

# 轻合金凝固技术专题评述

许庆彦

(清华大学材料学院, 北京100084)



许庆彦(1971-),男,工学博士,清华大学教授、博导,材料加工技术研究所副所长,中国机械工程学会铸造分会常务理事,先进成形制造教育部重点实验室先进材料与工艺方向学术带头人,国家重点研发计划项目首席科学家,国家产业基础专家委员会委员。

长期从事先进铸造成形过程多场多尺度耦合建模与仿真研究(包括低压铸造、精密铸造、离心铸造、定向凝固等工艺,涉及铝合金、钛合金、高温合金等)。发表期刊论文150余篇,参编专著9本,被国内外引用2000余次。获授权专利10余项、软件著作权登记15项。近年来,主持国家重点研发计划项目、国家科技重大专项课题、两机专项课题、国际合作项目等,研发的具有自主知识产权的金属凝固多尺度建模与仿真软件已在多家铸造企业成功应用。以第一完成人获2018年北京市科学技术奖一等奖、2021年中国发明协会发明创新奖一等奖、2018年度中国产学研合作创新奖等。兼任《Computer, Materials & Continua》副主编、《铸造》《China Foundry》《特种铸造及有色合金》《航空发动机》《钢铁研究学报》《Journal of Iron and Steel Research International》等期刊编委,中国铸造标准化委员会委员,集成计算材料工程国际会议(ICME)顾问委员会委员,74届世界铸造大会(WFC)国际委员等。

以轻合金代替传统的钢铁材料是汽车节能减排的重要途径之一,对提高车辆的续航里程和效率具有重要意义。航天器“为减轻每1 g重量奋斗”(卫星发射,节省1 kg重量将降低费用2万美元),因此轻量化也是航空航天装备发展的永恒主题。铝合金和镁合金具有低密度、高强度、良好的耐腐蚀性和成形性,广泛应用于汽车车身、火箭箭体、导弹壳体、飞机机翼等部件,其轻量化效果显著。高性能轻合金复杂构件常用的成形方式有低压铸造、压铸和挤压铸造等。在过去的几十年里,人们对合金的成分、工艺、微观组织和性能之间的关系开展了系统、深入的研究,极大地推动了铝、镁合金的发展和轻量化应用。但铝、镁等合金铸造工艺复杂、影响因素众多,易产生各种铸造缺陷,如何生产出结构复杂、性能优异的优质铸件仍是一个长期的挑战。

本专栏以轻合金铸造技术为专题,共刊载2篇综述文章和3篇研究论文,重点介绍了铝、镁合金的成分设计、铸造工艺优化及组织性能等方面的研究,对数值模拟技术和集成计算材料工程在轻合金铸造中的应用进行了总结与展望。

低压铸造作为一种常见的轻合金铸造技术,具有充型平稳和能成形复杂薄壁铸件的特点,常用于生产高性能汽车关键零部件。清华大学许庆彦教授团队对低压铸造铝合金凝固过程的数值模拟技术进行了全面的综述,分析了充型和凝固过程的数值模拟情况,评述了铝合金微观组织(包括初生相和共晶相)演变的模拟研究现状。此外,还展望了低压铸造过程中数值模拟技术的未来发展方向。

挤压铸造是一种先进的近净成形工艺,常用于生产高强度、高韧性的结构件。华南理工大学赵海东教授团队通过基于微观组织特征(如Si粒子的长度和形状因子)的有限元分析(FEA),计算了A356挤压右悬置托臂的不同部位的力学性能,为A356合金的微观组织设计和力学性能优化提供了理论指导。哈尔滨工业大学姜巨福教授团队对6082铝合金汽车法兰件进行了挤压铸造工艺的数值模拟,为挤压铸造工艺优化提供了重要的理论指导,并制备出了高质量的6082铝合金汽车法兰件。

为开发高导热铝合金,清华大学熊守美教授团队针对不同铁含量对亚共晶Al-4Ni合金的微观组织、热导率及力学性能的影响进行了深入研究。综合考虑热导率和力学性能,研究发现了0.5Fe含量时Al-4Ni合金具有最优的综合性能,为Al-4Ni合金的成分设计及性能优化提供了重要的理论指导。

集成计算材料工程(ICME)作为一种材料开发与应用新模式,在材料成形制造中得到了广泛关注。清华大学韩志强教授对ICME及其研究进展进行了较为全面的综述,详细介绍了镁合金铸造与热处理ICME方面的研究工作。对ICME未来的应用前景进行了展望,并对其进一步发展提出了建议。

本专题主要包括轻合金铸造的试验研究和数值模拟等方面的工作。由于篇幅所限,刊载的论文数量有限,难免挂一漏万,未能覆盖轻合金铸造技术的方方面面。如有不当之处,请各位同行批评指正。希望通过本专题的抛砖引玉,能吸引更多的铸造工作者参与到这方面的研究工作中来,进一步推动ICME在我国轻合金铸造技术中的深入应用,促进高性能零部件的制造技术水平提升,为航空航天和汽车等零部件轻量化做出贡献。