

现代陶瓷 及其应用

殷 声 编著

北京科学技术出版社

现代陶瓷及其应用

殷 声 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

北京科学技术出版社

现代陶瓷及其应用

殷声 编著

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南顺城街 12 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

顺义牛富屯印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.5印张 357千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷

印数1—2050册

ISBN 7-5304-0752-X/T·151 定价: 8.20 元

内 容 提 要

现代陶瓷材料是新一代无机非金属材料，它的出现引起了又一次材料革命，促进了新技术革命的发展。

本书是国内第一部讲述现代陶瓷的概况、晶体结构、生产工艺及性能和应用的著述。它分别介绍了功能陶瓷（介电、压电、铁电陶瓷，绝缘、半导体、超导陶瓷，磁性、光电陶瓷等），结构陶瓷（氮、碳、氧化物陶瓷，生物、多孔陶瓷等），工具陶瓷（硬质合金、金刚石、立方氮化硼等）。

本书内容丰富，通俗实用，可供材料科学、粉末冶金等方面科技人员参考。也适合高等工科院校材料专业作为教材。

目 录

第一章 概述	(1)
一、材料与新技术革命	(1)
二、硅酸盐陶瓷与现代陶瓷	(2)
三、现代陶瓷与粉末冶金	(2)
四、现代陶瓷的分类和应用	(4)
五、现代陶瓷的发展概况	(6)
第二章 陶瓷的晶体结构	(10)
一、离子晶体和共价晶体	(10)
1. 离子晶体和鲍林规则	(10)
2. 共价晶体	(12)
二、陶瓷材料的典型结构	(13)
1. 单质的晶体结构	(13)
2. AX 型化合物的结构	(14)
3. AX ₂ 型化合物的结构	(15)
4. 刚玉型 (A ₂ X ₃) 结构	(16)
5. ABO ₃ 型化合物的结构	(16)
6. 尖晶石 (AB ₂ O ₄) 型结构	(17)
7. 碳化物氮化物的结构	(18)
三、硅酸盐的晶体结构	(19)
四、同质异构现象	(23)
五、结构缺陷	(23)
1. 点缺陷	(23)
2. 原子缺陷的表示方法及其应用	(25)
3. 固溶体和非化学计量化合物	(26)
4. 位错和面缺陷	(29)
六、玻璃结构	(31)
1. 玻璃的结构	(31)
2. 玻璃的亚微结构特点	(35)
3. 玻璃陶瓷和金属玻璃	(37)
第三章 现代陶瓷的生产工艺	(39)
一、原材料粉末的制备	(39)
1. 氮化物	(39)
2. 碳化物	(42)
3. 硼化物	(46)
4. 硅化物	(47)

5. 氧化铝	(49)
6. 氧化锆	(51)
7. 其他氧化物	(53)
8. 铁氧体	(54)
9. 钛酸钡	(54)
10. 粉末的性能和检测	(55)
二、成型	(56)
1. 成型前的原料预处理	(57)
2. 模压成型	(58)
3. 注浆成型	(58)
4. 挤压法	(59)
5. 冷等静压	(59)
6. 注射成型	(60)
7. 爆炸成型	(61)
8. 薄膜和厚膜成型技术	(62)
9. 干燥	(63)
三、烧结	(63)
1. 烧结过程	(63)
2. 热压	(65)
3. 热等静压	(65)
4. 电火花烧结	(66)
5. 无包套热等静压	(66)
6. 反应烧结(反应成型)	(67)
四、其他陶瓷工艺	(68)
1. 单晶体	(68)
2. 多晶体	(69)
3. 薄膜	(69)
五、焊接	(70)
第四章 功能陶瓷	(74)
一、概述	(74)
二、介电陶瓷	(76)
三、压电和铁电陶瓷	(79)
1. 压电性和铁电性	(79)
2. 压电陶瓷材料	(82)
3. 压电陶瓷的应用	(85)
四、绝缘陶瓷	(87)
五、半导体陶瓷	(88)
1. 热敏电阻	(89)
2. 压敏电阻器材料	(95)

