

张玉龙 马建平 主编

实用 陶瓷材料 手册



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

实用陶瓷材料手册

张玉龙 马建平 主编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用陶瓷材料手册/张玉龙, 马建平主编. —北京:
化学工业出版社, 2006. 3
ISBN 7-5025-8469-2

I. 实… II. ①张… ②马… III. 陶瓷-无机
材料-手册 IV. TB321-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 026753 号

实用陶瓷材料手册

张玉龙 马建平 主编
责任编辑: 丁尚林
文字编辑: 王 琪
责任校对: 蒋 宇
封面设计: 郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市万龙印装有限公司装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 31¼ 字数 887 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8469-2

定 价: 65.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

陶瓷材料是一种传统的材料。随着高新技术的注入和科技人员与从业人员坚韧不拔的努力，使这传统的古老材料又焕发出灿烂的青春。市场上色彩斑斓的日用陶瓷制品；花样繁多，应有所有的建筑陶瓷制品；作为电子信息工业脊梁的支撑微电子技术高速发展的电功能陶瓷和磁性陶瓷之器件制品；促进光学工业发展的光学陶瓷之器件制品；接近迈入实用阶段的陶瓷基复合材料和代表 21 世纪材料科学发展动向的纳米陶瓷材料技术都是这一古老材料发展应用的铁证。陶瓷材料已成为国民经济建设、国防建设、国计民生中不可缺少的支柱材料之一。

为了宣传推广近年来陶瓷材料研究和应用成果，普及陶瓷材料的基础知识，为了给业内人员，即研究、设计、制造、销售人员等提供一本技术全面、数据可靠、实用性强的工具书，我们在收集国内外大量资料的基础上，根据我们的研究经验，编写了本书。书中详细介绍了建筑陶瓷、日用陶瓷、结构陶瓷、电功能陶瓷、光学陶瓷、磁性陶瓷、生物陶瓷、陶瓷基复合材料和纳米陶瓷等的牌号、性能、规格制备技术、工艺参数与用途等内容，可作为陶瓷从业人员阅读参考的实用工具书。

本手册注重实用性、先进性、查阅性和可操作性。由浅入深，以图表为主，文字叙述为辅，数据翔实，技术可靠。若本手册的出版发行能对我国的陶瓷工业发展起到积极作用，作者将感到无比欣慰。

由于水平有限，文中不妥之处在所难免，敬请批评指正。

编 者
2006 年 2 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 简介	1
1.1.1 陶瓷的分类	1
1.1.2 陶瓷术语解释	2
1.1.3 陶瓷的生产过程	3
1.1.4 先进陶瓷材料的设计	6
1.2 陶瓷的性能	9
1.2.1 陶瓷结构与性能术语	9
1.2.2 陶瓷的表面性能	10
1.2.3 陶瓷基材的力学性能	11
1.2.4 陶瓷的电性能	15
1.2.5 热学性质	20
1.2.6 光学性质	23
1.2.7 磁学性质	24
1.2.8 耦合性质	24
1.3 陶瓷的特点与适用性	25
1.3.1 氧化铍	26
1.3.2 氧化铝陶瓷	27
第 2 章 建筑陶瓷	29
2.1 陶瓷墙地砖	30
2.1.1 简介	30
2.1.2 陶瓷墙地砖牌号、厂家、规格与性能数据	33
2.1.3 陶瓷墙地砖的性能研究	55
2.1.4 产品的开发与改进	71
2.2 釉面砖	78
2.2.1 简介	78
2.2.2 釉面砖的牌号、生产厂家、规格与性能数据	81
2.2.3 白色釉面砖	86

