

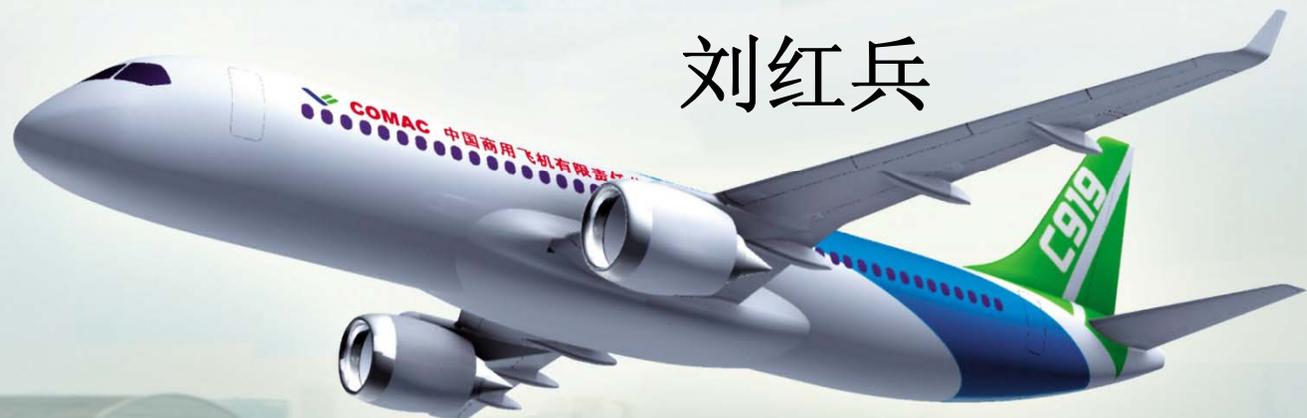


上海飞机制造有限公司  
SHANGHAI AIRCRAFT MANUFACTURING CO.,Ltd.

