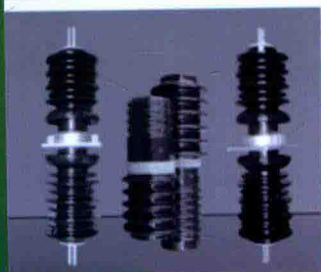


Advanced Ceramics Forming And Processing Technology

先进陶瓷成型 及加工技术

朱海 主编

杨慧敏 朱柏林 副主编



化学工业出版社

Advanced Ceramics Forming And Processing Technology

先进陶瓷成型 及加工技术

朱 海 主 编

杨慧敏 朱柏林 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书较全面地阐述了陶瓷材料成型及加工技术中的基础理论知识,注重新概念、新理论、常见成型工艺、方法和应用。以先进陶瓷材料的制备和加工技术为主线组织内容体系,首先概述了先进陶瓷的发展历史和应用,然后在系统介绍了先进陶瓷的粉体制备、烧结的原理及工艺基础上,重点介绍了先进陶瓷的成型及后续加工等方面的工艺和相关技术,其中包括大量国内外先进陶瓷研究的最新成果。

全书内容丰富、实用性强,可供广大从事无机非金属材料、陶瓷成型、陶瓷加工工艺等相关专业的高等学校师生参考学习,也可以作为从事陶瓷等硬脆材料成型加工生产、应用、开发和设备设计维修的高、中级技术人员实际生产操作中重要的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

先进陶瓷成型及加工技术/朱海主编;杨慧敏,朱柏林
副主编. —北京:化学工业出版社,2016.2
ISBN 978-7-122-25727-7

I. ①先… II. ①朱…②杨…③朱… III. ①陶瓷-成型
②陶瓷-生产工艺 IV. ①TQ174.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 282272 号

责任编辑:翁靖一 夏叶清
责任校对:程晓彤

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京云浩印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张21½ 字数419千字
2016年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:89.00 元

版权所有 违者必究

前言



FOREWORD

陶瓷材料由于其优异的耐磨损、耐腐蚀、抗高温、低密度等性能，被公认为 21 世纪最有活力的新型材料之一，它和金属材料、高分子材料、复合材料并列为当代四大工程材料。

按照性能和用途，陶瓷材料可分为传统陶瓷和先进陶瓷，后者随着科学技术的发展，又被不断赋予新的命名和定义，如特种陶瓷、精细陶瓷、工程陶瓷、高性能陶瓷等。先进陶瓷和传统陶瓷在原材料、结构、制备工艺等方面有明显不同，导致二者的性能也产生极大差异，不仅前者的性能远优于后者，而且先进陶瓷材料还能挖掘出传统陶瓷材料所没有的性能和用途，其中某些性能还远远超过现代优质合金和高分子材料。因而在各个工业领域，如石油、化工、钢铁、电子、纺织和汽车等行业中，以及尖端技术领域如航天、核工业和军事工业中有着广泛的应用价值和潜力。近年来，先进陶瓷材料的研究和应用技术得到了很大的发展，为了满足工业界对先进陶瓷材料的迫切需求，有必要及时总结先进陶瓷制备的基础理论和方法，以及加工技术的最新研究和应用成果。

本书以先进陶瓷材料的制备和加工技术为主线组织内容体系，首先概述了先进陶瓷的发展历史和应用，然后在系统介绍了先进陶瓷的粉体制备、烧结的原理及工艺基础上，重点介绍了先进陶瓷的成型及后续加工等方面的工艺及相关技术，其中包括大量国内外先进陶瓷研究的最新成果。

本书共分 8 章，其中第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章主要由东北林业大学朱海编写，第 3 章由黑龙江工程大学杨慧敏负责编写，第 5 章由东北林业大学朱柏林负责编写，参加本书编写工作的还有薛笑运、沈鸿侨、路达。全书由朱海负责统稿。

