

# 粉末冶金的陶瓷材料及其加工技术

肖艳

(广东省江门化工材料公司, 广东 江门 529100)

**摘要:** 针对金属陶瓷材料粉末冶金技术开发方兴未艾的趋势, 介绍了粉末陶瓷原料的制备技术, 阐述了特种陶瓷成形工艺, 研究了特种陶瓷的烧结方法, 提出了特种陶瓷技术的未来发展前景。

**关键词:** 粉末冶金; 陶瓷材料; 加工技术

**中图分类号:** TG148, TM286 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6084(2013)02-0058-07

## Ceramic Powder Material and Its Processing Technology

XIAO Yan

(Guangdong Province Jiangmen Chemical Materials Corporation, Jiangmen 529100, China)

**ABSTRACT:** In view of the ascending tendency of the metal ceramic materials and powder metallurgy technology development, this article introduces preparing technique of the ceramic powder raw materials, describes forming process of special ceramic, studies sintering method of special ceramic, proposes future development foreground of special ceramic technology.

**KEY WORDS:** powder metallurgy; ceramic material; processing technique

陶瓷分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类, 特种(金属)陶瓷是以人工化合物为原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硼化物及氟化物等)制成的陶瓷。它主要用于高温环境、机械、电子、宇航、医学工程等方面, 成为近代尖端科学技术的重要组成部分。金属陶瓷作为一种重要的结构材料, 具有高强度、高硬度、耐高温、耐腐蚀等优点, 无论在传统工业领域还是在新兴的高技术领域都有着广泛的应用。然而金属陶瓷所固有的高强度、高硬度等优点却同时给陶瓷件的成型、加工带来了很大困难, 因此研究各种陶瓷成型技术变得至关重要。

### 1 金属陶瓷材料粉末冶金技术的开发方兴未艾

粉末陶瓷材料有三种: 氧化物陶瓷如  $Al_2O_3$ ; 非氧化物陶瓷如  $SiN_2$ 、 $SiC$ ; 混合物陶瓷如  $Al_2O_3 + SiN_2$ 。陶瓷材料的毛坯可用粉末冶金方法制造, 将陶瓷粉末混合后压制成型, 其形状只是接近成品的毛坯, 然后焙烧-机械加工(一般是粗加工)-烧结-车削或磨削加工(精加工)。金属陶瓷材料粉末冶金技术主要包括金属陶瓷材料粉末冶金技术的超细硬质合金、特殊硬质相

收稿日期: 2012-07-16

作者简介: 肖艳, 女, 主要从事金属陶瓷材料方面的研究工作。

硬质合金、梯度功能硬质合金、硬质合金热处理、涂层硬质合金、新技术和新工艺及新装备，以及 Ti (C, N) 基金属陶瓷等内容。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的硬质合金制品表面涂覆-涂层技术是近年来发展起来的一项先进技术，是硬质合金领域中具有划时代意义的重要技术突破。硬质合金制品表面涂覆-涂层技术的出现为解决硬质合金耐磨性和韧性相互矛盾的问题提供了一条较为有效的途径。目前，提高涂层效果的研究与研制工作基本上沿着两个方向进行：一是完善制取耐磨涂层的设备与工艺方法；二是研制涂层的新成分，探索耐磨涂层的新材料。

为适应硬质合金提高产品质量和增加产品品种的需要，在进一步改进与完善硬质合金的生产工艺与装备的同时，也开发出新技术和新工艺及新装备。如高温自蔓延合成技术、等离子体制粉技术、流化床制粒技术、注射成形技术及其他新型成形技术、等离子体烧结技术、微波烧结技术、各种新型化学和物理气相沉积技术及各种强化处理技术等。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的 Ti (C, N) 基金属陶瓷，是在 TiC 基金属陶瓷基础上发展起来的，使得 Ti (C, N) 基金属陶瓷具有优良高温和耐磨性能、良好的韧性和强度的新型金属陶瓷。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的超细硬质合金：为使整体硬质合金材料同时具有良好的韧性与耐磨性，目前主要进行超细直至纳米晶硬质合金材料的研究。细化晶粒的主要方法是添加限制晶粒长大的抑制剂。特别是控制小部分 WC 晶粒的疯长，它是裂纹源之一。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的特殊硬质相硬质合金主要包括盘状硬质相强化硬质合金与双峰结构硬质合金。盘状硬质相强化硬质合金是指将普通硬质合金中呈三棱柱体或多棱柱体的 WC 晶粒的底面 (0001) 择优长大，从而转变为三角板状。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的梯度功能硬质合金：为改善工具的切削性能，将梯度功能材料的功能设计概念引入硬质合金工具材料领域，以实现材料表面区域具有良好的耐磨性，

