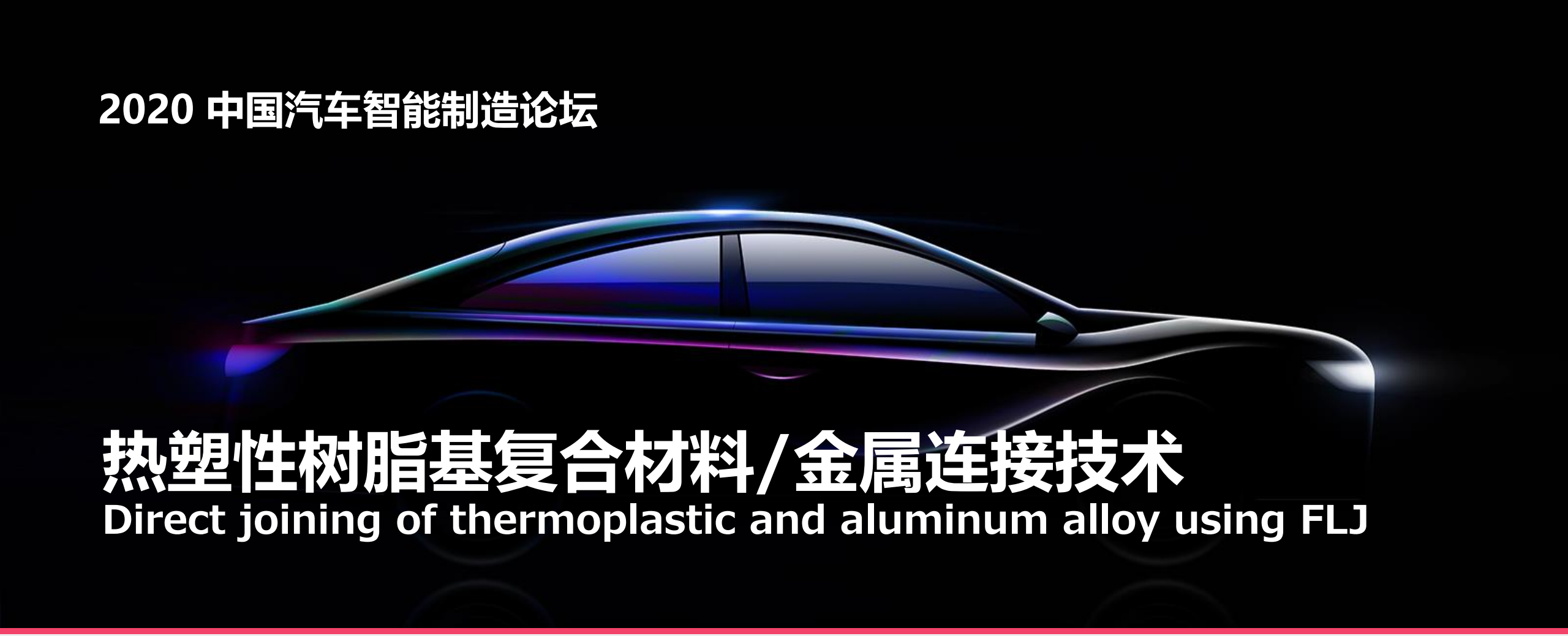
2020 中国汽车智能制造论坛



热塑性树脂基复合材料/金属连接技术

Direct joining of thermoplastic and aluminum alloy using FLJ

华南理工大学 机械与汽车工程学院

華南理工大學
South China University of Technology

華南理工大學
South China University of Technology

CONTENTS

1.研究背景

2.热塑性树脂基复合材料/金属焊接工艺

3.铝合金/热塑性树脂摩擦搭接焊工艺

4.激光辅助增强-摩擦搭接焊工艺

/01 研究背景

热塑性树脂材料

焊接工艺

“轻质轻量化”概念

- 在保证结构性能的同时将其**由繁变简**，**由重变轻**
- 采用**轻合金**或**高强树脂**等材料，在满足结构强韧性、耐疲劳性等的同时，减轻结构质量

减轻结构质量

节约经济成本

保证产品安全性能

研究背景

能源压力+环保压力

市场消费需求

汽车节能→降低排放

汽车大型化趋势明显、安全性能等的提升需求、智能化需求等带来配置增加

矛盾

产品整备质量下降

产品整备质量上升

- 中国2020年5.0L油耗