在本书的编写过程中，参阅并引用了一些国内外学者的著作、论文、论述及成果，尤其得到天津大学于思远教授、装甲兵工程学院田欣利教授和山东大学毕

见强教授的支持，在此一并表示感谢。

本书适用于材料类专业和机械制造专业的本科生教学，也可供相关专业的研究生、高职高专学生及相关学科领域的工程技术人员参考。

先进陶瓷涉及学科广泛，由于编者知识面和理论水平有限，尽管在编写过程中竭尽全力，但书中不足之处在所难免，敬请各位读者和专家批评指正。

编 者
2015 年 10 月

目录

CONTENTS

第 1 章

1

章

概述

1

1.1 传统陶瓷与先进陶瓷	1
1.1.1 陶瓷的概念及分类	1
1.1.2 传统陶瓷	3
1.1.3 先进陶瓷	5
1.2 先进陶瓷简介	9
1.2.1 先进陶瓷分类	9
1.2.2 先进陶瓷材料简介	11
1.3 先进陶瓷制备工艺过程	16
1.3.1 现代材料制备工艺过程特点	16
1.3.2 传统陶瓷材料制备工艺简介	16
1.3.3 先进陶瓷材料制备工艺特点	17
1.3.4 先进陶瓷材料制备工艺过程	18
参考文献	20

第 2 章

2

章

先进陶瓷粉体的性能表征及制备技术

21

2.1 先进陶瓷粉体应有的特性	22
2.2 先进陶瓷粉体的性能及表征	24
2.2.1 粉体颗粒的概念	24
2.2.2 粉体颗粒的粒度及尺寸	25
2.2.3 粉体颗粒的粒度分布	27
2.2.4 粉体粒度测定方法	28
2.2.5 颗粒形貌结构分析方法	33
2.2.6 颗粒成分分析方法	35
2.2.7 粉体颗粒晶态的表征	36
2.3 先进陶瓷粉体的制备方法	39
2.3.1 粉碎法	40

第 3 章

2.3.2 固相合成法	44
2.3.3 液相合成法	48
2.3.4 气相合成法	56
参考文献	63

先进陶瓷成型方法

64

3.1 先进陶瓷成型方法的分类	64
3.2 压制成型方法	66
3.2.1 干法压制成型法	67
3.2.2 等静压成型法	79
3.3 可塑成型方法	90
3.3.1 挤压成型法	90
3.3.2 轧膜成型法	97
3.3.3 注射成型法	103
3.4 浆料成型方法	110
3.4.1 注浆成型法	111
3.4.2 注凝成型法	119
3.4.3 热压铸成型法	122
3.4.4 流延成型法	128
3.5 其他成型方法	132
3.5.1 压滤成型法	132
3.5.2 直接凝固注模成型法	137
3.5.3 电泳沉积成型法	140
3.5.4 离心沉积成型法	141
3.5.5 固体无模成型法	144
参考文献	148

第 4 章

先进陶瓷烧结机理及烧结方法

150

4.1 烧结机理	150
4.1.1 烧结定义	150
4.1.2 与烧结有关的概念	152
4.1.3 烧结过程推动力	153
4.1.4 烧结过程中的物质传递	154
4.2 烧结工艺	162

第 5 章

4.2.1 影响烧结的因素	162
4.2.2 烧结方法	168
参考文献	178

先进陶瓷的切削加工技术 179

5.1 先进陶瓷材料的切削特性	180
5.1.1 刀具磨损	180
5.1.2 切削力	181
5.1.3 切削温度	181
5.1.4 切削参数	181
5.2 可切削陶瓷材料的切削特性	182
5.2.1 刀具磨损	182
5.2.2 切削力	184
5.2.3 切削表面	184
5.3 可切削陶瓷材料的车削加工	185
5.3.1 刀具材料和角度	185
5.3.2 切削参数	186
5.3.3 冷却	186
5.4 可切削陶瓷材料的铣削加工	187
5.4.1 概述	187
5.4.2 金刚石多齿镀层端铣刀的高效率 铣削	188
5.5 可切削陶瓷材料的钻削加工	192
5.5.1 刀具材料	192
5.5.2 冷却条件	193
5.5.3 主轴转速	193
5.5.4 钻头顶角	193
参考文献	194