# C919大型客机先进焊接技术研究

——中国商飞 上海飞机制造有限公司

刘红兵



# OUTLINE



背景介绍

先进焊接技术介绍

C919设计中焊接工艺

大客焊接技术研究进展

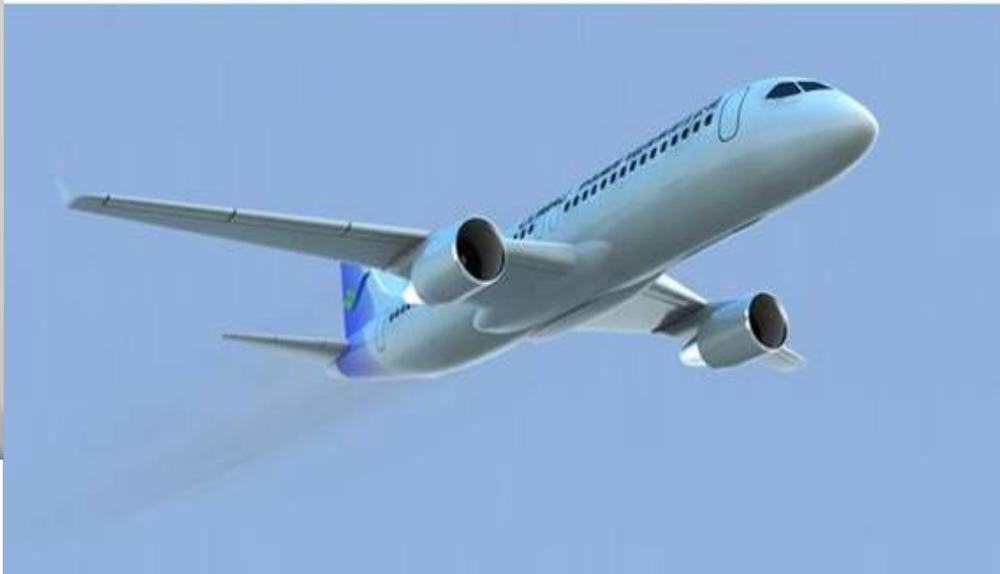


## 中国商飞大型客机项目



**ARJ21-700**飞机首飞成功

2002年11月立项；  
2007年11月首飞；  
**2011**年底交付？



**C919**大型客机效果图

2008年立项；  
2012年12月设计冻结；  
2014年12月首飞；  
**2016**年底交付

背景介绍



先进焊接技术介绍

C919设计中焊接工艺

大客焊接技术研究进展



## ➤ 民用飞机发展需求



- 降低系统制造成本、减重



- 提高飞机制造效率

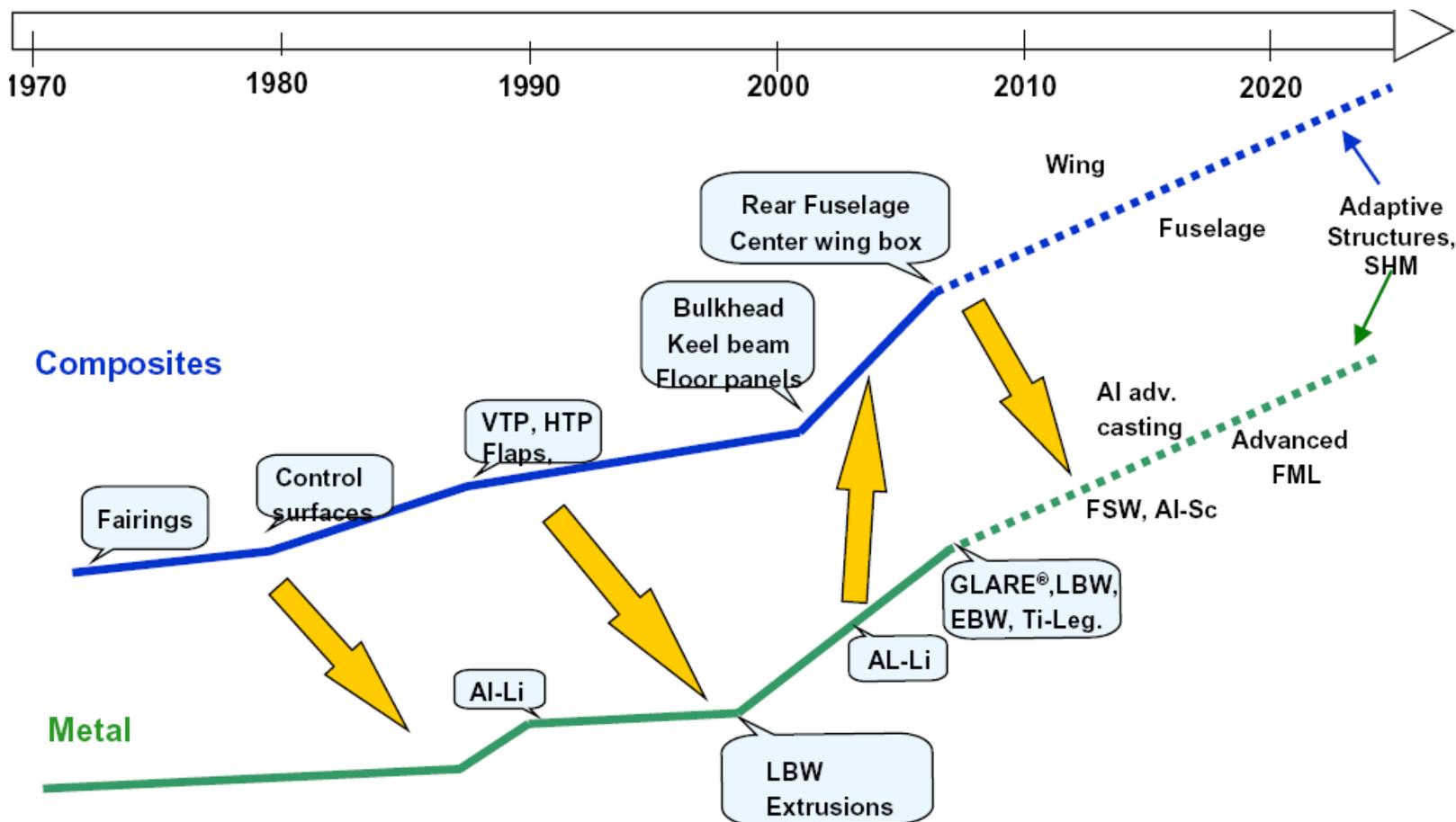


- 为飞机设计提供新的方法和途径

➤ 目前飞机性能和寿命要求越来越高，新材料、新工艺、新结构不断出现。

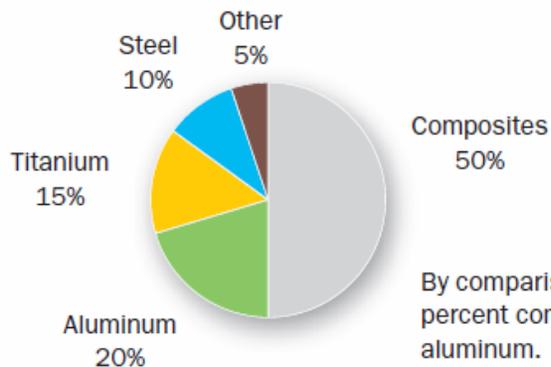


## 民用飞机先进材料使用情况



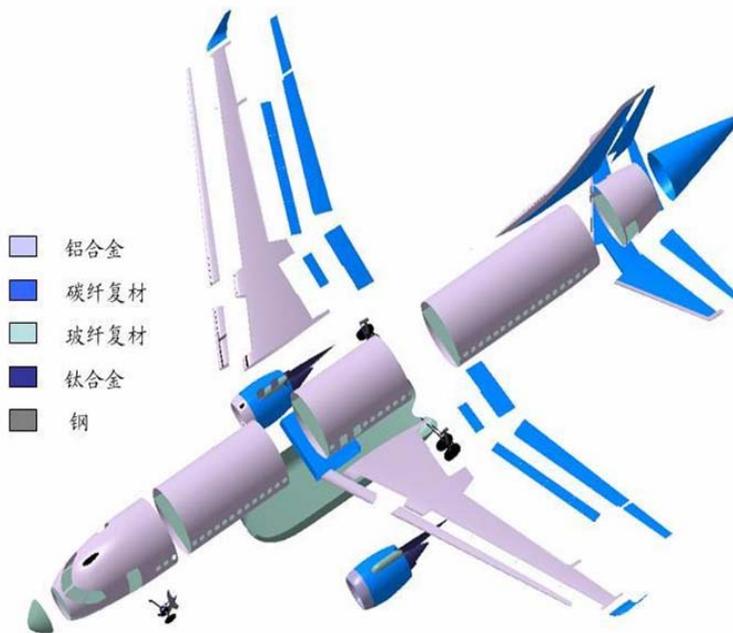
Metal and CFRP solutions keep challenging each other

## 民机中的材料使用情况

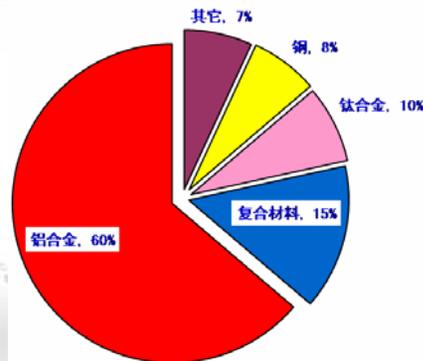


By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

# B787



- 铝合金
- 碳纤维复材
- 玻纤复材
- 钛合金
- 钢

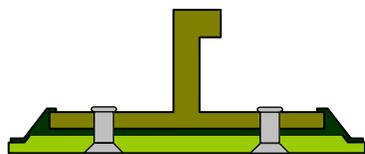


# C919

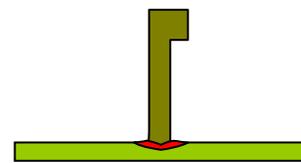
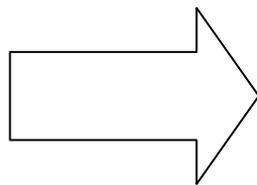
## 民用飞机先进制造技术（连接技术）