- 第六阶段排放标准

- 第四阶段油耗法规中目标值对应的整车基准质量段，由1205~1320kg提升至1320~1430kg

- 车辆增大趋势明显；
- 智联、娱乐配置增加

- 2010年~2014年，国产乘用车平均整备质量年均增重22kg

轻质轻量化：

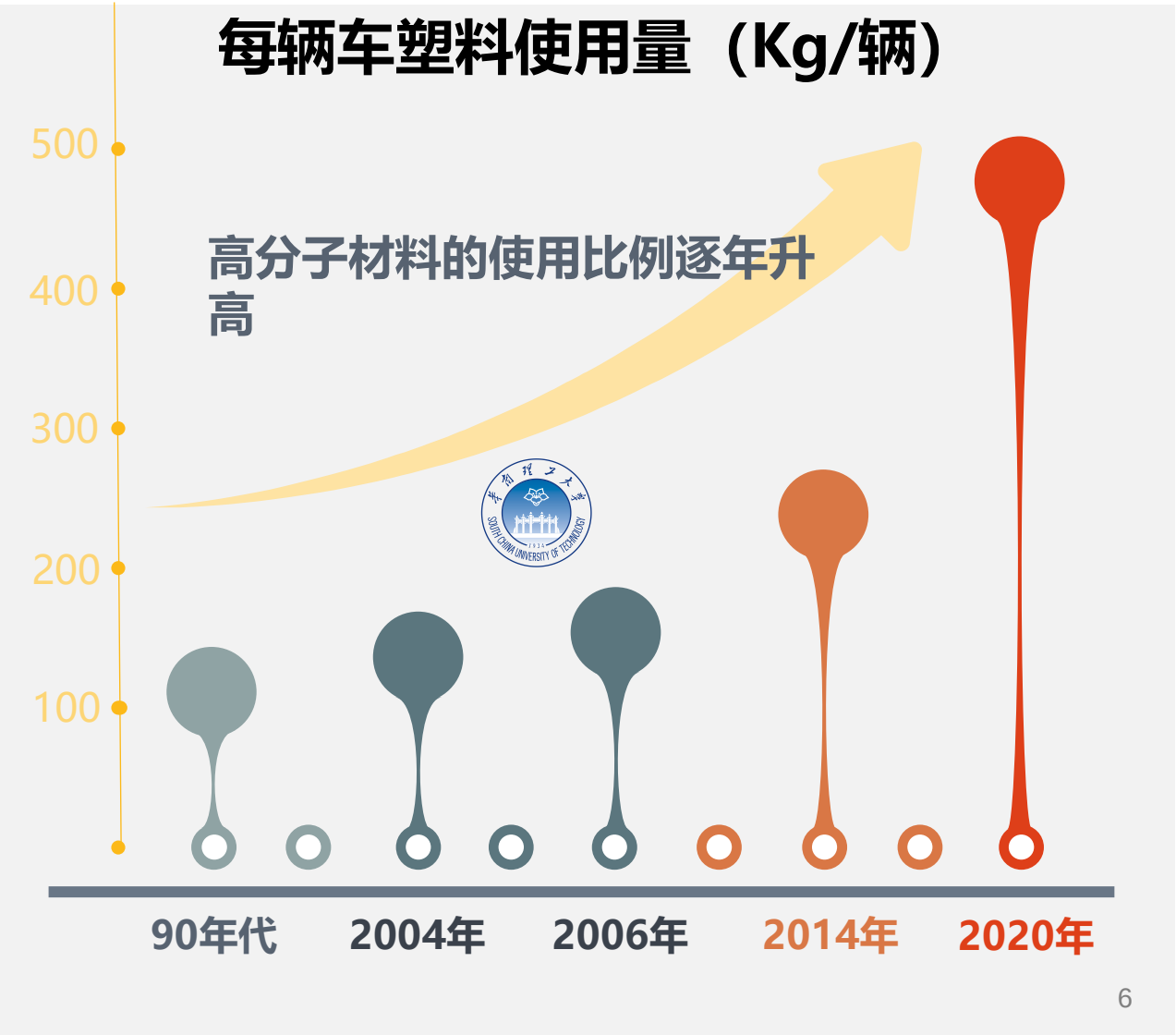
是解决节能环保与市场需求间矛盾的有效手段

研究背景

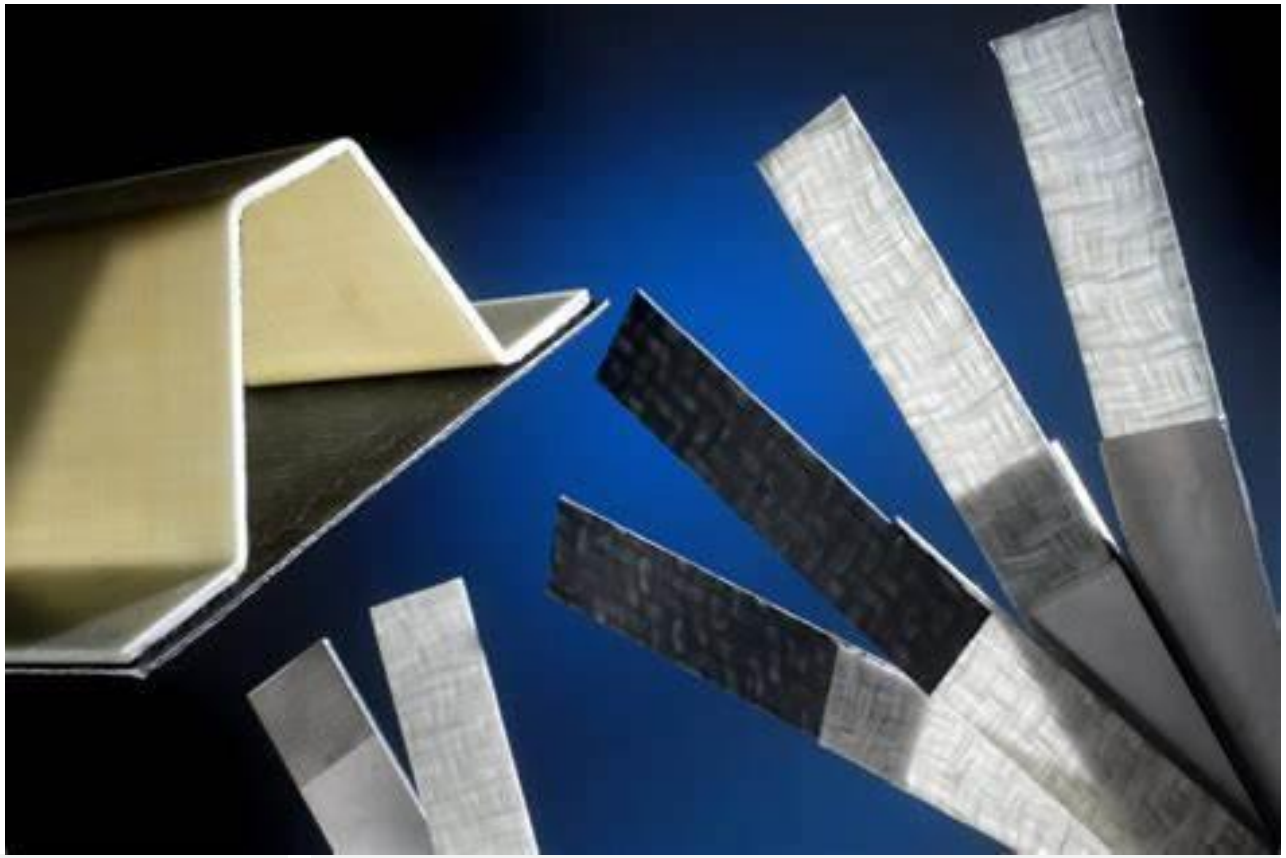
车辆轻量化研究主要是
轻质材料的应用和设计

铝合金应用典型实例：某品牌轿车

- ◆ 铝合金应用占车身重量比例75%
- ◆ 比同类车型减重约150kg



项目背景



- 高分子材料与铝合金材料的应用比例越来越高
- 异质材料的连接问题就越发突出

树脂（树脂基纤维增强复合材料）
与金属的连接结构

项目背景

热塑性树脂/金属传统连接工艺

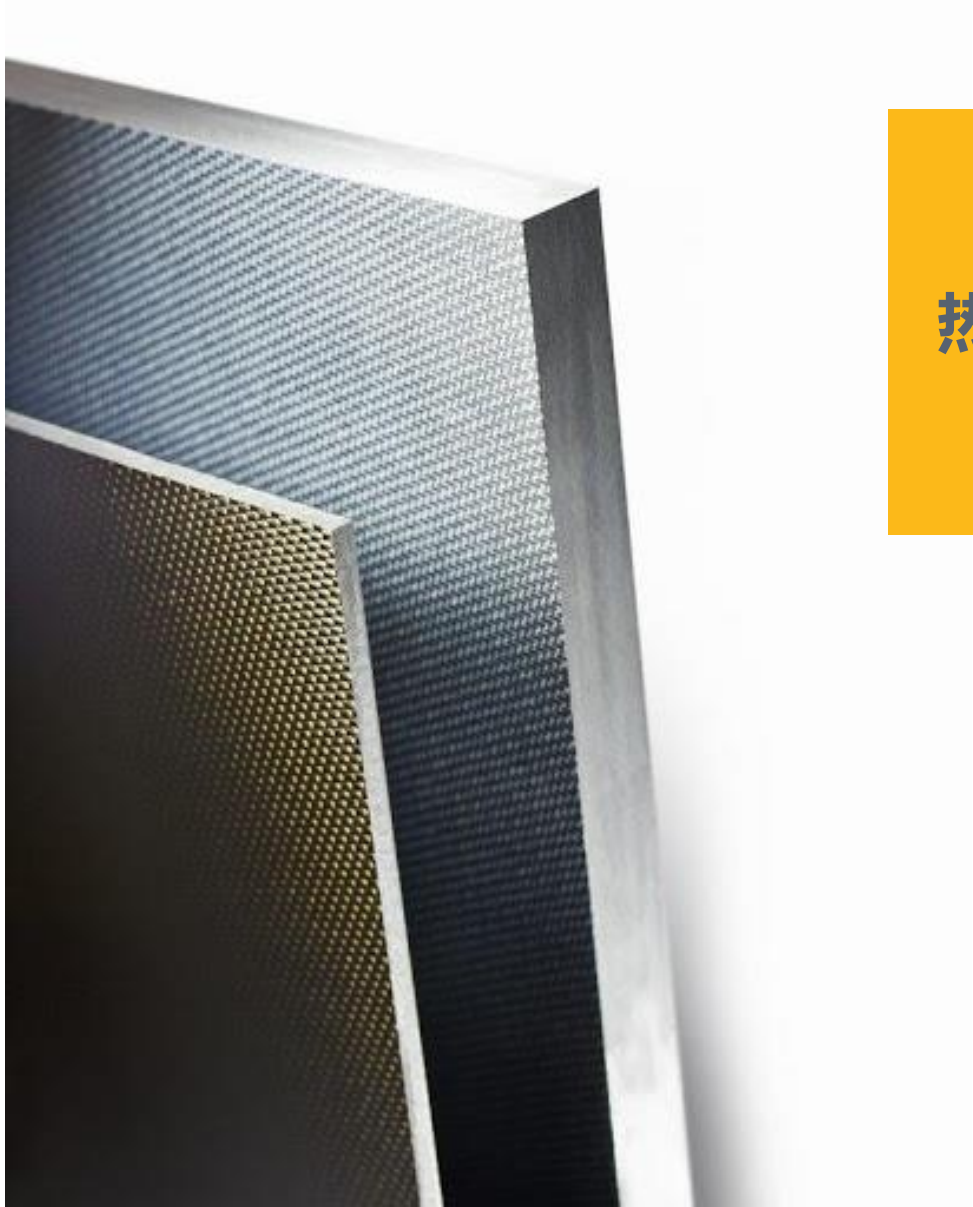
胶接

- ◆ 实用、有效、方便、快捷的连接技术
- ◆ 影响综合性能的因素包括：接头形式、胶粘剂的选择、表面处理方式、环境条件、表面预处理方法
- ◆ 连接性能易受环境影响-湿热老化
- ◆ 环境保护问题

