

## 2025 年度山东省自然科学奖提名公示信息

项目名称	高强铝合金搅拌摩擦焊接多物理场耦合作用机制及协同调控新方法		
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>轻合金材料焊接是轻量化构件的核心制造技术。项目组针对高强铝合金焊接的难题，系统深入地研究了高强铝合金搅拌摩擦焊接产热传热机制、温度场与塑性材料流变瞬时演变行为，揭示了搅拌摩擦焊接过程中“热-力-流”多物理场耦合作用机制及接头微观组织的多尺度演变机理；在此基础上，提出了调控高强铝合金搅拌摩擦焊接热-力耦合过程的新方法和改型新技术，开辟了搅拌摩擦焊接形-性协同调控的新路径，丰富了焊接工艺理论，为我国轻合金优质高效绿色焊接成形制造奠定了坚实基础。五篇代表作系统介绍了该项目的研究成果，得到全球近 30 个国家和地区的著名同行专家的正面引用和评述。项目部分成果曾获山东省高等学校科学技术一等奖、中国科技促进会科技创新二等奖、山东省优秀博士学位论文和优秀硕士学位论文等奖励。</p>		
项目简介	<p>采用高强铝合金实现结构轻量化是航空航天、轨道交通和新能源汽车等领域的重点发展方向。本项目高强铝合金焊接难题，深入研究了搅拌摩擦焊（FSW）工艺机理，并针对其不足，提出了 FSW 热力过程协同调控新方法，突破了轻合金优质高效焊接技术难题，为提升轻合金构件的焊接制造水平奠定了坚实基础。取得了如下重要科学发现点：</p> <p>（1）<b>揭示了高强铝合金搅拌摩擦焊接多物理场耦合作用机制：</b>综合运用“动态网格自适应”+“铺层算法”，建立了基于摩擦接触界面的搅拌摩擦焊接“热-力-流”多物理场耦合数值模型，阐明了 FSW 产热传热机制、材料流动与焊接载荷的动态演变规律及其对焊缝成形的影响机制，揭示了搅拌针后方的摩擦驱动力降低导致接头形成孔洞缺陷的物理机制，实现了搅拌头使役寿命及焊缝成形质量的精准预测，为 FSW 焊接工艺调控、搅拌头的优化设计与制造提供了重要的理论依据。（见代表作 1 与 2）</p> <p>（2）<b>阐明了高强铝合金搅拌摩擦焊缝微观组织多尺度演变机理：</b>提出了“宏观工艺模型+微观组织模型+性能预测模型”相结合的焊接多尺度模拟新方法，建立了搅拌摩擦焊接“工艺-组织-性能”多尺度数值模型，揭示了连续动态再结晶是铝合金 FSW 接头的主导再结晶机制，阐明了 FSW 焊接热输入对焊缝微观组织演变的影响规律，形成了 FSW 焊缝形成性的定量研究方法，为 FSW 焊缝形成性一体化调控奠定了坚实的理论基础。（见代表作 3）</p> <p>（3）<b>揭示了工艺改型优化对铝合金搅拌摩擦焊接热力耦合过程的协同调控机制，研发了高效搅拌摩擦焊接新方法：</b>基于对 FSW 工艺</p>		

机理的深入认识，提出了多种新型 FSW 方法，揭示了轴肩与搅拌针分离并逆向差速旋转对焊接热力耦合过程的影响机理，阐明了逆向差速 FSW 新方法改善焊缝组织、提高接头性能、降低焊接载荷的物理机制，为解决了常规 FSW 存在的技术瓶颈，实现高强铝合金优质高效焊接提供了新的技术方案。（见代表作 4-5）

项目五篇代表作被 *Prog Mater Sci*、*J Mater Sci Technol* 等权威 SCI 期刊他引 299 次，单篇最高他引 118 次，获得了国际学术界的认可。中国工程院王国庆院士、加拿大工程院 D. L. Chen 院士，韩国工程院 S.J. Na 院士，国际期刊主编/副主编、学会会士等国际国内著名同行专家，广泛引用和高度评价了项目组提出的机理和方法。6 位完成人受邀在国际国内重要学术会议做大会报告和特邀报告 40 余次，担任会议主席/分会场主席 10 余次。截止 2024 年 12 月，该项目在本学科权威期刊 *Acta Mater*、*Scripta Mater*、*Int J Mach Tool Manuf* 等共发表 SCI 论文 120 余篇。理论成果及其衍生技术已成功应用于高压输变电与新能源汽车等领域关键部件的研制。

项目部分成果曾获山东省高等学校科学技术一等奖、中国科技促进会科技创新二等奖、山东省优秀博士学位论文和优秀硕士学位论文奖、中国焊接学会优秀论文和中国精品科技期刊顶尖学术论文等奖励。第一完成人受聘中国有色金属学会先进焊接与连接专业委员会副主任、中国机械工程学会焊接分会委员等。第二完成人获美国焊接学会会士（AWS Fellow）和国际焊接学会会士（IIW Fellow）称号。