内部具有良好的断裂韧性，梯度组成层内获得压缩残余应力。尽管涂层硬质合金作为兼具两种特性的材料，但因需要进行陶瓷涂层的特别工艺，存在着成本居高不下的问题。研究表面，这种新的材料具有比均匀组成的普通金属涂层高的耐磨性、断裂韧性和抗热裂纹性。

金属陶瓷材料粉末冶金技术的硬质合金热处理：硬质合金热处理由于使硬质合金制品整个体积内部发生结构与性能的变化，从而可提高合金的整体性能。研究表明，由于热处理明显改善力学性能、耐磨性能和疲劳强度，从而使硬质合金的使用寿命大幅度提高。

粉末冶金由于技术和经济上的巨大优越性，在国民经济和国防建设中起着非常重要的作用，加速发展我国粉末冶金技术与产业，具有重大的战略意义。近年来，高技术发展对要求愈来愈苛刻，粉末冶金必将发挥更大的作用。在粉末冶金传统领域取得迅猛发展的同时，以全惰性雾化制粉、近净成形和全致密化为代表的现代粉末冶金工艺在一些特殊材料的生产中已日趋成熟，成为了发展一系列高科技材料的关键技术，可能会引起一系列传统材料工艺过程的革命。粉末冶金学科的发展将赋予材料科学和冶金科学更丰富、更深刻的内涵<sup>[1]</sup>。

陶瓷主要由一些非金属矿物质和氮化硅、氧化硅等组成，它比起钢有更高的抗热和抗化学反应能力，十分适宜于取代各种合金来制造内燃机等耐高温机械设备。90年代以来，热熔技术和喷雾干燥技术的进一步提高，更有助于人们掌握陶瓷的实际构成成分，以此作为基本材料，用连续纤维、晶须、颗粒等增强剂复合，即制成高技术复合陶瓷，用于制造航空、精密仪器、机械工具、电子和人体等诸多方面的复合陶瓷器件。普通陶瓷经过高技术复合后，其抗疲劳强度和抗腐蚀性能甚至高于钢或高温合金材料，用它制造豪华车的发动机、宇航器材或潜水设备尤为理想。

为了争夺未来国际市场制高点，世界各国纷纷筹措巨额资金对复合陶瓷的开发紧锣密鼓。早在上世纪80年代，美国的一些科研机构就已着手复合陶瓷的研制工作，美国政府通过的科技预算方案中，对高技术复合陶瓷的开发拨款

接近 2 亿美元。欧共体为了同英国在复合陶瓷领域抗衡, 各国工业部门对协调其下属机构的相互联合极其重视。德国大众汽车公司与意大利、法国的有关科研生产机构取得共识后, 已投入用陶瓷制造汽车发动机的开发之中。参与这一项目的科学家声称, 陶瓷发动机汽车将会逐步进入商业性运行。由于微电子烤炉技术日臻完善, 从而使得陶瓷的各种实用性能不断被揭示。德国工具生产商利用复合陶瓷的坚硬特性, 生产出钻头、剪金属板的刀等切削工具。英国公司生产减速装置、滚珠轴等产品时, 也同样增加了对复合陶瓷的应用。美国医疗保健部门用复合陶瓷替代某些金属支撑件进入人体的目标, 也成了现实。据德国高技术陶瓷开发公司预测, 高技术复合陶瓷在国际市场上的销售将达到 1 900 亿美元, 其中西欧市场为 550 亿美元, 日本市场为 300 亿美元。美国、欧共体和日本以及部分发展中国家对高技术复合陶瓷开发投资的增长率将超过 20%。金属陶瓷材料粉末冶金技术的开发方兴未艾。

