



# 激光熔覆表面强化技术及其应用

**李铸国 特聘教授**

□ **上海交通大学材料科学与工程学院 副院长**

□ **上海市激光制造与材料改性重点实验室 主任**



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

## 据统计：

- 世界钢产量的**10%**是由于腐蚀而损失
- 机电产品提前失效原因的**70%**属于腐蚀与磨损
- 机电产品制造和使用中~**33%**的能源直接消耗于磨擦磨损

2002年我国因腐蚀而造成的损失高达**6000**亿元，占当年GDP的**5%**

2006年我国因摩擦磨损而导致的损失为**9500**亿元，占当年GDP的**4.5%**



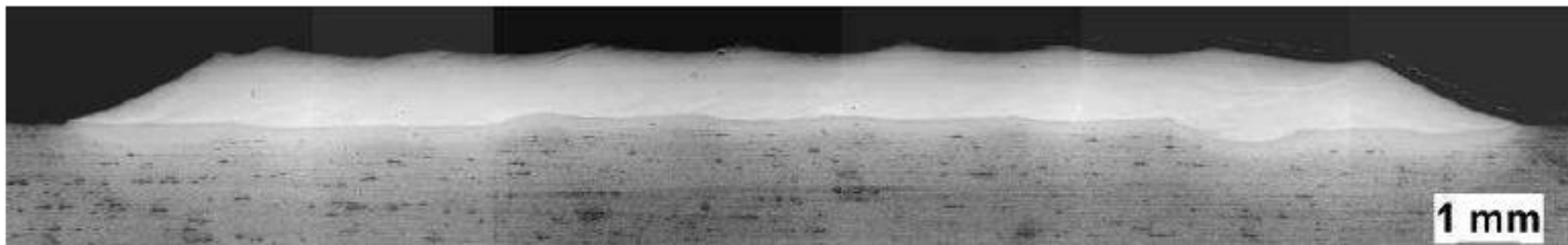
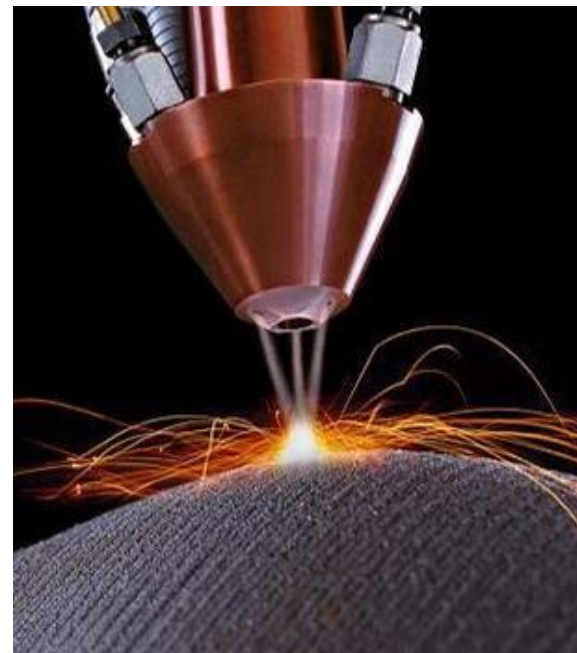
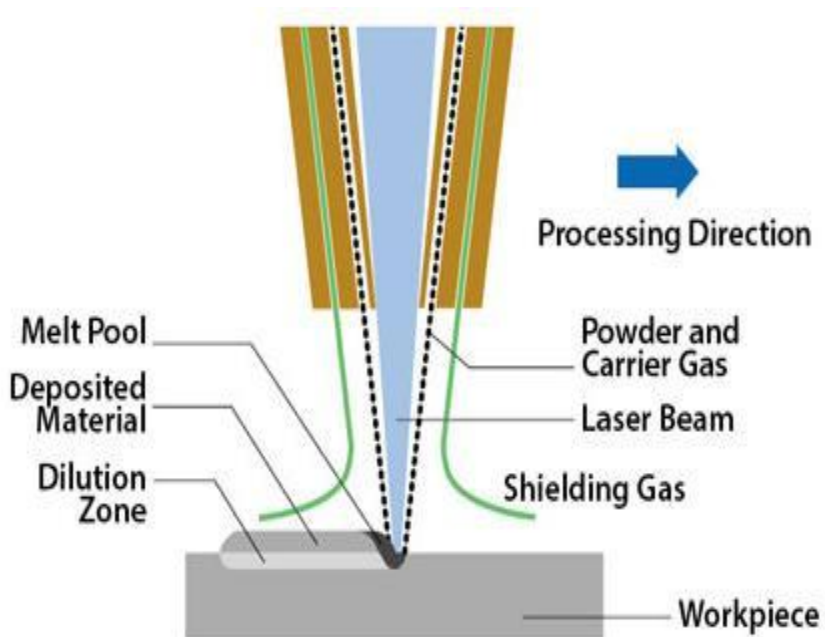
各种表面工程与技术：增强零部件表面性能和再制造

