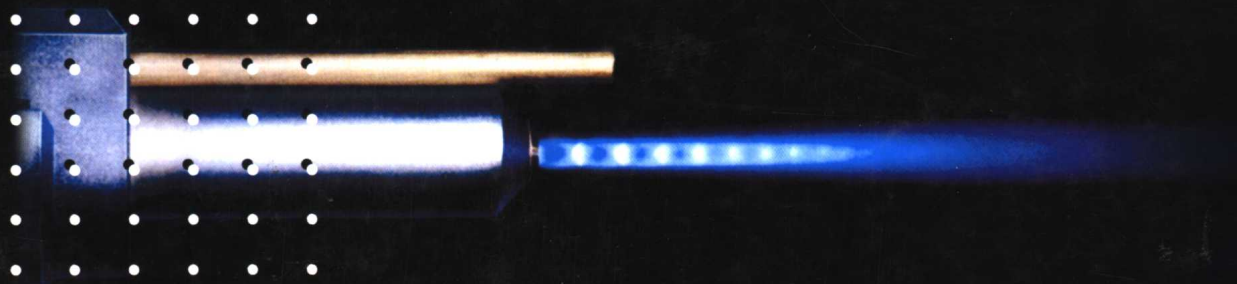


高性能陶瓷涂层

邓世均 著 ●



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

高性能陶瓷涂层

邓世均 著

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

高性能陶瓷涂层/邓世均著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 8

ISBN 7-5025-4715-0

I. 高… II. 邓… III. 陶瓷-涂层 IV. TQ174.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 072157 号

高性能陶瓷涂层

邓世均 著

责任编辑: 陈志良

文字编辑: 林 媛

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

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)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 44¼ 字数 824 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4715-0/TQ · 1793

定 价: 98.00 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

高性能陶瓷涂层（亦称精细陶瓷涂层、先进陶瓷涂层、新型陶瓷涂层）是继有机树脂涂层、金属及合金涂层之后涌现出来的一大类非金属无机涂层的总称。随着宇航、电子、军工等尖端科学技术的发展，近半个世纪以来特别是20世纪90年代以来，得到了持续高速的发展。美国在20世纪90年代陶瓷涂层应用的年增长率连续保持在12%以上，有的领域如航空发动机，陶瓷涂层应用的年增长率高达25%。它表明，在先进国家，高性能陶瓷涂层技术正成为新世纪的一个新兴产业，有可能开拓“泥土变金”、“点石成金”的新时代！

与整体结构陶瓷材料相比，高性能陶瓷涂层具有如下特点。

(1) 能有机地将金属材料的强韧性、易加工性、导电导热性等和陶瓷材料的耐高温、高耐磨、高耐蚀等特点结合起来，发挥两类材料的综合优势，同时满足产品对结构性能（强度、韧性等）和环境性能（耐磨、耐蚀、耐高温等）或特种功能（红外辐射、波长吸收、热敏、光敏等）的需要，获得相当理想的复合材料结构。

(2) 能够用于制备陶瓷涂层的材料品种多，包括各种氧化物和复合氧化物、碳化物、硼化物、氮化物、硅化物以及金属陶瓷和金属间化合物。且陶瓷和陶瓷，陶瓷和金属，陶瓷和塑料等不同材料，亦可以不同配比进行复合、组合，品种极多；而用作整体结构材料的陶瓷，目前还仅有碳化硅、氮化硅、稳定化氧化锆等少数几个品种。

而在气相沉积或液相沉积陶瓷涂层中，能够经气相反应或液相化学反应沉积出陶瓷涂层的气相物质或液相化学介质，都可能是制备陶瓷涂层的材料。这样，制备陶瓷涂层的原材料就几乎涵盖了固相、液相和气相材料的整个领域，其来源之广可想而知。

(3) 制备陶瓷涂层的工艺方法多，且投资小，灵活方便。这些工艺方法包括：固相沉积，如热喷涂、高温自蔓延法、电火花表面强化法等；气相沉积，如化学气相沉积（CVD）、物理气相沉积（PVD）、真空离子沉积等；液相法，如溶胶法、电化学沉积法、化学自催化沉积法（化学镀）等。