## 2 粉末陶瓷原料的制备方法

陶瓷材料制备工艺区别于其它材料(金属及有机材料)制备工艺的最大特殊性在于陶瓷材料制备是采用粉末冶金工艺, 即是由其粉末原料经加压成型后直接在团根或大部分团相状态下烧结而成, 另一个重要特点是材料的制备与制品的制造工艺一体化。即材料制备和零件的制备在同一空间和时间内完成。因此, 陶瓷材料工艺与其它材料工艺相比, 其重要性在于: 粉料的制备工艺(机械研磨方法、化学方法)、粉料的性质(粒度大小、形态、尺寸分布、相结构)和成型工艺对烧结时微观结构的形成和发展有着巨大的影响, 即陶瓷的最终微观组织结构不仅与烧结工艺有关, 而且还显著地受粉料性质和特点的影响。由于陶瓷材料的零件制造工艺一体化的特点, 使显微组织结构的优劣不单单影响材料本身的性能, 而直接影响着制品的性能, 而这种影响并非像金属材料那样可通过后续的热处理工艺加以改善, 加之陶瓷材料本身硬、脆、难变形的特点, 使得陶瓷材料

的性能受微观组织结构影响, 尤其是缺陷影响的敏感性远高于其它材料如金属和高分子材料。因此, 陶瓷材料的制备工艺更显得十分重要。

由于陶瓷材料是采用粉末烧结的方法制造的, 而烧结过程主要是沿材料表面或晶界的团相扩散物质的迁移过程, 因此界面和表面的大小起着至关重要的作用。就是说, 粉末的粒径是描述粉末品质的最重要的参数, 因为粉末粒径越小, 表面积越大。或说粒度越小, 单位质量粉末的表面积(比表面积)越大, 烧结时进行团相扩散物质迁移的界面越多, 也就越容易致密化。制备现代陶瓷材料所用粉末都是亚微米( $<1\ \mu\text{m}$ )级超细粉末, 且现在已发展到纳米级超细粉。粉末颗粒形状、尺寸分布及相结构对陶瓷的性能也有着显著的影响。

粉末制备方法很多, 但大体上可以归结为机械研磨法和化学法两个方面。传统陶瓷粉料的合成方法是因相反应加机械粉碎(球磨)。其过程一般为: 将所需要的组分或它们的先驱物质用机械球磨方法进行粉碎并混合, 然后在一定的温度下烧结, 使组分之间发生因相反应, 得到所需的物相。即研磨的方法将物料细化。得到一定细度的粉料, 这种方法虽然易于工业化, 但在球后过程中易引入杂质而造成污染。同时, 机械球磨混合无法使组分分布达到微观均匀。而且粉末的细度有限, 通常很难小于  $1\ \mu\text{m}$  而达到亚微米级。机械球磨法又分子摩和湿摩两种方法。

为了克服机械研磨法的缺点, 人们普遍采用化学法合成各种粉末原料。根据起始组分的形态和反应不同, 化学法可分为以下三种类型: 一是液相合成法, 液相有熔液和溶液。将陶瓷的熔液制成液滴, 以等离子流使之形成雾状, 固化后便可获得粉末。这种方法虽然作为合成金属的方法而广泛使用, 但陶瓷的液化必须在高温下进行, 因为一面分解, 一面易于引起相分离, 所以其利用实例较少, 而广泛利用溶液合成法。二是气相合成法, 气相合成法有蒸发凝聚法(物理气相沉积, PVD)和化学气相沉积(CVD)法。由气相合成析出的固体形态有晶须、薄膜、晶粒和微细粉末等。蒸发凝聚法与液相合成法中的溶液喷雾法一样, 将原料在

高温下气化，用电弧、等离子体进行急冷而使其凝缩为微细粉料；气相反应法是通过金属化合物蒸气的化学反应而合成的方法。在SiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>等的合成中使用该方法<sup>[2]</sup>。

### 3 特种陶瓷成型工艺

所谓成型就是将粉末原料直接或间接地转变成具有一定形状体积和强度的成型体，也称素坯。粉末成型是陶瓷材料或制品制备过程中的重要环节。粉料成型技术的目的是为了得到内部均匀和高密度的坯体，提高成型技术是提高陶瓷产品可靠性的关键步骤。成型是陶瓷生产过程的一个重要步骤。成型过程就是将分散体系（粉料、塑性物料、浆料）转变为具有一定几何形状和强度的块体，也称素坯。粉末的成型方法很多，如胶态成型工艺、固体无模成型工艺、陶瓷胶态注射成型等。其选择主要取决于制品的形状和性能要求及粉末自身的性质（粒径、分布等）。不同形态的物料应用不同的成型方法。究竟选择哪一种成型方法取决于对制品各方面的要求和粉末的自身性质（如颗粒尺寸、分布、表面积）。