2.2.4	彩色、装饰、图案釉面砖	90
2.2.5	瓷砖画	95
2.2.6	色釉陶瓷字	96
2.2.7	新型釉面砖的研制	96
2.2.8	釉料的研制	134
2.3	陶瓷锦砖	146
2.3.1	简介	146
2.3.2	陶瓷锦砖的牌号、生产厂家、性能与规格	151
2.4	陶瓷铺地砖与外墙贴面砖	155
2.4.1	陶瓷铺地砖	155
2.4.2	外墙贴面砖	164
2.5	卫生陶瓷	171
2.5.1	简介	171
2.5.2	卫生陶瓷制品	176
2.5.3	卫生陶瓷的原料工序质量控制	197
2.5.4	卫生陶瓷泥浆、釉浆及坯料性能测试方法	200
2.6	园林陶瓷	204
2.6.1	园林建筑陶瓷(古代陶瓷)	204
2.6.2	园林装饰陶瓷	245
2.7	耐酸建筑陶瓷制品	253
2.7.1	耐酸陶瓷制品的分类及耐腐蚀性能	254
2.7.2	耐酸砖的规格、性能及外观质量要求	255
2.7.3	耐酸砖、板的生产厂家与产品规格	257
2.8	日用陶瓷	259
2.8.1	日用陶瓷	259
2.8.2	日用炆器	270
2.8.3	日用炆器的坯釉料组成	271
2.9	日用瓷器	272
2.9.1	瓷器的显微结构	272
2.9.2	瓷器的性质	275
2.9.3	瓷器生产工艺要点	282
2.10	建筑日用陶瓷中各种氧化物陶瓷的性能及应用	286
第3章	结构陶瓷	318
3.1	概述	318

3.1.1	结构陶瓷的概念、特性与应用	318
3.1.2	结构陶瓷的制备	322
3.1.3	结构陶瓷的加工处理	335
3.1.4	结构陶瓷应用研究进展	336
3.2	氧化物陶瓷	337
3.2.1	氧化铝	337
3.2.2	氧化锆陶瓷	352
3.3	氮化物陶瓷	356
3.3.1	氮化铝陶瓷	356
3.3.2	氮化硅陶瓷	364
3.3.3	BN 瓷	367
3.3.4	其他氮化物陶瓷的性能	371
3.4	碳化物陶瓷	375
3.4.1	碳化硅陶瓷	375
3.4.2	层状陶瓷 Ti_3SiC_2 陶瓷	379
3.4.3	碳化硼陶瓷	383
3.4.4	碳化锆陶瓷	388
3.4.5	碳化铬陶瓷	389
3.4.6	碳化钨陶瓷	389
3.4.7	其他碳化物陶瓷	392
3.5	硼化物陶瓷	397
3.6	硅化物陶瓷基体	402
3.7	金刚石	406
3.8	其他结构陶瓷	409
3.9	结构陶瓷的应用	412
3.9.1	高温结构陶瓷	412
3.9.2	装甲陶瓷	417
3.9.3	化工用陶瓷 (化工陶瓷)	427
第 4 章	电功能陶瓷	440
4.1	半导体陶瓷	440
4.1.1	简介	440
4.1.2	热敏陶瓷	442
4.1.3	压敏陶瓷	453
4.1.4	气敏陶瓷	476

4.1.5	湿敏陶瓷	493
4.1.6	多功能敏感陶瓷	515
4.2	电容器介质陶瓷	521
4.2.1	简介	521
4.2.2	高频电容器陶瓷	531
4.2.3	低频电容器陶瓷——反铁电陶瓷	551
4.2.4	半导体电容器陶瓷	561
4.3	微波介质陶瓷	574
4.3.1	简介	574
4.3.2	微波介质材料的主要技术参数	576
4.3.3	制备技术	578
4.3.4	微波介质陶瓷	585
4.4	压电陶瓷	607
4.4.1	简介	607
4.4.2	压电陶瓷的制备工艺	610
4.4.3	压电陶瓷的应用	612
4.4.4	压电陶瓷材料	616
4.4.5	应用研究	642
4.5	陶瓷超导材料	650
4.5.1	简介	650
4.5.2	超导陶瓷材料的研究	656
4.5.3	超导陶瓷应用与市场展望	679
4.6	高热导率瓷	683
4.6.1	高热导率材料的结构特点	683
4.6.2	BeO 瓷	686
4.7	电绝缘陶瓷	689
4.7.1	简介	689
4.7.2	无线电设备用电绝缘陶瓷与制品	690
4.7.3	瓷绝缘子	692
4.7.4	热电偶用绝缘陶瓷制品	697
4.7.5	高频绝缘陶瓷	704