(4) 能够在不同的基体材料上沉积陶瓷涂层。不仅可以在钢铁、有色金属和稀贵金属等金属基体上沉积陶瓷涂层，还可以在玻璃、树脂板上沉积陶瓷涂层。几乎所有固态工程材料都可作为基体，其性能均可通过涂覆陶瓷涂层加

以改善。

(5) 涂层功能极广。由于能够制备陶瓷涂层的材料品种极多,并能根据需要采用不同的制备陶瓷涂层的工艺,获得各种功能的表面强化涂层和特种功能涂层,如高耐磨、减摩自润滑、可磨耗密封、高摩阻制动、耐腐蚀、抗氧化、耐高温、绝热、绝缘、屏蔽及波长吸收、敏感元件(压敏、气敏、光敏等)、红外辐射、防辐射、催化、超导及生物功能等,功能极广,广泛应用于国民经济各部门。

(6) 调整涂层成分比较容易。可以通过调整涂层材料的种类、配比及涂覆工艺等,比较容易地实现涂层成分和涂层性能的调整。

(7) 物耗少,物流小,附加值高,经济效益突出。陶瓷涂层的厚度一般在几十微米到几毫米之间,最薄的只有几微米。加之陶瓷材料密度较小,因而物耗少、物流量小,但附加值却很高。如火箭用钨喷管,经热喷涂热障陶瓷涂层后,其使用寿命提高上百倍;高压往复泵柱塞表面喷涂 0.3~0.5mm 厚的陶瓷涂层,其使用寿命比惯用的镀硬铬柱塞提高 6 倍。

(8) 陶瓷涂层厚度可控。陶瓷涂层的厚度,薄的仅为几微米到几十微米,适用于短、小、轻、薄的制品,如各种传感器、固体燃料电池等;厚的通常为零点几毫米到几毫米,最厚可达 20mm,可用于重型、大型制品,如冶金工业用大型炉辊,重达十几吨。大型液压启闭机用液压缸的超大型陶瓷涂覆活塞杆,可长达 16m,重达十多吨。

(9) 能够实现制品的局部改性与表面强化,成型容易。能够在薄壁件、空心件或异型件表面涂覆陶瓷涂层,也可实现制品的局部涂覆陶瓷涂层而强化。

(10) 容易与原有金属加工的工装条件结合,实行企业的技术改造。

应当指出,陶瓷涂层并非十全十美,亦有其固有的弱点,主要表现在以下方面。

(1) 陶瓷涂层有着陶瓷材料塑性变形能力差、对应力集中和裂纹敏感、抗热震和抗疲劳性能差、质脆的固有弱点。

(2) 陶瓷涂层材料与金属材料的热物理性能(如膨胀系数、热导率等)差别大,在使用过程中可能产生不同的应力状态,影响其使用性能和寿命。

(3) 陶瓷涂层与基体材料的结合主要为机械嵌合或分子力结合,结合强度不高。

因此,陶瓷涂层不能应用于高应力、受冲击和强疲劳等工况条件下。陶瓷涂层只能对基体结构材料起弥补或增加功能的作用,而绝不能代替结构材料本身。

还必须强调指出,由于陶瓷涂层技术是一门新兴的正在发展中的表面涂覆技术,陶瓷涂层是由陶瓷材料的微细粒子堆积而成,而且涂层薄,这就给陶瓷

涂层的试样制备和性能测试带来很多困难，可行的技术标准还不多。甚至同样的陶瓷涂层，不同的作者或不同的资料给出的技术数据会有相当的差别，这是因为陶瓷涂层的性能测试数据还是不完善的。因此，本书中提供的各种有关陶瓷涂层的资料和数据，仅供读者参考。

作者虽已在热喷涂高性能陶瓷涂层技术的科研与开发方面工作多年，但由于专业范围较窄，学识有限，书中错误难免，欢迎读者批评指正。如能起到一点“抛砖引玉”的作用，促进我国高性能陶瓷涂层技术的发展，也算了一心愿。

磨砺奋进 自强不息

谨以此书纪念武汉材料保护研究所建所五十周年！

邵世均

2003年4月 于武汉

联系电话：027—83641647 (O)

027—83638326 (H)