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	Thermal-fluid-structure coupling analysis of void defect in friction stir welding	<i>International Journal of Mechanical Sciences</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107969">https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107969</a>	2022-11-23	Lei Shi(石磊), Jie Chen, Chunliang Yang, Gaoqiang Chen(陈高强), Chuansong Wu(武传松)	Lei Shi(石磊)	Lei Shi(石磊)
2	Transient model of heat transfer and material flow at different stages of friction stir welding process	<i>Journal of Manufacturing Processes</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.008">https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.008</a>	2017-01-08	L. Shi(石磊), C.S. Wu(武传松)	C.S. Wu (武传松)	L. Shi (石磊)
3	Analysis and characterization of dynamic recrystallization and grain structure evolution in friction stir welding of aluminum plates	<i>Acta Materialia</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.116692">https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.116692</a>	2021-1-23	P.F. Yu(于鹏飞), C.S. Wu(武传松), L. Shi(石磊)	C.S. Wu (武传松)	P.F. Yu(于鹏飞)
4	The effect of the welding parameters and tool size on the thermal process and tool torque in reverse dual-rotation friction stir welding	<i>International Journal of Machine Tools and Manufacture</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2015.01.004">https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2015.01.004</a>	2015-01-16	L. Shi(石磊), C.S. Wu(武传松), H.J. Liu (刘会杰)	C.S. Wu (武传松)	L. Shi (石磊)
5	Modeling the effects of ultrasonic vibration on friction stir welding	<i>Journal of Materials Processing Technology</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.03.002">https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.03.002</a>	2015-03-10	L. Shi(石磊), C.S. Wu(武传松), X.C. Liu (刘小超)	C.S. Wu (武传松)	L. Shi (石磊)

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	石磊	山东大学	山东大学	项目主要完成人，对重要科学发现 1-3 均做出了重要贡献，是代表性论文 1,2,4,5 的第一作者，代表作 3 的共同作者，建立了 FSW 多物理场多尺度数值模型，揭示了焊接多物理场耦合作用机制，阐明了工艺改型优化对 FSW 热力耦合过程的调控机理。
2	武传松	山东大学	山东大学	项目主要完成人，对重要科学发现 1-3 均做出了重要贡献，是代表性论文 2-5 的通讯作者以及代表性论文 1 的共同作者，提出了项目的总体学术构思，为该项目的实施提供了理论指导。
3	于鹏飞	爱尔兰圣三一大学	山东大学	项目主要完成人，对重要科学发现 2 做出了重要贡献，是代表性论文 3 的第一作者，建立了 FSW 焊缝多尺度数值模型，揭示了接头微观组织多尺度演变机制。
4	刘小超	东南大学	山东大学	项目主要完成人，对重要科学发现 3 做出了重要贡献，是代表性论文 5 的共同作者，提出了高强铝合金搅拌摩擦焊缝热力耦合协同调控新方法，并进行了工艺试验验证。
5	陈高强	清华大学	清华大学	项目主要完成人，对重要科学发现 1 做出了重要贡献，是代表性论文 1 的共同作者，协助建立了高强铝合金搅拌摩擦焊接多物理场耦合数值模型，阐明了焊缝成形缺陷的形成机制。
6	刘会杰	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	项目主要完成人，对重要科学发现 3 做出了重要贡献，是代表性论文 4 的共同作者，提出了高强铝合金逆向差速搅拌摩擦焊接新方法，协助揭示了其热力耦合协同调控机理，并进行了工艺试验验证。
主要完成单位情况				
<p>山东大学是本项目的第一完成单位，本项目第一至第四完成人在开展相关研究工作时均在山东大学材料科学与工程学院工作或学习。在山东大学的大力支持下，研究团队提出了项目的总体研究方案和主要学术思想，完成了各项研究内容，取得了重要科学发现（1）-（3）。</p> <p>清华大学是本项目的第二完成单位，本项目第五完成人在开展相关工作时在清华大学机械工程系工作。在清华大学的大力支持下，第五完成人协助项目团队建立了高强铝合金搅拌摩擦焊接多物理场耦合数值模型，阐明了焊缝成形缺陷的形成机制，取得了重要科学发现（1）。</p> <p>哈尔滨工业大学是本项目的第三完成单位，本项目第六完成人在开展相关工作时在哈尔滨工业大学材料科学与工程学院工作。在哈尔滨工业大学的大力支持下，第六完成人提出了高强铝合金的逆向差速搅拌摩擦焊接新方法，并协助揭示了其热力耦合协同调控机理，取得了重要科学发现（3）。</p>				