第 5 章 光学陶瓷

5.1	透明陶瓷	710
5.1.1	简介	710

5.1.2	影响透明陶瓷性能的主要因素	710
5.1.3	透明陶瓷的制备工艺	715
5.1.4	应用	718
5.2	氧化物结构透明陶瓷	718
5.2.1	氧化铝结构透明陶瓷	718
5.2.2	MgO 透明陶瓷	729
5.2.3	Y ₂ O ₃ 透明陶瓷	730
5.2.4	钇铝石榴石透明陶瓷	732
5.2.5	BeO、CaO、ZrO ₂ 、Sc ₂ O ₃ 和 ThO ₂ 透明陶瓷	733
5.2.6	新型氧化物陶瓷反光材料	734
5.3	非氧化物结构透明陶瓷	738
5.3.1	AlN 透明陶瓷	738
5.3.2	AlON 透明陶瓷	739
5.3.3	Sialon 透明陶瓷	740
5.4	激光陶瓷——YAG 激光陶瓷	743
5.4.1	简介	743
5.4.2	YAG 结构与激光性能	743
5.4.3	YAG 陶瓷的制备工艺	745
5.4.4	YAG 陶瓷研究进展与激光性能	748
5.4.5	效果与评价	751
5.5	红外陶瓷	751
5.5.1	简介	751
5.5.2	含稀土的红外光学陶瓷	752
5.5.3	铝酸镁红外光学陶瓷	755
5.6	闪烁陶瓷	761
5.6.1	简介	761
5.6.2	闪烁陶瓷的重要性能	762
5.6.3	闪烁陶瓷类型	764
5.6.4	闪烁陶瓷的应用	770
5.6.5	研究重点与展望	772
5.7	电光陶瓷	773
5.7.1	简介	773
5.7.2	PLZT 陶瓷的电光效应及其适用性	774
5.7.3	PLZT 陶瓷的应用	775

5.8 光敏陶瓷	782
5.8.1 半导体的光电导特性	782
5.8.2 光电导(或光敏)材料工艺	786
5.8.3 光敏电阻瓷	787
5.8.4 其他光敏材料	795
5.8.5 太阳能电池	802
第6章 磁性陶瓷	810
6.1 简介	810
6.1.1 磁性陶瓷的基本特性	810
6.1.2 磁性陶瓷的分类	814
6.1.3 应用	817
6.2 铁氧体	818
6.2.1 晶体结构与化学成分	818
6.2.2 铁氧体陶瓷材料的制备工艺	831
6.2.3 铁氧体陶瓷材料的应用与发展	854
6.3 微波磁介质陶瓷	865
6.3.1 简介	865
6.3.2 二元系磁性微波陶瓷 $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3$	866
6.3.3 二元系非磁性微波陶瓷 BaO-TiO_2	867
6.3.4 三元系磁性微波介质陶瓷 $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$	868
6.3.5 制备工艺	870
6.3.6 结论	870
6.4 医用磁性陶瓷	871
6.4.1 磁性多孔陶瓷	871
6.4.2 牙科用软磁铁氧体/生物活性陶瓷	874
第7章 生物陶瓷	878
7.1 简介	878
7.1.1 生物材料的功能与作用	878
7.1.2 分类	879
7.1.3 功能与应用	879
7.2 惰性生物医学陶瓷	880
7.2.1 简介	880
7.2.2 氧化铝生物陶瓷	881
7.2.3 氧化锆生物陶瓷	894

7.2.4 氧化钛生物陶瓷	900
7.3 表面活性生物玻璃陶瓷	902
7.3.1 简介	902
7.3.2 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系生物医用玻璃	907
7.3.3 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系玻璃陶瓷	911
7.3.4 $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系玻璃陶瓷	911
7.3.5 可治疗癌症的玻璃陶瓷	912
7.4 磷酸钙生物陶瓷	912
7.4.1 简介	912
7.4.2 羟基磷灰石	918
7.4.3 可吸收生物陶瓷—— β -磷酸三钙 (β -TCP)	938
7.4.4 双相钙生物陶瓷	945
7.4.5 磷酸钙生物陶瓷的应用研究	952
7.5 生物陶瓷的应用与性能研究	967
7.5.1 多孔质生物陶瓷	967
7.5.2 涂层材料	972
7.5.3 复合材料	974
7.5.4 骨组织对生物材料的界面响应的研究	975
参考文献	981

第1章 概述

1.1 简介

陶瓷是由金属和非金属元素的无机化合物所构成的多晶固体材料。陶瓷制品种类很多,性能各异,归纳起来,其共同特点是:高硬度、高抗压强度、高耐磨性、绝缘,优良的抗氧化和耐腐蚀性等;某些特种陶瓷还具有透明、导电、导磁、导热、超高频绝缘、红外线透过率高等特性,以及压电、铁电、声光、激光等能量转换的功能。因此,陶瓷的使用,已不仅限于用作日常生活器皿,目前它已发展成为国防、航空航天、机械、电气、化工、纺织、建筑等工业领域中不可缺少的结构材料和功能材料。陶瓷的主要弱点是质脆,经不起敲打碰撞;同时也存在难修复性、成形精度差、装配连接性能不良等问题,因而在一定程度上限制了它的使用范围。

