

# 转速对搅拌摩擦焊接搅拌区晶粒尺寸影响

## Effect of Rotating Speeds on Grain Sizes in Stirring Zone of Friction Stir Weld

张 昭<sup>1,2</sup>, 吴 奇<sup>1,2</sup>, 张洪武<sup>1,2</sup>

(1 大连理工大学 工程力学系, 辽宁 大连 116024;

2 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室 辽宁 大连 116024)

ZHANG Zhao<sup>1,2</sup>, WU Qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Hong-wu<sup>1,2</sup>

(1 Department of Engineering Mechanics, Dalian University of  
Technology, Dalian 116024, Liaoning, China; 2 State Key Laboratory  
of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of  
Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

**摘要:** 基于搅拌摩擦焊接的完全热力耦合模型, 跟踪材料物质点运动轨迹, 划分出不同搅拌头转速下搅拌区域边界。沿材料物质点迹线提取出真实应变与温度历程, 可进一步计算 Zener-Hollomon 参数并利用经验公式预测搅拌区晶粒尺寸。经计算发现较大转速工况下, 搅拌区尺寸较大。搅拌区晶粒尺寸随焊接温度的增加而增加, 随应变率的增加而减小。随着搅拌头转速的增加, 焊接区材料温度与等效应变率均有明显增长, 但是温度影响更为明显, 平均晶粒尺寸随搅拌头转速的增加而增加。

**关键词:** 搅拌摩擦焊接; Zener-Hollomon 参数; 完全热力耦合模型

**doi:** 10.11868/j.issn.1001-4381.2015.07.001

**中图分类号:** TG402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2015)07-0001-07

**Abstract:** The flow tracers of material particles are considered to determine the boundary of the stirring zone in friction stir welding based on a fully coupled thermo mechanical model. The real strain tensors and temperature histories are given from the tracer movements to calculate the Zener-Hollomon parameters. The grain sizes can be then predicted by the empirical formation. The width of SZ on the top surface can increase with the increase of the rotation speed. The average grain size in SZ can be increased with the increase of the welding temperature and can be decreased with the increase of the strain rates. Both the temperature and the strain rates can be obviously increased with the increase of the rotating speed. But the effect of the welding temperature is more obvious, the average grain size is increased with the increase of the rotating speed.

**Key words:** friction stir welding; Zener-Hollomon parameter; fully coupled thermo-mechanical model

搅拌摩擦焊接作为一种新型的固态焊接技术, 自 1991 年发明至今已成为铝合金、镁合金等轻合金连接的重要手段, 并在航天、船舶和列车等工程制造领域实现广泛运用。相比较传统焊接工艺, 搅拌摩擦焊接构件残余应力较低<sup>[1]</sup>, 焊接构件变形较小<sup>[2]</sup>, 具有节能环保、无烟尘、无辐射等优点。

搅拌摩擦焊接中搅拌头转速、焊速、压入量(轴肩压紧力)、搅拌头形状和尺寸等均会影响搅拌摩擦焊接过程中的焊接温度以及材料变形历史, 从而影响焊接质量。目前针对搅拌摩擦焊接过程中的传质传热以及材料变形已有大量的前期工作<sup>[3-7]</sup>。在搅拌摩擦焊接中, 搅拌头的机械搅拌作用下, 搅拌区晶粒发生动态再

结晶, 在焊接温度场的作用下形成细小的等轴晶粒<sup>[8,9]</sup>, 这一过程由剧烈塑性变形与温度共同作用<sup>[10]</sup>, 对搅拌区晶粒变化的数值模拟可以为进一步的焊接质量控制奠定基础。Pan 等<sup>[11]</sup>采用光滑粒子法(SPH)模拟搅拌摩擦焊接过程, 结合经验公式模拟搅拌摩擦焊接过程中的晶粒变化。Buffa 等<sup>[12]</sup>采用热力耦合模型结合实验数据模拟了搅拌摩擦焊接过程中的相体积分数的变化情况, 并进一步研究了焊接参数的影响。Chang 等<sup>[13]</sup>通过对 AZ31 镁合金搅拌摩擦焊接的实验研究, 揭示了焊后搅拌区晶粒尺寸与 Zener-Hollomon 参数的关系。Gerlich 等<sup>[14]</sup>通过 Zener-Hollomon 参数估算了 5754 和 6061 铝合金在搅拌摩擦点