

1 项目名称：激光熔覆氮化非平衡制造关键技术及装备

2 推荐单位（专家）中国矿业大学

3 项目简介

激光熔覆氮化技术适用于矿山机械、工程机械、化工机械、模具制造等行业零部件的表面加工与再制造。以矿山机械关键部件液压支架为例，我国煤矿支护设备大约 2000 万余台（套），其投资费用占整个采煤工作面成套设备总投资费用的 60%以上，而单体液压支架立柱 1000 多万根，年需求量达 10 万根以上，是世界上使用最多的国家。传统电镀工艺给企业带来的环保压力极大，且镀层在质量、性能等使用后期的成本维护方面存在许多缺陷。因此，高质量、长寿命、低成本的激光熔覆氮化非平衡制造关键技术成为我国矿山、工程、化工等重要装备制造领域亟待解决的挑战性难题之一。

本项目针对立柱的表面再制造，实现了激光熔覆氮化一体化装备与关键技术的创新研发，并将这一技术辐射到工程机械、化工机械、模具制造等行业零部件的表面加工与再制造，推进了激光高端装备制造业的发展，成果包括：

1 提出活性诱导元素液相渗氮新思想，创立了非平衡激光氮化新方法，显著提高了传统渗氮和熔覆的加工效率。引入微量 Ti、Al、Cr 等活性诱导元素提高了氮化效率，应用限制性非平衡凝固模型揭示了熔覆氮化过程中铁、氮及其他元素的交互作用及组织形成机理。开发的熔覆氮化一体化新工艺使涂层加工效率达到 $0.048 \text{ m}^2/\text{min}$ ，较传统表面渗氮技术提高了 10 倍以上。

2 提出了元素掺杂热-动力学复合稳定化理论，设计了激光熔覆氮化的粉末配方，研发了服务于重载、冲击、摩擦和介质腐蚀等苛刻条件的系列专用粉末。

3 揭示了非平衡凝固与固态相变本征关联，发展了电磁搅拌与微量助燃气体技术，在非平衡表面制造中实现了面向复杂工艺参数的组织、缺陷复合调控。

4 设计并研制了激光熔覆氮化一体化技术路线及成套装备。开发了实时监控两相同步喷射系统、活性元素诱导的非平衡成形系统、柔性制造参数调控系统。装备为加工尺寸从几微米到数米长的零部件提供整套解决方案，减少了“三废”，实现了绿色制造。

项目授权国内发明专利 19 项，授权实用新型专利 10 项，修编企业标准 1 部，在本领域重要国际期刊发表 SCI 收录论文 28 篇，出版英文专著 1 部。项目突破了传统熔覆技术的低效率、高成本技术瓶颈，解决了我国液压支架立柱生产中长期存在的电镀污染问题，并将该成果应用于矿山机械、工程机械、化工机械、模具制造等行业零部件绿色再制造应用前景广阔。

4 主要完成单位及创新推广贡献

主要完成单位为中国矿业大学、常州信息职业技术学院、常州天正工业发展股份有限公司、南京工业大学、徐州矿务集团有限公司。主要贡献如下

1) 激光氮化技术及成套装备研究, 提出热-动力学协同作用下的非平衡液相激光渗氮新方法, 揭示了黑色金属表面激光氮化熔覆过程中铁、氮及其他元素的交互机理, 从理论源头上解决了激光氮化装置的合理设计问题(创新点 1)

2) 基于强偏析掺杂稳定化理论, 揭示了热-动力学耦合效应对非平衡相变的精准调控。研制专用于连续波光纤激光钴基金属陶瓷合金粉末, 专门开发了服务于重载、振动、冲击、摩擦和介质腐蚀等条件下工作的立柱表面处理的粉末配方, 丰富了专用于连续波光纤激光加工的粉末应用范围。(创新点 2)

3) 激光氮化与熔覆过程中裂纹、气孔等缺陷产生的机理的研究, 发展了电磁搅拌等技术, 消除了此类缺陷对产品稳定性造成的隐患。(创新点 3)