1.1.1 陶瓷的分类

陶瓷材料的分类方法较多。为叙述方便,本书将按照其化学成分分类法加以叙述,而在陶瓷制品及其选材一节中将按照其用途或功能分类法叙述。

陶瓷材料按其化学成分分类,可分为:

- (1) 氧化物陶瓷材料,包括氧化铝、氧化钛、氧化镁陶瓷等;
- (2) 氮化物陶瓷材料,包括氮化硅、氮化铝和氮化硼陶瓷等;
- (3) 碳化物陶瓷材料,包括碳化硅和碳化硼陶瓷等;
- (4) 复合陶瓷材料,包括氯氮化硅铝、镁铝尖晶石和锆钛酸铅陶瓷等;
- (5) 金属陶瓷材料;
- (6) 陶瓷基复合材料等。

陶瓷材料按用途或功能的分类法如图 1-1 所示。

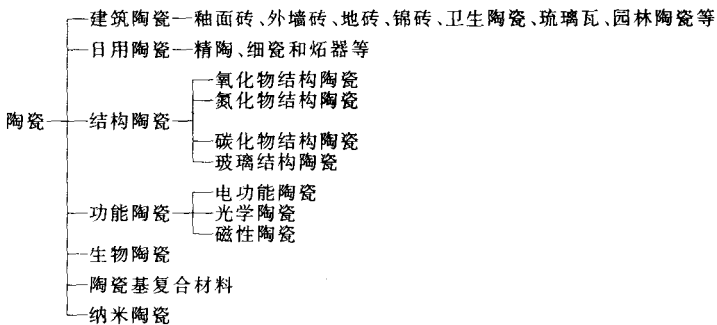


图 1-1 陶瓷材料按用途或功能的分类法

1.1.2 陶瓷术语解释

陶瓷术语见表 1-1。

表 1-1 陶瓷术语

序号	名 称	说 明
1	普通陶瓷	又称传统陶瓷,它是以天然的硅酸盐矿物(如黏土、长石、石英)为原料而制成的。因此,这类陶瓷也叫硅酸盐陶瓷。主要用作日用、建筑、卫生陶瓷制品以及工业上应用的低压和高压电瓷、耐酸及过滤陶瓷等
2	特种陶瓷	又称现代陶瓷或新型陶瓷,它是为提高陶瓷的性能,以纯度较高的人工化合物为基本原料,并沿用传统陶瓷的制造工艺而制得的
3	日用陶瓷	是指人们日常生活中使用的陶瓷器皿。根据器皿的结构特征,日用陶瓷可分为精陶、细瓷和炆器
4	建筑陶瓷	主要包括各种卫生陶瓷制品、内墙面砖、外墙面砖、铺地砖、马赛克、陶土管、琉璃制品等陶瓷制品
5	绝缘陶瓷	又称电工瓷,它是一类绝缘性和力学性能优良的陶瓷材料,广泛用于电力工业和电子工业作为隔电的机械支承件和连接用的各种绝缘器件,如各种瓷绝缘子,各种电器绝缘支柱、套管、瓷套等
6	化工陶瓷	具有良好的耐酸、耐腐蚀性能、不污染介质。按应用分为耐酸砖、耐酸耐温砖、阀和管道制品、塔和容器制品、泵和风机等
7	多孔陶瓷	又称过滤陶瓷,其特点是具有大量的气孔,尤其是开口气孔较多。开口气孔率一般为 30%~50%左右
8	结构陶瓷	是一类具有优异的耐磨、耐腐蚀、耐热、抗氧化特性,弹性模量和高强度高等性能,广泛用于各种耐磨、耐腐蚀部件和高温结构部件