整体机加

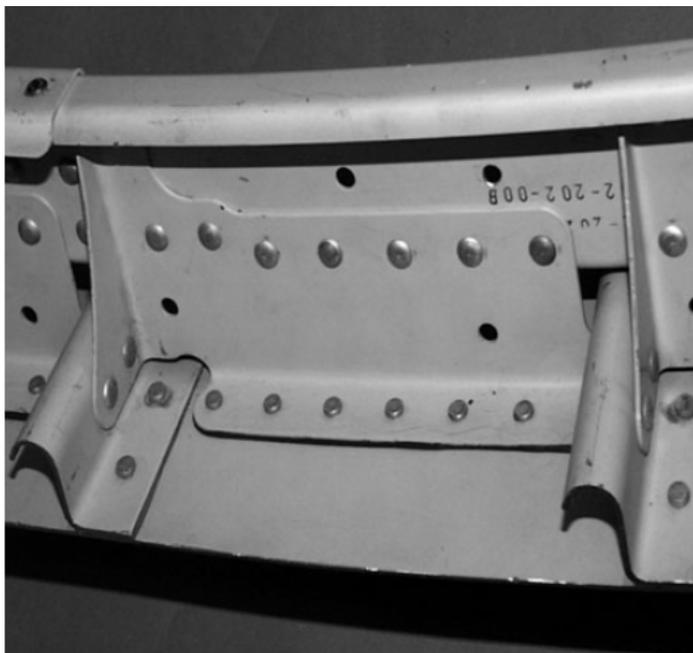


铆接

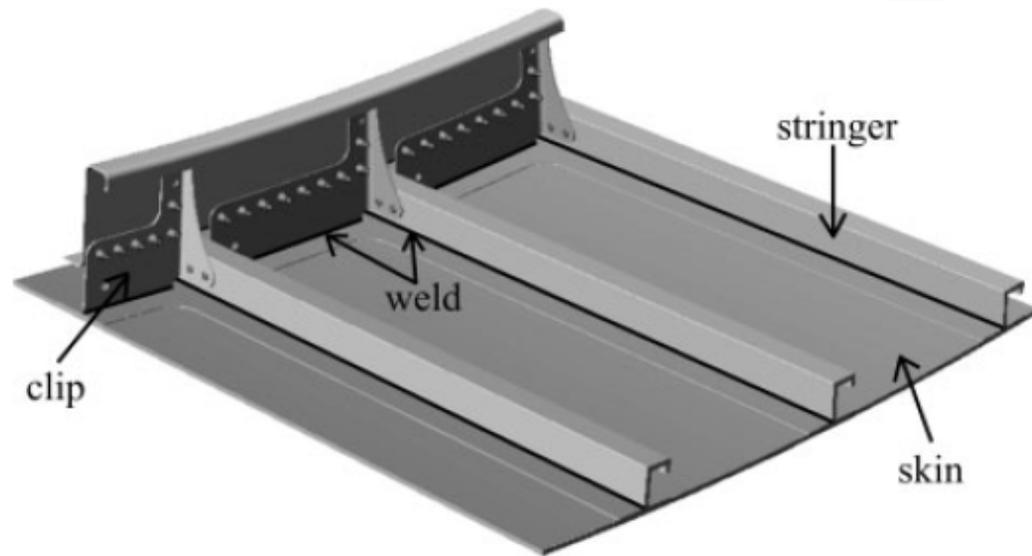


焊接

焊接技术是发展趋势之一

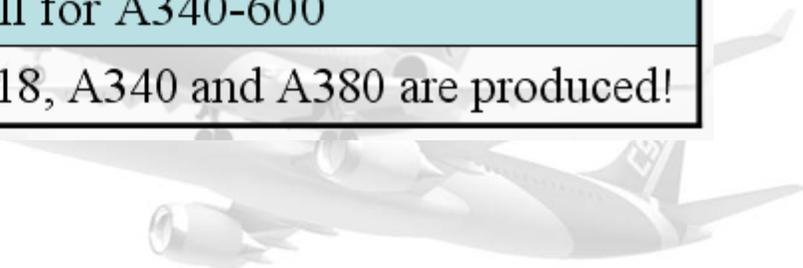


以焊接代替铆接，减轻重量



## ➤ 激光焊接技术发展历程

1989	Russian publication: Idea for skin-stringer welding
1991-94	Feasibility Study
1992	Design-to-Cost investigations on skin-stringer connections
1994-96	Stability of the process
1995-98	Process Development, Seam Properties
1997	LBW-Equipment in Nordenham: Production Implementation
July 1999	Start of qualification for A318-Shell
January 2001	Approval 1st production shell for A318
March 2003	Approval 1st production shell for A380
April 2004	Approval 1st production shell for A340-600
2010	More than 1200 shells for A318, A340 and A380 are produced!



## ➤ 激光焊接技术参研单位



CO<sub>2</sub>激光器



德国不莱梅射线研究所



数控机床



LZH  
LASER ZENTRUM HANNOVER e.V.

德国汉诺威激光研究所



质量监测



德国亥姆霍兹联合会



传感系统



德国Fraunhofer 材料与射线研究所



德国Fraunhofer 激光技术研究所

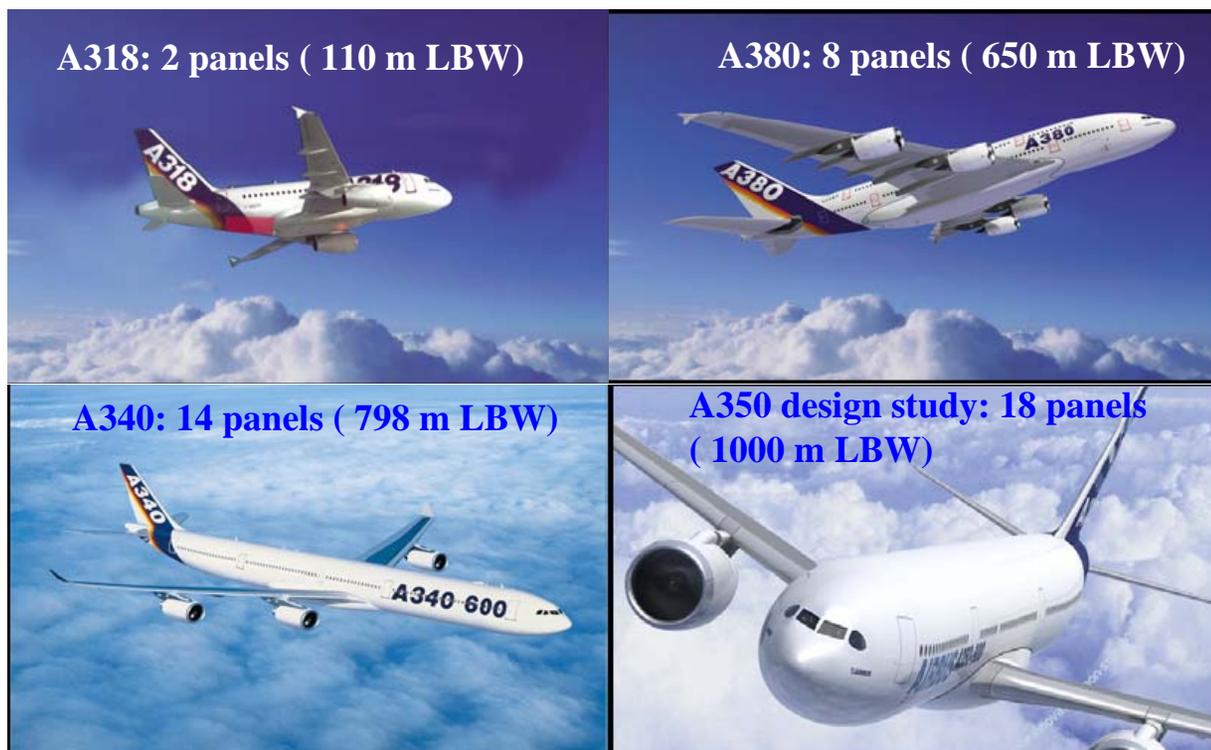


## ➤ 激光焊接生产在航空工业中广泛应用

- A380机身壁板采用的6056/6013激光焊接结构设计;
- 该结构由于省去加筋条用于与蒙皮连接的弯边;
- 减少5%-10%的结构重量;
- 降低成本15%。