第 6 章

先进陶瓷的磨削加工技术 196

6.1 先进陶瓷材料的磨削特性	196
6.1.1 磨削力	196
6.1.2 磨削比能	199
6.1.3 磨削温度	200

6.1.4	磨削表面形貌	202
6.1.5	表面粗糙度	202
6.1.6	比磨削刚度	202
6.1.7	磨削比	203
6.1.8	磨削强度	204
6.1.9	表面相变	206
6.1.10	残余应力	206
6.2	金刚石砂轮	206
6.2.1	金刚石磨料	206
6.2.2	结合剂	209
6.2.3	金刚石的回收及再制造	211
6.3	金刚石砂轮的修整	213
6.3.1	电火花修整法	213
6.3.2	杯形修整法	214
6.3.3	软弹性修整法	214
6.3.4	激光修整法	215
6.3.5	电解修整法	215
6.3.6	ELID 法	216
6.4	陶瓷磨削机床	217
6.5	先进陶瓷材料的大背吃刀量缓进给磨削 ...	219
6.5.1	大背吃刀量缓进给磨削工艺的特点	219
6.5.2	大背吃刀量缓进给磨削的分类	220
6.5.3	大背吃刀量缓进给磨削工艺	221
6.5.4	大背吃刀量缓进给工艺对磨床的要求	225
6.6	高速磨削加工技术及其在先进陶瓷加工中的应用	226
6.6.1	高速/超高速磨削加工技术的发展	226
6.6.2	高速/超高速磨削加工技术的特点	227
6.6.3	高速/超高速磨削工艺的典型形式	227
6.6.4	高速/超高速磨削的关键技术	231

参考文献	235
------------	-----

第 7 章

先进陶瓷材料的光整加工 237

7.1 先进陶瓷的研磨与抛光加工技术	237
7.1.1 先进陶瓷的研磨加工技术	237
7.1.2 先进陶瓷材料的抛光加工技术	239
7.1.3 研磨与抛光的主要工艺因素	241
7.1.4 先进陶瓷的珩磨加工技术	249
7.2 先进陶瓷材料的非接触抛光	256
7.2.1 弹性发射加工	256
7.2.2 动压浮离抛光	259
7.2.3 浮动抛光	260
7.2.4 切断、开槽及端面抛光	266
7.2.5 非接触化学抛光	266
7.3 先进陶瓷材料的界面反应抛光	267
7.3.1 机械化学固相反应	268
7.3.2 水合反应	269
7.3.3 界面反应抛光原理	270
7.3.4 机械化学抛光	270
7.3.5 水合抛光	272
参考文献	275

第 8 章

先进陶瓷材料的特种加工技术 276

8.1 超声波加工技术	276
8.1.1 概述	276
8.1.2 超声波加工原理与特点	277
8.1.3 超声波加工设备	279
8.1.4 超声波加工技术	283
8.2 电火花加工技术	300
8.2.1 概述	300
8.2.2 电火花加工机理与特点	301
8.2.3 先进陶瓷的电火花加工技术	301

8.2.4	陶瓷电火花加工的表面后处理	313
8.2.5	陶瓷电火花的特种加工	314
8.3	激光加工技术	315
8.3.1	激光加工原理	316
8.3.2	激光打孔	320
8.3.3	激光切削	324
8.3.4	激光加工陶瓷微裂纹分析	327
8.3.5	陶瓷加工中激光技术的其他 应用	329
	参考文献	332

第 1 章

概 述

材料是我们衣食住行的必备条件，是社会发展的物质基础，它先于人类存在，并且与人类的出现和进化有着密切的联系。人类利用材料的历史，就是一部人类进化和进步的历史。每一种重要新材料的发现和使用，都会引起生产技术的重大变革，甚至引起一次世界性的技术变革，使得人类的物质文明和精神文明不断向前推进。追踪人类文明的历史，人类社会的发展是由材料的发展及伴随着的生产力的提高控制的，材料的性质直接反映人类社会文明的水平。因此，历史学家常用决定当时生活条件的代表性材料来命名人类生活的各个时代，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。