4. 气体传感器材料	(99)
5. 湿度传感陶瓷	(105)
6. 光敏半导体陶瓷	(110)
7. 传感器的多功能化和集成化	(111)
8. 二次电子放射陶瓷	(112)
六、快离子导体	(113)
1. 概述	(113)
2. 快离子导体材料	(114)
3. 快离子导体的应用	(117)
七、超导陶瓷	(119)
八、磁性陶瓷	(123)
1. 软磁铁氧体	(124)
2. 硬磁铁氧体	(124)
3. 旋磁铁氧体	(125)
4. 矩磁铁氧体	(125)
5. 压磁铁氧体	(126)
九、电光和光学陶瓷	(127)
1. 电光陶瓷	(127)
2. 光学陶瓷	(129)
第五章 结构陶瓷	(132)
一、概述	(132)
二、陶瓷的力学性能	(134)
三、氮化硅	(152)
1. 氮化硅的结构和性质	(152)
2. 氮化硅陶瓷的制备方法	(152)
3. 氮化硅陶瓷的组织、性能和应用	(156)
四、赛伦	(160)
五、碳化硅	(164)
1. 碳化硅的晶体结构	(164)
2. 碳化硅陶瓷的制备	(165)
3. 碳化硅陶瓷的组织、性能和应用	(167)
六、氧化锆	(171)
1. 氧化锆的稳定化和相变初化	(171)
2. 氧化锆增韧陶瓷	(174)
3. 氧化锆陶瓷的应用	(178)
七、其它结构陶瓷	(179)
1. 氮化铝	(179)
2. 六方氮化硼	(181)
3. 氧化铍和氧化镁	(183)

八、生物陶瓷	(184)
九、多孔陶瓷	(187)
第六章 工具陶瓷	(191)
一、概述	(191)
二、硬质合金	(192)
1. 概述	(192)
2. 硬质合金的成分组织和性能	(195)
3. 硬质合金的应用	(197)
三、金刚石	(198)
1. 金刚石的结构和性质	(198)
2. 金刚石的合成和烧结	(199)
3. 金刚石的应用	(205)
四、立方氮化硼	(212)
1. CBN的结构和性质	(212)
2. 立方氮化硼的合成和烧结	(214)
3. CBN的应用	(218)
五、氧化铝和氧化锆	(219)
六、氮化硅和赛伦	(221)
七、碳化硼	(223)

第一章 概 述

一、材料与新技术革命

材料同信息工程、能源工程和生物工程并列为当代新技术革命的支柱。材料科学在新技术革命的技术群中的地位如图1-1所示。

材料是人类生产活动和生活的必需的物质基础。材料同人类的文明史密切相关。人类所取得和使用的材料，随社会的生产力和科学技术的发展而不断进步。它反映人类认识自然和改造自然的能力，反映社会生产力和科学技术的发展水平。在生产力低下的远古时代，早期的人类用自然界的天然产物——石头——作为生产和生活的必需材料。在历史上，这个时期称为“石器时代”。而“石器”就是人类最早加工的天然无机非金属材料。后来，发明了制陶术，人类开始使用陶器。陶器便是人类用天然原料人工制造的无机非金属材料了。随着火

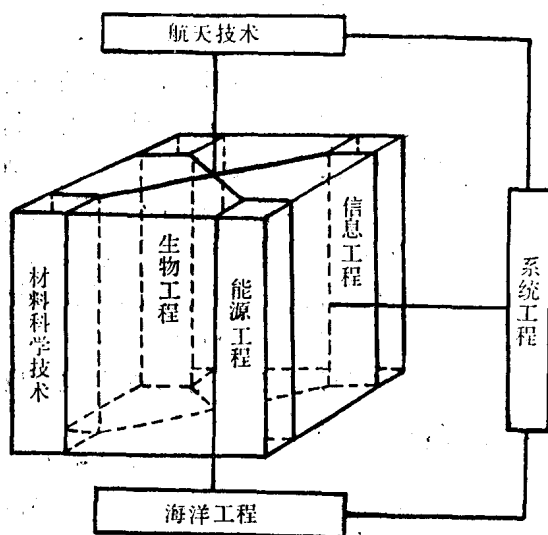


图 1-1 新技术革命的技术群

的应用，冶金技术的发展，人类掌握了冶炼铜、冶炼铁的技术，相继进入“青铜器时代”和“铁器时代”，社会生产力大大提高了。青铜器和铁器时代就是人类使用金属材料的初创时代。20世纪中叶，随着石油化工和合成化学工业的发展，人工合成出橡胶、塑料、人造纤维等形形色色的有机高分子材料。近三、四十年，在传统硅酸盐陶瓷的基础上，出现了新一代无机非金属材料，例如，人工合成的氮化物、碳化物、硼化物、硅化物、碳纤维、[硼纤维、金刚石、超导陶瓷、半导体材料等。有机高分子材料、金属材料 and 无机非金属材料构成了五光十色的材料世界。新陶瓷的