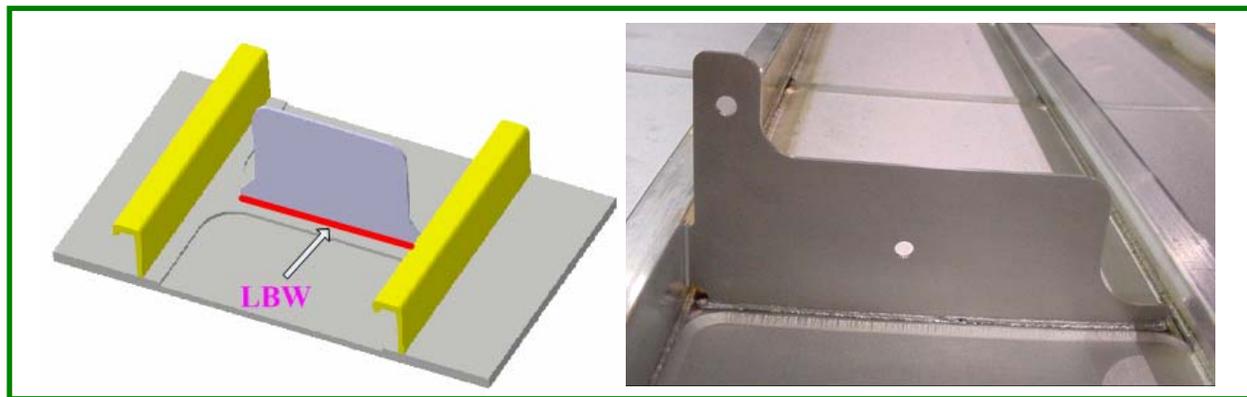
## ➤ 激光焊接生产在航空工业中广泛应用



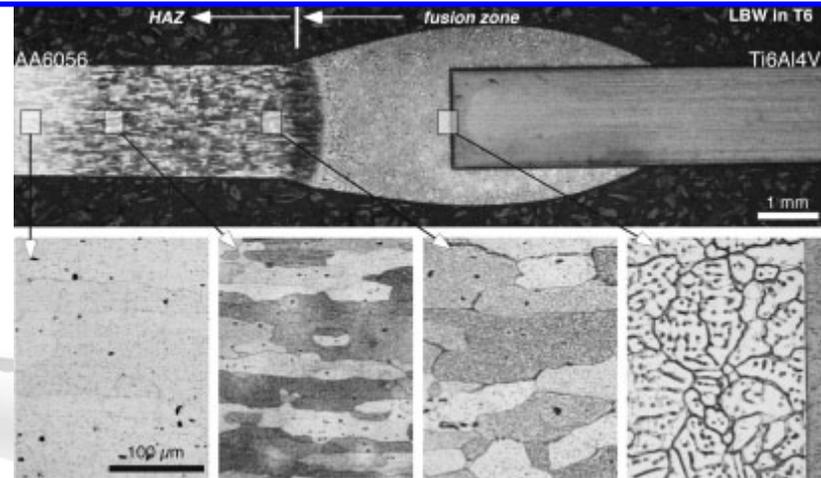
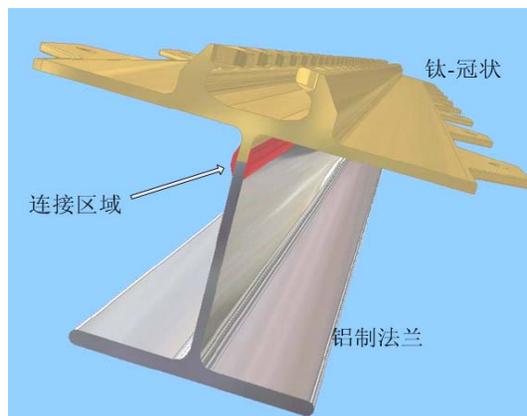
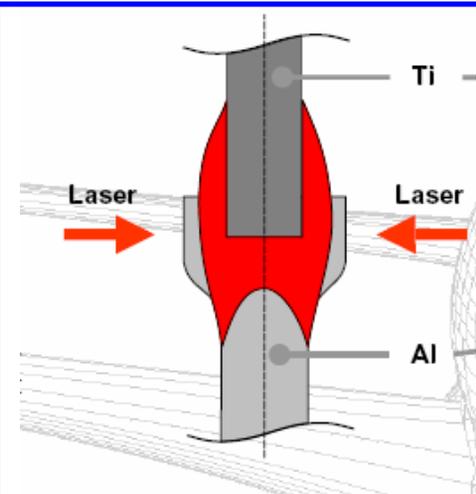
空客公司激光焊接机身壁板使用情况