徐滨士：再制造的表面工程及其发展，第七届全国表面工程学术会议，2008年10月。

**摩擦磨损** >60%机械装置失效、 >40%恶性事故、 >30%能源消耗



先进的表面制造技术是抑制摩擦磨损失效的最佳途径



**激光熔覆是一种高精度、高效率和高质量的高强耐磨涂层制备技术**

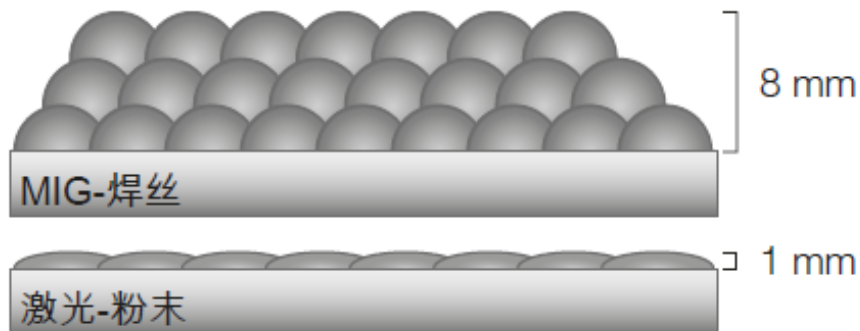


图5 由于焊道形状和搭接的影响，激光熔覆比 MIG / GMAG 达到最终尺寸所需要的机加工量更少。

- 激光的低稀释率可以使1mm的涂层厚度在经过一年以后化学成分仍然保持不变。而MIG / GMAG 工艺需要3层、8mm厚度

□ 高精度控形、低损伤控性，赋予表面特殊性能

## 主要优点:

- 修复件变形和残余应力最小
- 稀释率非常低 (< 5%) , 熔覆层厚度薄
- 可以完全控制焊道的形状和涂层的厚度
- 可以局部加工
- 沉积率达12公斤/小时
- 基材与焊材之间完美熔合
- 机械性能高