内 容 提 要

高性能陶瓷涂层技术是由高性能陶瓷材料、先进复合材料和现代表面工程技术等交叉派生而成的边缘学科,是当代高新技术领域的一个颇具活力的学科分支,在国民经济各个领域有着广泛的应用。

本书是以热喷涂高性能陶瓷涂层为主,系统论述各种高性能陶瓷涂层的专著。全书共分十章,包括陶瓷材料基础、陶瓷涂层基础、陶瓷涂层材料、热喷涂高性能陶瓷涂层、其他陶瓷涂层技术、陶瓷涂层的性能检测、陶瓷材料摩擦学、陶瓷材料的腐蚀、陶瓷涂层在工业和高新技术领域中的应用等。

本书可供航空、航天、电子、信息、电力、能源、石油化工、冶金、轻工、机械等行业及高新技术领域相关的科研人员、设计人员、管理人员和工程技术人员阅读,也可用作大专院校师生的教学参考书。

目 录

第一章 陶瓷材料基础	1
第一节 概述.....	1
一、陶瓷的定义.....	1
二、陶瓷材料的分类.....	1
三、陶瓷材料的产业发展.....	2
第二节 陶瓷材料的结构特征.....	4
一、陶瓷材料的原子、离子结构及化学键.....	4
二、陶瓷材料的晶体结构	10
三、陶瓷材料的微观结构	14
四、陶瓷材料的强化	15
第三节 陶瓷材料的物理性能	17
一、陶瓷材料的常用物理性能	17
二、陶瓷材料的热物理性能	18
三、陶瓷材料的电性能	24
第四节 陶瓷材料的力学性能	30
一、机械强度	30
二、断裂韧性	31
三、弹性模量	32
四、耐磨性	32
第二章 陶瓷涂层基础	33
第一节 陶瓷涂层的形成	33
一、喷涂用热源	33
二、喷涂质点在焰流中的运动	45
三、粉末质点与等离子射流的热交换	48
四、粉末质点与等离子射流的相互反应	51
五、喷射熔滴或颗粒与基体的碰撞及涂层形成	52
第二节 陶瓷涂层的结构	56
一、多相非均质结构	57
二、亚稳态结构	61

三、片层状结构	62
第三节 陶瓷涂层的性能	63
一、粘结性能	63
二、涂层的物理性能	67
三、陶瓷涂层的热物理性能	70
四、陶瓷涂层的电性能	73
五、陶瓷涂层的力学性能	75
第三章 陶瓷涂层材料	80
第一节 概述	80
一、陶瓷涂层材料的分类和命名	80
二、陶瓷涂层材料的生产方法	81
三、粉末特性及其对喷涂工艺性能的影响	83
四、热喷涂工艺对陶瓷涂层材料的基本要求	87
五、热喷涂陶瓷涂层材料的毒性与安全	88
六、热喷涂用陶瓷涂层材料的选择原则	91
七、热喷涂陶瓷涂层材料的包装、储运和验收	91
第二节 氧化物类陶瓷涂层材料	93
一、概述	93
二、氧化铝 (Al_2O_3) 基陶瓷粉末材料	99
三、氧化锆 (ZrO_2) 基陶瓷粉末	121
四、硅酸盐类陶瓷粉末	132
五、其他氧化物陶瓷粉末	138
第三节 碳化物、氮化物、硼化物及硅化物粉末	159
一、碳化物类陶瓷粉末	159
二、氮化物类陶瓷粉末	172
三、硼化物、硅化物类陶瓷粉末	177
第四节 金属陶瓷粉末	184
一、概述	184
二、硬质耐磨金属陶瓷粉末	189
三、耐高温热障金属陶瓷复合粉末	205
四、可磨耗密封金属陶瓷复合粉末	207
五、减摩自润滑金属陶瓷复合粉末	211
六、高摩擦力摩阻复合粉末	216
第五节 金属间化合物粉末及塑料陶瓷复合材料	220
一、金属间化合物粉末	220