4) 激光氮化与熔覆的一体化工艺技术路线和装备的设定与完善, 减少了大量“三废”, 尤其是含重金属的有毒废水, 减轻了环境负荷, 利于环境保护。(创新点 4)

5 推广应用情况

2015 到 2017 年, 项目成果成功应用于江苏省、山东省、安徽省等地区 9 家企业, 涉及矿山、工程、化工机械、模具、装备制造等行业。

6 曾获科技奖励情况

无

7 知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	一种提高激光氮化效果的电磁搅拌熔池装置	中国	ZL201410065558.8	2017-4-12	2445538	中国矿业大学	樊宇、徐杰、蒲晓峰、范贺良、陈正	有效
发明专利	用于激光熔覆的同轴喷头	中国	ZL201210293222.8	2014-5-28	1408766	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏、黄佳欣、黄和芳、张祖洪	有效
发明专利	一种利用助燃气体在增加激光熔覆层高时避免开裂的方	中国	ZL201210309418.1	2014-4-2	1375926	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏、黄佳欣、黄和芳、张祖	有效

	法					公司	洪	
发明专利	一种提高激光熔覆效果的方法及喷头	中国	ZL201210308815.7	2014-7-23	1449312	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏、黄佳欣、黄和芳、张祖洪	有效
发明专利	专用于连续式光纤激光熔覆的钴基金属陶瓷合金粉末	中国	ZL201310589365.8	2015-11-18	1842275	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏	有效
发明专利	一种专用于连续式光纤激光熔覆的镍基金属陶瓷合金粉末	中国	ZL201310589433.0	2015-9-23	1795907	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏	有效
发明专利	一种用于连续式光纤激光表面合金化的钴基金属合金粉末	中国	ZL201410629823.0	2016-8-17	2185571	中国矿业大学	樊宇、徐杰、范贺良、陈正、田文腾、郭跃	有效
发明专利	专用于连续波光纤激光熔覆的镍基金属陶瓷合金粉末	中国	ZL201310589434.5	2015-9-30	1801435	常州天正工业发展股份有限公司	柳岸敏、张翀昊	有效
发明专利	专用于连续波光纤激光熔覆的镍基金属陶瓷合金粉末	中国	ZL201310589603.5	2015-10-28	1828787	常州天正工业发展股份有限公司	张翀昊、柳岸敏	有效
发明专利	一种以薄板搭接代替粉末激光熔覆的激光熔覆工艺	中国	ZL201510209152.7	2017-5-10	1244732	常州天正工业发展股份有限公司	柳岸敏、张翀昊	有效

8 主要完成人情况表

陈正，第 1 完成人，工作单位：中国矿业大学，副教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 1-3 有重要贡献，项目负责人，制定整体研究方案和组织实施。

柳岸敏，第 2 完成人，工作单位：常州信息职业技术学院，研究员，完成单位：中国矿业大学，对创新点 2-4 有重要贡献。

樊宇，第 3 完成人，工作单位：中国矿业大学，副教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 1-3 有重要贡献。

张翀昊，第 4 完成人，工作单位：常州天正工业发展股份有限公司，董事长，完成单位：中国矿业大学，对创新点 2-4 有重要贡献。

陶庆，第 5 完成人，工作单位：中国矿业大学，副教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 2-3 有重要贡献。

孙中刚，第 6 完成人，工作单位：南京工业大学，副教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 3 有重要贡献。

何也，第 7 完成人，工作单位：徐州矿务集团有限公司，高级工程师，完成单位：中国矿业大学，对创新点 4 有重要贡献。

孙智，第 8 完成人，工作单位：中国矿业大学，教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 3, 4 有重要贡献。

沈承金，第 9 完成人，工作单位：中国矿业大学，教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 1, 3 有重要贡献。

徐杰，第 10 完成人，工作单位：中国矿业大学，副教授，完成单位：中国矿业大学，对创新点 4 有重要贡献。