

## 2025 年度山东省自然科学奖提名公示信息

项目名称	面向特殊性征材料与构件的激光冲击波表面强化机制与加工原理		
提名者	山东大学	提名等级	二等奖
提名意见	<p>我单位认真严格地审阅了该项目的提名书及全部附件材料，确认该项目符合山东省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目均符合填写要求。</p> <p>该项目在国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目支持下，聚焦航空发动机核心零部件急需激光表面强化技术的探索与开发，研发科学与技术成果对提升我国航空制造与激光技术等产业领域的发展质量具有重要推动作用：（1）首创镍基单晶高温合金激光冲击强化工艺，使[001]取向 DD5 合金 700℃ 高周疲劳寿命提升近 10 倍；（2）创新非激光参数调控策略，通过梯度吸收层、约束层以及变化“激光-材料”偏焦状态，达成残余应力梯度或均匀控制等效果；（3）发明微纳构筑、压印标记等激光成形新技术，实现“成形+强化”双重改性，拓宽了激光力源应用场景。</p> <p>该项目理论成果以 26 篇高水平学术论文的形式予以公开发表；“一种斜入射的激光冲击强化方法”等 38 项新技术在山东迈特莱斯等企业获得应用。该项目理论创新与技术应用分别通过科技查新与技术鉴定方式得以印证，并已获得中国材料研究学会、中国腐蚀控制技术协会等国家一级学/协会科技奖励。</p>		

该项目属于先进航空材料及构件激光表面强化与改性技术领域。

航空发动机涡轮榫头/榫槽连接部位在高温、振动工况下易发生磨损与疲劳失效，而单晶高温合金因各向异性特性及复杂结构特征，传统机械喷丸技术存在应力松弛、组织失稳等问题，难以满足服役要求。激光冲击技术利用脉冲激光诱导等离子体冲击波实现表面强化，具有冷作硬化率低、残余应力热稳定性高、复杂结构加工适应性强的优势，但其在单晶材料与曲面构件的应用仍存在机理不清、工艺缺失等瓶颈。项目组在国家重点研发计划、国家自然科学基金等支持下，围绕航空发动机涡轮构件长寿命与高可靠性制造的“卡脖子”难题，从镍基单晶合金的各向异性特性及涡轮构件复杂几何特征出发，开展了脉冲激光加工技术的系统研究并取得创新成果：

（一）各向异性单晶材料的强化机理研究：在国际上率先将激光冲击技术应用于镍基单晶高温合金，通过微观组织与纳米硬度分析，证实激光冲击可显著提升表面硬化层深度，优化  $\gamma/\gamma'$  相结构，抑制中温疲劳裂纹扩展，使材料 700℃ 高周疲劳寿命延长近 10 倍；揭示了表面完整性参数演化规律。发现激光冲击诱导的微尺度反向塑性变形现象（“表面浮凸”），阐明了激光冲击诱导动态塑性流动机制。

（二）复杂构件“形-性”协同加工工艺突破：针对涡轮叶片曲面、榫槽遮蔽结构等加工难题，创新提出了控形控性技术理论。基于吸收层等涂层特性以及离焦量等偏焦状态调控冲击波强度，实现分区域不等强度强化，避免了传统工艺对高能激光器的依赖；通过变参数复合处理与表面粗糙度优化，提升了实际作用强度；结合曲率实时调整搭接率、光斑尺寸与入射角度，确保了曲面构件应力分布均匀性。

（三）基于激光力源的构件表面加工新技术：面向激光制造国家重大需求，突破激光力源在强化改性领域的局限性，发明微纳成形、压印标记等绿色加工技术，深化了激光力源在构件加工新技术探索领域的应用潜力。

项目成果在 *Mat. Sci. Eng. A*、*Surf. Coat. Tech.*、*J. Alloy Compd.* 等核心期刊出版主要论文 26 篇（SCI 收录 19 篇），授权发明专利 38 件（美国专利 1 件），受 *Acta Mater.*、*Int. J. Mach. Tool. Manu.* 等权威杂志正面评述，并获 2022 年中国材料研究学会科学技术二等奖、第十三届发明创业奖人物奖等国家级学/协会奖励 4 项。项目组第一完成人获得全国商业科技创新人物称号、第六完成人获得“庆祝中华人民共和国成立 70 周年”纪念章。该项目拓宽了激光力源长寿命改性适用材料体系，提出了非激光参数“形-性”调控方法，系列成果为我国航空发动机关键部件长寿命制造提供了理论依据与技术范式。

