

“热力学”课程与教学改革

无机材料科学基础课程中烧结过程的教学改革尝试^{*}

李蔚, 刘学良, 李欣欣, 顾金楼

(华东理工大学 材料科学与工程学院, 上海 200237)

[摘要] 本文介绍了无机材料科学基础课程中烧结过程的教学改革尝试。根据现今科技和工业生产的发展, 我们删除了部分不太合适的知识, 增加了一些新的知识; 并以纳米陶瓷为案例, 采用案例教学法开展教学。教改取得了一定的成效。

[关键词] 烧结过程; 教学改革; 案例教学

The Teaching Reform Attempt of Sintering Process in the Course of Inorganic Materials Science Foundation

Li Wei, Liu Xueliang, Li Xinxin, Gu Jinlou

Abstract: This paper introduces the teaching reform attempt of sintering process in the course of Inorganic Materials Science Foundation. In terms of teaching content, according to the development of current science and technology and industrial production, some unsuitable knowledge is deleted and some new knowledge is added. In the teaching form, by using the nano ceramics as a case, the case teaching method is applied in teaching. These reform attempts have achieved some good results.

Key words: Sintering process; Teaching reform; Case teaching

无机材料科学基础(或称无机材料物理化学、硅酸盐物理化学)是无机材料科学与工程专业的一门重要专业基础课, 其内容涵盖了材料学的各种基础理论, 包括与无机材料烧结过程相关的知识。“烧结过程”是无机非金属材料特别是陶瓷材料制备中的一个重要工艺环节, 是在众多因素(包括粉体粒度、温度、压力等)共同影响下的物理化

学过程。“烧结过程”很复杂, 涉及的知识面很广, 包括材料结构、缺陷、扩散、蒸发-凝聚、相变、固相反应等, 因此一般安排在课程后半部分甚至是最后才讲授。在相关的教材中(从以前的《硅酸盐物理化学》《无机材料物理化学》到如今的《无机材料科学基础》), “烧结过程”的内容大体相似, 包括烧结的基本概念、基本过程和传质机理、基本的烧结

[作者简介] 李蔚(1966-), 男, 研究员, 博士。

^{*} 基金项目: 2017 年度上海市教委本科重点课程建设项目; 2017 年度华东理工大学专业核心课程建设项目。

模型理论、晶粒生长及烧结的影响因素等^[1-3]。近年出版的教材中虽然补充了一些新的研究成果,但总体格局并未出现大的改变。

在多年的科研、教学及去研究机构和生产工厂调研的过程中我们发现,传统“烧结过程”教学的效果与研究、生产单位的期望值有比较大的差距。特别是随着近年来先进陶瓷材料的飞速发展,这种差距越来越明显,主要表现为学生分析和解决问题的能力比较差。一是由于课程教学内容更新过慢。近年来,随着材料科技的飞速发展,陶瓷的烧结实践和烧结理论都有了长足的进步,而课程教学内容比较陈旧。二是由于学生运用知识能力的培养存在一些不足。传统教学方式强调概念和理论的记忆,而忽视了学生分析、解决问题能力的培养。为了更好地满足无机非金属材料人才培养要求,我们必须与时俱进,从教学内容到教学形式进行相应的调整。

一、教学内容的调整

烧结理论是指导人们设计、预测和控制烧结工艺过程的基础。自 20 世纪 30 年代以来,无机材料烧结理论得到了极大的发展,已形成包括扩散理论、流动理论、几何理论、强化理论、计算机模拟等多种理论在内的复杂体系^[4-5]。显然,本科教学中不可能对烧结理论做全面介绍,也不可能全面、深入地讲解其中的某一种理论,因此必须恰当选择适合当前本科教学的部分理论。事实上,相关的教科书编者在这方面已经做了很多工作,对现有的烧结理论进行了很好的梳理和筛选。但是,各高校依然需要根据本校专业自身的特点和课时的安排,做出更为细致的选择和调整。考虑到如今研究生教育已经十分普及,我们认为选择和调整的原则应该是:在广度方面做进一步的拓展,而在深度方面做适当的删减。

可以删减的内容包括:1.在无机非金属材料中应用很少的部分。如很多教科书中都会介绍“初次再结晶”,这一概念在金属材料中很重要,但对无机非金属材料而言,“初次再结晶”现象从来就不是人们关心的重点,因此教学中完全可以忽略。2.定量分析。无机材料烧结理论中包括很多

定量分析,但由于烧结本身的复杂性,这些定量分析的准确性不高。如很多教科书中都介绍了根据双球模型或平板-球模型推导出的基于扩散的烧结初期动力学方程,其对于学生理解扩散机制在物质迁移或致密化中的作用有一定意义,但实际应用价值十分有限。我们认为,这种纯理论的定量分析更适合研究生学习。