陶瓷材料的成型除将粉末压成一定形状外。主要是通过外加压力，使粉末颗粒之间相互作用接触，并减少孔隙度，使颗粒之间相互接触点处产生并保留残余应力（外加能量的储存）。这种残余应力在烧结过程中，即是因相扩散物质迁移致密化的驱动力。没有经过冷成型压实的粉末，即使在很高的温度下烧结，也不会产生致密化而形成陶瓷。而经压实成型的制品，经烧结后即可得到致密无孔的陶瓷，可见成型在陶瓷烧结致密化中的重要作用。

热压铸成型。热压铸成型也是注浆成型的一种，但不同之处在于它是利用坯料中混入石蜡，利用石蜡的热流特性，使用金属模具在压力下进行成型，冷凝后而获得坯体的方法。热压铸成型的工作原理如下：先将定量石蜡熔化为蜡液与烘干的陶瓷粉混合，凝固后制成蜡板，再将蜡板置于热压铸机筒内，加热熔化成浆料，通过吸铸口压入模腔，保压、去压、冷却成型，然后脱模取出坯体，热压铸成型的坯体在烧结

之前须经排蜡处理。该工艺适合形状复杂、精度要求高的中小型产品的生产，设备简单，操作方便，劳动强度小，生产效率高。在特种陶瓷生产中被经常采用。但该工艺工序比较复杂、耗能大、工期长，对于薄壁的大而长的制品由于不易充满模具型腔而不太适宜。

挤压成型。将粉料、粘结剂、润滑剂等与水均匀混合，然后将塑性物料挤压出刚性模具即可得到管状、柱状、板状以及多孔柱状成型体。其缺点主要是物料强度低容易变形，并可能产生表面凹坑和起泡、开裂以及内部裂纹等缺陷。挤压成型用的物料以粘结剂和水做塑性载体，尤其需用粘土以提高物料相容性，故其广泛应用于传统耐火材料如炉管以及一些电子材料的成型生产。

流延成型。流延成型是将粉料与塑化剂混合得到流动的粘稠浆料，然后将浆料均匀地涂到转动着的基带上，或用刀片均匀地刷到支撑面上，形成浆膜，干燥后得到一层薄膜，带膜厚度一般为0.01~1mm。流延法用于铁电材料的浇注成型。此外，它还被广泛用于多层陶瓷、电子电路基板、压电陶瓷等器件的生产中。

凝胶注模成型。凝胶注模成型是一种胶态成型工艺，它将传统陶瓷工艺和化学理论有机结合起来，将高分子化学单体聚合的方法灵活地引入到陶瓷的成型工艺中，通过将有机聚合物单体及陶瓷粉末颗粒分散在介质中制成低粘度、高固相体积分数的浓悬浮体，并加入引发剂和催化剂，然后将浓悬浮体（浆料）注入非多孔模具中，通过引发剂和催化剂的作用使有机物聚合物单体交联聚合成三维网状聚合物凝胶，并将陶瓷颗粒原位粘结而固化成坯体。凝胶注模成型作为一种新型的胶态成型方法，可净尺寸成型形状复杂、强度高、微观结构均匀、密度高的坯体，烧结成瓷的部件较干压成型的陶瓷部件有更好的电性能。已广泛应用于电子、光学、汽车等领域。

气相成型。利用气相反应生成纳米颗粒，如能使颗粒有效而且致密地沉积到模具表面，累积到一定厚度即成为制品，或者先使用其它方法制成一个具有开口气孔的坯体，再通过气相沉积工艺将气孔填充致密，用这种方法可以

制造各种复合材料。由于固相颗粒的生成与成型过程同时进行,因此可以避免一般超细粉料中的团聚问题。在成型过程中不存在排除液相的问题,从而避免了湿法工艺带来的种种弊端。