二、塑料陶瓷复合材料·····	231
第六节 陶瓷棒和复合芯丝材·····	235
一、陶瓷棒·····	235
二、复合芯型丝材·····	238
第七节 热喷涂工艺过程用材料·····	246
一、脱脂除油清洗用材料·····	246
二、喷砂用磨料·····	252
三、热喷涂用气体·····	262
四、热喷涂用遮蔽材料、防粘剂和封孔剂·····	272
五、热喷涂涂(焊)层加工用刀具、磨具·····	281
第四章 陶瓷涂层——热喷涂工艺·····	289
第一节 概述·····	289
一、热喷涂综述·····	289
二、热喷涂涂层设计·····	296
三、热喷涂涂层成本及经济分析·····	301
四、热喷涂施工的安全与防护·····	308
第二节 热喷涂设备·····	311
一、概述·····	311
二、等离子喷涂设备·····	314
三、燃料燃烧火焰喷涂设备·····	340
四、陶瓷棒及线材火焰喷涂设备·····	352
五、电热法喷涂设备·····	356
六、等离子喷焊设备·····	359
七、热喷涂用辅助设备·····	362
第三节 热喷涂工艺与施工·····	372
一、基体的准备·····	373
二、基体的预处理·····	379
三、热喷涂施工·····	387
第四节 热喷涂复合处理工艺·····	402
一、热喷涂-热等静压复合处理技术·····	403
二、喷涂-烧结复合工艺·····	403
三、喷-铸复合工艺·····	403
四、喷涂-电镀复合工艺·····	403
五、反应热喷涂·····	404
第五章 陶瓷涂层制备的其他方法·····	405

第一节 湿化学法	405
一、溶胶-凝胶法	405
二、化学镀与化学复合镀	414
第二节 电化学沉积	428
一、电化学沉积概述	428
二、复合电镀	430
三、铝及铝合金的阳极氧化	437
第三节 气相沉积	447
一、物理气相沉积	447
二、化学气相沉积	457
第四节 固相沉积	469
一、自蔓延高温合成法	469
二、电火花沉积法	481
三、釉浆涂层	483
第六章 热喷涂涂层的质量检测	490
第一节 涂层常规性能检测	492
一、喷涂层外观检测	492
二、涂层厚度测定	492
三、涂层密度和气孔率测定	493
四、涂层硬度测定	495
第二节 热喷涂涂层的力学性能测试	496
一、涂层与基体的结合强度——粘结强度 (adhesive strength)	496
二、涂层自身的结合强度——粘聚强度 (cohesive strength)	498
三、喷涂涂层的弹性模量和泊松比的测定	499
第三节 热喷涂涂层的功能性能检测	500
一、热喷涂涂层的耐蚀性能检测	500
二、摩擦磨损试验	502
三、热震试验	507
第四节 热喷涂涂层结构的金相检测	508
一、涂层试样的金相制备程序	508
二、涂层试样的金相检测	513
第七章 陶瓷和陶瓷涂层摩擦学	517
第一节 概述	517
一、摩擦学定义	517
二、摩擦磨损分类	517

三、摩擦机理和摩擦定律·····	519
四、磨料磨损·····	524
五、对耐磨涂层的要求·····	530
六、摩擦磨损性能表示方法·····	532
七、陶瓷涂层的摩擦学特性·····	533
第二节 陶瓷及金属陶瓷涂层的摩擦学行为·····	534
一、抗粘着磨损涂层·····	534
二、抗磨料磨损涂层·····	551
三、抗微动磨损和疲劳磨损涂层·····	559
四、耐腐蚀磨损涂层·····	565
五、摩阻涂层·····	569
第八章 陶瓷和陶瓷涂层的耐蚀性 ·····	571
第一节 概述·····	571
一、腐蚀的定义与分类·····	571
二、选择耐蚀陶瓷材料时应考虑的原则·····	572
三、陶瓷材料的腐蚀特性·····	573
四、陶瓷涂层的耐蚀性·····	579
第二节 陶瓷和陶瓷涂层在不同环境中的耐蚀性·····	583
一、气体的腐蚀·····	583
二、液体介质对陶瓷材料的腐蚀·····	587
三、熔融介质对陶瓷材料的腐蚀·····	600
四、固体颗粒对陶瓷的腐蚀·····	607
第九章 陶瓷涂层的工业应用 ·····	608
第一节 在宇航工业中的应用·····	608
一、在航空工业中的应用·····	608
二、在航天工业中的应用·····	618
第二节 在电子、信息工业中的应用·····	619
一、微电子工业用金属陶瓷复合基板·····	619
二、微波集成电路板·····	620
三、印刷电路板的制造·····	620
四、传感器元件制造·····	621
第三节 在电力、能源工业中的应用·····	621
一、在火力发电设备中的应用·····	621
二、在水电设备中的应用·····	622
三、在核能及燃料电池工业中的应用·····	625