## ——其它应用



机身壁板长桁与角片的激光焊接



采用激光焊接Al-Ti异种材料的座椅滑轨

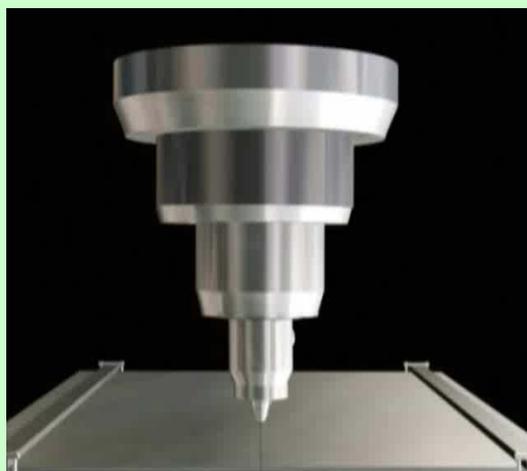
## ➤ 搅拌摩擦焊接技术



常规熔焊方法焊接铝合金时，容易出现气孔、夹渣、裂纹等焊接缺陷，焊接质量稳定性差，且现场作业环境极恶劣（强辐射、高温、烟雾、飞溅）。

1991年，英国焊接研究所获搅

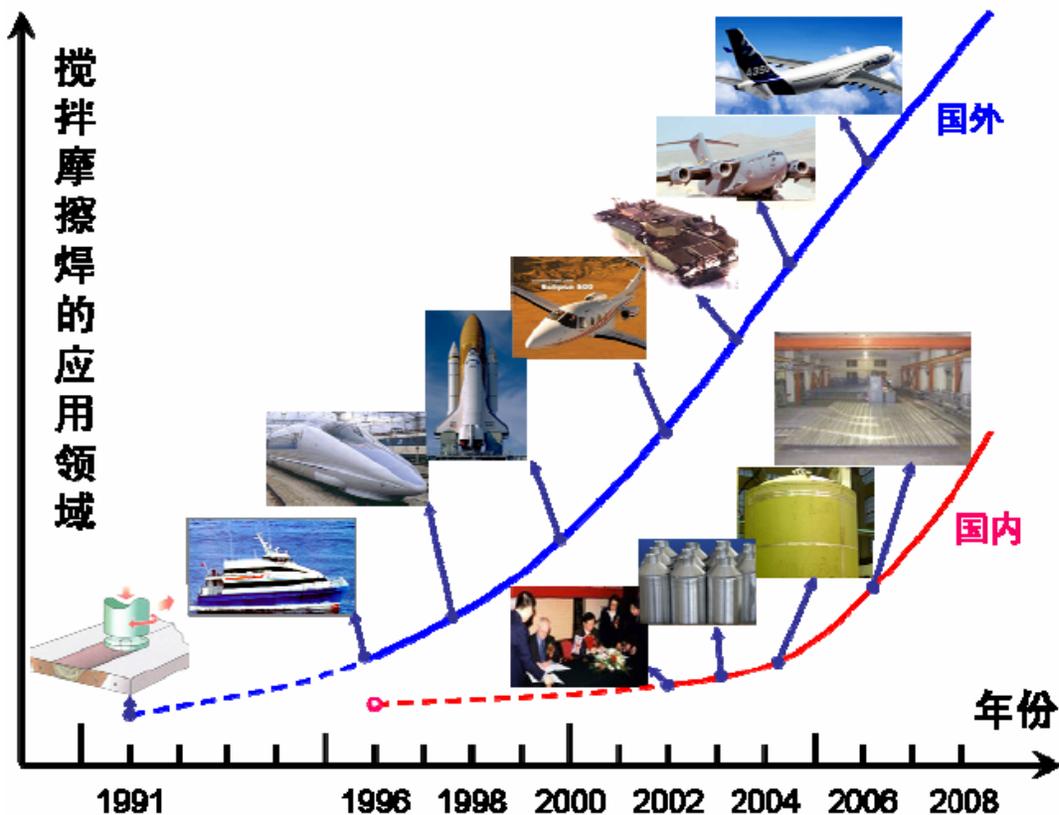
拌摩擦焊专利权。



搅拌摩擦焊（FSW）是一种高效优质、节能、环保、低成本的固相连接方法，它为这些问题的解决提供了完美的方案。因此被誉为“**二十一世纪最具革命性的焊接技术**”！

## ➤ 搅拌摩擦焊接技术在航空制造领域应用

搅拌摩擦焊已经在诸多制造领域达到规模化、工业化的应用水平。



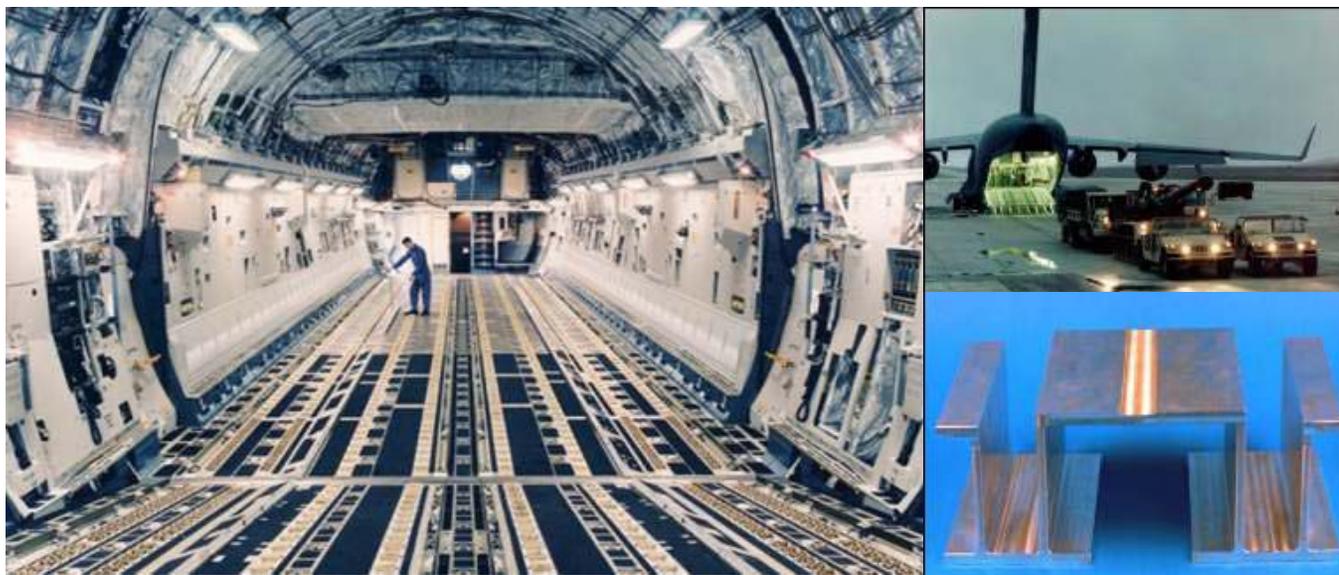
# ——T45教练机起落架仓盖制造



波音公司在航空领域，首先将搅拌摩擦焊应用于美国空军现役T45教练机起落架制造



## ——C-17机舱地板制造



波音公司将搅拌摩擦焊应用于C-17军用运输机舱内地板的制造



# ——全搅拌摩擦焊飞机Eclipse-500

263条共计136m长焊缝取代7378个铆钉，  
 相比于自动铆接，FSW快6倍；相比于手动铆接，FSW快60倍，  
 单机节约制造成本2/3



# ——空客机身纵缝

## 空客公司-Airbus



- 第一个采用搅拌摩擦焊技术制造大型民飞机制造的飞机制造商。空客计划把该技术引入A340的制造，并大规模应用于A350的制造。
- 空客声称：使用搅拌摩擦焊技术制造飞机机身时，每米焊缝能够减重**0.9公斤**。
- 下一个计划是将搅拌摩擦焊应于A350-800及A350-900的生产，届时，将有更多的机身纵缝面板采用搅拌摩擦焊连接。



