

# 赋能流延应用于无机粉体成型模块的教学研究 ——以蚌埠学院无机非金属材料工程专业为例

熊明文\*, 丁波, 金效齐

蚌埠学院 材料与化学工程学院, 安徽 蚌埠 233000

DOI:10.61369/EIR.2025060020

**摘要:** 以无机非金属材料工程专业的粉体成型为研究对象, 针对现有教学理念“重理论轻实践”和“设备昂贵难普及”问题, 分别从改变教学方法和教学评价进行了流延成型的教学改革与实践, 紧跟学校无机非专业人才的培养目标, 提高了本科生的积极性和主动性, 为蚌埠地区培养解决无机非工程能力的人才, 从而为皖北无机非金属材料行业做出应有的贡献。

**关键词:** 无机非金属材料工程专业; 赋能; 流延; 教学研究

## Empowering The Application of Cast Forming in Inorganic Powder Molding Modules — A Teaching Research Case Study of Inorganic Non-Metallic Materials Engineering at Bengbu University

Xiong Mingwen\*, Ding Bo, Jin Xiaoqi

School of Materials and Chemical Engineering, Bengbu University, Bengbu, Anhui 233000

**Abstract:** This study focuses on powder molding in inorganic non-metallic materials engineering education. Addressing the issues of "overemphasis on theory at the expense of practice" and "high equipment costs hindering widespread adoption" in current teaching practices, we implemented pedagogical reforms and practical innovations in cast forming education through methodological adjustments and evaluation system improvements. Aligned with the institution's talent development goals for inorganic non-metallic materials, these initiatives have enhanced undergraduate students' engagement and initiative. The project aims to cultivate engineering professionals with specialized capabilities for the Bengbu region, thereby contributing to the advancement of the inorganic non-metallic materials industry in northern Anhui.

**Keywords:** inorganic non-metallic materials engineering major; empowerment; tape casting; teaching research

### 引言

粉体材料是各种无机非金属材料的存在的一种重要形式, 同时蚌埠作为重要的硅酸盐材料的重要的生产基地, 对于无机非金属材料领域的人才不仅是地方特色产业发展需要的核心需求, 更是产教融合、区域协同、新工科建设和可持续发展的重要支撑, 蚌埠学院作为地方性高校这时真正满足皖北地方人才需求, 不仅促进产教融合, 而且为区域经济发展做出应用的贡献<sup>[1]</sup>。

### 一、粉体成型教学现存问题

以蚌埠学院的无机非金属材料工程专业(以下简称“无机非”)的学生在掌握各种无机非金属材料经过干压、挤压、注浆和轧膜等成型方法以外, 让学生掌握一种大型流延设备制备

薄膜的方法, 传统粉体材料成型在加工教学存在“重理论轻实践”和“设备昂贵难普及”问题, 学生难以建立“成型工艺-结构性能”关联认知。怎么把人工智能融入到现代电子陶瓷基板和燃料电池无机薄膜制备的实际生产应用中去这是当前粉末材料成型的最大问题所在<sup>[2]</sup>。

支持项目: 安徽省高等学校省级质量工程项目: 化学化工与材料实验示范实验实训中心(2024sysx030)

作者简介兼通讯作者: 熊明文(1975.07-), 男, 湖北宜昌人, 博士, 讲师, 研究方向: 为无机膜的制备及应用、有机硅材料应用、稀土氧化物应用等方面研究。

邮箱: Xiongmingwen@163.com。

## 二、粉体成型教学问题解决思路

本着粉体成型实践教学以“工艺参数-材料性能-应用场景”为主线,通过专利技术级细节(如球磨或沙磨分散三次后粒度达100nm左右)与行业前沿工艺(如流延可变温压成型)的结合,帮助学生从微观机理到宏观应用全面掌握流延成型技术,最终输出获得可转化为企业所需要的技术方案(如提高氮化硅陶瓷良率),实现教学与产业需求的深度衔接。

## 三、粉体成型教学解决方法

针对上述提出的问题及解决思路,构建了多层次启发式的实践教学体系。结合人工智能软件把“工程问题研究和本科教学实践”结合作为本科教学的实践项目,把“理论构想、设计、流延、测试”作为本科教学实践的基本过程,分步骤循序渐进地来提升学生对流延技术的认知能力、智能应用与合作能力为目标的无机非专业综合实践教学体系。该实践教学体系包括以下四个方面的实践内容。