第四节 在石油化工中的应用	627
一、在化工泵中的应用	627
二、在阀门中的应用	630
三、在油气田勘测、钻采设备中的应用	632
四、在塑料工业设备上的应用	633
第五节 在冶金工业中的应用	634
一、综述	634
二、各种炉辊	636
三、耐熔融金属侵蚀的保护涂层	639
四、耐冲击磨损涂层	642
第六节 在轻纺工业中的应用	644
一、在纺织工业中的应用	644
二、在造纸、印刷工业中的应用	645
三、在玻璃工业中的应用	650
第七节 在机械工业中的应用	652
一、在汽车、内燃机工业中的应用	652
二、在传感器等控制元件生产中的应用	654
三、热辐射节能陶瓷涂层	657
四、无基座非标准陶瓷零件的制造	661
第十章 陶瓷涂层在高新技术领域中的应用	663
第一节 超导和生物功能陶瓷涂层	663
一、超导陶瓷涂层	663
二、生物功能陶瓷涂层	666
第二节 新型功能材料和涂层材料	669
一、梯度功能材料	669
二、纳米陶瓷涂层材料	671
附录一 热喷涂陶瓷涂层技术条件	675
附录二 热喷涂技术国际标准	687
参考文献	689

第一章 陶瓷材料基础

第一节 概 述

陶瓷材料是人类创造出的第一种人造材料。早在一万多年前，我们的祖先就用黏土制成陶坯，然后在火中烧制成陶器；而在陶器上涂上不同的瓷釉，制成质地细密且完全不吸水、能发出金属般清脆声音的精美瓷器，则是我们祖先对人类文明的伟大贡献。这一技术在公元 11 世纪开始外传，大约在 15 世纪传入欧洲，我们中国就有了一个“China”（瓷器）的英文国名，成为“瓷器之邦”。陶瓷显然是最古老的工程材料。

然而，到了 20 世纪 50 年代，耐高温陶瓷涂层的研发与应用有力地促进了火箭、喷气发动机等宇航技术的发展，使人类跨入了宇航时代；20 世纪 60 年代半导体硅的研究与发展，使人类快步迈入了电子和电脑时代；而 20 世纪 80 年代光纤技术的发展，又使人类奔向了信息化和网络时代。还有超导陶瓷材料、金刚石薄膜、纳米陶瓷等。古老的陶瓷似乎“返老还童”，正焕发出勃勃生机。难怪有人说：“人类正在进入第二个石器时代”。

一、陶瓷的定义

陶瓷曾经是指陶器、瓷器，后来又称为硅酸盐。

现代陶瓷的定义是：由金属和非金属元素或单质组成的具有共价键、离子键或混合键结合特性的晶态或非晶态无机非金属材料总称。它既包括了各种氧化物、复合氧化物和各种硅酸盐，还包括碳化物、硅化物、氮化物、硼化物、金属间化合物。现代还把金属陶瓷，单质无机材料如金刚石、石墨和单晶硅等统统归入陶瓷范畴，使陶瓷成为种类和品种极多的一个材料大家族，与金属、高分子有机材料共同构成当代三大固态工程材料。

二、陶瓷材料的分类

从元素周期表可以了解到，陶瓷材料的主要成分是范围很宽的金属元素和非金属元素。常见的金属元素有铝、硅、铍、镁、硼、钛等；常见的非金属元素有氧、碳、氮等，大多是周期表的第二、第三周期和Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ族主族的元素。这些金属元素与非金属元素形成的化合物，由于其原子结构的外层电子特性，往往形成共价键、离子键或混合键结构，组成晶态或非晶态化合

