

1. 博士论文研究方向： 智能材料与超材料制造及力学性能研究

选题类别： ☒ 基础性研究

☐ 应用性研究

☐ 工程技术攻关研究

☐ 新开辟的研究方向

☐ 已有研究方向的继续

☐ 其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

随着“工业4.0”和“中国制造2025”等先进制造概念提出，智能制造作为其中一个重要分支在不断快速发展。自2013年麻省理工学院自组装实验室创始人和联合主任Tibbitts提出了4D打印概念后，其逐渐成为制造、材料、生物和医学等多交叉科学领域的研究前沿和热点。4D打印概念是在3D打印技术基础上增加了“时间”维度。换言之，4D打印件能够在特定刺激下（如温度、湿度、磁场、电场和pH等）发生形变，从而展现出动态和智能响应特性。可打印的响应性智能材料是研究4D打印最为关键的研究方向之一。目前适用于4D打印的智能材料主要有形状记忆聚合物/合金、液晶弹性体以及响应性水凝胶等。其中，柔性材料和形状记忆聚合物材料具有大变形优势和高驱动效率特点，近年来受到了大量研究人员的青睐，而将其与磁性材料相结合是制造具有多功能性和快速响应特性智能材料的有效策略之一。在材料内部嵌入磁性颗粒不仅能够赋予结构磁响应特性，还能赋予结构额外驱动能力，如磁感应加热、磁控变形和电磁屏蔽等，极大地扩展了智能材料的功能性和变形能力。然而，虽然已有少量研究探索了将4D打印工艺与磁性智能材料相结合，但其还面临着功能单一、响应速度慢等瓶颈问题，因此需要进一步加强对4D打印工艺和智能材料的深入研究。

常规4D打印工艺制造磁性软材料和磁性SMP复合材料是将磁性填料与基体材料混合后直接打印成型，不能对材料微观组织进行调控，因此限制了打印件材料属性和响应速度。为了实现对打印件微观组织调控，增强材料属性或衍生新材料属性，研究人员提出了磁场辅助3D打印概念，如磁场辅助熔融沉积建模、磁场辅助墨水直写、磁场辅助粉末床熔合和磁场辅助数字光处理等。其中，磁场辅助DLP 3D打印工艺在原材料成本、复杂结构成型能力和打印精度方面具有显著优势。液体树脂中的磁性颗粒受到静或动磁场作用后沿着特定方向对齐，进而可调控打印件内部微观组织，最终实现对打印件某些性能的调节，促进了其在仿生材料设计和生物医疗等方面的应用。然而，虽然磁场辅助3D技术得到了快速发展且大量研究证明了磁场对微观组织具有显著调控作用，增强了打印件力学性能，但是截止目前，据所知还没有研究将其与智能材料相结合（即磁场辅助4D打印）来调控磁性智能复合材料的响应特性，因此磁辅助4D打印是一个需要深入研究的领域。

与常规4D打印技术相比，磁场辅助4D打印工艺不仅可保持复杂结构成型能力，还能够对内部磁性填料的分布状态进行微观调节，集成多功能性和提升响应特性，拓展智能复合材料的实际应用潜力。研究拟建立磁场-流体-磁性颗粒运动多物理场耦合模型，研究磁性颗粒对齐理论机理，设计磁性柔性复合材料和电/磁SMP复合材料配方，搭建磁场辅助4D打印装置，制造多功能和高响应特性结复合材料样件，评价打印件磁、电、力和形状记忆等性能，并探索其实际应用潜力，如智能执行器、传感器和智能抓取机构等，以期实现制造高性能磁性智能复合材料构件。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家自然科学基金委项目，200万

1. 博士论文研究方向： 金属增材制造

选题类别：

☐基础性研究

☐应用性研究

☒工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向

☐已有研究方向的继续

☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

高温合金指的是在 600℃以上高温条件下服役，且可以承受较大复杂应力并保持表面稳定性的高合金化 Fe、Co、Ni 基合金材料。高温合金具有良好的高温强度、优异的抗腐蚀和高温氧化性能、较长的持久寿命和较高的组织稳定性。因此，和其他工程材料相比，高温合金可以被应用于更接近实际熔点的温度条件下，这使得航空航天成为其最重要的应用领域，如航空发动机涡轮盘及叶片、导向叶片和燃烧室等热锻部件的制造。目前各国研制与生产的主要高温合金牌号超过 200 种，主要依据基体元素、强化类型和制造工艺等标准进行分类。如按照基体元素可划分为 Ni 基、Fe 基和Co 基高温合金；按照强化机制可分为固溶和沉淀强化型高温合金；按照制造工艺则可分为变形、铸造和粉末冶金高温合金等。 镍基高温合金具有优异的高温性能及热稳定性，被广泛应用于航空航天、能源、石化等领域的热端部件制造。随着相关工程技术的发展，承温部件的工作环境愈发恶劣，且对其内部结构的复杂度和整体轻量化的要求也越来越高，这使得传统加工方式遇到了发展瓶颈。激光增材制造作为先进的智能制造技术，可以更加高效的进行内部结构的拓扑优化设计，为复杂零部件的加工及减重提供了新的思路。但激光增材制造过程中也伴随着有别于传统工艺的复杂物质-能量交互作用及快速热循环过程，导致成形体中容易出现气孔、熔合不良以及裂纹等缺陷，进而影响合金的可焊性。而这些缺陷很难通过工艺参数的优化而完全消除，因此必须从合金成分的根源上予以解决。研究镍基高温合金的成分体系与合金相组成，再结合激光增材制造过程的工艺特点分析镍基高温合金的可焊性及相关影响因素（包括各类缺陷形成的原因与规避方法等），可以为进一步的激光增材制造用镍基高温合金成分的设计工作奠定基础。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

中国工程物理研究院横向课题