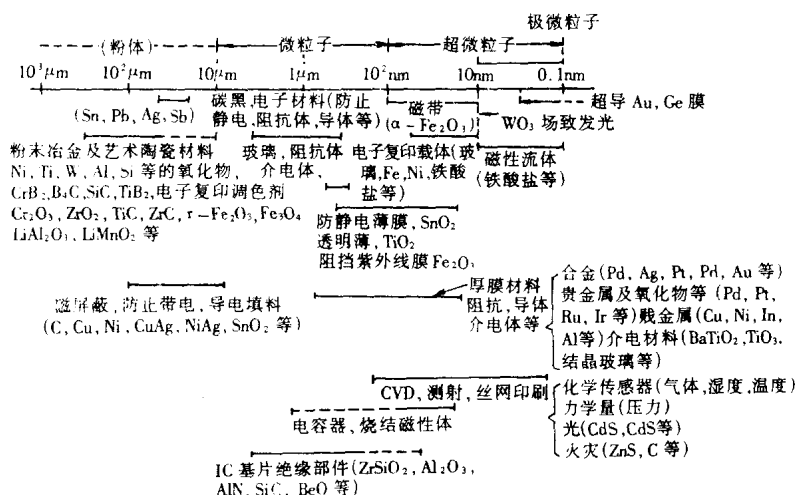


图 1-6 微粉的主要应用范围

$0.1 \sim 10 \mu\text{m}$

高技术陶瓷及耐火材料

$< 0.1 \mu\text{m}$

少量精细或功能陶瓷

随着陶瓷及耐火材料工业技术的不断进步, 对高质量的微粉提出了日益增多的需求, 各种高技术陶瓷和耐火材料制品对微粉的质量、品种提出了更高的要求。在我国, 早在生产普通耐火材料时就发现通过提高基质中细粉细度可促进烧结并对制品性能有改善作用。但是, 限于成本和普通制品对性能的要求, 普通耐火材料中使用微粉极少, 只是在磨粉体时增加其细度, 而后在纯氧化物如氧化铝、氧化铍、氧化锆等制品中实际上已采用了较大量的高纯度的微米级微粉来促进制品的烧结和改善性能。在我国, 较大规模地在陶瓷和耐火材料中使用微粉始于 80 年代末期, 由于高技术浇注料的研究开发和推广应用, 一种特殊形态的 SiO_2 微粉——硅灰开始在不定形耐火材料中大量应用, 由于它是工业副产品, 受机械设备及成本因素的限制较少, 所以其应用量很大, 以致到目前尚供不应求。在硅灰的应用中, 人们发现把它加入浇注

料后,可以大大降低水的用量和大幅度提高浇注料的强度和密度,在一定条件下,可以使浇注料的众多性能与同材料的烧成制品不相上下,同时也发现了它能用于降低特种耐火材料制品的烧结温度。对它的研究和应用,在1984~1994年10年间形成一个热潮,使我国的不定形耐火材料进入了高技术浇注料时期。在这期间,硅灰的应用也带动了其他微粉的应用,早已在特种陶瓷中应用的 Al_2O_3 微粉开始在不定形耐火材料中大量应用,如低水泥浇注料、铁沟浇注料。把 Al_2O_3 微粉加入到烧成制品中提高制品的强度、密度及其他性能,加入到镁碳砖中提高热稳定性等等。这些应用也促进了为陶瓷及耐火材料用各种高纯微粉的批量生产。据作者所知,国内目前已有近10家生产陶瓷耐火材料用微粉的工厂并提供微粉产品,生产品种包括 Al_2O_3 、 SiC 、镁铝尖晶石、 ZrSiO_4 、 ZrO_2 等微粉。这些微粉在不同条件下加入制品对显微结构和性能影响的研究也正在进行。另外,随着冶金工业及其他工业对特殊耐火材料要求的日益提高,氮化物和碳化物、硼化物等特种耐火材料也需要大量的这类材料的微粉,如碳化钛、碳化硼、氮化硅、硼化锆等等,它们的用途不仅在于制造这类特殊陶瓷制品,也广泛用于含碳材料的添加剂。最近,金属微粉添加剂也开始进入耐火材料添加剂行列。可以预见,随着热工设备对陶瓷及耐火材料要求的日益提高,方兴未艾的微粉生产和应用的研究将进一步深入,微粉在陶瓷和耐火材料中的应用前景十分宽阔。

第二节 SiO_2 微粉的种类和性能

一、概况

陶瓷和耐火材料工业所用 SiO_2 微粉主要是微米级(μm)。 SiO_2 微粉品种很多,其中性能最佳、应用最广的当属硅灰(铁合金厂及金属硅厂的副产品)。作者由工厂取样并做过试验的品种就有:

- (1) 硅灰:或称冷凝硅灰,由铁合金厂气相沉淀而形成;
- (2) 粉石英:天然矿物;