机械紧固：螺栓连接 铆接

- ◆ 连接可靠、技术成熟、适用于传递较高载荷或强调可靠性的部位
- ◆ 增加重量
- ◆ 导致应力集中
- ◆ 电偶腐蚀问题

研究背景



热塑性树脂 —加热→ 熔化 —冷却→ 凝固

焊接被认为是传统的复合材料连接技术(例如机械紧固、胶接)的替代性选择

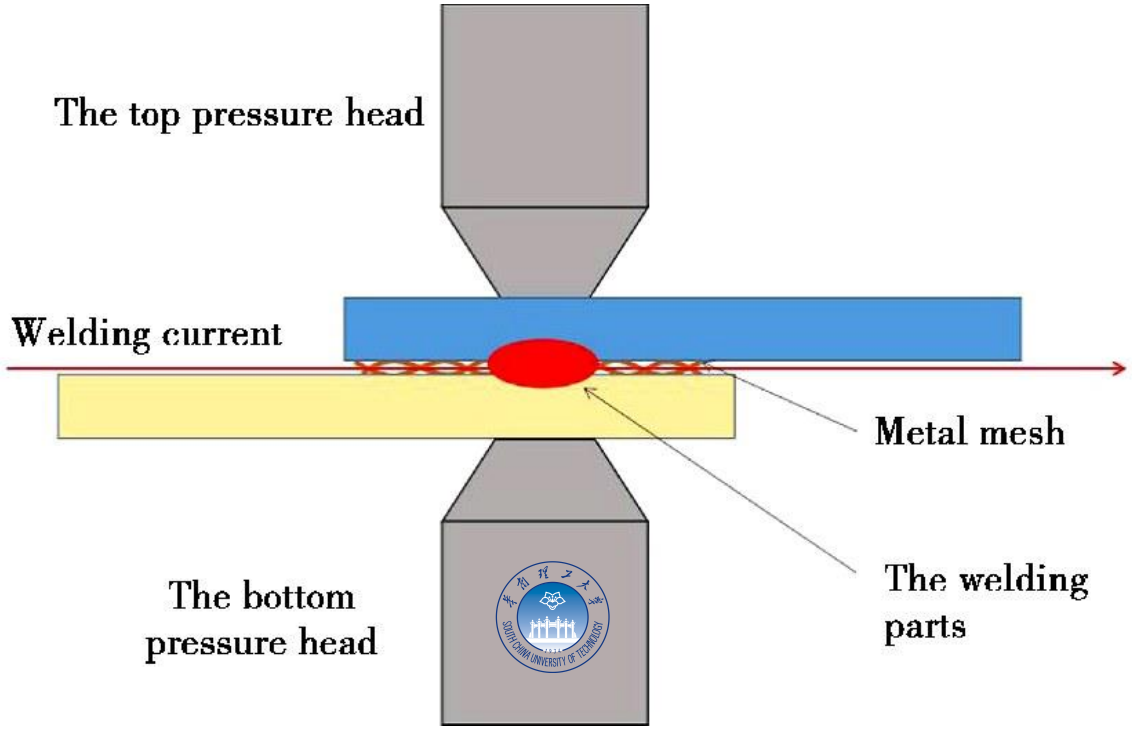
… …　… …

/02

热塑性树脂基复合材料焊接

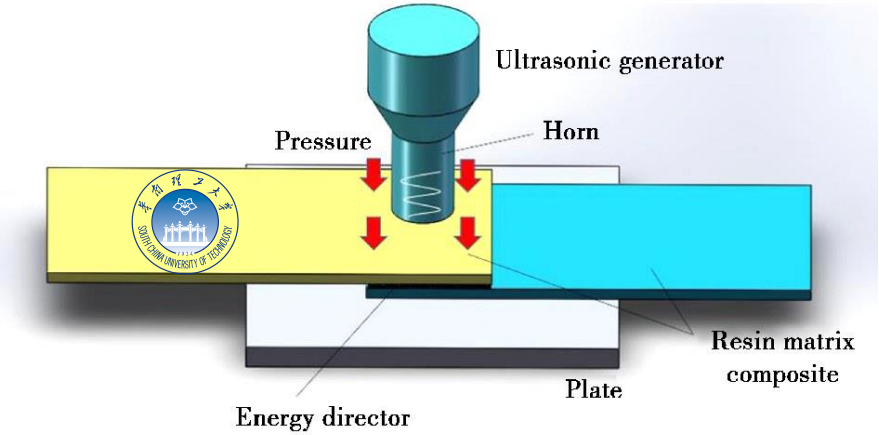
搅拌摩擦焊 激光焊 超声焊等

电阻焊



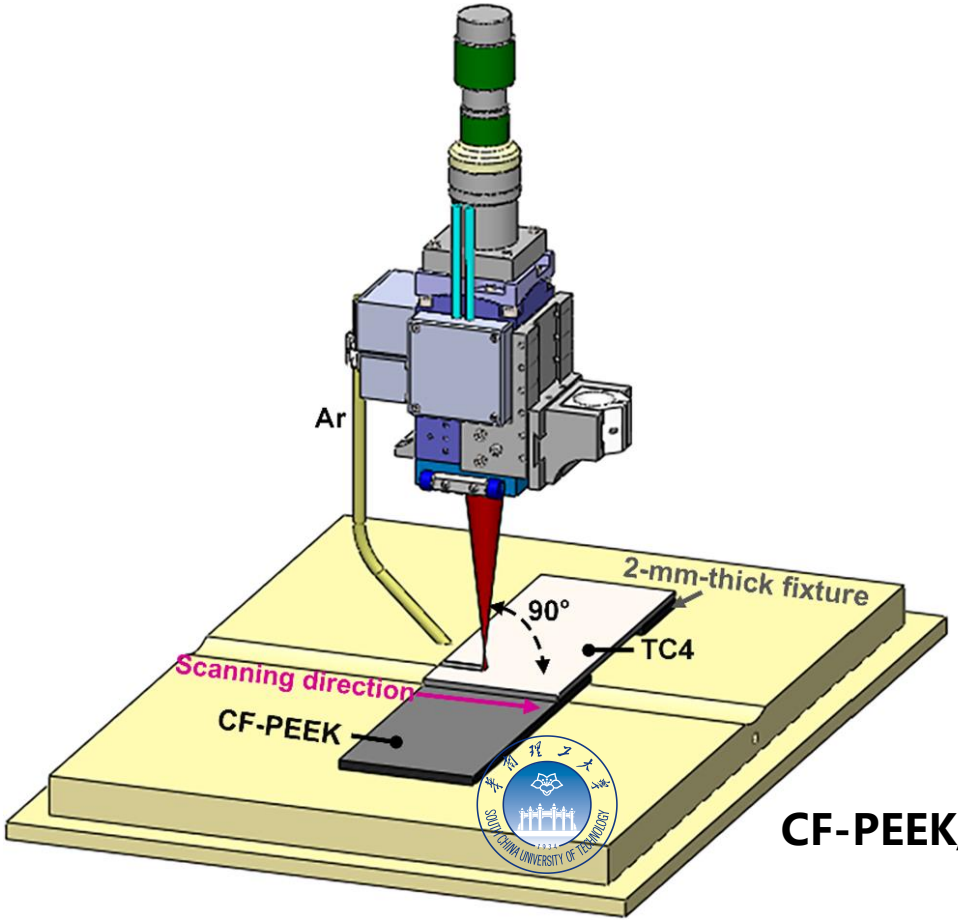
- 热塑性复合材料**最成熟**的焊接技术之一
- 当电流流过电阻元件(通常是金属网)时，焊接界面产生的热量使材料熔化，随后熔化的金属冷却凝固，从而实现焊接
- **优点**：设备简单灵活、不需要表面处理、费用低廉、工艺流程简单、接头强度高
- **缺点**：焊接接头引入了额外的物质，降低了接头的疲劳性能和电气性能的均匀性，以及材料的耐腐蚀性

超声焊

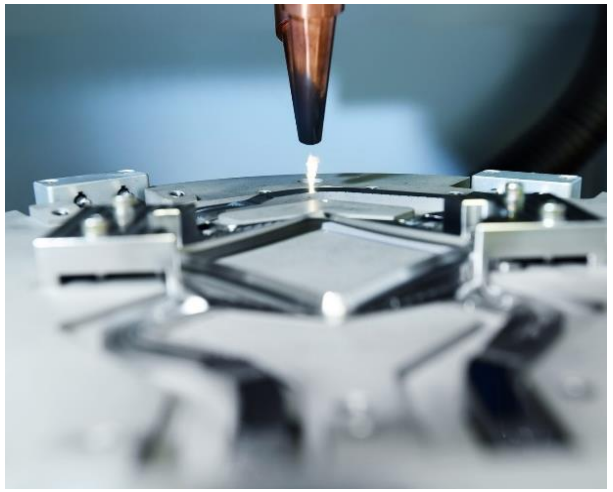


- 将超声频电源提供的电能转换为高频振动的机械能
- 优点：效率高、速度快、强度高、严谨性好、能耗较低、成本低廉、在应用后方便清洗、污染较小、焊接接头具有较高的稳定性
- **优点**：设备简单灵活、不需要表面处理、费用低廉、工艺流程简单、接头强度高
- **缺点**：点焊，接头尺寸限制