背景介绍

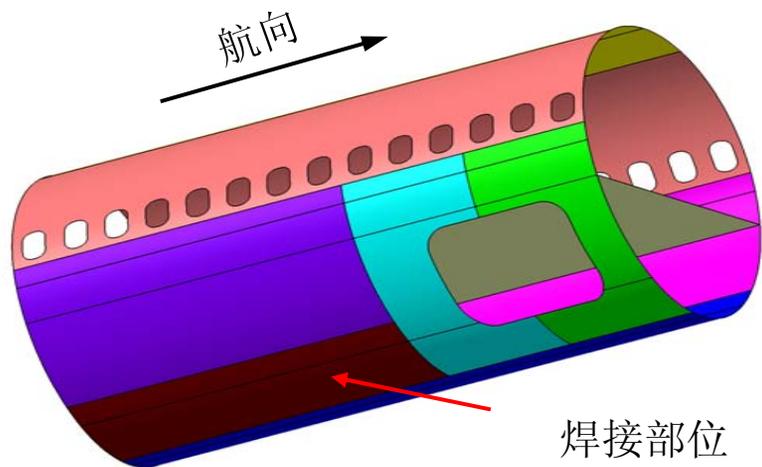
先进焊接技术介绍

→ C919设计中焊接工艺

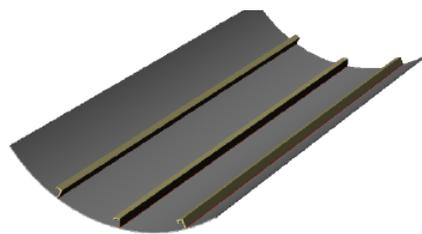
大客焊接技术研究进展



## ➤ 焊接部件结构尺寸结构形式



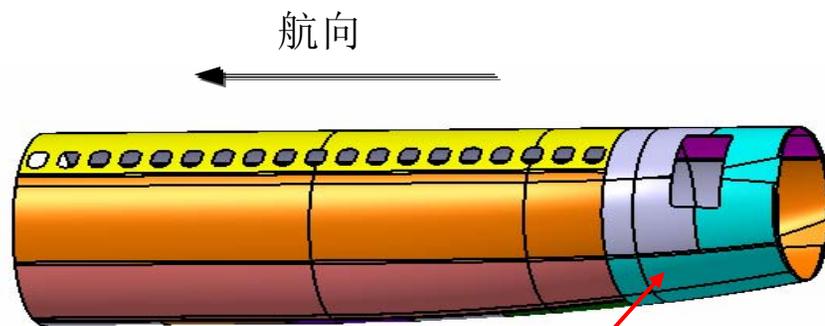
前机身应用部位示意图



Cylindrical panel



Spherical panel



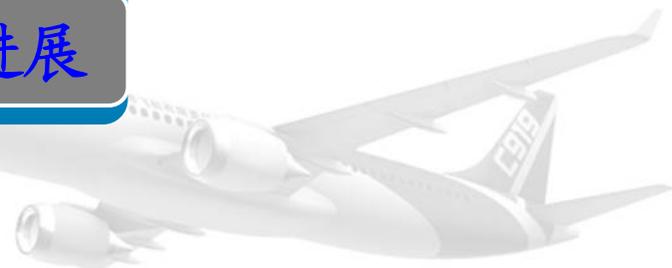
中后机身应用部位示意图

背景介绍

先进焊接技术介绍

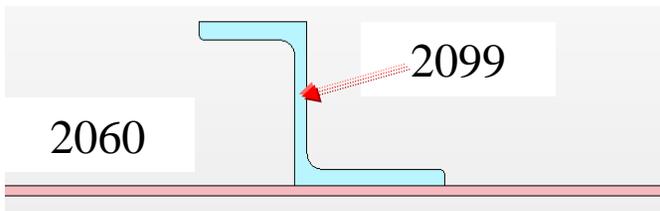
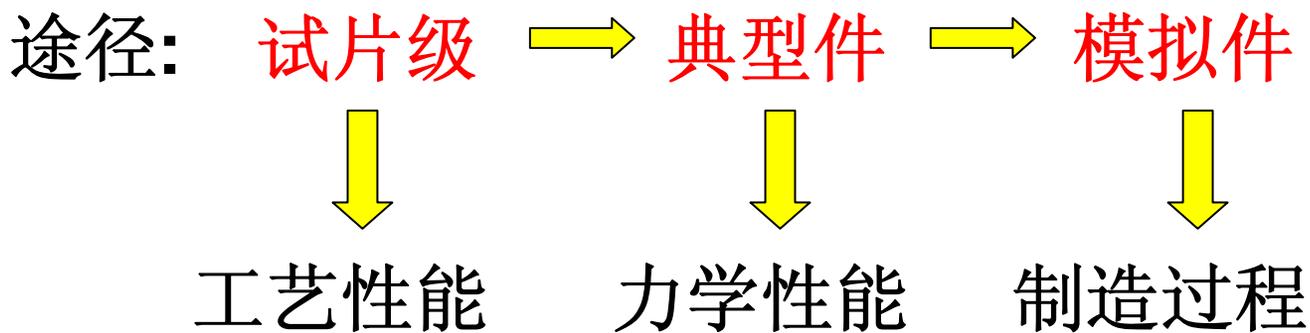
C919设计中焊接工艺