**轧模成型。**将准备好的坯料以一定量的有机粘结剂置于两辊之间进行辊轧,然后将轧好的坯片经冲切工序制成所需的坯件。轧模成型时坯料只是在厚度和前进方向上受到碾压,宽度方向受力较小,因此坯料和粘结剂会出现定向排列。干燥烧结时横向收缩大易出现变形和开裂,坯体性能出现各向异性。另外对厚度小于 0.08 mm 的超薄片,轧模成型是难以轧制的,质量也不易控制。

**注浆成型。**根据所需陶瓷的组成进行配料计算,选择适当的方法制备陶瓷粉体进行混合、塑化、造粒等,才能应用于成型。注浆成型适用于制造大型的、形状复杂的、薄壁的陶瓷产品,对料浆性能的要求:流动性好、粘度小,利于料浆充型,稳定性好。料浆能长时间保持稳定,不易沉淀和分层,含水量和含气量尽可能小等。注浆方法有空心注浆和实心注浆,为提高注浆速度和坯体质量,可采用压力注浆、离心注浆和真空注浆等新方法。注浆成型工艺成本低,过程简单,易于操作和控制,但成型形状粗糙,注浆时间较长,坯体密度、强度也不高。人们在传统注浆成型的基础上,相继发展产生了新的压滤成型和离心注浆成型,借助于外加压力和离心力的作用,来提高素坯的密度和强度,避免了注射成型中复杂的脱脂过程,但由于坯体均匀性差,因而不能满足制备高性能高可靠性陶瓷材料的要求。

**注射成型:**陶瓷注射成型是借助高分子聚合物在高温下熔融、低温下凝固的特性来进行成型的,成型之后再高聚物脱除。注射成型的优点是成型形状复杂的部件,并且具有高的尺寸精度和均匀的显微结构;缺点是模具设计加工成本和有机物排除过程中的成本比较高。在克服传统注射成型缺点的基础上水溶液注射成型和气相辅助注射成型发展起来。水溶液注射成型采用水溶性的聚合物作为有机载体,很好的解决了脱脂问题。水溶液注射成型技术可以很容易的实现自动控制,比起传统的注射成

型来降低了成本。气体辅助注射成型是把气体引入聚合物熔体中而使成型过程更容易进行。陶瓷胶态注射成型是将低粘度、高固相体积分数的水基陶瓷浓悬浮体注射到非孔模具中,并使之原位快速固化,再经烧结,制得显微结构均匀、无缺陷和净尺寸的高性能、高可靠性的陶瓷部件,并大大降低陶瓷制造成本。陶瓷胶态注射成型解决了两个重要的关键技术:陶瓷浓悬浮体的快速原位固化和注射过程的可控性。通过深入研究发现压力可以快速诱导陶瓷浓悬浮体的原位固化,从而发明了压力诱导陶瓷成型技术。通过胶态注射成型技术可以获得高密度、高均匀性和高强度的陶瓷胚体,这种成型技术可以消除陶瓷粉体颗粒的团聚体,减少烧结过程中复杂形状部件的变形、开裂,从而减少最终部件的机加工量,获得高可靠性的陶瓷材料与部件。避免了传统陶瓷注射成型使用大量有机物所导致的排胶困难,实现了胶态成型的注射过程。适合于规模化生产,是高技术陶瓷产业化的核心技术。

**粉末注射成型。**金属、陶瓷粉末注射成型(PIM)是一种新的金属、陶瓷零部件制备技术。它是将聚合物注射成型技术引入粉末冶金领域而生成的一种全新零部件加工技术。该技术应用塑料工业中注射成型的原理,将金属、陶瓷粉末和聚合物粘结剂混炼成均匀的具有粘塑性的流体,经注射机注入模具成型再脱除粘结剂后烧结全致密化而制得各种零部件。PIM作为一种制造高质量精密零件的近净成型技术,具有常规粉末冶金和机加工方法无法比拟的优势。PIM能制造许多具有复杂形状特征的零件:如各种外部切槽,外螺纹,锥形外表面,交叉通孔、盲孔,凹台与键销,加强筋板,表面滚花等等,具有以上特征的零件都是无法用常规粉末冶金方法得到的。由于通过PIM制造的零件几乎不需要再进行机加工,所以减少了材料的消耗,因此在所要求生产的复杂形状零件数量高于一定值时,PIM就会比机加工方法更为经济。PIM工艺的优势:能像生产塑料制品一样,一次成型生产形状复杂的金属、陶瓷等零部件。产品成本低,光洁度好,精度高( $\pm 0.3\% \sim \pm 0.1\%$ ),一般无需后续加工。产品强度、硬度、