物。这是一个很庞大的材料大家族，因而很难有一个统一的分类方法。

根据陶瓷材料的形状，可以分为粉末、管材、棒材、板材和异形材。

根据陶瓷材料的应用，则分为民用陶瓷、工业陶瓷、功能陶瓷和特种陶瓷。工业陶瓷则常分为耐火材料、电工陶瓷、耐酸陶瓷等。

根据陶瓷材料的组成分类，如图 1-1 所示。

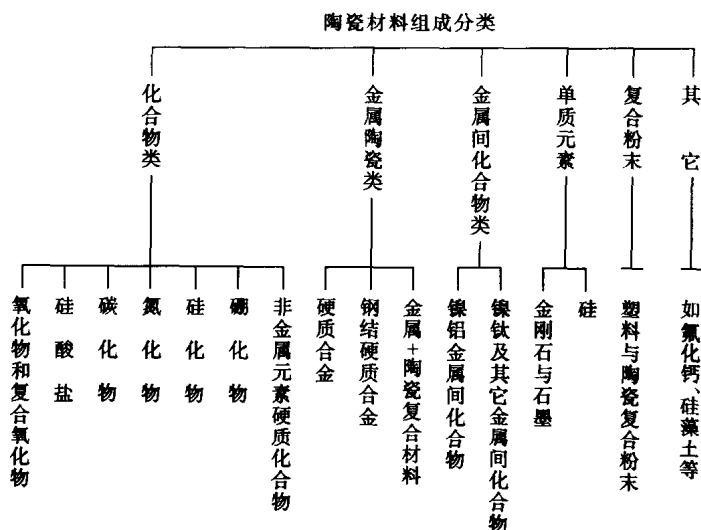


图 1-1 陶瓷材料的组成分类

三、陶瓷材料的产业发展

陶瓷材料的产业，大致可分为四类。

1. 日用及建筑陶瓷产业

从出土的古代陶器、秦砖汉瓦，到现代建筑用砖、瓦、水泥、玻璃，以及人们日常生活用的瓷碗、碟、盘、匙、罐、壶、缸以及灯具、卫生洁具陶瓷等，均属日用及建筑陶瓷产业，通常还把工艺美术陶瓷制品也归入这一产业。

这类陶瓷制品的生产工艺一般是：原料粉制备—制坯—烘干或晾干—煅烧或烧结—精制。因此，耗用原材料多，能耗大，劳动密集，附加值相对较低，但量大面广，与人们的居住和日常生活息息相关，有着相当大的产业规模和市场。随着现代科技向这一领域的渗透与发展，其技术含量和产品附加值也有了显著提高，如釉面瓷砖、镀膜玻璃、装饰灯具等，而一些精美的工艺陶瓷制品，更独显其永不衰竭的魅力。

2. 工业陶瓷产业

随着工业革命的兴起，陶瓷材料也在各工业领域获得广泛的应用。

(1) 耐火材料 是指其耐火度不低于 1580°C 的无机非金属材料，是高温炉、窑、容器等热工设备用的结构材料。耐火材料必须具有良好的矿物结构、

热学性能、力学性能和使用性能，即具有较高的耐火度、荷重软化温度、体积稳定性、抗热震稳定性和抗化学侵蚀性等性能。

耐火材料分为定型耐火材料、不定型耐火材料（亦称不煅烧耐火材料）和耐火纤维材料，主要用于冶金工业，其消耗量约占耐火材料总产量的 60%~70%，约为钢产量的 5%~8%。我国耐火材料的产量近 1300 万吨，形成一个相当规模的陶瓷产业。

(2) 电工电子陶瓷 是指用于电力工业和电子工业的陶瓷材料，主要是绝缘、电阻、电容等陶瓷材料。现代电子技术的发展，也把半导体陶瓷、压敏陶瓷、导电和超导陶瓷归入这一类材料。

这类陶瓷材料，除了必须具有良好的晶体结构、力学性能和电子电力工业的使用性能外，最重要的特性就是不吸水性，因为吸水哪怕吸潮都会显著地降低陶瓷的电学性能，甚至造成恶性事故。而且，陶瓷材料应尽可能致密，没有空穴或很少有空穴。