激光焊



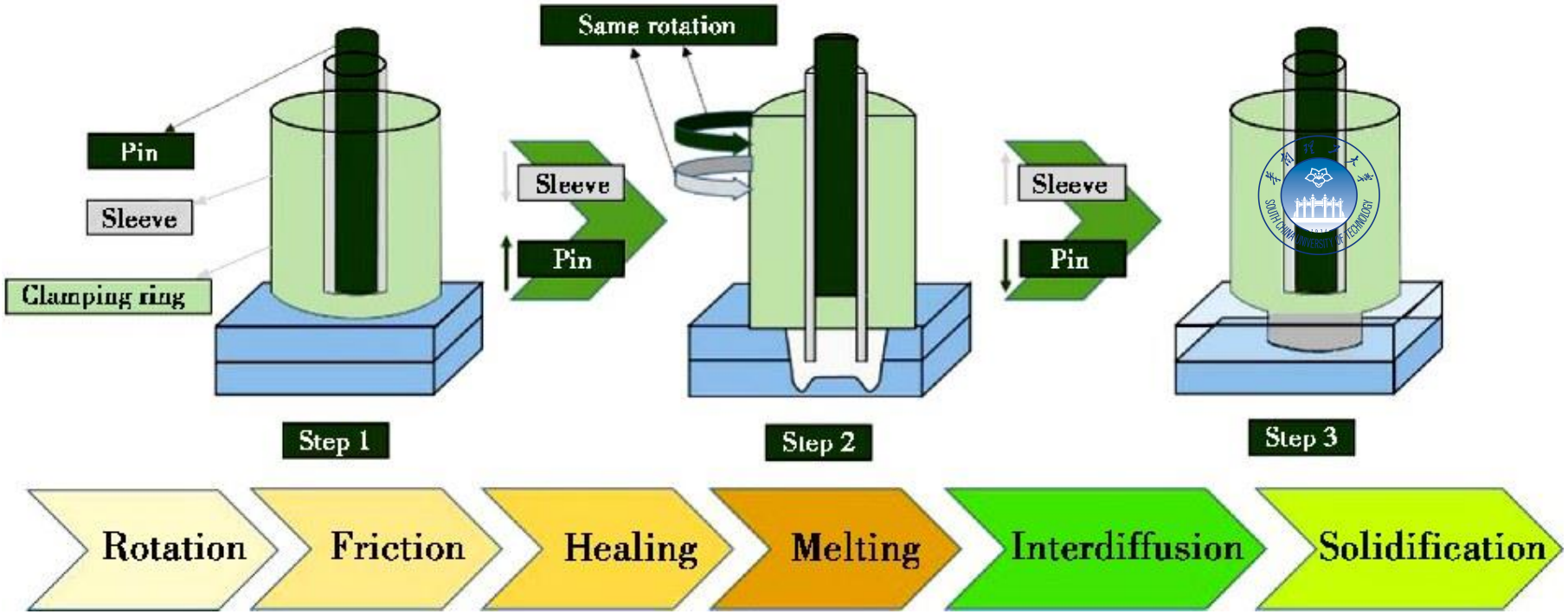
CF-PEEK/TC4 激光搭接焊



激光焊

- 优点：效率高、强度大
- 缺点：焊接参数过多

回填式搅拌摩擦点焊

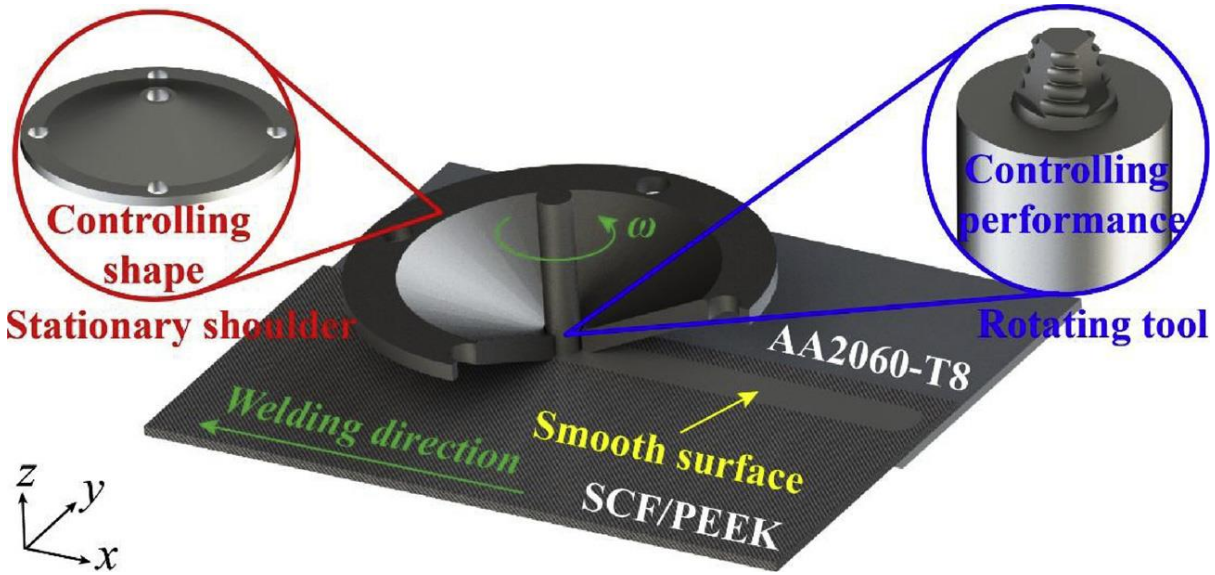


德国HZG研究中心开发的一种新技术

利用旋转工具和工件之间的摩擦来产生足够的热量，以使大分子相互扩散穿过接头结合的界面，从而形成焊缝 。

缺点：点焊，接头尺寸限制

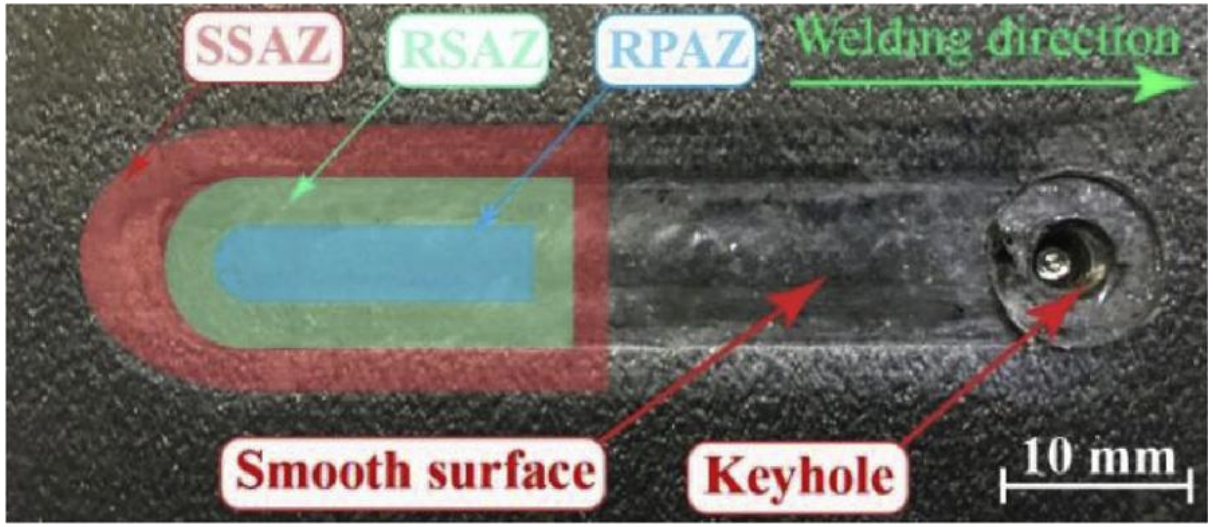
搅拌摩擦焊



哈尔滨工业大学提出：

三面锥形搅拌头

可调角度静轴肩