→ 大客焊接技术研究进展



# 1. 搅拌摩擦焊接工艺研究

材料：2060和2099铝锂合金，2.0mm



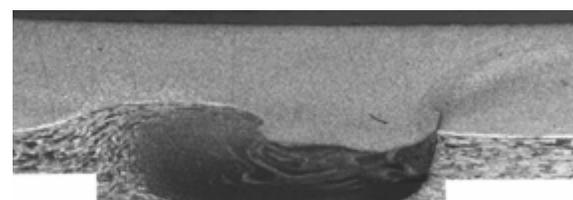
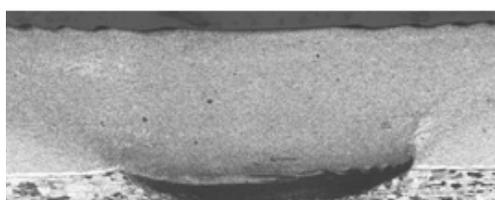
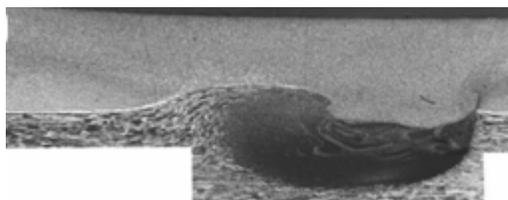
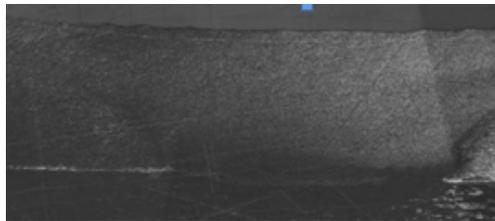
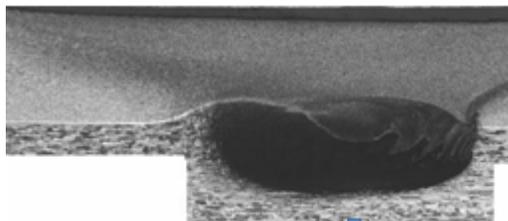
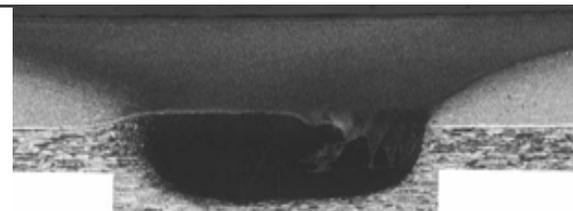
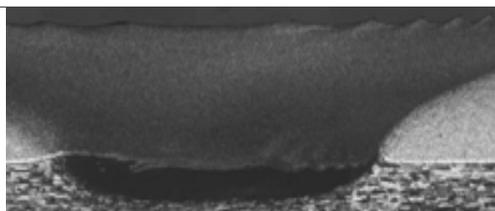
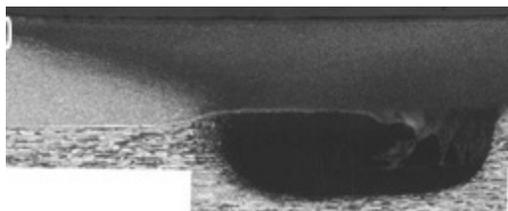
## 工艺参数优化

### 不同工艺下AILiS4+2099焊缝金相组织

锥形针搅拌头

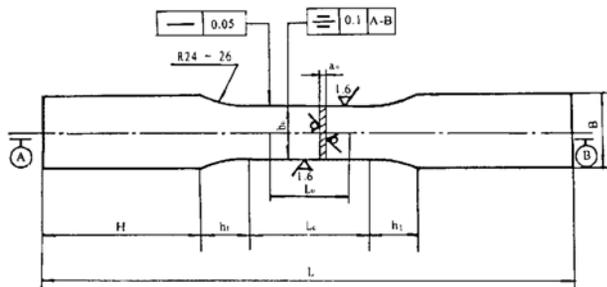
三爪搅拌头

螺旋槽搅拌头



## 基础性能评价研究

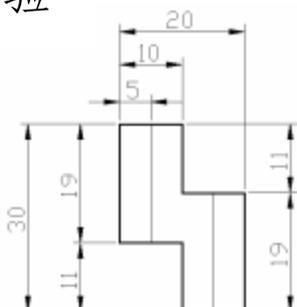
### ◆ 横向拉伸



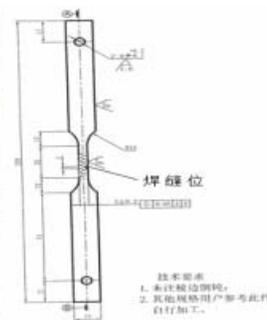
### ◆ 疲劳行为研究



### ◆ 剪切试验



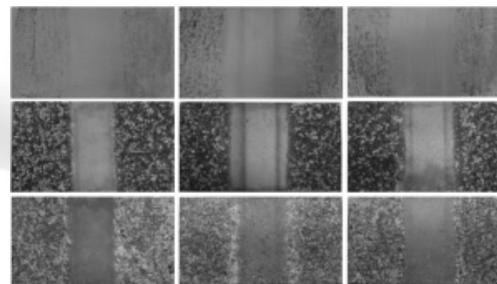
### ◆ 应力腐蚀测试



### ◆ 搭接剥离测试



### ◆ 剥层腐蚀测试



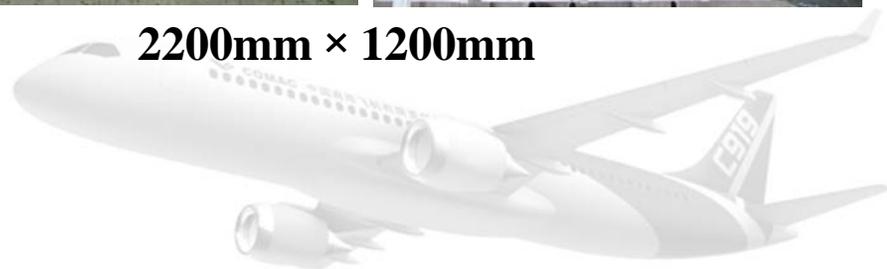
## 模拟段制造



**1200mm × 900mm**



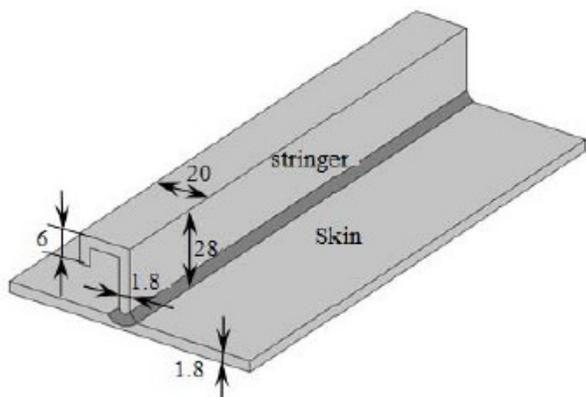
**2200mm × 1200mm**



## 2. 双光束激光焊接工艺研究

### ▶ 试验材料

1.8mm 6056(T4)/6156(T6)铝合金



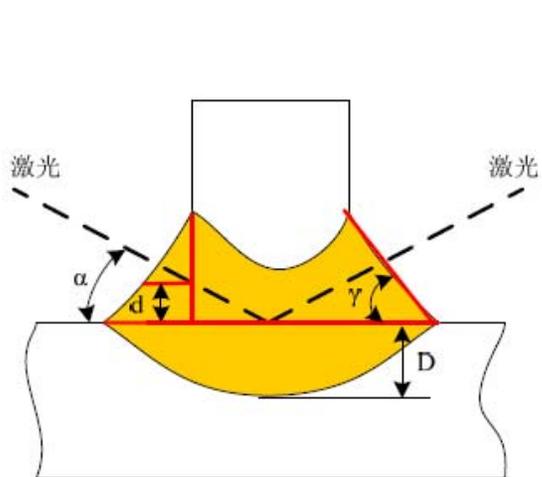
双光束CO<sub>2</sub>激光焊接系统

激光器	CO <sub>2</sub> 激光	光纤激光
波长	10.6 μm	1.06 μm
光束质量	3.75mm.mrad	7mm.mrad
焦距	190	200/300
光纤芯径		200/400
光斑直径	0.16mm	0.26/0.4/0.52mm