出现，是自塑料登台以来的又一次材料革命。现代陶瓷在90年代将成为仅次于金属和塑料的“第三产业材料”，有人称之为“新石器时代”。

信息工程、能量工程、生物工程、宇宙和海洋的开发，对新材料的要求是无止境的。新材料的开发，不仅是为了满足当前的需求，而且新材料一旦出现，将促使某种新技术取得成功，在工业上应用，反过来又会要求更新的材料。

二、硅酸盐陶瓷和现代陶瓷

无机非金属材料是由一百多种元素以适当的组合形成的无机化合物构成的。其中，最主要的是由构成地壳的硅、铝、氧三种元素形成的硅酸盐为组成的硅酸盐材料。硅酸盐是地壳中存在量最多的矿物。地壳的化学组成中，氧和硅占75%（重量），加上铝、铁、钙、镁等十种元素约占总量的98%。这些成分形成了碱金属、碱土金属或过渡族金属的硅酸盐和铝酸盐。用硅酸盐作为原料，经过高温烧结，就制成陶瓷制品。由于烧结（烧成）需要采用窑炉，因此，硅酸盐工业又叫窑业。陶瓷器、玻璃、水泥和耐火材料是典型的硅酸盐陶瓷。

我国是人类历史上最早制造瓷器的国家。因此，英文瓷器China和中国是同义词。中国远在新石器时代，就有了陶器，距今六七千年以前的半坡氏族就开始用陶刀来收割。仰韶文化时期发展了彩陶。殷朝有了以高岭土为原料的白陶。殷、周时代，创造了釉陶。东汉时期的瓷器已达到相当高的水平。从9世纪起，中国瓷器已远销非洲和阿拉伯世界。我国劳动人民对陶瓷业的发展作出了杰出的贡献。现在英文陶瓷Ceramics一词来自希腊字“陶器Keramos”。公元前6000年土耳其中部平原的沙塔尔休于最早知道陶瓷。

第二次世界大战之后，随着空间技术、原子能工业的兴起，电子工业的发展，迫切需要性能优良的材料，对材料的耐热性、机械强度、电磁特性、耐腐蚀性、尺寸精度等方面都提出了更高的要求。采用天然原料制成的产品，由于原料成分不稳定，含有较多杂质，不可能控制产品的组成和结构，也就不可能控制产品的性能，因而很难满足这些要求。因此，人们开始采用化工原料或人工合成原料来制造产品，也即向着采用化学方法制备高纯度或纯度可控制的人造原料的方向发展。由于新技术的需要和促进，在原有硅酸盐材料的基础上研制出许多新型材料，例如，1943~1945年制成的具有高介电常数的钛酸钡铁电陶瓷；1946年制成的高导磁率铁氧体磁性材料等。反过来，这些材料对电子技术的发展又起了重要的促进作用。新一代无机非金属材料同传统的硅酸盐陶瓷有下述区别：

1. 材料的组成超出了传统硅酸盐的范围，新材料除了纯氧化物、复合氧化物和含氧酸盐之外，还有碳化物、氮化物、硼化物、硅化物、硫化物、单质和金属陶瓷；
2. 在应用上，已由原来主要利用材料固有的静态物理性质发展到利用各种物理效应和微观现象的功能性，材料可在各种极限条件下使用；
3. 在材料的制备工艺上，也突破了传统的工艺，采用了其他领域的新技术，例如，将成型和烧结工序结合在一起的粉末冶金热压技术。热压工艺最早是在德国于1912年用于钨粉致密件的制备；
4. 制品的形态，除了传统的烧结体和粉料外，还有单晶体、薄膜和纤维等。

为了区别于传统硅酸盐陶瓷，新型无机材料被称为“新型陶瓷”（New Ceramics），“精细陶瓷”（Fine Ceramics），“现代陶瓷”（Advanced Ceramics）和特种陶瓷等。本书以新型烧结陶瓷为主要对象，采用“现代陶瓷”的名称。

三、现代陶瓷与粉末冶金

现代陶瓷是在传统硅酸盐陶瓷的基础上，吸收了相邻学科和技术，例如，粉末冶金的新

技术，发展起来的交叉材料科学和材料工程。相邻学科、相邻技术相互渗透，互相结合，形成许多新的交叉学科、边缘学科和交叉技术，是现代科学技术的一个重要的特点。

在材料方面，现代陶瓷超出了硅酸盐的范围，发展了氮化物、碳化物、硅化物、硼化物、纯氧化物、复合氧化物和金属陶瓷等新材料。而这些新材料，通常也被列为粉末冶金材料。

在技术工艺方面，现代陶瓷技术和粉末冶金技术互相结合，相互渗透，并共同发展了许多新技术，例如，粉末制备方法中的化学气相沉积、气相冷凝法，气相化合物热分解法，液相化学沉淀法；成型烧结工艺中的热压法、热等静压法、爆炸法等。当然，特种陶瓷技术也吸收了其他相邻技术，例如高分子材料的注射成形、轧膜成形技术等。