可以增补的内容包括:1.近年来新出现的烧结问题或烧结理论,如团聚体对烧结的影响^[6]。根据传统的烧结理论,粉料的粒度越细越有利于烧结。对于传统的微米级粉料,由于其团聚现象可忽略,因此上述结论是可靠或基本可靠的;但随着近年来亚微米级甚至纳米级粉料的应用越来越广泛,团聚体对烧结的影响变得越来越明显,上述结论的可靠性很值得怀疑。因此,教学中必须适当介绍团聚体对烧结的影响。另外,近年来出现的很多新型烧结技术也值得介绍。2.烧结理论对烧结制度设计的指导。发展烧结理论的主要目的之一是指导人们设计出合理的烧结制度,从而获得具有特定结构和性能的材料。但现有的教科书中对这方面的介绍显然是不够的。如烧结过程中最重要的两个参数是温度和时间,但几乎所有的《无机材料科学基础》中都没有介绍如何通过调节和控制这两个参数设计出合理的烧结制度。而事实上,近年来无机材料烧结研究和生产的快速发展过程中已经出现了很多成功的例子。如二步烧结法提高陶瓷晶粒的均匀性、改进的二步烧结法制备纳米陶瓷、中低温长时间保温法烧结纳米陶瓷等^[6]。从理论上分析,这些新型烧结方法并没有脱离现有的烧结理论,而恰恰是基于现有的烧结理论巧妙地设计出来的。我们认为,这部分内容有助于学生进一步理解烧结理论并运用烧结理论知识,应该增补进去。另外,有些内容在教科书中虽有介绍,但却十分简略。如很多教科书中都介绍了 Al_2O_3 中添加 MgO 形成镁铝尖晶石制备透明 Al_2O_3 陶瓷的例子,但只是将其作为对理论的一种简单说明,而不是作为理论指导下的具体应用实例,不利于学生学习运用添加剂调节和控制烧结过程及材料结构。因此教学中也有必要增

补类似的相关内容。

二、教学方式的更新

传统的教学方式是老师教、学生学。这种方式效率很高,可以让学生快速了解或掌握相关的概念和理论。但是,整个过程中学生基本处于被动接受的状态,对于知识的掌握往往停留在机械记忆阶段,运用所学知识分析、解决问题的能力得不到培养。当今时代越来越重视学生能力,传统的教学模式显得力不从心。特别是由于教材篇幅所限,对烧结过程的很多知识点只是点到为止,没有进行深入分析,各知识点之间的联系也很弱,很难形成一个比较完整的体系,学生学完后常常不能融会贯通。因此,寻找一种更有效的教学方式很有必要。

经过多年的实践摸索和比较,我们发现案例教学法对于培养学生分析、解决问题的能力较为有效。案例教学法是哈佛大学法学院于 1870 年率先使用的一种教学方式。教师以判决的案件作为教材,指导学生运用理论知识对案件中的各种疑难情节展开分析、讨论。案例教学法的优点包括鼓励学生独立思考、注重学生能力培养等,特别有利于提高学生系统运用专业理论分析、解决问题的能力,可以弥补传统教学法的不足。经过多年的发展和完善推广,案例教学法在全球产生了广泛的影响,其应用也不再限于工商、法律等专业。近年来,我国已经有不少大学将案例教学法应用于理工科教育^[7-8],但用于“烧结过程”教学的还很少见。

案例教学法的关键在于选择适当的案例。案例要能覆盖足够多的知识点,提供足够的研讨与思维空间,又不能过于复杂而大大超出学生所学知识范围,同时还应具有真实性、典型性、完整性、启发性、实用性等特点。《无机材料物理化学》教科书中有关烧结理论的例子其实并不少,但并不能直接作为案例使用。这是因为:一是它们大多仅仅是为了说明某一观点而给出的适当简化的实验过程或结果,大量的实验条件被忽视或省略了;二是它们都是孤立的,彼此之间很少存在联系,缺乏完整性,无法关联起来共同支持烧结理论。因

此,教学案例必须从教科书之外的文献中去寻找。

以烧结为例,现在国内外有关陶瓷烧结的研究论文非常多,每年还不断有新的论文发表,找起来很方便。但是,这些论文同样并不都适合作为教学案例。如很多结构或功能陶瓷的烧结研究论文,研究者的目的是为了获得某种性能,其重点放在材料的结构和性能上,其中往往涉及很多学生尚未掌握的知识。又如多孔陶瓷的烧结看似很好理解,也不涉及太多其他知识,但这类陶瓷的烧结研究一般是以控制气孔为主要研究对象,并不十分重视材料的致密化和晶粒的控制。再如传统陶瓷,其烧结基本以液相烧结为主,很少有固相烧结或特种烧结的实例。显然,这些研究实例都不太适合作为案例使用。我们经过多方面的分析和比较,最后选择纳米陶瓷的烧结作为“烧结过程”的教学案例,其原因有以下几点。

1. 案例足够丰富。纳米陶瓷在近 20 年来受到广泛关注,国内外已开展大量研究,既包括致密化、晶粒生长的理论研究,也包括烧结工艺及影响因素的分析,还有大量特种烧结的研究实例。可以说,现代陶瓷烧结理论在纳米陶瓷的制备过程中得到了最为广泛的应用和发展。