1. 认知性的建模实践教学。基于模型中“基本软件+多要素+核心模拟”的渐进式教学理念,粉体成型课程以ANSYS Polyflow为统一基本平台,以不同粘度流延课题为研究对象,以不同的膜厚为研究目的,让学生基于有限的思想,进行流动模拟与加工工艺优化操作,进而学习逆向模具设计和网格重构相关知识。

引导学生主动查阅有关流延文献资料,培养学生“前期处理-任务设置-求解与优化-后处理”的工艺流程,明白流延的关键在于分散剂、增塑剂、黏结剂、消泡剂、润滑剂和控流剂的选择上。首先是学生对分散剂的认识,如分散剂是一种具有亲水性和亲油性两种特性相反的结构界面活性剂,通过吸附在用于流延制备膜的基础粉体如氧化锆( $ZrO_2$ )等)颗粒表面进而降低颗粒的表面能,利用静电排斥力和空间位阻共同稳定机制使得流延成型的粉体颗粒粒度细小、比表面积大、表面能更高,这样可以使颗粒在溶剂中易彼此相互作用发生团聚,形成便于成膜的二次粒子,来改善流延成型效果,提高浆料的稳定性和流动性,学生能够认识到分散剂的作用就是表面流延的基础粉体发生团聚,根据浆料溶剂的性质不同可以分为有机体系分散剂、水基体系分散剂和复合分散剂三大类。

黏结剂是流延工作环节中最重要也具有连续结构的物质,让学生们明白黏结剂作用机制是把流延基础粉体颗粒之间牢牢凝结在一起,构成稳定的三维立体网络结构,同时将粉体颗粒牢牢包裹在网络中的基本单元格中。干燥固化后上述网络结构继续发挥重要作用,为流延成型的素坯提供强度支撑,常见的黏结剂如聚乙烯醇缩丁醛、乙基纤维素和聚乙烯醇。增塑剂可以通过降低黏结剂的塑限温度来缩短或部分溶解聚合物中的黏结剂主链部分实现玻璃转化温度的降低,增强了黏结剂的长链部分的无断裂伸张和卷曲的变形程度,这样流延成型的素坯具有良好的柔韧性,同时增塑剂还可以流延的基础粉体颗粒起到连接和润滑作用,大幅提高了稳定性和流动性,常见的增塑剂如甲基纤维素和碱溶胀聚丙烯酸酯。

让学生明白除了上述主要的助剂外,还需要能够降低泡沫表面张力,消除气泡避免形成针孔的消泡剂;也需要增加溶剂与粉

体颗粒之间的润湿性来进一步提高基础粉体的分散性的润滑剂;当然也离不开调节流延浆料的黏度调节流延速度的控流剂。

流延成型浆料中助剂的用量很少,但对流延效果影响显著。从微观来看兼换言之,首先通过第三方GAMBIT或CAD软件生成几何模型与网格结构,然后在POLYDATA软件中定义实际流延所需的物理模型、边界条件及各种材料参数,再利用渐进算法和自适应网格技术处理非线性问题,最后获得通过FIELDVIEW可视化压力、温度、剪切速率等结果<sup>[3]</sup>。

2. 自主式的验证性实践教学。一方面地方高校因资金困难不能经常更新和添置实验用仪器设备,另一方面前期购买的大型仪器设备使用率不高而造成了仪器资源的巨大浪费。在自主式的验证性实践教学,为了提高公共实验室资源的利用度和专业教师科研创新实验室资源相结合来促进了学生对W400型流延机的认识,针对学校现在相对自由的开放实验时间,可以让学生结合自己的学习计划来认识、熟悉和掌握流延的各种工序和流延机的各种使用规程及参数设置,方便以后开展有序、有计划的流延自主实验。让学生知晓球磨、除泡、干燥和排胶等操作工序。

