

微纳结构因其优异的光学性能广泛应用于航空、航天、国防、微电子等领域。为解决其当前制造装备在带宽、加工灵活性和轴间耦合比等方面存在的固有缺陷，本论文开发了面向微纳结构制造的双自由度振动辅助超精密加工系统，并开展了系统性的研究。首先，设计了该加工系统的机械结构，并建立了该系统的多物理场仿真模型，搭建了该系统的性能测试平台。其次，建立了瞬时切削力的预测模型，揭示了机床-刀具-工件耦合作用下微纳结构的切削机理，并开发了微纳结构的数值仿真算法，用于提供微纳结构的加工参数。然后，提出了超精密表面织构工艺，并在易燃材料镁合金表面加工了不同形貌的微纳结构阵列，其中纳米结构阵列诱导了结构色的产生。最后，提出了纳米光栅阵列诱导的光学信息产生和隐藏的方法，建立了光学信息与加工参数的数学模型，开发了其刀具路径生成算法。

本文的研究意义在于：设计的加工系统极大提升了当前微纳结构的加工效率；建立的瞬时切削力模型填补了微纳结构加工中切削力预测的空白；提出的切削工艺首次在易燃材料镁合金表面上加工了高质量微纳结构；提出的光学信息产生和隐藏的方法避免了传统工艺因使用化学涂料造成的环境污染，并拓展了微纳结构新的应用领域。