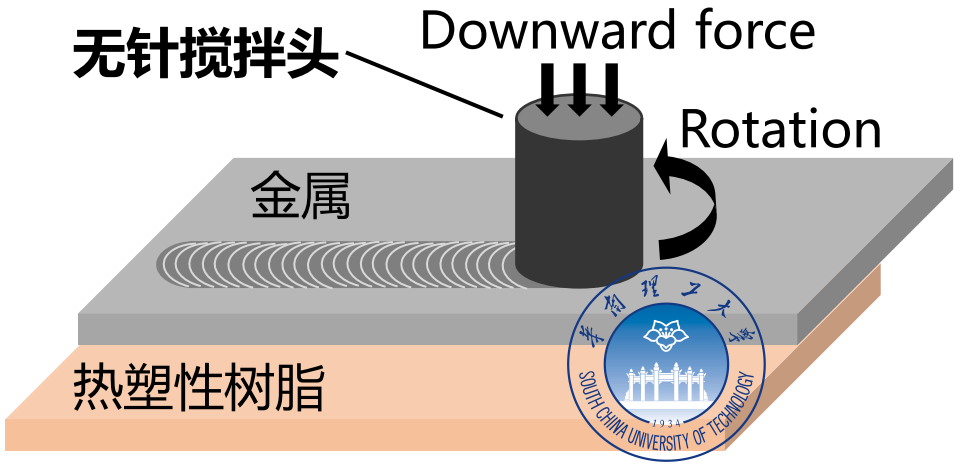


防止树脂材料溢出焊缝，并使它们回流到熔核区域，从而获得良好的表面完整性。

/03 铝合金/热塑性树脂摩擦搭接焊工艺

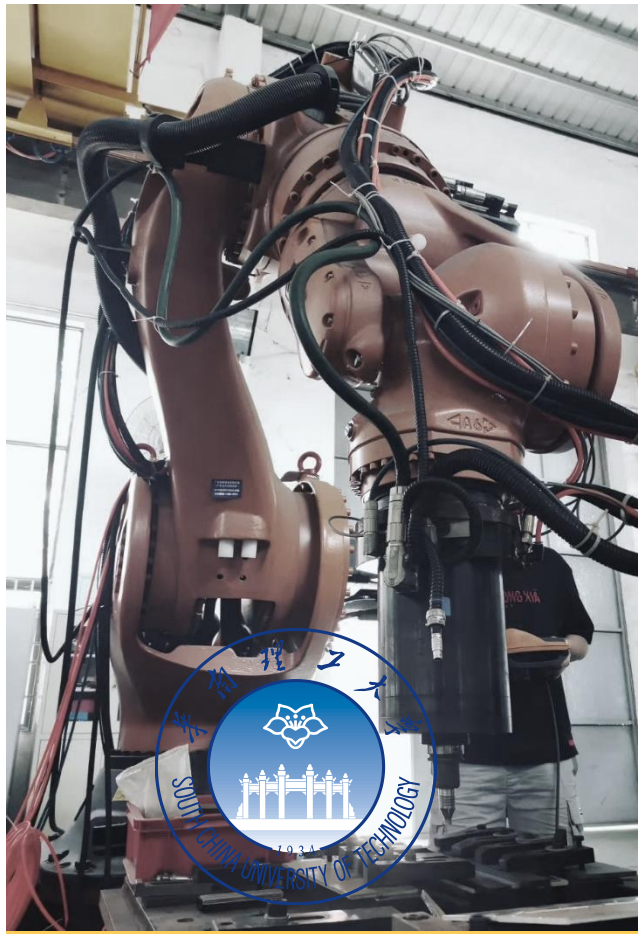
摩擦搭接焊 ABS 连接机理

铝合金/热塑性树脂摩擦搭接焊



摩擦搭接焊

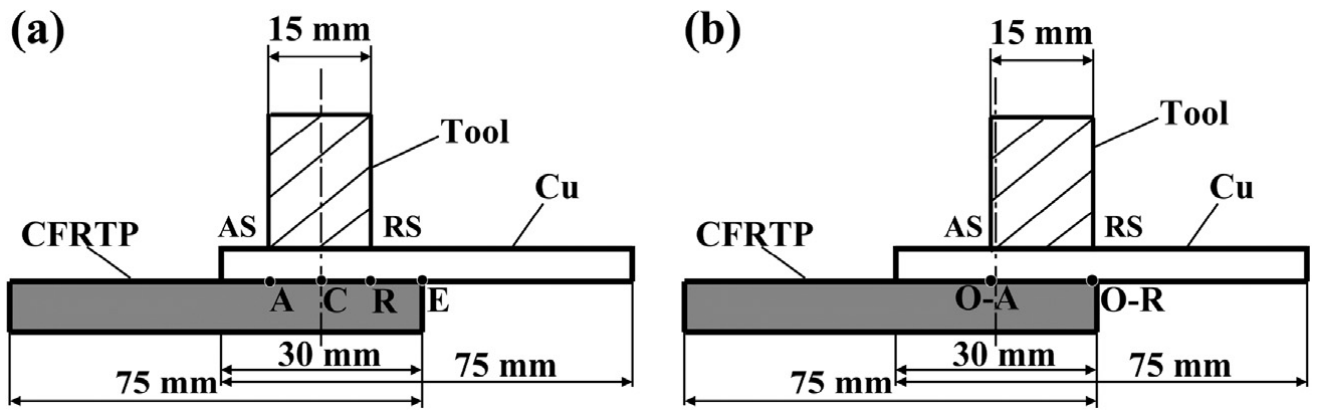
- 日本大阪大学提出
- 新型的热塑性复合材料/金属连接工艺
- 无针搅拌头
- 搅拌头下压、高速转动
- 金属与搅拌头摩擦产热，热传导
- 热塑性树脂熔化-凝固