人类的发明创造丰富了材料世界，目前，世界上的传统材料已有几十万种，而新材料的品种正以每年大约 5% 的速率增长。进入 21 世纪，人类不断地发展和研制新材料，这些新材料具有一般传统材料所不可比拟的优异性能或独特性能，是发展信息、航天、能源、生物、海洋开发等高新技术的重要基础，也是整个科学技术进步的突破口，新材料的广泛应用给社会带来了有目共睹的进步。

毋庸置疑，材料在人类社会发展中具有不可替代的作用和地位。人们往往用材料的发展和应用水平来衡量一个国家国力的强弱、科学技术的进步程度和人们生活水准的高低。材料在过去、现在和将来都必然是一切科学技术，尤其是高新技术发展的先导和支柱。世界各发达国家对材料的研究、开发、生产和应用都极为重视，并把材料科学技术列为 21 世纪优先发展的关键领域之一。

1.1 传统陶瓷与先进陶瓷

1.1.1 陶瓷的概念及分类

1.1.1.1 陶瓷的概念

按照构成，材料一般分为金属材料、无机非金属材料 and 有机材料。1968 年

美国科学院将陶瓷定义为“无机非金属材料或物品”。陶瓷是一种与人类生活和生产密切相关的材料。随着生产力的不断发展和科学技术水平的不断提高，各个历史阶段赋予“陶瓷”的概念及范畴在不断变化，尤其是先进陶瓷出现后，侧重于传统陶瓷的定义已不再适用。从广义上讲，陶瓷材料是指除有机和金属材料之外的所有其他材料，即无机非金属材料。从狭义上讲，陶瓷材料主要指多晶的无机非金属材料，即经过高温热处理所合成的无机非金属材料。现代分析技术对陶瓷制品的分析结果表明：陶瓷是一种由若干晶相和玻璃相组成的混合物，其中的每一相都有许多不同的组成。这些组成主要属于无机非金属材料。因此，有些国家把由无机非金属材料作为基本组分组成的固体制品称作陶瓷。国际上常将无机非金属材料称为陶瓷材料。

1.1.1.2 陶瓷的分类

人们习惯将陶瓷分为两大类，即传统陶瓷和先进陶瓷（advanced ceramics）。传统陶瓷是以天然硅酸盐矿物为原料（黏土、长石、石英等），经过粉碎加工、成型、烧结等过程得到的制品，因此又叫硅酸盐陶瓷，诸如日用陶瓷、艺术陶瓷和工业陶瓷（电力工业用的高压电瓷、化学工业用的耐腐蚀的化工陶瓷、建筑工业用的建筑陶瓷和卫生陶瓷等）。与之相区别，人们将近代发展起来的各种陶瓷总称为先进陶瓷，先进陶瓷是采用纯度较高的人工合成化合物（如 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 SiC 、 Si_3N_4 、 BN ），通过恰当的结构设计，精确的化学计量，合适的成型方法和烧成制度，并经过加工处理得到的无机非金属材料。由于组成、性能、工艺及用途各不相同，上述两大类陶瓷又可细分为多种，见表 1-1。

表 1-1 陶瓷的分类

传统陶瓷	先进陶瓷				
	按性能分类	按化学组成分类			
		氧化物陶瓷	氮化物陶瓷	碳化物陶瓷	复合陶瓷
日用陶瓷	高强度陶瓷	氧化铝瓷	氮化硅瓷	碳化硅瓷	铝镁尖晶石瓷
建筑陶瓷	高温陶瓷	氧化锆瓷	氮化铝瓷	氮化硼瓷	锆钛酸铝镧瓷
绝缘陶瓷	耐磨陶瓷	氧化镁瓷	氮化硼瓷		
化工陶瓷	耐酸陶瓷	氧化锆瓷			
多孔陶瓷	压电陶瓷				
	电介质陶瓷				
	光学陶瓷				
	半导体陶瓷				
	磁性陶瓷				
	生物陶瓷				