# 高强韧涂层材料设计

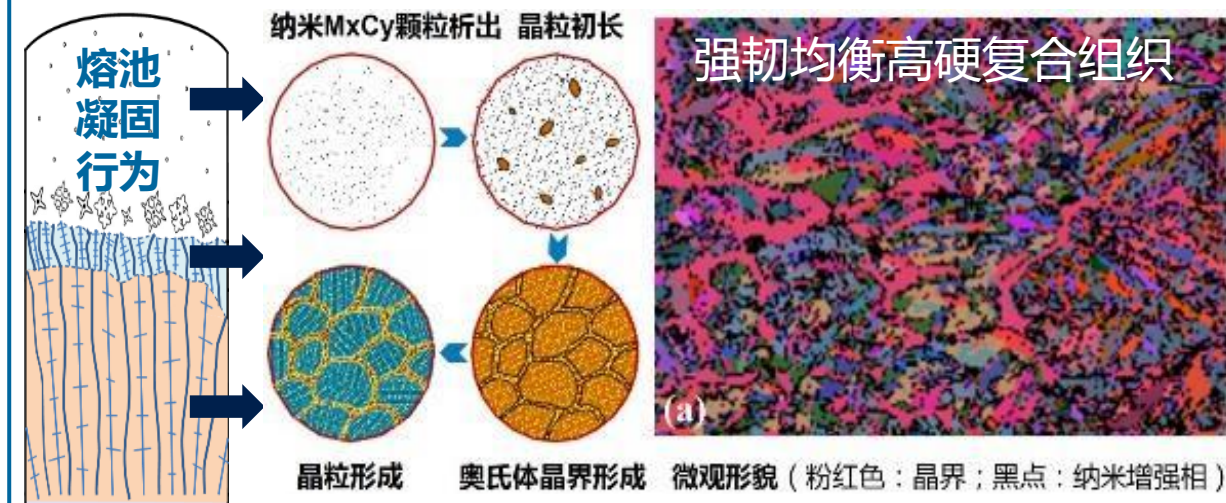
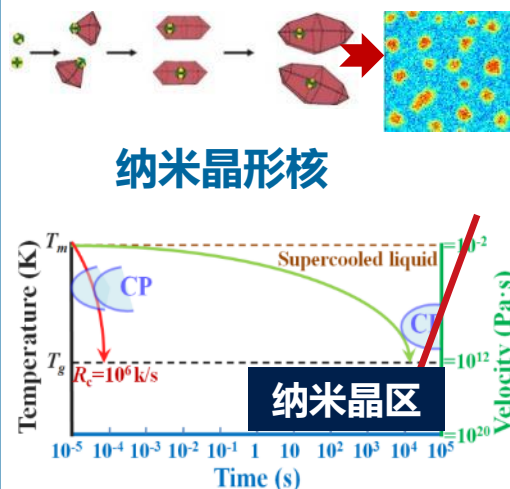