搅拌摩擦焊设备

无针搅拌头

铝合金/热塑性树脂摩擦搭接焊

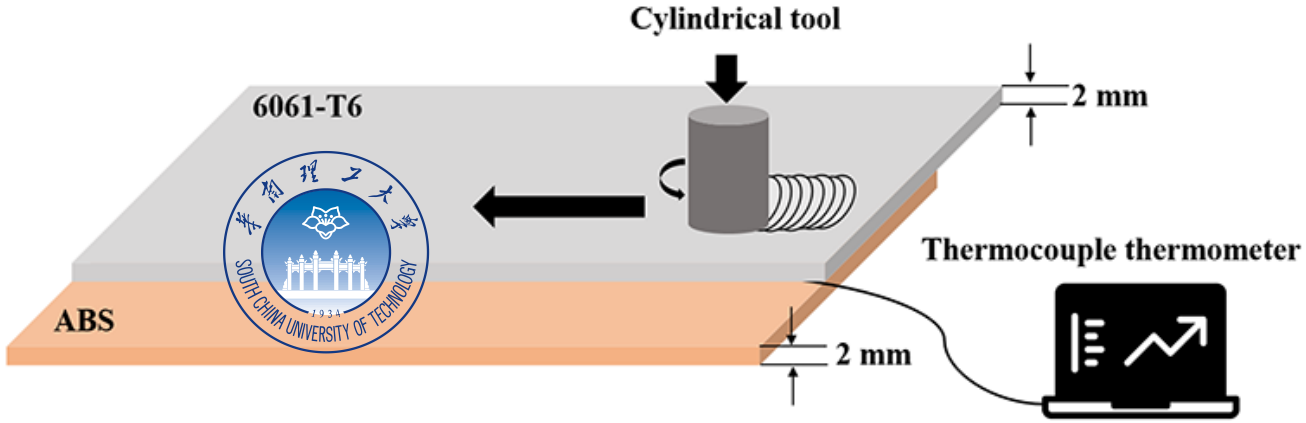


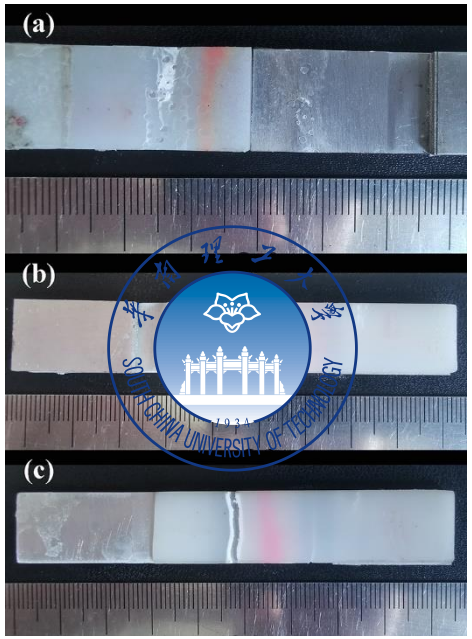
日本大阪大学

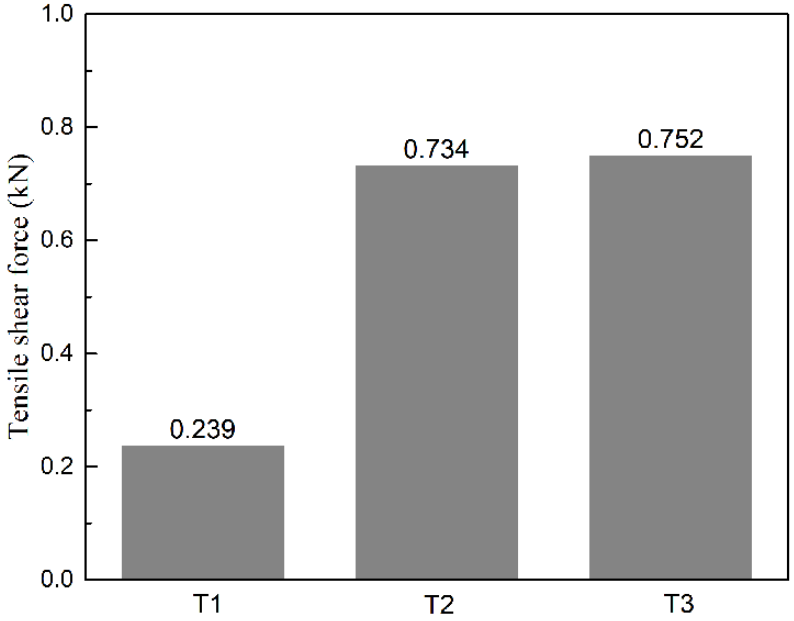
热塑性复合材料/金属摩擦搭接焊工艺改进

- 搅拌头偏移
- 调控接头温度分布
- 接头连接面积增加、气泡减少
- 连接强度提高

铝合金/热塑性树脂摩擦搭接焊







华南理工大学焊接团队

实现ABS/铝合金摩擦搭接焊工艺

- 获得高强度的ABS/铝合金摩擦搭接焊接头
- 揭示了连接机理：铝合金表面氧化镁和ABS极性基团形成氢键连接

/03

激光辅助增强-摩擦搭接焊工艺

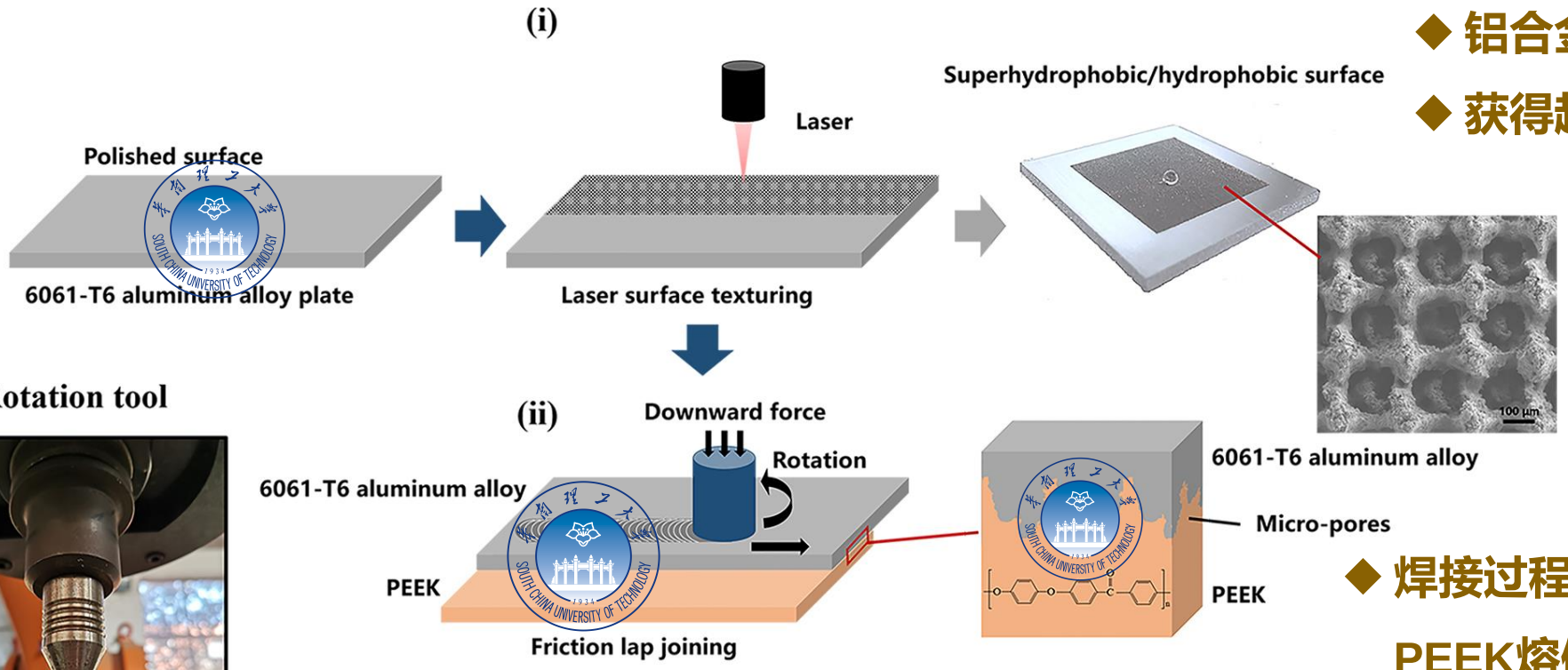
激光辅助

微纳双尺度表面结构

激光辅助增强-摩擦搭接焊工艺

华南理工大学焊接团队 首次实现PEEK和铝合金的摩擦搭接焊连接

PEEK非极性树脂 无法和金属氧化物产生氢键连接

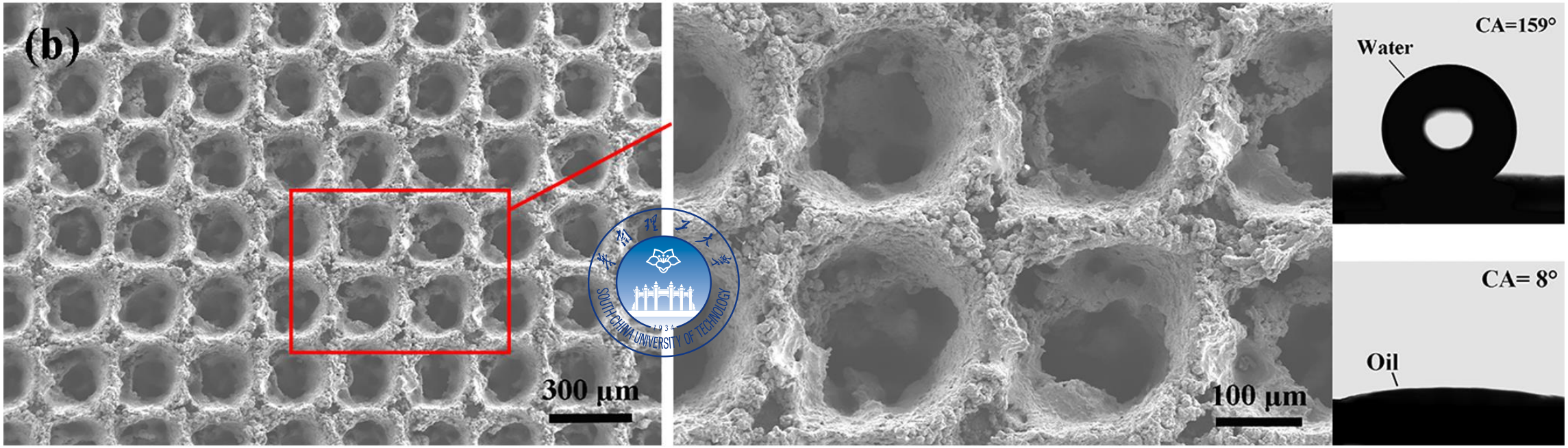


Rotation tool

- 铝合金表面激光纹路化处理
- 获得超疏水铝合金表面
- 利用无针搅拌头进行PEEK和铝合金的搅拌摩擦焊连接
- 焊接过程中，超疏水表面促进PEEK熔体的润湿和铺展
- PEEK熔体填充孔隙
- 提高连接面积和连接强度