延伸率等力学性能高,耐磨性好,耐疲劳,组织均匀。原材料利用率高,生产自动化程度高,工序简单,可连续大批量生产。无污染,生产过程为清洁工艺生产<sup>[3]</sup>。

除以上成型方法之外,还有模压成型、等静压成型等方法,当配方、混合、成型等工序完成后,还必须进行烧结才能使材料获得预期的显微结构,赋予材料各种性能。

#### 4 特种陶瓷的烧结方法

烧结是将成型后的坯体加热到高温(有时如加压)保持一定时间,通过团相或部分液相扩散物质迁移而消除孔隙,并将颗粒状陶瓷坯体置于高温炉中,使其致密化形成强固体材料的过程。烧结开始于坯料颗粒间空隙排除,使相应相邻粒子结合成紧密体。但烧结过程必须具备两个基本条件:应该存在物质迁移机理;必须有一种能量(热能)促进和维持物质迁移。现在精细陶瓷烧结机理已出现了气相烧结、固相烧结、液相烧结及反应液体烧结等四种烧结模式。它们材料结构机理与烧结驱动力方式各不相同。最主要烧结机理液相和固相烧结,尤其传统陶瓷和大部分电子陶瓷烧结依赖于液相形成、粘滞流动和溶解再沉淀过程,而对于高纯、高强结构陶瓷烧结,则以固相烧结为主,它们通过晶界扩散或点阵扩散来达到物质迁移。烧结是陶瓷材料制备工艺过程中的一个十分重要的最终环节。近年来也开始对陶瓷材料进行像对金属一样的热处理,以改善性能。

常压烧结或称无压烧结:所谓一般烧结即指常压烧结。它是使用最广泛的一种方法。常压烧结就是在大气中烧结。即不抽真空也不加任何保护气体在电阻炉中进行烧结,这种方法适用于烧结氧化物陶瓷。非氧化物陶瓷有时也采用常压烧结。陶瓷器,耐火材料最先采用这种方法,最后,氧化铝、铁氧体等许多新的陶瓷也采用了这一方法。由于该法在将原料成型后只进行烧结便可成为制品,所以,与其他方法相比,是经济有效的,但也有不利之点。为了使物质所具的功能充分发挥出来,所以也有采用其他方法进行烧结的情况。常压烧结用电

阻炉的关键部件是发热体元件。通常,生产中应根据不同材料的烧结温度选择不同加热体的电阻炉。

热压烧结(HP):热压烧结即是将粉末填充于模型内,在高温下一边加压一边进行烧结的方法,同时加温加压(机械压力而不是气压)的烧结,加压方式一般都是单向加压。热压时的压力不能太高,一般热压时的最高额定区力为50 MPa,而冷压成型的压力可达200 MPa,甚至更高。热压烧结的加热方式仍为电阻加热,加压方式为液压传动加载。热压烧结使用的模具多为石墨模具,它制造简单、成本低。热压烧结的主要优点是加快致密化进程,减少气孔隙,提高致密度,同时可降低烧结温度。 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等使用该方法,然而因成本较高,故其应用受到限制。

热等静压(HIP):一般是沿单轴方向进行加压烧结,相对而言,这种方法是借助于气体压力而施加等静压的方法。除 $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 使用该法外, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、超硬合金等也使用该法,它是有希望的新技术之一。尽管热压烧结有许多优点,但由于是单轴向加压,故只能制得形状简单如片状或环状的样品。另外,对非等轴晶系的样品热压后片状或柱状晶粒严重择优取向而产生各向异性。热等静压与热压和无压烧结一样,已成功地用于多种结构陶瓷的烧结或后处理。此外热等静压还可以用于金属铸件、金属基复合材料、喷射沉积成型材料、机械合金化与粉末冶金材料和产品零部件的致密化等。