球磨工序采用什么方法如何制备得到流延浆料?如何保持流延浆料各组分的均匀性?黏结剂和消泡剂等助剂加入时间如何确定?因为无机非领域的材料耐磨性都比较好,而且球磨分散得比较均匀,为了在球磨过程中不引入新的杂质,球磨珠选用与浆料基体粉体材料相同的磨球。特殊情况下,为防止流延浆料与空气接触而氧化采用保护气氛的条件下球磨。让学生懂得球磨机类型的选择非常重要,是选择行星式的球磨机还是滚筒式球磨机?依据什么标准选择球磨机的类型。让学生学习在球磨工序中珠料比、球磨速度、球磨时间的确定,让学生把书本上学到的理论知识融入到实际应用中,根据球磨浆料的黏度变化情况,球磨可以粗略分为四个阶段:1.球磨开始的时候基础粉体与溶剂没有充分混合接触,球磨浆料黏度变化微小;2.随着球磨过程中的摩擦力的作用,基础粉体与溶剂逐渐混合,球磨浆料的黏度明显增大;3.基础粉体与溶剂充分混合之后,达到了粉碎平衡,球磨浆料黏度又略变小;4.随着球磨的进行,基础粉体又开始团聚,黏度又逐渐上升。

除泡工序流延浆料在制备过程中基础粉体与溶剂的混合引入大量的气泡,气泡存在会导致会导致流延素坯局部强度降低、坯面翘曲开裂和致密度降低等问题。流延浆料中的气泡存在数分钟甚至数小时不等,可以通过搅拌、加压和超声波等物理手段或加入合适的消泡剂等化学方法来除泡,通过消泡实验让学生明白如何筛选各种消泡剂。

干燥工序流延浆料在流延后形成的流延膜会与黏在膜带表面上层,让学生懂得要想将流延膜从膜带上剥离就必须经过干燥工艺。干燥工序中膜层中溶剂蒸发和黏结剂参与的固化从而与膜带分离。干燥速度过快,不仅会使流延素坯均匀性变差,还会导致素坯内部应力不均,产生翘曲开裂等缺陷。为了减少流延素坯的缺陷,应该在选择合适的膜厚、添加剂的种类与用量的同时,充分合理调节烘道中干燥环境的温度、湿度、风速。

排胶工序排胶就是黏结剂和增塑剂去除工序,又称脱脂。添加的绝大多数黏结剂和增塑剂无法蒸发,但是通过高温分解成小分子后从表面挥发。经过排胶工序处理后,得到的素坯就可以进行烧结成需要的无机膜了<sup>[4]</sup>。

教学和科研资源的自由开放结合不仅提升了流延机的使用效率,更为重要的是拓展了无机非专业学生的学校教学资源认知视野,把书本上的枯燥无味的东西变成了触手可摸的实物,加深了学生对无机非金属材料专业的认同感。

3.探索性的自主尝试实践教学。流延机在实际使用过程中,大多数学生总有担心把仪器弄坏的思想顾虑,学生可以在熟悉流延机的工作原理,操作规程和注意事项后,先是在老师在场指导下尝试性的观摩和使用,紧接着老师在场学生试探性进行氧化铝成熟浆料的流延独立操作,在熟练使用流延机的基础上进行大量而持续的放大实验,观察流延过程中的现象(比如膜层缩孔和收卷偏向),启发学生思考并结合所学理论知识分析遇到的实际问题产生的原因和解决方案,很大程度上改变了传统实践教学中以示范为主的教学模式,把智能教育逐渐融入到了实践教学之中,保证学生肯自己动脑和动手,潜移默化地养成了解决各项无机非工程能力专业相关的综合实践教学任务。例如学生在掌握流延技术的基础上,会思考把其它方法与流延技术结合起来,如为了解决各种新能源领域的固态锂电池或固态钠电池提高能量密度问题而开发的流延温压成型工艺;为了控制温度并引发单体聚合发生原位凝固,提高浆料的固含量,得到密度高的素坯,省略了单一流延成型后续的干燥和排胶过程的新方向凝胶流延成型工艺;为了提高材料致密度和力学性能,避免对流延素坯进行等静压二次成型开发的等静压流延成型;为了不需要经过干燥就可以得到高质量的素坯,避免出现素坯的缺陷,在原有的流延浆料中加入紫外光敏材料,经过流延后,引入紫外光源就可以使浆料原位固化成型的紫外光引发聚合成型。