粉末冶金通常被称为金属陶瓷。英语金属陶瓷 Cermet 就是由陶瓷 Ceramics 和金属 Metal 两个字的前三个字母构成的。粉末冶金之称为金属陶瓷，可以理解为有两个含意：其一是粉末冶金采用了陶瓷的工艺。粉末冶金和陶瓷工艺的主要工序都是粉末制备—成形—烧结。其二是粉末冶金材料是由金属和陶瓷组成的。在粉末冶金材料中，除了一部分是金属和合金材料外，绝大多数是金属与陶瓷的复合材料，例如，以金属为基体加少量陶瓷组元的摩

I、粉末制备

陶 瓷		现 代 陶 瓷							粉 末 冶 金				
矿物提炼	电熔法	固相热分解法	固相反应法	还原+化合法	化学气相沉积法	气相冷凝法	液相化学沉积法	熔盐电解法	机械粉碎法	喷雾法	电化学腐蚀法	水溶液电解法	还原法

II、成型

陶 瓷		现 代 陶 瓷							粉 末 冶 金	
可塑成型	流延法	粉浆浇注	注射成型	爆炸成型	冷等静压	轧制成型	挤压成型	模压成型	模形压制	粉末锻造

III、烧结

陶 瓷		现 代 陶 瓷							粉 末 冶 金	
反应烧结	普通烧结	松装烧结	活化烧结	气氛烧结	爆炸烧结	电火花烧结	热等静压	热压	浸渍法	

图 1-2 陶瓷、粉末冶金和现代陶瓷的工艺比较

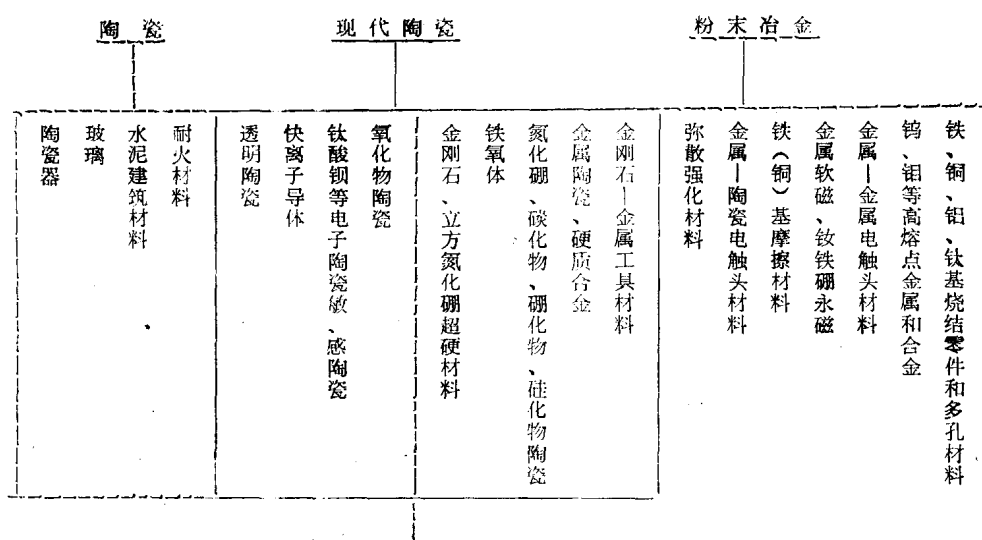


图 1-3 陶瓷、粉末冶金和现代陶瓷材料

擦材料，减摩材料，电触头材料、弥散强化、纤维强化材料，金属-金刚石工具材料；以陶瓷为基加入少量金属的金属陶瓷和金属纤维强化陶瓷复合材料。此外，一部分粉末冶金材料实际上是陶瓷材料，例如，铁氧体、碳化物、氮化物等难熔化合物材料和立方氮化硼、金刚石超硬材料。

根据国内外在陶瓷和粉末冶金方面的教科书、专著、期刊和文摘，列出了陶瓷和粉末冶金的工艺和材料，并绘示图1-2和图1-3。虚线框内为陶瓷或粉末冶金的工艺或材料，实线框内为陶瓷与粉末冶金重叠的部分，即特种陶瓷的工艺或材料。由图可见，如果说粉末冶金是金属与陶瓷的交叉学科与技术，那么，现代陶瓷就可以说是硅酸盐陶瓷与粉末冶金的交叉学科和技术。