#### 5 特种陶瓷技术的未来发展

起初的陶瓷成型注射技术是将大量的高分子树脂与陶瓷粉体混练在一起后得到混合料,然后装入注射机于一定温度注入模具,迅速冷凝后脱模而制成坯体。该技术适合制备湿坯强度大、尺寸精度高、机械加工量少、坯体均一的产品,适于大规模生产。对形状复杂、厚度较薄产品的制备有着明显的优越性。但是由于含有大量的高分子粘结剂,使陶瓷坯体的脱脂成为不可逾越难题,并且有毛坯易变形、容易形成气孔等缺点。

特种陶瓷成型技术未来的发展将集中于以下几个方面：进一步开发已经提出的各种无模成型技术在制备不同陶瓷材料中的应用；性能更加复杂的结构层以及在层内的穿插、交织、连接结构和成分三维变化的设计；大型异形件的结构设计与制造；陶瓷微结构的制造及实际应用；进一步开发无污染和环境协调的新技术。

烧结方面特种陶瓷制品因其特殊的性能要求，需要用不同于传统陶瓷制品的烧成工艺与烧结技术。随着特种陶瓷工业的发展，其烧成机理、烧结技术及特殊的窑炉设施的研究取得突破性的进展。在特种陶瓷的精密加工方面：特种陶瓷属于脆性材料，硬度高、脆性大，其物理机械性能（尤其是韧性和强度）与金属材料有较大差异，加工性能差，加工难度大。因此，研究特种陶瓷材料的磨削机理，选择最佳的磨削方法是当前要解决的主要问题。

特种陶瓷由于拥有众多优异性能，因而用途广泛。现按材料的性能及种类简要说明。耐热性能优良的特种陶瓷可望作为超高温材料用于原子能有关的高温结构材料、高温电极材料等；隔热性优良的特种陶瓷可作为新的高温隔热材料，用于高温加热炉、热处理炉、高温反应容器、核反应堆等；导热性优良的特种陶瓷极有希望用作内部装有大规模集成电路和超大规模集成电路电子器件的散热片；耐磨性优良的硬质特种陶瓷用途广泛，目前的工作主要是集中在轴承、切削刀具方面；高强度的陶瓷可用于燃气轮机的燃烧器、叶片、涡轮、套管等；在加工机械上可用于机床身、轴承、燃烧喷嘴等。

陶瓷制品生产在中国历史悠久，经过长期的发展，制造工艺得到不断发展。特别是近十年来，陶瓷制品结构的合理调整，迎合了国内外消费者的需求，并随着社会的发展和水平的提高，在生活中的应用范围越来越广。在

全球金融危机的笼罩下，国内各行业普遍受到影响，但国家总共5万亿元的基础建设投资计划对于建筑建材行业在较长一段时间内将有极大的推动作用，特别是对于建材行业拉动十分明显。从行业前景来看，建材行业在此次金融危机拥有较大的优势，目前建材行业景气度持续，未来行业集中度有望提高。

## 6 结 语

粉末冶金的迅猛发展在节能节材、提高性能和提高劳动生产率和环保等方面发挥了巨大作用，从而促进了支柱产业和基础产业的发展。粉末冶金作为特殊材料和高性能材料的制备技术也促进了国防工业和技术产业的发展。在特种陶瓷中，还有一类功能陶瓷，如电解质陶瓷、铁电陶瓷、敏感陶瓷、导电陶瓷、超导陶瓷等，已在能源开发、空间技术、电子技术、光电子技术、生物技术、环境科学等领域得到应用，陶瓷制品性能的不断将促进陶瓷成型新工艺的发展。目前，粉末冶金陶瓷工艺已取得很大进展，但仍有一些面临急需解决的问题。当前阻碍陶瓷材料进一步发展的关键之一是成型技术尚未完全突破。压力成型不能满足形状复杂性和密度均匀性的要求。多种胶体原位成型工艺，固体无模成型工艺以及气相成型工艺有望促使陶瓷成型工艺获得突破。

### 参考文献：

- [1] 刘 军，余正国. 粉末冶金与陶瓷成型技术[M]. 北京：化学工业出版社，2005.
- [2] 王树海，李安明，乐红志，等. 先进陶瓷的现代制备技术[M]. 北京：化学工业出版社，2007.
- [3] 于思远. 工程陶瓷材料的加工技术及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，2008.