4.整合性的实践教学。在掌握了流延机使用技术后,在整个实践教学过程中,明白流延效果的好坏其实核心在于粉体浆料配方设计和研磨,采用3-5人为一个小组单元来开展,首先小组成员依据个人兴趣和能力从拟订的开放性项目实验中选择项目作为流延课题,然后小组成员在已掌握的擅长的某个环节或单元,可以结合已有的球磨机开展浆料配方的探索,并球磨过程、真空脱泡过程与常压流延结合,最后在教师指导、帮助和监督下完成整个流延实践过程。小组中各学生成员与指导教师可以通过微信、QQ等工具进行线上跟踪讨论,也可以采用线下面对面交流,充分展现学生的主观能动性和思维创造性。

流延技术与5G通信、智能穿戴和新能源汽车等在新型技术领域有着巨大应用前景,如新型陶瓷如片状氮化硅陶瓷,而流延成型生产作为一种低成本可连续化生产的工业方法,来提高氮化硅陶瓷的热学性能、介电性能等,新型氮化硅陶瓷的应用和推广

真正做到社会需求与学校教学的高度融合,与蚌埠学院办学定位“地方性、应用型、数智化”整合到一起。

## 四、粉体成型教学评价考核

针对蚌埠学院现行无机非专业培养方案中专业实践课程主要通过实验和纸质实验报告的单一考核方式,本文章通过建模方案、动手实验、过程提问、成果展示多样化的考核评价体系,具体从以下三个方面考核评价<sup>[9]</sup>。

1.在开展流延实验之前,学生通过预习制作PPT进行展示ANSYS Polyflow模拟结果,并给出具体的工作参数(分段温度,走膜速度等),与老师一起讨论膜层龟裂、缩孔和拉丝产生原因及改进措施,让学生真正懂得软件模拟好处及意义,进而培养学生的学习和良好学习习惯。

2.在流延实践教学过程中,针对如何操作及特殊情况处理进行提问交流,引导学生思考与其设计的方案中现象是否一致,培养学生的观察能力和思考能力。让学生自我流延实验的研究内容、过程现象、流延结果、计划进度和后续改进等方面,每个学生都能正确回答有关流延技术方面的提问。

3.鼓励学生通过举办实物流延展览、申请流延专利、发表科技论文等各种可视化的成果。最终考核结果将由小组学生的参与度、流延实验的完成度、答辩问题回答情况和流延产出成果多少及成果的可应用性等综合进行等级评价,并给出学生的最终的综合成绩,针对本级学生的学习流延技术的优点和不足归纳总结,进而反馈应用到下级学生教学过程去。

## 五、结束语

针对蚌埠学院目前流延成型实践课程在教学模式和评价环节中所采用的赋能方法,文章提出了“理论构想、设计、流延、测试”理念下无机非专业整合式的实践教学体系,以提升学生建模实践能力、自主创新能力和团队合作能力为实践目标,以注重以学生为中心,重视实践教学过程、成果产出成果为导向粉体成型的学习。总之,尝试持续探索各种模拟软件与流延技术的结合使用,这样可以有力地利用大型仪器提升实践教学其专业实践能力和科研创新能力,真正为培养出较多具备解决无机非金属材料工程技术能力的人才,为以蚌埠为中心的皖北地区培养更多的无机非专业人才,助力地方经济的发展。

## 参考文献

- [1]樊启哲,余长林,魏龙福,等.《环境工程微生物学》的石化特色教学改革探究——以广东石油化工学院为例[J].广东化工,2021,48(6):221-222.
- [2]黄涛,徐华蕊,赵昀云,等.纳米钛酸钡浆料及流延成型制备与性能研究[J].功能材料,2024,11(55):11084-11089.
- [3]王浩南,张礼华,陈凯,等.基于ANSYS-Polyflow的可降解塑料板材挤出机头流道分析及设计优化[J].塑机与模具,2023,51(09):103-107.
- [4]赵辰啸,李世鹏,王刚,等.流延成型技术制备片状氮化硅陶瓷研究进展[J].耐火材料,2025,59(02):177-184.
- [5]袁薇.教育数字化战略下的混合式教学:再思考与再出发[J].中国远程教育,2024,44(12):76-85.