1.1.2 传统陶瓷

1.1.2.1 传统陶瓷的发展历程

在材料的大家庭中,陶瓷是最古老的一种,是人类征服自然过程中获得的第一种经化学变化而制成的产品。传统陶瓷材料的发展经历了从陶器发展到瓷器,陶瓷的使用早于人类使用的第一种金属——青铜约3000年。我国现存最早的陶器残片出土于南方的一些洞穴居住遗址中,据碳-14测定,距今9000~10000年。1977年发掘的中原裴李岗遗址中的陶器为公元前5935年左右的陶器,1976年发现的磁山遗址中的陶器距今7300年,1973年发现的浙江余姚河姆渡遗址中的陶器,据测定距今约7000年,2002年发掘的甘肃大地湾遗址的紫红色三足钵等200多件陶器,形态精美,距今已有8000年。最早出现的陶器大都是泥质和夹砂红陶、灰陶和夹炭黑陶,这类早期陶器的烧结温度为800~900℃。

新石器时代晚期,中国第一个陶器品种——“彩陶”已趋成熟。以1921年在河南省渑池仰韶村发掘的彩陶为代表,这一历史时期的文化被称为“仰韶文化”或“彩陶文化”。彩陶是一类绘有黑色或红色花纹的红褐色或棕黄色的陶器。仰韶文化的陶器分布很广,苏北的大汶口文化,太湖的马家浜文化,华中的大溪文化等,都属于这一时期的文化。

1928年在山东省历城龙山镇发掘的距今4000年前的“黑陶”,是区别于彩陶的另一类史前陶器。所以这一时期称为“龙山文化”或“黑陶文化”。龙山黑陶在烧制技术上有了显著进步,烧结温度达到1000℃,炉内保持还原气氛,它广泛采用了轮制技术,因此,器形浑圆端正,器壁薄而均匀,出炉后打磨光滑,乌黑发亮,薄如蛋壳,厚度仅1mm。说明中国的制陶业已有巨大的进步。这种陶也称为“蛋壳陶”。

进入有文字记载的殷商时代,陶器从无釉到有釉,在技术上是一个很大的进步,是制陶技术上的重大成就,陶器的烧结温度已达 $(1200\pm 30)^\circ\text{C}$,达到了烧制瓷器的温度,为从陶过渡到瓷创造了必要的条件,这一时期釉陶的出现是我国陶瓷发展过程中的“第一次飞跃”。大批精美的秦俑的发掘充分证明了中国秦代(公元前221~206年)的制陶术已非常发达,制陶工业达到相当高的水平。汉代以后,釉陶逐渐发展成瓷器,无论从釉面和胎质来看,瓷器的出现无疑是釉陶的又一次重大飞跃。

瓷的发明晚于陶4000~5000年。如果说制陶是人类社会的普遍现象,只是中国比古埃及、古希腊早2000~3000年,那么瓷则是中国独一无二的发明。黄河流域和长江以南的商、周遗址的发掘表明,“原始瓷器”在中国已有3000年的历史,起始于商成熟于东汉。在浙江出土的东汉越窑青瓷是迄今为止我国发掘的最早瓷器,距今1700年,烧结温度达1300~1310℃,在许多方面都达到了近代瓷器的水平。当时的釉具有半透明性,胎还欠致密,这“重釉轻胎倾向”一直贯

穿到宋代的五大名窑（汝、定、官、越、钧）。我国陶瓷发展程中的“第三次飞跃”是瓷器由半透明釉发展到半透明胎。唐代越窑的青瓷、邢窑的白瓷、宋代景德镇湖田、湘湖窑的影青瓷都享有盛名。到元、明、清朝代，彩瓷发展很快，釉色从三彩发展到五彩、斗彩，一直发展到粉彩、珐琅彩和低温、高温颜色釉。晋朝（公元 265~316 年）吕忱的《字林》中已收入了“瓷”字。我国在唐代时期已有相当数量的瓷器出口。瓷器是中国独有的商品。到了明代，中国瓷器几乎遍及亚、非、欧、美各大洲。世界许多国家的大型博物馆都藏有中国明代瓷器。英国的李约瑟在《中国科学技术史》中认为，在瓷器方面西方落后于中国 11~13 个世纪。