四、现代陶瓷的分类和应用

现代陶瓷在电子技术、计算技术、空间技术、能源工程等新技术的发展起着重要的作用。电子技术、大规模集成电路，离不开压电、铁电和磁性陶瓷。电子计算机的记忆系统需要具有方形磁滞回线的铁磁体陶瓷。在火箭和导弹的发展中，鼻锥是关键部件，它要承受1500℃的高温，要求材料具有高的耐高温强度和好的抗氧化性能，只有陶瓷材料才能满足这些要求。作为新能源的磁流体发电机，需要采用特种陶瓷作为电极材料。高温燃料电池，高能量蓄电池，需要采用陶瓷快离子导体作隔膜材料。

根据材料的性能和其主要应用范围，现代陶瓷可大致分为三大类：结构陶瓷、工具陶瓷和功能陶瓷。

结构陶瓷包括氮化硅、碳化硅、氧化锆、氧化铝、六方氮化硼等。工具陶瓷主要指金刚石、立方氮化硼、氮化硅、碳化硼、氧化铝等。功能陶瓷的种类繁多，包括介电陶瓷、压电和铁电陶瓷、半导体陶瓷、电光和光学陶瓷、快离子导体、磁性陶瓷和超导陶瓷等。

高温结构陶瓷、工具陶瓷的某些典型应用例子分别列于表1-1和表1-2。功能陶瓷的应用

详见功能陶瓷章。

由表可见，某些现代陶瓷具有多方面的功能和应用，既可以作为结构材料也可以做工具材料，或者既可以做工具材料，又是功能材料。例如，氮化硅具有良好的高温力学性能、低热膨胀系数、高导热率、良好抗热冲击性，是很有希望的高温结构材料。它又具有高硬度、耐磨性，也是良好的工具材料。又如，金刚石是世界上已知的最硬的材料，是优秀的工具材料。同时，某些金刚石又具有半导体性质，可以作为功能材料用做整流器、三极管及温度计等。

表1-1 高温结构陶瓷的应用

应 用	使用条件和要求	材 料
柴油机活塞、汽缸、燃气轮机叶片、喷嘴、热交换器、燃烧器	1200~1400℃不冷却，高温强度、抗热冲击，抗氧化、耐腐蚀	氮化硅、氧化铝、碳化硅、Sialon
火箭发动机燃烧室内壁、喷嘴、鼻锥	>1500℃，耐高温、耐冲刷、抗冲击、耐腐蚀	氧化铍、氧化铝、氧化锆、碳化硅、氮化硅
原子能反应堆材料 核燃料元件 吸收热中子控制棒 减速材料	>1000℃，耐高温，耐腐蚀 >1000℃，吸收热中子截面大 >1000℃，热中子吸收截面小	UO ₂ 、UC、ThO ₂ 、碳化硼、氧化钐、氧化铍、碳化铍
冶金材料 熔炼铀坩埚 制备半导体砷化镓坩埚 第Ⅲ、V族元素晶体生长用坩埚 高炉内衬、浇注口 连续注锭分流环	>1100℃，化学稳定性好 >1200℃，化学稳定性好，高纯度 抗化学侵蚀 高温强度、抗氧化、抗热冲击、耐蚀 抗热冲击，耐腐蚀	氧化铍、氧化钍 六方氮化硼、氮化铝 氮化铝 碳化硅 六方氮化硼、氮化硅
磁流体发电电离气流通道	3000℃，耐高温气流冲刷和腐蚀	氧化铝、六方氮化硼、氧化镁、氧化铍
电极材料	2000~3000℃，高温导电性好	氧化锆、硼化锆

表1-2 工具陶瓷的应用

材 料	性 能	应 用
金刚石	硬度高、耐磨、抗压强度高、弹性模量高、导热性好	切削刀具加工有色金属、陶瓷、碳纤维、塑料和复合材料； 钻探工具，地质钻头，石油钻头，砂轮，修整工具，拉丝模，石材加工锯片，磨轮
立方氮化硼	硬度高、化学惰性好，热稳定性好，导热性好	切削刀具、砂轮，加工高硬度的淬火钢、铸铁、热喷涂层和粘性大的纯镍、镍基高温合金等难加工材料
氮化硅 Sialon	硬度高、韧性较好，耐热性好	刀具材料，拉拔无缝钢管的芯棒、拉丝模、焊接定位梢
碳化硼	硬度高、耐磨、耐腐蚀、耐热	磨料、喷砂嘴
氧化铝	硬度高、耐磨、抗氧化性好、化学惰性好	刀具
氧化锆	强度高，韧性较好	拉丝模，热挤模，喷嘴，铜粉、铝粉的冷挤模