激光辅助增强-摩擦搭接焊工艺

激光加工：微米-纳米双级铝合金表面结构：PEEK熔体润湿铺展

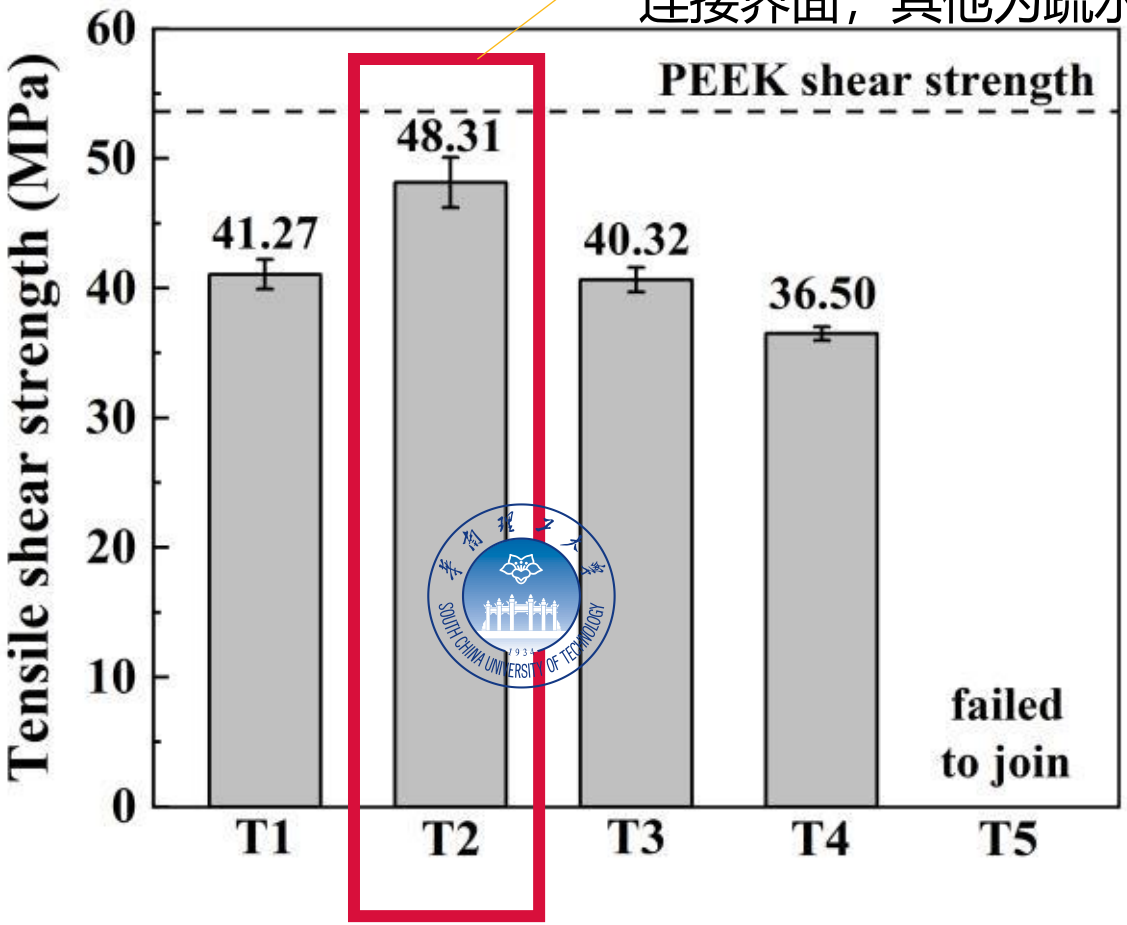


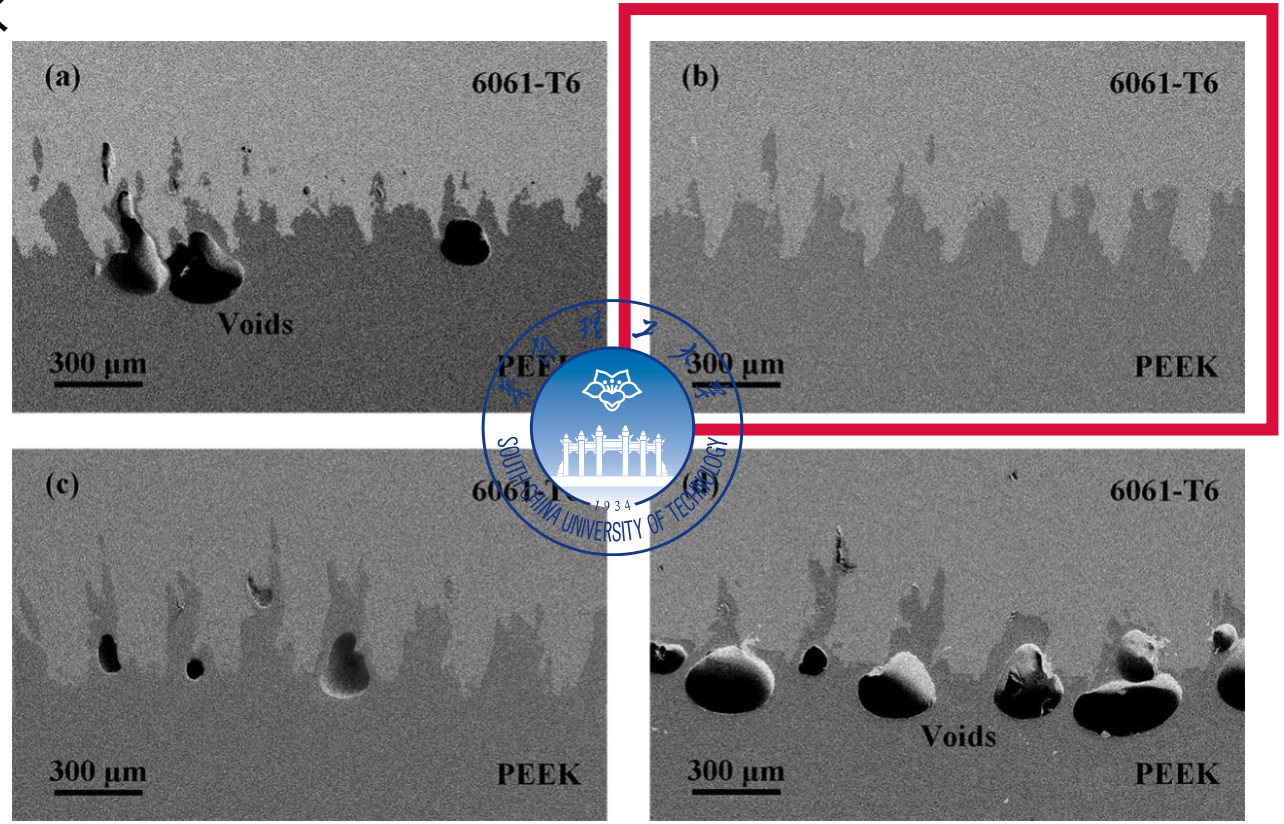
微孔阵列	纳米颗粒	超疏水

微孔阵列和纳米颗粒构成的微米-纳米双级铝合金表面结构

激光辅助增强-摩擦搭接焊工艺

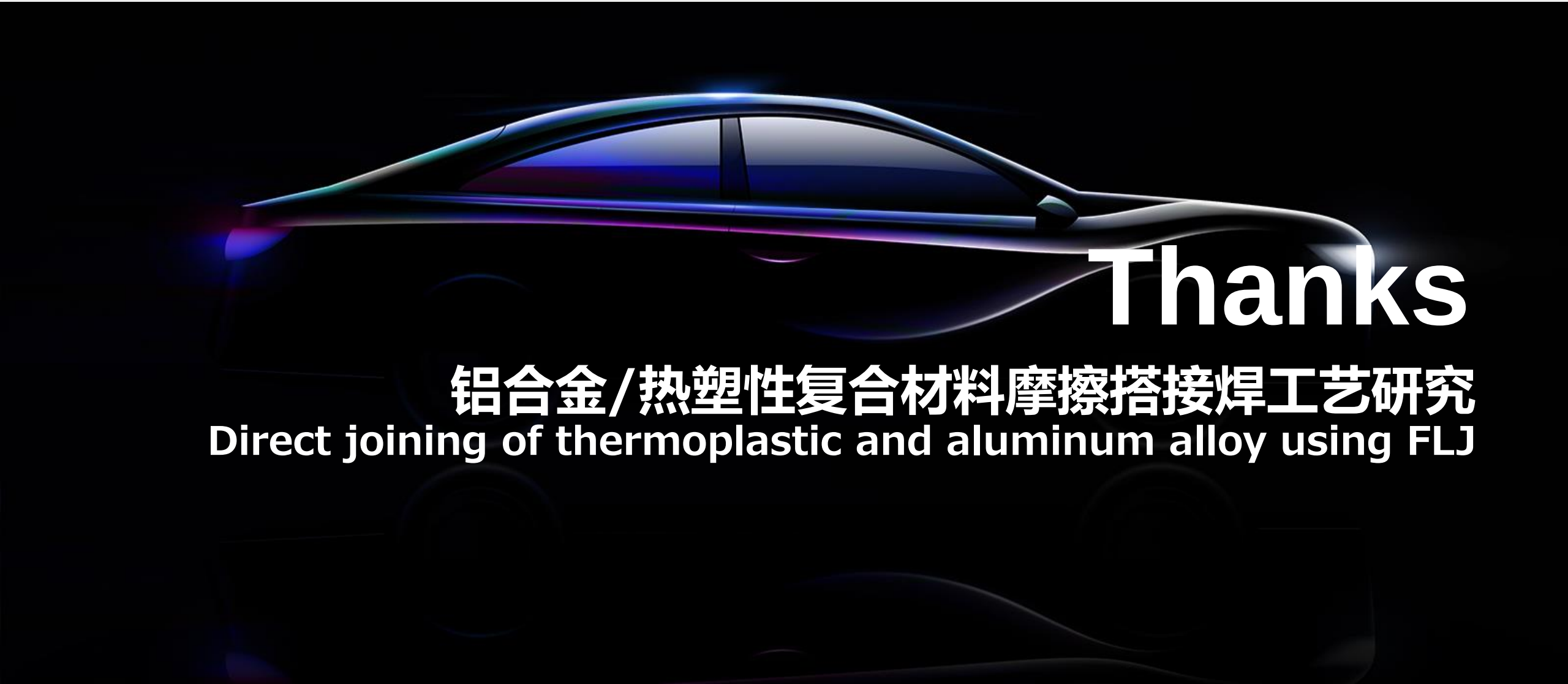
超疏水铝合金表面构成的
连接界面，其他为疏水





超高强度PEEK/铝合金接头

连接界面无孔洞



Thanks

铝合金/热塑性复合材料摩擦搭接焊工艺研究

Direct joining of thermoplastic and aluminum alloy using FLJ

博学 慎思 明辨 笃行

广东省
智能焊接制造装备及机器人工程技术研究中心
简　　介

王振民　教授

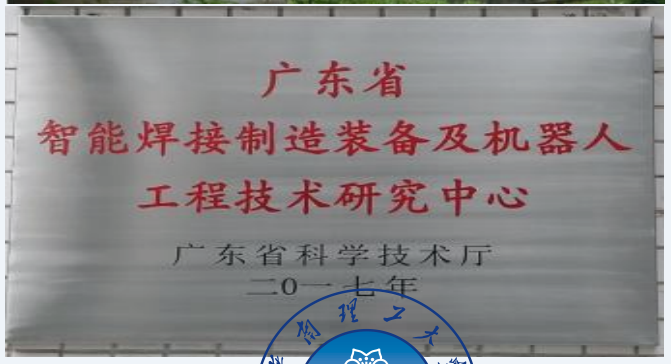