**代表性论文专著目录**

序号	论文（专著）名称	刊名（出版社）	Doi/ISBN	发表时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）
1	Nanosecond pulsed laser-generated stress effect inducing	Applied Materials Today	10.1016/j.apmt.2019.01.005	2019.6.1	Guoxin Lu, David W. Sokol, Yongkang Zhang, Jeff L. Dulaney	Guoxin Lu	Guoxin Lu

	macro-micro-nano structures and surface topography evolution						
2	Improving the fretting performance of aero-engine tenon joint materials using surface strengthening	Materials Science and Technology	10.1080/02670836.2019.1650445	2019.10.13	Guoxin Lu,Huan Liu,Chaohui Lin,Zheng Zhang,Pratik Shukla,Yongkang Zhang,Jianhua Yao	Guoxin Lu,Zheng Zhang	Guoxin Lu
3	Effect of laser shock on tensile deformation behavior of a single crystal nickel-base superalloy	Materials Science and Engineering: A	10.1016/j.msea.2017.01.039	2017.2.16	G.X. Lu,J.D. Liu,H.C. Qiao,Y.Z. Zhou,T. Jin,J.B.Zhao,X.F. Sun,Z.Q. Hu	J.D. Liu,T. Jin	G.X. Lu
4	How does the pulsed laser turn into 'force'?	Measurement	10.1016/j.measurement.2021.110016	2021.11.1	Guoxin Lu,Jing Li,Zhong Ji,Heng Li,Changfeng Yao,Jinshan Li,Koji Sugioka,Guoqun Zhao	Guoxin Lu	Guoxin Lu
5	A metal marking method based on laser shock processing	Materials and Manufacturing Processes	10.1080/10426914.2019.1566618	2019.4.26	Guoxin Lu,Jing Li,Yongkang Zhang,David W. Sokol	Guoxin Lu	Guoxin Lu

主要完成人情况

位次	姓名	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	卢国鑫	山东大学	山东大学	对该项目发现点 1-3 均作出突出贡献，是《Effect of laser shock on tensile deformation behavior of a single crystal nickel-base superalloy》等学术论文主要贡献者，也是“一种基于变化离焦量的不等强度激光冲击加工方法”等发明专利主要开发人。首次将激光冲击技术引入到单晶合金，发现了激光冲击波引发的微尺度反向变形，揭示了吸收层、约束层等非激光参数在调控表面强化效果方面的作用，发明了变脉冲参数的高强度多层强化、变吸收层特征的不等强度强化、变约束层特征的均匀（等强度）强化等新技术，实现了曲面、遮蔽等复杂结构的非垂直入射激光冲击。
2	刘纪德	中国科学院金属研究所	中国科学院金属研究所	对该项目发现点 1、2 作出突出贡献，是《Effect of laser shock on tensile deformation behavior of a single crystal nickel-base superalloy》等学术论文主要贡献者。将激光冲击技术引入到单晶合金，探究了激光冲击波引发的微尺度反向变形原理，研究了激光冲击技术对镍基单晶高温合金拉伸、疲劳等力学行为的影响作用与调控机制。
3	李静	山东大学	广东工业大学	对该项目发现点 2、3 作出突出贡献，是《How does the pulsed laser turn into 'force' ?》、《A metal marking method based on laser shock processing》等学术论文主要贡献者。在残余应力测定、表面形态演变等方面承担主要的表征与分析工作。
4	林超辉	广东工业大学	广东工业大学	对该项目发现点 1、2 作出突出贡献，是《Improving the fretting performance of aero-engine tenon joint materials using surface strengthening》等学术论文主要贡献者，也是“Energy compensated equipower density oblique laser shock method”等发明专利主要开发人。表征

				了表面粗糙度等初始特征对激光冲击实际作用效果的影响，提出了适用于复杂结构的斜入射激光冲击实现方法。
5	季忠	山东大学	山东大学	对该项目发现点 2、3 作出突出贡献，是《How does the pulsed laser turn into ‘force’ ?》等学术论文主要贡献者，也是“一种非单一入射角度不等强度激光冲击加工方法”等发明专利主要开发人。阐明了激光诱导空化效应在调控激光冲击实际作用效果方面的作用，提出了协同调节激光冲击过程中“等离子体冲击与空化”双效应的新思路。
6	张永康	广东工业大学	广东工业大学	对该项目发现点 2、3 作出突出贡献，是《Improving the fretting performance of aero-engine tenon joint materials using surface strengthening》等学术论文主要贡献者，也是“Energy compensated equipower density oblique laser shock method”等发明专利主要开发人。揭示了表面粗糙度对激光冲击实际作用效果的影响，实现了非垂直入射激光冲击。
<b>主要完成单位情况</b>				
山东大学、中国科学院金属研究所、广东工业大学				