续表

序号	名 称	说 明
9	功能陶瓷	又称电子陶瓷,它是一类利用陶瓷特有的物理性质或对力、光、电、磁、热、声、气体等敏感的特性的陶瓷材料
10	生物陶瓷	与金属材料、有机高分子材料相比,它具有与生物机体较好的相容性和生物活性、耐侵蚀性、耐磨损性等独特性能,可制成人工骨、人工心脏瓣膜等
11	压电陶瓷	是一类能把机械能转换为电能或把电能转换为机械能的陶瓷材料。这种压电效应是铁电陶瓷经直流电场极化处理,使其铁电畴沿场方向取向的结果
12	介电陶瓷	是指主要用作电容器的陶瓷介质材料。这种材料要求绝缘电阻高、介电常数大、介质损耗小、有一定的介电强度
13	半导体陶瓷	导电性介于导电和绝缘介质之间的一类陶瓷材料,电阻率介于 $10^{-4} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 之间。在温度、湿度、气氛、电场、光等外界条件影响下,导电性有一定变化
14	氧化物陶瓷	是应用最为广泛的一类陶瓷材料,主要品种有氧化铝瓷、氧化铍瓷、氧化镁瓷、氧化锆瓷、氧化钛瓷、氧化钇瓷、氧化钽瓷、氧化铈瓷等
15	非氧化物陶瓷	是指氧化物陶瓷以外的其他化合物陶瓷,它们的种类较多,如氮化物陶瓷、碳化物陶瓷、硼化物陶瓷、硅化钼陶瓷、氟化物陶瓷以及其他化合物陶瓷等
16	复合陶瓷	即由两种或两种以上化合物构成的陶瓷。如由氧化铝、氧化镁结合而成的镁铝尖晶石瓷,由氧化铝、氮化硅结合而成的氧氮化硅铝瓷等
17	金属陶瓷	是由陶瓷粉或陶瓷纤维与金属粉末混合经高温烧结而成的一种新型陶瓷材料,如氧化物基金属陶瓷、碳化物基金属陶瓷、硼化物基金属陶瓷等
18	纤维增强陶瓷	是在陶瓷基体中添加金属纤维或无机纤维而成的一种高强度、高韧性陶瓷。它与金属陶瓷均属复合材料之列

1.1.3 陶瓷的生产过程

陶瓷的生产过程比较复杂,但基本的工艺是原料的制备、坯料的成形和制品的烧成或烧结等三大步骤。

1.1.3.1 原料的制备

矿物经过拣选、破碎等工序后,进行配料,然后再经过混合、磨细等加工,得到规定要求的坯料。坯料的制备过程与原料的类型和随后成形的方法有关。传统陶瓷可塑坯料的制备过程如图 1-2

所示。

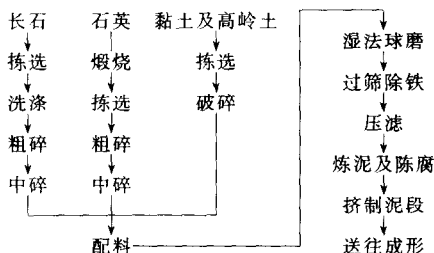


图 1-2 传统陶瓷可塑坯料的制备过程

对于特种陶瓷和金属陶瓷，原料的纯度和粒度都有更高的要求。一般采用人工的化学或化工原料，并且在坯料的加工过程中严防有害杂质的混入，加强化学成分和物理性能的检测和控制。

1.1.3.2 成形

主要的成形方法有以下三种。

① 可塑成形 是在坯料中加入水或塑化剂，捏炼成塑性混料，然后由手工、挤压或机加工成形。

② 注浆成形 是将浆料浇注到石膏模中成形，常用于制造形状复杂，精度要求不高的日用陶瓷和建筑陶瓷。

③ 压制成形 在粉料中加入少量水分或塑化剂，然后在金属模具中加较高压力成形。应用范围较广，主要用于特种陶瓷和金属陶瓷。

成形后的坯件的强度不高，常含有较高的水分。为了便于运输和适应后续工序（如修坯、施釉等），必须进行干燥。

1.1.3.3 制品的烧成或烧结

干燥后的坯件加热到高温进行烧成或烧结，目的是通过一系列物理化学变化，成瓷并获得要求的性能（强度、致密度等），使坯件瓷化的工艺称为烧成。传统陶瓷如日用陶瓷，都是实行烧成。烧成温度一般为 $1250 \sim 1450^{\circ}\text{C}$ 。烧成时使开口气孔率接近于零，获得高致密度的瓷化过程通常称为烧结。特种陶瓷特别是金属陶瓷多采用烧结。烧结温度对于单元系一般是其绝对熔点温度的 $2/3 \sim 4/5$ 。