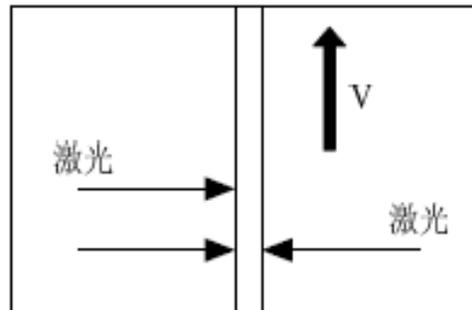


双光纤激光焊接系统

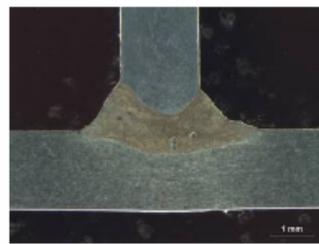
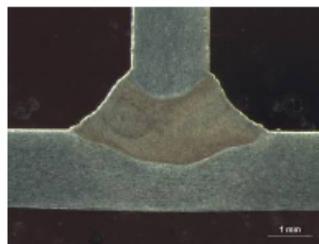
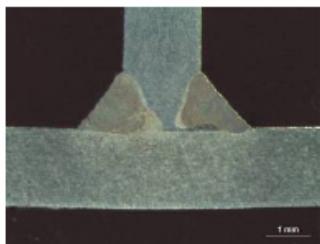
# 工艺参数优化



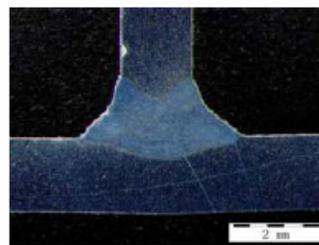
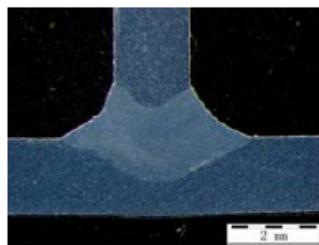
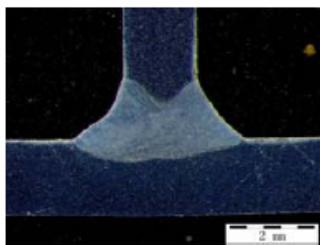
$\alpha$ : 光束入射角  
 $d$ : 光束入射位置  
 $\gamma$ : 焊缝角度  
 $D$ : 焊缝熔深



热源间距



CO<sub>2</sub>激光

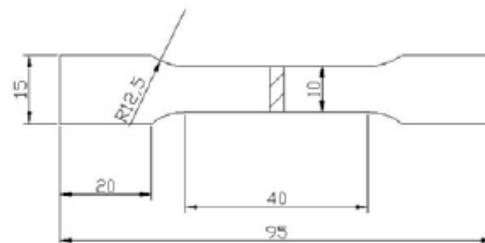


光纤激光

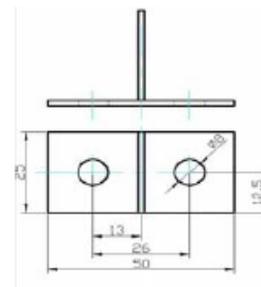
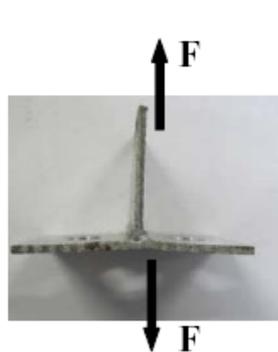


# 基础性能评价研究

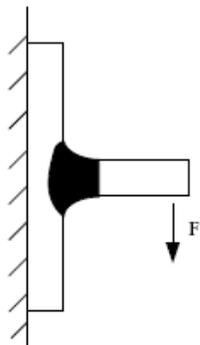
## ■ 横向拉伸



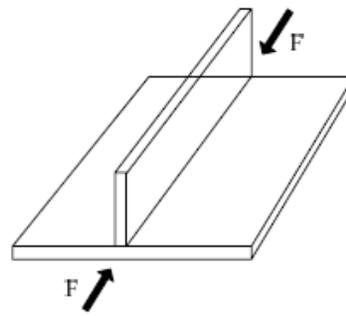
## ■ 纵向拉伸



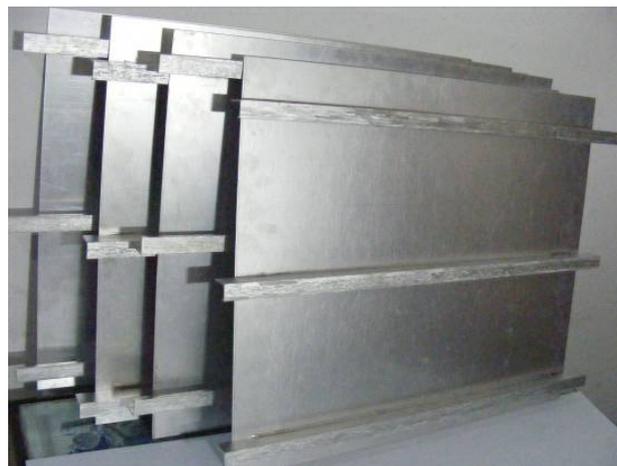
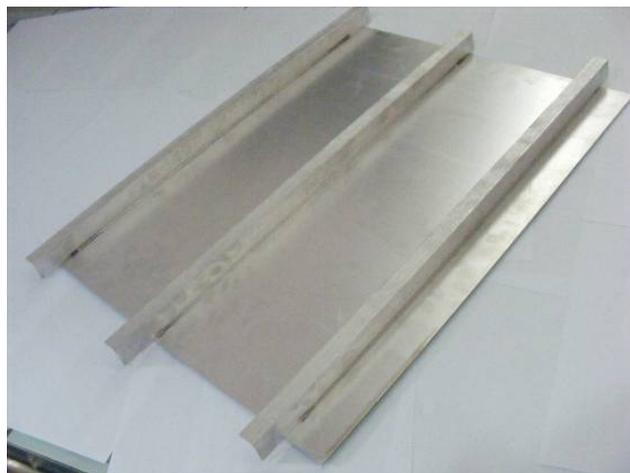
## ■ 剪切性能



## ■ 压稳性能



## 典型件力学性能测试



## 模拟段制造



**2000mm × 1000mm**



# 致谢

- 中航工业**625**所
- 哈尔滨工业大学
- 上海交通大学
- 南京航空航天大学





上海飞机制造有限公司  
SHANGHAI AIRCRAFT MANUFACTURING CO.,Ltd.

让中国的大飞机翱翔蓝天！