陶与瓷的重要区别之一是坯体的孔隙度，即吸水率，它取决于原料和烧结温度。它们之间有一个过渡产品，叫炻器。炻器的代表是紫砂。紫砂是一类细炻，始烧于宋，成熟于明。随着中国茶文化的盛行，紫砂成为一类重要的实用品和工艺品。这三类陶瓷制品的主要区别如表 1-2 所示。

表 1-2 日用陶、瓷器的分类

种类	粗陶	普通陶	细陶	炻	细炻	普通瓷	细瓷
吸水率/%	11~20	6~14	4~12	3~7	<1	<1	<0.5
烧结温度/℃	—800	1100~1200	1250~1280	—	1200~1300	1250~1400	1250~1400

1.1.2.2 从传统陶瓷到先进陶瓷

在一个相当长的历史时期，传统陶瓷的发展经历了三个阶段，取得三个重大突破。三个阶段分别是陶器、原始瓷器（过渡阶段）、瓷器，三个重大突破是原料的选择和精制、窑炉的改进和烧成温度的提高、釉的发现和使用。尽管如此，长期以来陶瓷的发展主要是靠工匠们技艺的传授，缺乏科学的指导，没有上升成为一门科学。产品主要是满足日用器皿、建筑材料（如砖、玻璃）等的需要，通常称为普通陶瓷（或称传统陶瓷）。进入 20 世纪，高新技术迅猛发展，传统意义上的陶瓷已远远不能满足电子、电气、热机、能源、空间、自控、传感、激光、通信、计算机等高新技术迅速发展的需要。为了满足新技术对陶瓷材料提出的特殊性能要求，人们采用传统陶瓷的基本原理和工艺制备出了一系列新型的陶瓷材料并用于现代科学技术中，为了区别传统概念上的陶瓷，人们把具有各种功能——机械、热、声、电、磁、光、超导等的陶瓷统称为先进陶瓷。先进陶瓷从原料、工艺和性能上与普通陶瓷有很大的差别。

先进陶瓷整个发展史只有半个多世纪，但是由于一系列新材料的开发，各种功能的新陶瓷材料层出不穷，为高科技和各个工业领域提供了一系列高性能陶瓷材料。可从表 1-3 陶瓷中氧化铝含量的变化中来看先进陶瓷的发展过程。

表 1-3 从氧化铝含量的变化看先进陶瓷的发展过程

名 称	Al ₂ O ₃ 含量/%	材料性能	应用范围
传统材料	0~10	致密、脆、强度低	日用瓷、卫生瓷
耐火材料	30	多孔强度低	窑炉内衬
工业瓷	30~40	致密、强度低	化工、分析
75% Al ₂ O ₃ 瓷	75	致密、强度一般	电子工业
95% Al ₂ O ₃ 瓷	95	致密、强度较高	电子工业、化学工业
99% Al ₂ O ₃ 瓷	≥99	高致密、高强度、耐腐蚀	电子、机械、化工

总的来说,陶瓷是一种既古老而又年轻的工程材料,陶瓷材料的发展经历了从陶器发展到瓷器,从传统陶瓷发展到先进陶瓷,从先进陶瓷发展到纳米陶瓷的三次重大飞跃,见图 1-1。