2. 目标相对单纯。纳米陶瓷是指平均晶粒在 100nm 以下的陶瓷材料,绝大部分研究都是围绕如何获得高致密度、细晶粒的陶瓷进行的,不涉及材料结构之外的物理化学性能。因此,所需知识容易控制在学生可以理解的范围之内。

3. 内容十分新颖。和其他陶瓷类别相比,纳米陶瓷是最近 20 年才发展起来的具有极大应用潜力的新型陶瓷材料,目前依然处于研究开发中,其中还有很多问题有待进一步解决。因此,学生很容易产生兴趣和热情。

4. 老师比较熟悉。笔者从事纳米陶瓷研究多年,长期跟踪查阅相关文献,因此对纳米陶瓷的发展历程、概况有较深入的了解,更有利于掌握案例讨论的关键问题。

三、案例教学的实施

整个教学过程采用“翻转课堂”的形式进行。在课前,我们与专业公司合作制作了相关的

教学视频,系统讲授烧结过程中的基本概念和基本理论,安排学生课前自学,初步了解和掌握这些概念和理论。这是顺利开展案例教学的前提和必要条件。同时,围绕纳米陶瓷的烧结,我们准备了一些问题。一类问题是为了强化学生对基本烧结概念、理论的理解和把握而设计的,如“什么是纳米陶瓷?”与此相关的烧结知识点包括烧结、显微结构、致密化、晶粒生长等,学生只有学习并掌握了这些知识,才有可能回答完整这一问题。另一类问题是为了提高学生利用烧结理论知识分析、解决问题的能力而设计的,如“如何利用快速烧结法制备纳米陶瓷?”回答这一问题不仅要求学生掌握大量烧结理论的知识点(包括表面扩散、晶界扩散、晶格扩散等不同扩散发生的条件,扩散传质与晶界迁移的关系等),而且要求学生学会利用这些知识设计出合理的陶瓷烧结制度。这些问题同样在课前预先布置给学生,要求学生通过查阅文献资料寻找答案,同时与观看教学视频相结合,发现其中所包含的烧结理论知识。

上课时,我们按照“翻转课堂”的基本模式,让学生分组讨论课前问题,把握好时间,并在每个问题讨论结束时给出点评,同时安排好不同问题之间的衔接。如“什么是纳米陶瓷”这一问题,我们先让A组学生给出基本答案,B组学生进行反驳或补充。在得到一个基本合理的答案后(如晶粒尺寸为100nm以下的陶瓷),我们再给出下一个问题,如“什么是晶粒(grain),它与颗粒(particle)有什么不同”。这次B组学生先给出基本答案,A组学生进行反驳或补充。再接下去的问题可以依次是:什么是陶瓷的显微结构?纳米陶瓷的基本制备工艺过程是怎样的?烧结可分为哪三个阶段?等等。这样,通过对一系列相关问题的展开和讨论,学生可以较好地掌握烧结的相关概念。教师也可以“如何利用快速烧结法制备纳米陶瓷”为中心,组织一系列问题供学生讨论,包括“什么是快速烧结法”“什么是纳米陶瓷烧结中

的主要矛盾”“陶瓷的致密化与晶粒生长是如何进行的”“烧结温度对陶瓷的致密化和晶粒生长分别有什么影响”“如何通过对温度的控制达到快速致密化同时晶粒不明显长大的目的”等。回答这些问题可以使学生在强化烧结基本知识的同时,学会利用这些知识设计出有效的烧结工艺。

经过数年的教学改革实践,“烧结过程”的教学效果明显好转,学生学习的主动性大大提高。以前学生很少课前预习,但自从采用案例教学法后,学生基本上会先观看教学视频,大部分同学会上网查阅相关文献。另外,学生上课的热情也有很大提高,睡觉、玩手机或缺课的人大大减少,而认真、主动回答问题的同学明显增多。从授课效果看,学生成绩有了较大幅度提高,卷面平均分由68分提高到75分。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 宋晓岚,黄学辉. 无机材料科学基础[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 马建丽. 无机材料科学基础[M].重庆:重庆大学出版社,2008.
- [3] 曾燕伟. 无机材料科学基础[M].武汉:武汉理工大学出版社,2015.
- [4] 果世驹. 粉末烧结理论[M].北京:冶金工业出版社,1998.
- [5] Suk-Joong L Kang. Sintering, Densification, Grain Growth and Microstructure [M]. Elsevier Butterworth-Heinemann,2005.
- [6] 高谦,李蔚. 纳米陶瓷[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [7] 康晓红,程志明,李智,等. 案例教学模式在工科化学教学中的应用[J]. 化学教育,2016,37(2):47-50.
- [8] 谢志江,孙红岩,蒋和生,等. 案例教学法在工科教学中的应用[J]. 高等工程教育研究,2003(5):75-77.