华南理工大学·广州·五山

2020.07

（一）中心成立背景及目标

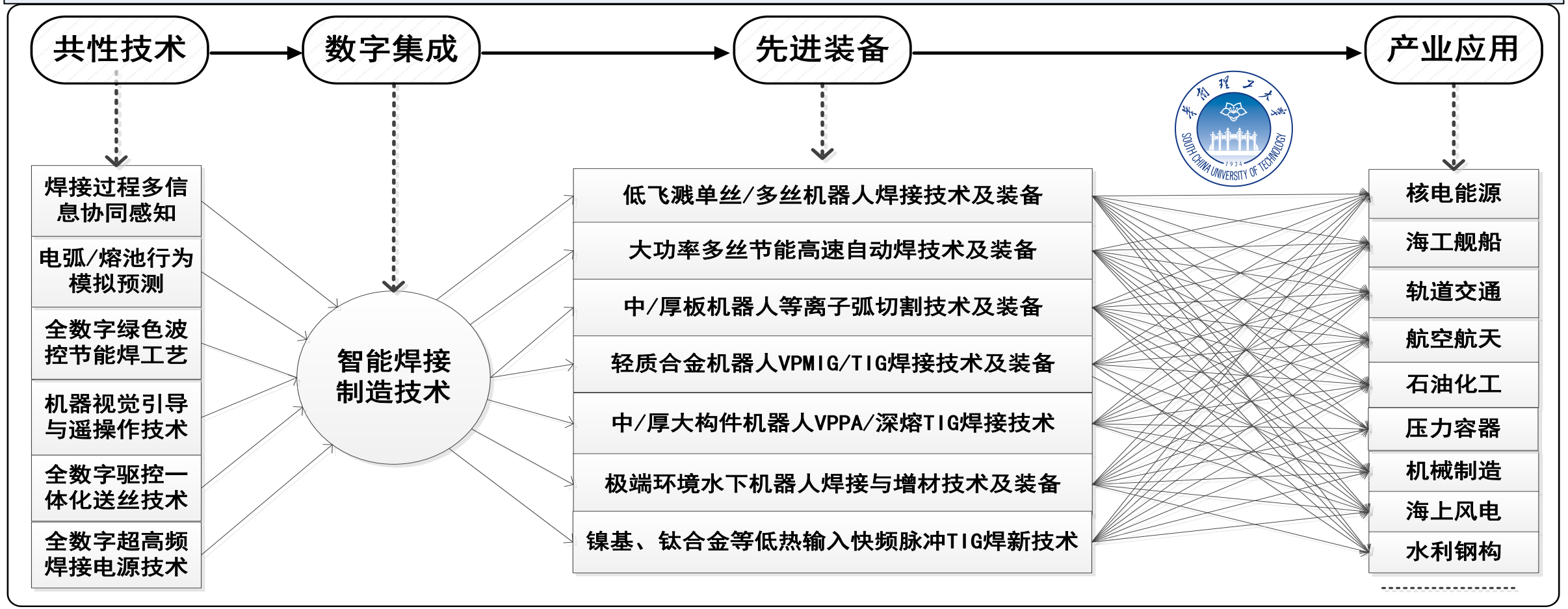
广东省智能焊接制造装备及机器人工程技术研究中心是经广东省科技厅批准的省级技术研发机构，是核电智能装备与机器人技术创新联盟的发起单位和理事单位。

中心旨在推动人工智能与高端焊接制造装备的深度融合，提升焊接制造装备的数字化、自动化和智能化水平，推动科技成果的快速转化。

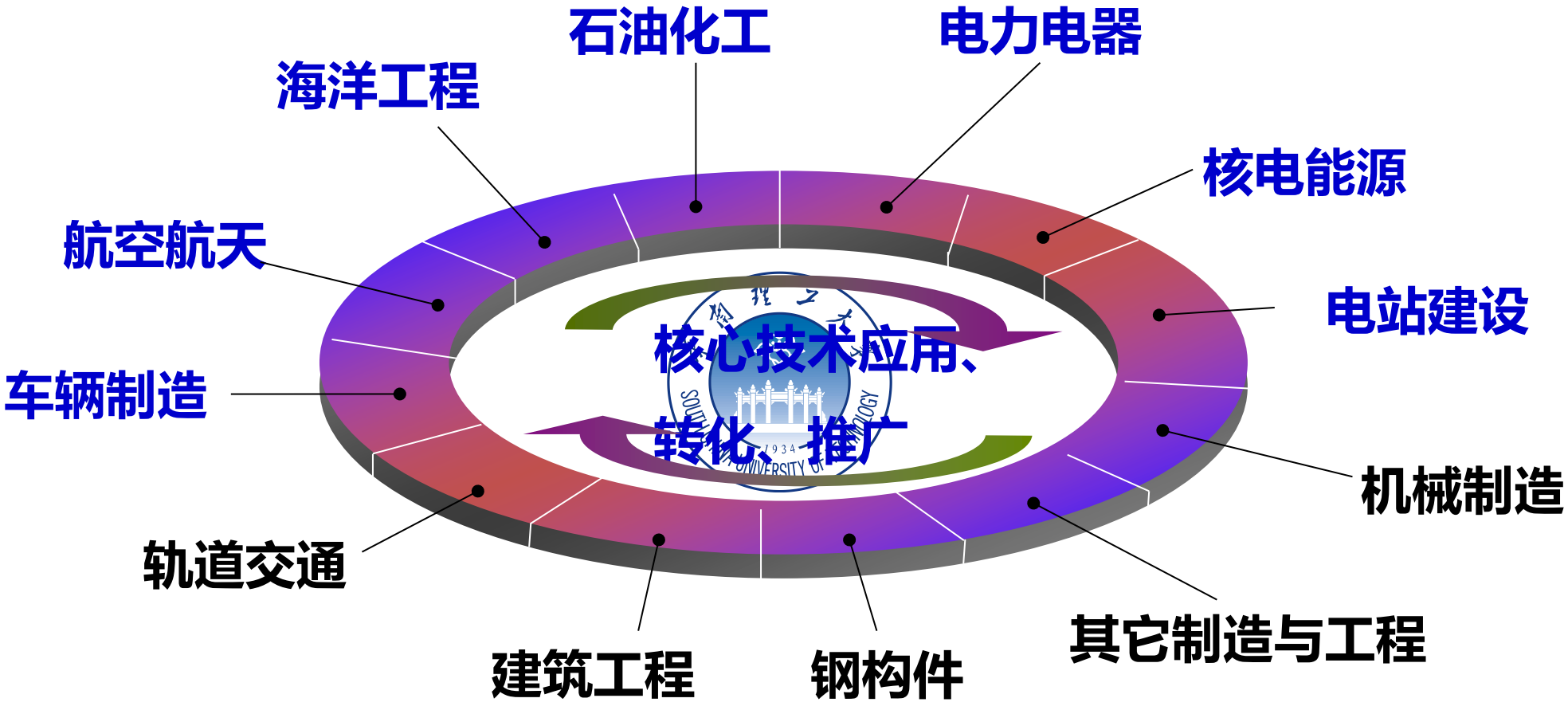


（二） 中心主要研究方向

将人工智能与焊接工艺有机结合，以机器人为主要载体，以高性能焊接电源为核心，集成智能化焊接制造装备，实现高效焊接成形与精确控性。主要包括：



（三） 技术成果推广应用情况



研究成果被科技日报作为35项卡脖子技术之一（第28项）在头版进行了重点报道；

被《是什么卡住了我们的脖子》一书以“聚焦中国亟待攻克的核心技术“进行介绍。

传承、创新、合作、发展

敬请各位专家领导批评指导！