图 1-1 陶瓷研究发展的三个阶段

1.1.3 先进陶瓷

1.1.3.1 先进陶瓷的概念和特点

由于科学技术的迅速发展,特别是电子技术、空间技术、计算机技术的发展,迫切需要一些有特殊性能的材料,而某些陶瓷恰恰能满足这类要求。因此,近五六十年来这类陶瓷得到了迅速的发展。这新发展起来的一类陶瓷,无论从原料、工艺或性能上均与“传统陶瓷”有很大的差异。于是就出现了一系列名词称呼这类陶瓷以区别于旧有的陶瓷或传统陶瓷。这些名词,如先进陶瓷(Advanced Ceramics)、精细陶瓷(Fine Ceramics)、工程陶瓷(Engineering Ceramics)、新型陶瓷(New Ceramics)、近代陶瓷(Mordern Ceramics)、高技

术陶瓷 (High Technology Ceramics)、高性能陶瓷 (High Performance Ceramics)、特种陶瓷 (Special Ceramics) 等。各个国家和同一国家不同的专业领域, 根据其习惯常取其中一个或数个称呼。美国用“特种陶瓷”较多。日本用“精细陶瓷”较多。我国一般称先进陶瓷或特种陶瓷。从本质上来说, 所有这些术语应该说具有相同或相近的含意。

通常认为, 先进陶瓷材料是指“采用高度精选的原料, 具有能精确控制的化学组成, 按照便于控制的制造技术加工的, 便于进行结构设计的, 具有优异特性的陶瓷”。

我国国家标准对精细陶瓷的定义是: 经过精细控制化学组成、显微结构、形状及制备工艺, 获得具有力学、热学、化学、电子、磁性、光学、生物及其复合工况下的某些高性能特性, 并用于各种高技术领域的陶瓷材料。

先进陶瓷材料与传统陶瓷材料的差别主要体现在以下几个方面:

① 原材料不同。传统陶瓷以天然矿物, 如黏土、石英和长石等不加处理直接使用; 而先进陶瓷则使用经人工合成的高质量粉体作起始材料, 突破了传统陶瓷以黏土为主要原料的界线, 代之以“高度精选的原料”。

② 结构不同。传统陶瓷是由黏土的成分决定, 不同产地的陶瓷有不同的质地, 所以由于原料的不同导致传统陶瓷材料中化学和相组成的复杂多样、杂质成分和杂质相比较多而不易控制, 显微结构粗劣而不够均匀, 多气孔; 而特种陶瓷一般化学和相的组成较简单明晰, 纯度高, 即使是复相材料, 也是人为调控设计添加的, 所以特种陶瓷材料的显微结构一般均匀而细密。

③ 制备工艺不同。传统陶瓷所用的矿物经混合可直接用于湿法成型, 如泥料的塑性成型和浆料的注浆成型, 材料的烧结温度较低, 一般为 $900\sim 1400^{\circ}\text{C}$, 烧成后一般不需加工; 而先进陶瓷一般用高纯度粉体添加有机添加剂才能适合于干法或湿法成型, 材料的烧结温度较高, 根据材料不同为 $1200\sim 2200^{\circ}\text{C}$, 烧成后一般尚需加工。在制备工艺上突破了传统陶瓷以炉窑为主要生产手段的界限, 广泛采用诸如真空烧结、保护气氛烧结、热压、热等静压等先进手段。

④ 性能不同。由于以上各点的不同, 导致传统陶瓷和先进陶瓷材料性能的极大差异, 不仅后者在性能上远优于前者, 而且先进陶瓷材料还挖掘出传统陶瓷材料所没有的性能和用途。传统陶瓷材料一般限于日用和建筑使用, 而先进陶瓷具有优良的物理化学性能, 高强度、高硬度、耐磨、耐腐蚀、耐高温、抗热震, 而且在热、光、声、电、磁、化学、生物等方面具有卓越的功能, 某些性能远远超过现代优质合金和高分子材料。因而先进陶瓷材料登上新材料革命的主角地位, 在各个工业领域, 如石油、化工、钢铁、电子、纺织和汽车等行业中, 以及尖端技术领域如航天、核工业和军事工业中有着广泛的应用价值和潜力。

1.1.3.2 先进陶瓷的发展

19 世纪末, 人类已经成功地合成氮化硅 (Si_3N_4) 和碳化硅 (SiC), 拉开了