陶瓷的质量取决于配料成分和生产工艺，具体取决于原料的纯

度、细度、坯料混合的均匀性、成形密度及均匀性、烧结烧成温度、炉内气氛、升温和降温速度等。在这些方面，我国都有丰富的经验，所以生产的陶瓷有极高的质量。

陶瓷的生产过程见表 1-2。

表 1-2 陶瓷的生产过程

序号	名称	说 明
1	原料	(1)黏土类原料——主要使用的有高岭石、多水高岭石、微晶高岭石、水云母等黏土矿物为主要成分的原料，主要为坯体提供 SiO_2 及 Al_2O_3，为塑性原料 (2)长石类原料——主要使用各种长石，长石的加入除提供 SiO_2、Al_2O_3、K_2O 等化学成分外，由于 K_2O 的存在，可降低其熔点，为瘠性原料 (3)石英类原料——主要使用各种硅砂及硅矿石，向坯体提供 SiO_2，并对坯体起减黏作用，减少坯体变形，为瘠性原料 (4)滑石——釉面砖多使用滑石配料，主要提供 MgO (5)硅灰石(通式为 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)——多在釉面砖中使用，加入的目的是达到低温烧成 (6)碳酸盐类原料——多使用方解石、白云石、菱镁矿，作为熔剂矿物使用
2	成形	(1)注浆法成形——将配料用较多的水调成泥浆，后注入石膏阴模内，待模型吸走水分 (2)可塑法成形——用一定的水浆泥料调成可塑泥料，经塑制成形。砖、瓦、釉面砖、陶土管等采用这种成形方法 (3)半干法成形——用少量水调和泥料，采用压力成形。陶瓷锦砖、耐酸陶瓷等采用这种成形方法
3	烧成	在高温作用下，原料中各种成分要参与化学反应，首先是各种原料矿物分解，形成氧化物，经高温煅烧后形成陶瓷坯体的主要矿物莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 其反应过程大致如下： $900^\circ\text{C} \text{ 以前} \quad \text{MgCO}_3 \longrightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 \uparrow$ $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \uparrow$ $2\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{MgO} + 4\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ 1000°C 以后形成莫来石，其反应为： $3\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2 \longrightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 莫来石是一种晶体，它和其他易熔物质形成的玻璃体互相连锁、熔接，使坯体具有强度

1.1.4 先进陶瓷材料的设计

1.1.4.1 材料设计的必要性和可行性

虽然传统的陶瓷材料已有 1000 多年或更长的历史,但先进的陶瓷材料只有约 30 年的发展经历,这相比金属材料而言无疑是较短的。金属材料的设计已不是困难的问题,在很大程度上可满足设计要求。由于先进陶瓷材料具有比金属更出色的性能,因而越来越多场合需要利用陶瓷材料取代金属材料。以结构陶瓷为例,如发动机中受高温和冲击的部件、钢筋轧制的导轮、石油钻井中的耐磨损部件,一些传动部件如高速轴承、耐磨环、纺织工业中的线导部件等。根据使用场合的不同对陶瓷材料有不同的要求,所以对先进陶瓷材料性能也就有设计的要求。

根据材料的工艺-结构-性能关系,一定的性能必须要有一定的材料组分、结构与之相适应,而一定的结构又必须有相应的工艺即制备途径的保证。尽管先进陶瓷材料的发展历程没有金属材料那样长,还有许多问题特别是制备科学问题有待研究,然而经过过去 30 多年的长足进步,材料的工艺-结构-性能这一关系在很大程度上已为人所掌握,对这一关系的较清晰的了解为材料的设计提供了可能性。

1.1.4.2 陶瓷材料设计层次

从设计层次上讲,材料的设计可分为三类。首先是材料的宏观结构设计,如钢筋混凝土、玻璃钢等是人们非常熟悉的例子;第二是微观的分子、原子层次上的设计,最普通的如合成新的有机高分子材料等,各种新的织物、人造橡胶等是通过在这一层次上的设计实现的,陶瓷材料中这样的例子不多,如氮化硅材料及其固溶体材料在某种程度上讲也可认为是原子层次上设计的例子,另一个例子是陶瓷超导材料,与分子或结晶结构设计有关;介于这两者之间的,即所谓的介观层次,或显微结构层次的设计。由于先进陶瓷材料的性能对这样层次的性质有强烈的依赖性,所以在这样层次上的设计内容似乎比其他两个方面更为丰富。下面着重就这一问题展开讨论。

1.1.4.3 陶瓷材料的设计内容

(1) 化学组分的设计

这是最基本的材料设计内容之一。毫无疑问,主要化学组分决