五、现代陶瓷的发展概况

为适应新技术革命对材料的需求,美国、日本、欧洲工业发达国家近年来对现代陶瓷进行了大量的研究工作,政府制定了一系列开发规划,资助和组织大公司协同研制工作。

长期以来,人们为了提高热机的工作温度和效率一直进行着不断的努力。能源问题的尖锐化,刺激了人们对陶瓷发动机和高温结构陶瓷的兴趣。

美国于1971年开始“脆性材料设计”计划,旨在研究陶瓷用作气体透平零件的可行性。发动机的定子采用反应烧结氮化硅、反应烧结碳化硅,转子采用热压氮化硅和反应烧结氮化硅。燃烧器采用反应烧结碳化硅。陶瓷发动机的成功运行表明了陶瓷用作发动机零件的可能性。70年代后期,在现有发动机上装上陶瓷零件,试验发动机的性能是否有改善。“示范陶瓷发动机计划”的执行结果表明,装有104个陶瓷零件的涡轮发动机,透平进口温度提高200℃,功率提高30%,燃料消耗降低7%。“陶瓷在燃气轮机上的应用”计划CATE的结果也表明,陶瓷零件可以承受实际使用环境下的热应力和机械应力。同期,陶瓷材料的研究侧重于无压烧结和反应烧结陶瓷,并发展了泥浆浇注和注射成型工艺。

美国陶瓷发动机技术发展的第二步是专门为陶瓷材料设计新型的发动机,制定了“先进燃气轮机计划”AGT100和AGT101,透平的入口温度分别要求达到1288℃和1371℃,燃油消耗要求降低30%。在AGT100计划中,转子和定子采用常压烧结碳化硅,而AGT101计划则采用反应烧结并经重烧结的氮化硅。陶瓷发动机在接近计划转速的试验中获得成功。

美国研制了无冷却系统的绝热柴油机。陶瓷内燃机已装车做运行试验。用等离子喷涂稳定氧化锆做内燃机内衬的发动机,装在军用卡车上行驶13个月,1万公里。发动机效率从35.6%提高到48%。钎化氧化锆在绝热内燃机上的应用是成功的。

日本在陶瓷发动机上的研究起步较晚,但是,现在已缩短了同美国的差距。1978年,日本政府制定了“月光计划”,包括磁流体发电、先进燃气轮机、先进电池和储能系统等项目。磁流体发电采用陶瓷高温电极材料和绝缘材料。燃气轮机采用氮化硅、碳化硅和碳化硅纤维增强氮化硅。1981年,日本又制定了为期十年的“下一代工业基础技术发展计划”,其中精细陶瓷是重要的项目之一,包括高温高强度材料、高耐腐蚀材料和高耐磨材料等。1984年,日本五十铃汽车公司宣布一台全陶瓷发动机试制成功,热效率达48%,节约燃料50%,输出功率提高30%,发动机重量减轻30%。

在欧洲,英国最早开展氮陶瓷的研究,赛伦(Sialon)陶瓷的研究成绩显著,其专利已转给美国和瑞典。西德于1975年开始“车辆用燃气轮机陶瓷部件”计划,研究氮化硅和碳化硅部件。用全陶瓷整体热压氮化硅转子组装的发动机,在奔驰“2000年汽车”上运行了724公里。瑞典采用ASEA公司的热等静压氮化硅转子组装了气体透平。据1983年在荷兰举行的欧洲陶瓷专家讨论会估计,欧洲在陶瓷方面的研究落后于日本和美国3~5年。欧洲共同体的尤里卡计划充分重视了现代陶瓷的研究。

美国和日本在陶瓷发动机上的竞争是很激烈的。美国人对结构陶瓷的经济方面作了评估,假设两种相反的情况,即美国政府进行了投资,美国处于领先地位的情况和外国(主要指日本)领先的情况。这两种情况对美国的国民生产总值和就业等将产生很大的影响。在美

国领先的情况下,美国的国民总产值在2000年将增加280亿美元,相反,将减少80亿美元。

十几年来,结构陶瓷得到很大的发展,材料性能成倍提高。图1-4对比了几种陶瓷的抗弯强度在1974年时和1985年的数值。图1-5估计了陶瓷零件在发动机中的比例在2005年前的提高趋向。

