

一、成果基本信息

序号	成果名称	主要完成人	主要完成单位	奖种	提名者	拟提名等级
1	轻质及异质材料搅拌摩擦连接机理及应用基础研究	申志康、刘小超、杨新岐	西南大学、东南大学、天津大学	自然科学奖	重庆市北碚区人民政府	二等奖

二、项目简介

轻质材料及异质材料的可靠连接与产热机制、材料流动行为、组织演变及界面冶金反应等基础科学问题密切相关，以上科学问题的解决是实现轻质高性能材料及异质材料的搅拌摩擦高质量连接的关键。针对轻质高强材料热输入特性和材料流动行为及异质材料界面冶金反应调控理论的不足，本项目提出了新的分析方法和控制方法，为提高轻质和异质材料搅拌摩擦连接可靠性提供了理论依据, 主要包括:

- **阐明了搅拌摩擦连接材料流动和焊缝微观组织演变的物理机制。**揭示了搅拌头周围材料的三维动态旋转流动机制；提出采用一维连续性方程来描述材料流动，获得了流线上任意位置处的材料流速；提出了一系列基于标记材料畸变的应变评估方法，结合材料流速，获得了流线上任意位置处的应变速率。建立了沿材料流动路径的微观组织演变研究方法，揭示了材料微观组织沿材料流动路径的原位演变机理；建立了焊接物理冶金参数与微观组织演变的定量关系，揭示了应变和应变速率对材料流动过程中晶粒组织和微组织演变的影响规律。揭示了晶体点阵结构和层错能依赖的晶粒组织演变机理，阐明了材料流动阶段和焊后冷却阶段的微观组织演变过程。

- **提出了在局部液化条件下持续提高热输入效率和材料流动性的理论和方法。**

首次在高强铝合金的回填式搅拌摩擦点焊中发现了局部液化现象，揭示了液化裂纹的形成机理，获得了不同焊接阶段材料流动行为。提出了局部液化条件下提高热输入效率和材料流动性的方法，阐明了工艺参数和搅拌头设计对接头成形的影响规律，首次在 1 秒焊接时间内获得了不同形式的无缺陷接头，将焊接效率提高了 400-500%。

- **解决了异质材料界面无法实现可靠冶金连接的问题，建立了异质材料界面的冶金和机械连接机制的协同调控理论。**揭示了不同镀层材料对异质结构界面冶金反应调控机制，打破了在界面生成大量连续分布脆硬金属间化合物的难题。揭示了镁/钢、铜/钢和塑料/金属不发生冶金反应的异质结构通过镀层材料或机械连锁和扩散连接机制。揭示了异质结构界面微观组织力学性能及其对接头疲劳失效行为的影响规律，解决了异质材料可靠连接的问题。

5 篇代表性论文 SCI 他引 318 次， 20 篇主要论文 SCI 他引 875 次。项目第一完成人是西南大学教授、博士生导师。第二完成人是东南大学副教授、博士生导师。第三完成人是天津大学教授，博士生导师。

三、完成人的贡献

项目组围绕轻质及气质材料搅拌摩擦连接机理的理论与方法进行了深入研究，完成人的贡献在于如下重要科学发现：

重要科学发现一：阐明了搅拌摩擦连接材料流动和焊缝微观组织演变的物理机制，为焊缝形成和接头组织性能的预测提供了科学依据。

重要科学发现二：提出了在局部液化条件下持续提高热输入效率和材料流动性的理论和方法。

重要科学发现三：解决了异质材料界面无法实现可靠冶金连接的问题，建立了异质材料界面的冶金和机械连接机制的协同调控理论。

各完成人的贡献如下：

完成人申志康：组织、指导和参与本项目的选题与研究，对重要科学发现二和三有突出贡献。

完成人刘小超：组织、指导和参与本项目的选题与研究，对重要科学发现一和二有突出贡献。

完成人杨新岐：组织、指导和参与本项目的选题与研究，对重要科学发现二有突出贡献。

四、代表性论文、专著目录(不超过 5 篇)

序号	论文、专著名称/刊名/作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷-xx 页)	发表时间 年 月 日	通讯作者	第一作者
1	Evaluation of dynamic development of grain structure during friction stir welding of pure copper using a quasi in situ method/ Journal of Materials Science & Technology/ X.C. Liu, Y.F. Sun, T. Nagira, K. Ushioda, H. Fujii	2019 年 35 卷 1412-1421 页	2019-02-01	刘小超 H. Fujii	刘小超
2	Material flow during refill friction stir spot welded dissimilar Al alloys using a grooved tool/ Journal of Manufacturing Processes/ Z. Shen, W.Y. Li, Y. Ding, W. Hou, X.C. Liu, W. Guo, H.Y. Chen, X. Liu, J. Yang, A.P. Gerlich	2020 年 49 卷 260-270 页	2019-12-10	刘小超 陈海燕	申志康
3	Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints/ Materials & Design/ Zhikang Shen, Xinqi Yang, Zhaohua Zhang, Lei Cui, Tielong Li	2013 年 44 卷 476-486 页	2012-08-29	杨新岐	申志康
4	Interfacial bonding mechanism in Al/coated steel dissimilar refill friction stir spot welds/ Journal of Materials Science & Technology /Z. Shen, Y. Ding, J. Chen, B. Shalch Amirkhiz, J.Z. Wen, L. Fu, A.P. Gerlich	2019 年 35 卷 1027-1038 页	2019-01-12	申志康 J Chen	申志康
5	Comparison of fatigue behavior in Mg/Mg similar and Mg/steel dissimilar refill friction stir spot welds/ International Journal of Fatigue/ Z. Shen, Y. Ding, J. Chen, A.P. Gerlich	2016 年 92 卷 78-86 页	2016-06-30	申志康	申志康