

# 申报 2022 年度广东省科学技术奖公示

## 一、项目名称：

关键构件激光增材制造与复合再制造技术研发及应用

## 二、提名单位（提名专家）

广东省教育厅(省委教育工作委员会)

## 三、提名类型及提名等级

2022 年广东省科技进步奖，二等奖

## 四、项目简介

关键构件、基础材料、先进工艺和产业技术决定了国家和地区制造业的整体水平和核心竞争力。目前，我国工业领域 80%关键构件极易遭受磨损、腐蚀与疲劳失效，存在质量重、寿命短和可靠性差三大问题，严重制约我国实施制造强国战略。电镀、喷涂、堆焊与熔铸等传统技术难以满足关键构件高效复杂结构的绿色制造与再制造需求，迫切需要先进的制造和再制造技术。近年来，激光熔覆技术具有高性能、低变形、高柔性、绿色环保等特点，显著提高金属构件服役寿命，同时也是损伤构件再制造的有效方法，是国际研究热点。但是，激光熔覆效率低与熔覆层易开裂，阻碍了其在工业领域的广泛应用。基于此，本项目针对电子封装、金属压延、矿山机械与交通运输等工业领域关键构件，在极端环境与动态下服役面临的共性关键技术难题：强一导与强一韧倒置、高硬耐磨与抗裂性失配、减摩与抗磨难调，经过十余年攻关，实现 3 类新材料与 2 种新工艺突破，取得如下创新性成果：

(1) 发明了“激光选区熔化—液相分离自组装”构筑层状异构铜基偏晶合金工艺，揭示了异质界面、多尺度结构与纳米孪晶耦合强韧化机制，实现了铜基偏晶合金结构性能一体化设计与激光增材制造，突破了常规熔铸法制备该合金存在尺寸小、易偏析与致密度低的难题，研制的层状异构铜基偏晶合金强度 475MPa、屈服强度 284MPa、延伸率 22%、电导率 87.6%IACS、致密度 99.2%，使用寿命相对于黄铜提高了 1~2 倍。

(2) 发明了激光—感应复合熔覆颗粒增强高温合金再制造工艺，揭示了颗粒熔解机制及其对高温合金摩擦磨损行为的影响规律，实现了成形效率提高 1-5 倍以及高含量、高硬度与高耐磨的颗粒增强高温合金激光—感应复合熔覆无裂纹制备，解决了关键构件激光熔覆再制造效率低与易开裂的难题，研制的颗粒增强高温合金硬度在 40-60HRC 范围内可调；当 WC 含量为 50wt.%时，颗粒增强镍基合金硬度高于 60HRC，耐磨性能相对于 H13 钢提高 4.3 倍。

(3) 发明了激光—等离子复合能场沉积减摩抗磨自润滑金属再制造工艺，建立了自润滑颗粒含量、梯度结构与摩擦系数以及磨损性能的关系模型，实现了减摩与抗磨的协同增强，解决了电镀层或喷涂层存在气孔、裂纹、结合力弱、摩擦系数大与耐磨性不强的难题，研制的添加 2wt.%CFs 增强镍基合金可以降低摩擦系数 11%，增强硬度 24%，相对耐磨性提高 1.2 倍。

基于以上创新成果，创建高性能金属激光复合制造成套技术，突破了电子封装领域热沉用高强高导铜合金、金属压延领域铝材挤压模具、矿山机械领域液压支架与交通运输领域钢轨辙叉等关键构件的制造与再制造难题，建成了我国第一条高强高导耐磨蚀铜基偏晶合金激光增材制造生产线，支撑了我国新一代热沉材料、高性能模具等高端装备关键构件增材制造与再制造。获得发明专利 40 件，发表论文 80 篇，培养研究生 40 余名。项目技术产品已实现大批量生产和推广应用，相关企业近 3 年直接生产销售额 156958 万元，新增利润为 20063.7 万元，取得了显著的经济和社会效益，引领了我国高端装备关键构激光制造行业的技术进步，满足了国家实施制造强国战略需要，大幅度提升了国际竞争力。

## 五、全部完成人姓名（含排序）

周圣丰、邓澄、杨胶溪、聂德键、梅述文、雷剑波、陈立伟、张治国、易艳良、刘海军

## 六、本校完成人情况

排名	完成人	教师或学生	现工作单位	成果完成单位	对本项目主要贡献
6	雷剑波	教师	天津工业大学	天津工业大学	作为该项目的主要完成人之一，对第 2、3 项科技创新做出实质性贡献。创新性地将激光-等离子复合能场沉积热障涂层技术应用于航空发动机热端部件叶片的防护与修复领域，参与了激光-感应复合熔覆颗粒增强高温合金内 WC 颗粒机理与烧损机制的研究，以及参与了合金元素 Cr 对激光熔覆铜合金涂层结构与性能的研究。发表论文 1 篇，参与发表论文 3 篇。

## 七、全部完成单位名称（含排序）

暨南大学、上海衡湖铁路设备有限公司、北京工业大学、广东兴发铝业有限公司、南通金源智能技术有限公司、天津工业大学、深圳市盛元半导体有限公司、广东安镁思智联科技有限责任公司

## 八、成果目录公示

### 论文

[1] Jiaoxi Yang\*, Feiyu Wu, Bing Bai, Gaosheng Wang, Lei Yang, Shengfeng Zhou, Jianbo Lei. Effect of Cr additions on the microstructure and corrosion resistance of Diode laser clad CuAl10 coating, Surface and Coatings Technology, 2020, 381:110-118

[2] Xiaoyin Wang, Shengfeng Zhou, Xiaoqin Dai, Jianbo Lei, Jinbo Guo, Zhenjie Gu, Tao Wang. Evaluation and mechanisms on heat damage of WC particles in Ni60/WC composite coatings by laser induction hybrid cladding, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2017, 64:234-241

[3] Xinling Song, Jianbo Lei, Zhenjie Gu, Shengfeng Zhou. Boosting wear properties of Inconel718 superalloy by uniform dispersing graphene nanoplatelets through laser melting deposition, Journal of Alloys and Compounds, 2020, 834:155086-155096

[4] 雷剑波, 王植, 窦俊雅, 周圣丰, 郭津博, 顾振杰. 激光熔覆-等离子喷涂热障涂层高温氧化结构及残余应力[J].材料热处理学报,2017,38(01):139-145.

### 候选单位情况

排名顺序	6		单位名称	天津工业大学	
统一社会信用代码	121200004013594 95A	法定代表人	夏长亮	所在地区	西青区
单位性质	高等院校		单位类型		
联系人	郭建辉	办公电话	022-83955444	移动电话	13702125475
通讯地址	天津市西青区宾水西道 399 号		传 真	022-83955444	
电子信箱	tj_kjc@126.com			邮政编码	300387

雷剑波信息:

电子信箱: ljbtj@163.com