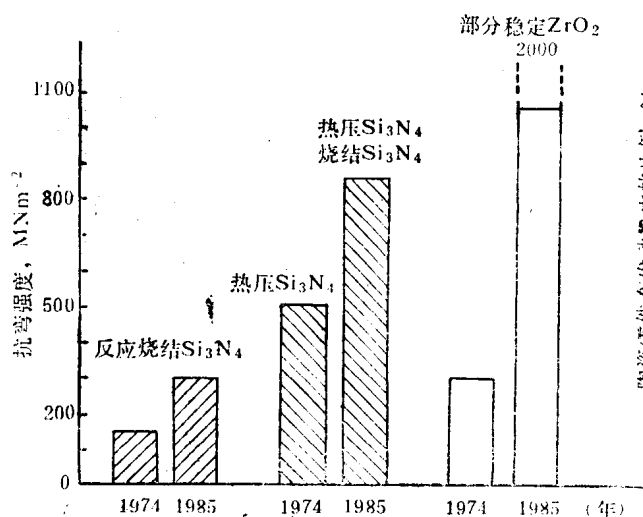


图 1-4 各种陶瓷抗弯强度的提高

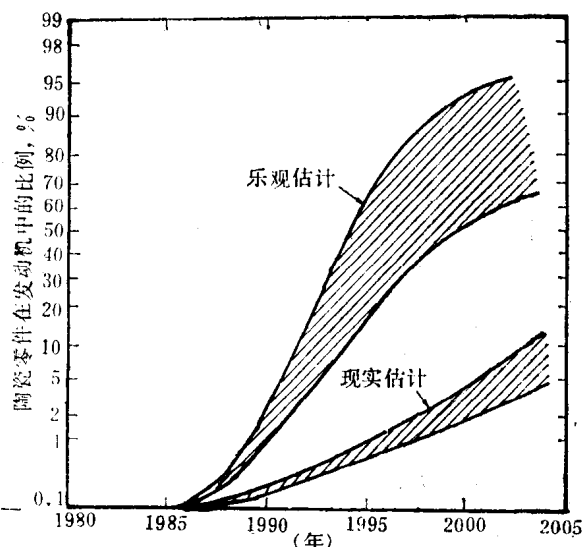


图 1-5 发动机中陶瓷零件比例的增长

虽然结构陶瓷的性能有了很大改善,陶瓷发动机的试验结果也很鼓舞人。但是,还没有证明投入工业生产后的陶瓷零件的可靠程度。在质量控制、无损探伤、材料性能改善和设计上,都有许多工作要做。图1-6表示了发动机用陶瓷材料商品化需要经历的几个阶段:概念发现、可行性论证、工艺改进和商品化。陶瓷涂层在本世纪末可商品化,而陶瓷和陶瓷复合材料的商品化将开始于2000~2005年。

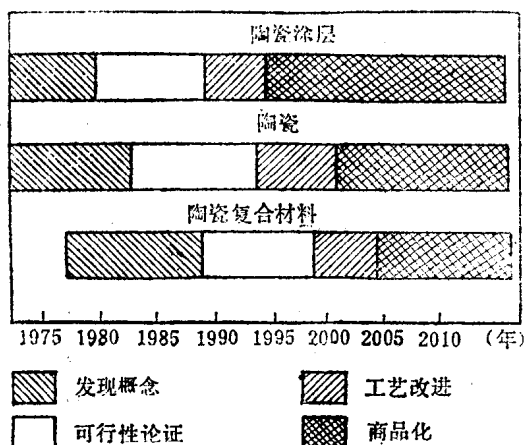


图 1-6 发动机用陶瓷材料商品化经历的进程

结构陶瓷氮化硅、赛伦、氧化锆等本身又是工具陶瓷,而且,已用作刀具、模具等工具,先于结构零件商品化。可以预期,随着切削加工向着高速度、高精度的发展,以及难加工材料的不断出现,工具陶瓷也将会有相应的发展。

近年来,功能陶瓷异军突起,在信息工程、微电子技术等新技术中建立奇功,引起人们的广泛注意。利用陶瓷对电、光、声、力、热、磁及气氛等的耦合特性或敏感特性,可以制成电(压)敏、光敏、热敏、气敏及湿敏单功能和多功能传感器。传感器扩展了人体感觉器官的能力,因此在生产过程的自动化和流水线中被称为反馈自动化系统的触角。传感器的普遍应用也引起家用电器的“革命化”。1987年初,超导临界温度90K以上的高温超导陶瓷 $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ 的发现,使超导材料的研究进入一个新阶段。超导陶瓷在液氮下有许多潜在应用,这些应用将可能改变我们的生活,例如,发电和输电、微电子技术和计算机、运输、遥感和医疗诊断等。