这类陶瓷广泛应用于各种输变电用的绝缘子，电子工业用的电阻器、电容器等方面，规模亦相当大，附加值较高。

(3) 化工陶瓷 是指耐特定化工介质腐蚀的陶瓷材料，主要有陶瓷板、管、缸、罐、釜等形状，如各种耐酸陶瓷、铸石、搪瓷、玻璃、釉料制品。

这类陶瓷材料组织结构的特点，不一定必须是晶体结构，而更多的是非晶体结构，关键是在其表面形成完全致密的耐化学介质腐蚀的结构或覆层，并具有优异的化学稳定性。由于化工介质品种繁多，其腐蚀性随介质品种、浓度、温度等因素而变化，因此，化工陶瓷特别是搪瓷和釉料，还具有调整配方和成分比较容易、施工和成型容易的特点。

这类陶瓷广泛应用于化工、医药、湿法冶金和电镀等工业部门，亦具有相当的工业规模。

3. 功能陶瓷产业

功能陶瓷材料是功能材料的一个分支。它不像上述“工业陶瓷”那样主要用于重工业且相对大型的结构，而是要求具有特殊的物理、化学、力学及生物学功能。即“具有优良的特殊的电学、磁学、光学、热光、声学、力学、化学和生物学等功能及功能转换的非结构用特种陶瓷材料”。这类陶瓷材料主要用于制造智能机械（如仪器仪表）部件或机械的智能部分（如传感器元件），它的主要功能是把各种非电量参数转化成电参数，以供电脑或信息枢纽进行运算或调控，因而在工业过程自动化和信息社会中有着非常重要的作用。其相互关系有如人体的神经末梢、感官与大脑的关系那样，相互依存，缺一不可。

功能陶瓷的分类，包括热敏、压敏、气敏、光敏、湿敏及生物功能等特殊陶瓷，现代亦把半导体硅片、光纤及光电转换材料、固体激光器材料等归入功

能陶瓷材料之内，这就使功能陶瓷材料成为支撑现代高科技飞跃发展的最富活力的材料家族，其应用范围极广，附加值很高，作用举足轻重，正在发展成一个庞大的新兴产业群。

4. 陶瓷涂层产业

正如在本书前言中所述及的那样，陶瓷涂层技术正在发展成为一个新兴的产业，其特点十分突出。但作为产业，与上述三类陶瓷材料产业有着明显的区别。

(1) 依附性 陶瓷涂层必须依附于金属、塑料或陶瓷等固态工程材料基体上，一般不单独使用。因此，陶瓷涂层又往往不能单独计算其产值、效益，因而从严格的意义上讲，还不具备单独成为一个产业的资格。

(2) 特殊性 陶瓷涂层的制造工艺，与传统陶瓷制品的“制坯—烘干—煅烧”工艺不同，是采用不同的表面处理或表面合金化工艺制造的。因此，常不把需要煅烧处理的搪瓷和上釉归入此类。这是其制造工艺有别于其他陶瓷产业的特殊性。

(3) 边缘性（或界面性） 陶瓷涂层技术介于新材料、复合材料和表面工程技术之间，且与灵活多样的新工艺紧密相连，属于新兴的边缘学科。

(4) 广泛性 由于陶瓷涂层材料品种的多样性、陶瓷涂层基体材料选择的普遍性、陶瓷涂层涂覆工艺的灵活性以及陶瓷涂层功能的广泛性，因而使陶瓷涂层的应用领域极其广泛，既可用于传统工业，也用于新兴的高新技术领域；既可在重工业的大型工件上应用，也可在短、小、轻、薄的产品上应用，综合了结构陶瓷和功能陶瓷的应用特点。由于其应用面的极其广泛性，因而正在发展成为一个新兴的产业。

本书的目的，就是对正在成长但尚不完全成熟的陶瓷涂层技术及其应用进行比较系统、全面的介绍和探讨。

第二节 陶瓷材料的结构特征

任何材料的性能，都与其内因和外因有关。内因包括材料的化学组成，原子和分子结构及化学键等；外因则包括处理工艺，系统的温度、压力、磁场等。内因决定着材料的基本性能，外因影响着材料的晶体结构、应力状态和表面特性。

一、陶瓷材料的原子、离子结构及化学键

1. 原子结构

原子是组成分子并进而组成物质的基本质点。原子由原子核和围绕原子核不停地运动的电子组成。原子核处于原子的中心，它又由质子和中子组成。质