日本在功能陶瓷方面的研究和应用处于领先地位。日本政府很重视功能陶瓷的研究。1982年制定了为期三年的新功能陶瓷研究计划,包括电磁敏感陶瓷、气敏陶瓷、温度与压敏陶瓷、光敏陶瓷等。日本陶瓷工业协会于1981年成立了电子材料分会。同年,日本电子工业会成立了半导体陶瓷分会和功能电路元件分会。功能陶瓷的应用在日本已遍及生活的各个领域。例如,机场人员用的步话机、旅馆餐厅的自动门、报警门铃、电子表的报时等都装用陶瓷传感器。日本的压电陶瓷产量占世界产量的60~70%。

最近,美国商务部一个报告承认在电子陶瓷方面落后于日本。许多人认为,日本领先的重要原因是,日本把实验室的材料工艺迅速地转入工厂,实验室的研究很快变为工厂的技术。

在现代陶瓷中,电子陶瓷或功能陶瓷是最大一类产品,其次是工具陶瓷。“热机用高温结构陶瓷到本世纪90年代将对陶瓷市场作出贡献。现在,结构陶瓷已用于涡轮增压器转子和小发动机部件。最后希望整个发动机都用陶瓷来制造。表1-3列出西方国家现代陶瓷1977年至1995年(估计)的总销售额。1977年现代陶瓷的销售额为9.05亿美元,1986年达54亿美元,每年的增长率为22%。预计,1991年和1995年,现代陶瓷的销售额分别达到122亿美元和245亿美元。现代陶瓷高的增长速度主要由于在许多领域中取代金属的工业要求,促进了相应技术的迅速发展。这些应用领域包括切削工具、热机部件,集成电路封装、基板和磁性材料等。

表 1-3

单位:百万美元

产 品	1977	1986	1991	1995
电子陶瓷	813	4808	10820	21375
切削工具	58	433	885	1625
热机部件	0	很少	80	675
其 他	34	167	329	825
总 计	905	5408	12200	24500

在西方国家中,现代陶瓷市场的最大竞争者是日本和美国。表1-4列出西方主要国家在1977年到1995年(估计)现代陶瓷的销售额。

我国对于现代陶瓷的研究和发展也很重视。在科学研究规划中,在高技术研究项目中,现代陶瓷都占一定地位。在某些领域,例如压电陶瓷、金刚石等,我国有相当好的基础。在

表1-4

单位: 百万美元

地区(国家)	1977	1986	1991	1995
日本	398	2587	5900	12100
美国	362	2024	4500	8650
西德	42	254	550	1100
英国	38	167	390	825
法国	32	151	335	675
其他西欧国家	15	90	195	400
加拿大	10	72	170	375
其他	8	63	160	375

超导陶瓷的研究方面,我国的科学工作者也作出了贡献。只要我们重视现代陶瓷的研究和应用开发,又确实的人力、财力上给予保证,重视研究成果向商品的转化,就可以建立起我国自己的现代陶瓷高技术产业。曾经以“瓷器”闻名于世的中国,在“新的石器时代”到来之时,是不应该落伍的。

图 1-7、1-8、1-9、1-10 分别为陶瓷发动机部件、氧化锆发动机部件、氧化锆拉丝模和氮化硅零件的照片。

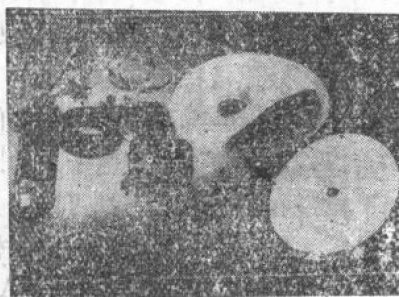


图 1-7 陶瓷发动机部件



图 1-8 氧化锆发动机部件

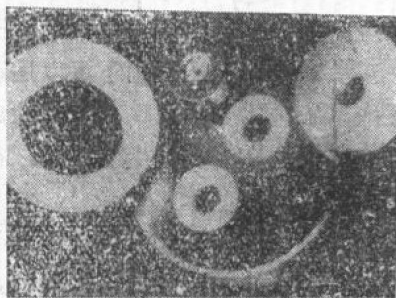


图 1-9 氧化锆拉丝模

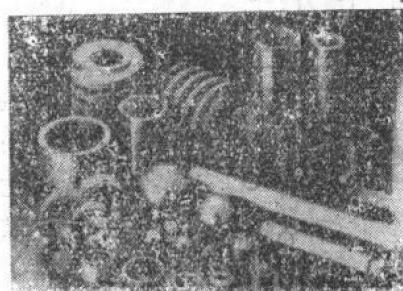


图 1-10 氮化硅零件