关键问题

激光熔覆耐磨、高硬材料，过多追求硬度导致组织延性耗竭而开裂

创新方法

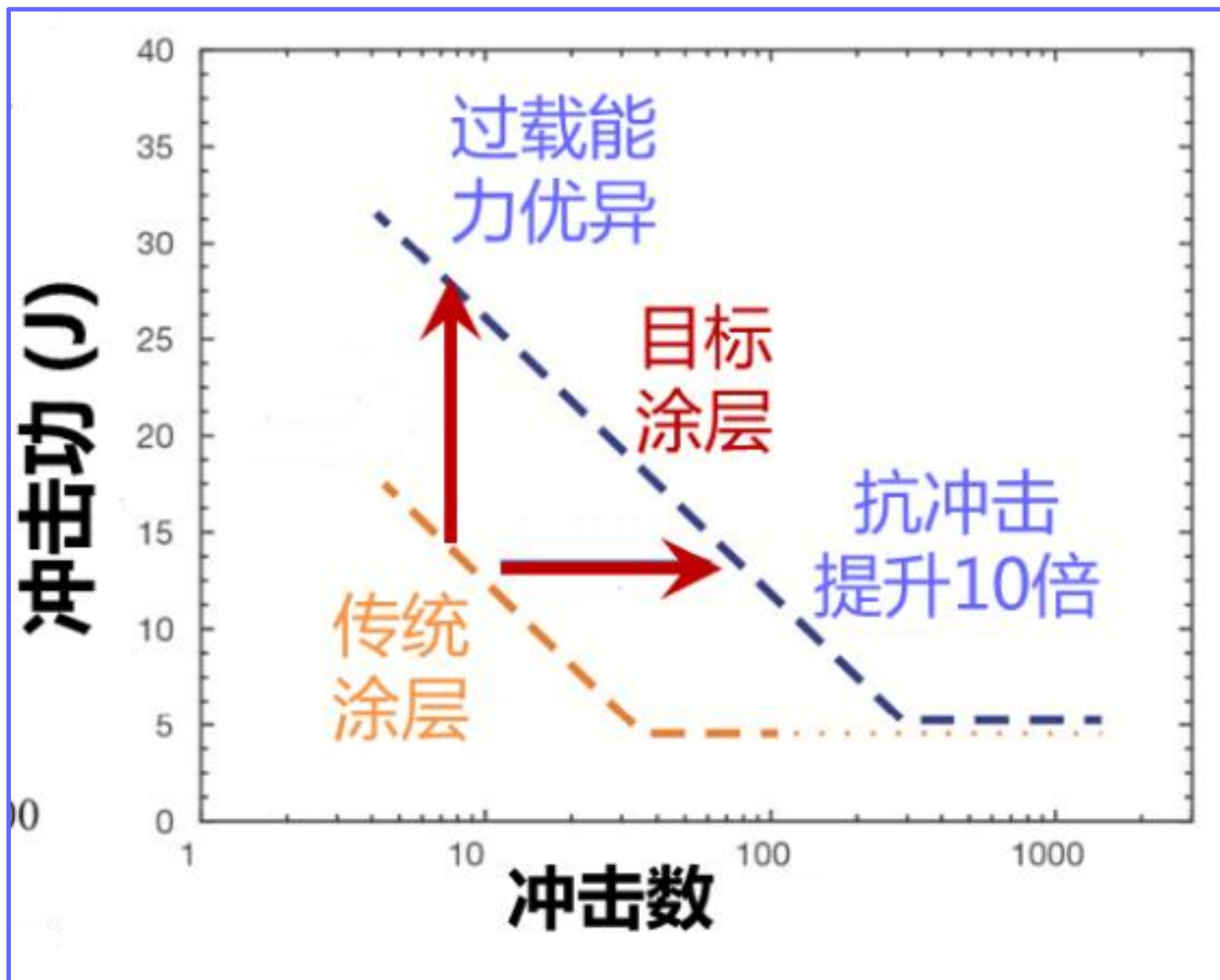
强韧均衡高硬复合组织激光原位制备方法



材料设计

凝固行为与精细结构调控

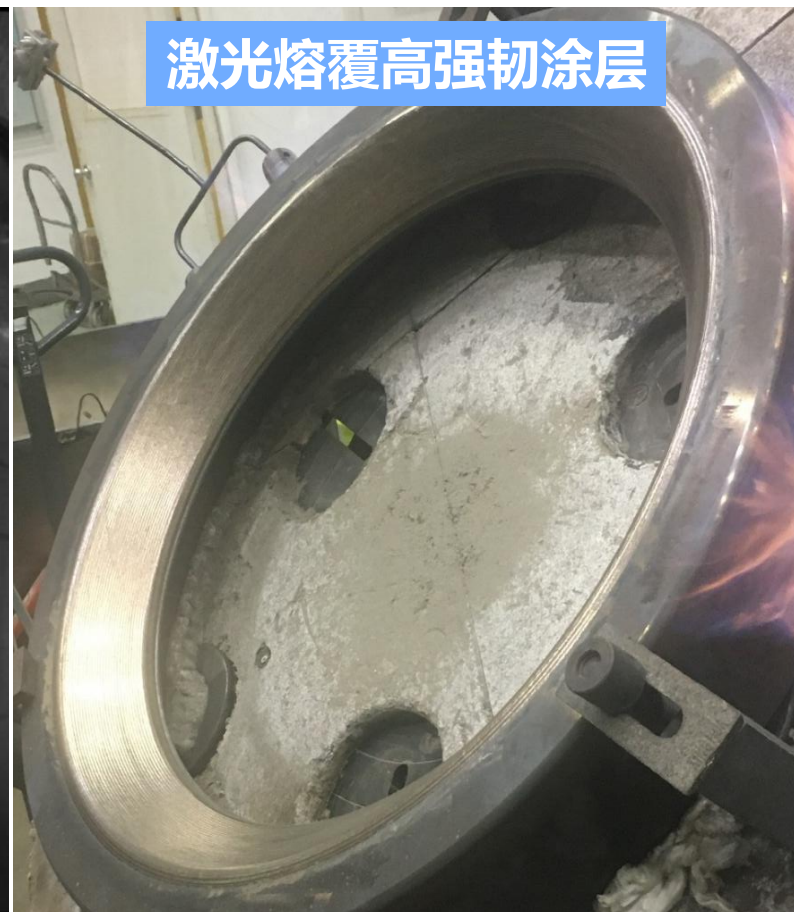
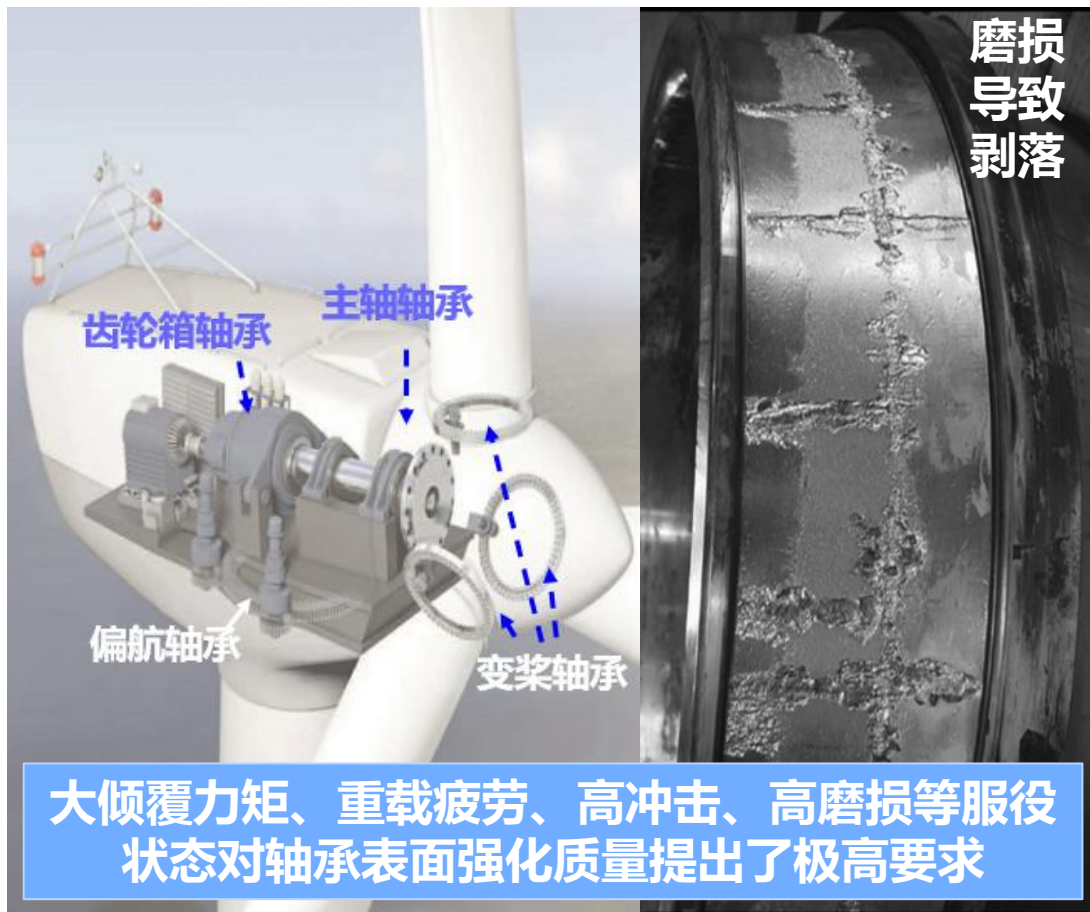
# 高强韧涂层材料设计



# 应用：大型风电主轴轴承表面强化



□ 轴承表面强化质量对风电装备的**高稳定**、**高可靠**和**长寿命**服役至关重要



激光熔覆涂层致密无缺陷、硬度HRC 63、厚度 $\geq 3\text{mm}$ ，基体低损伤表面强化：稀释率 $\leq 5\%$ ；热影响区深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；变形 $\leq 1\text{mm}/100\text{mm}$



# 应用：大型盾构机刀圈表面强化



**激光熔覆高强韧涂层致密无缺陷、涂层硬度：65HRC、熔覆效果：磨损降低60%、经济效益：施工成本降低15%**

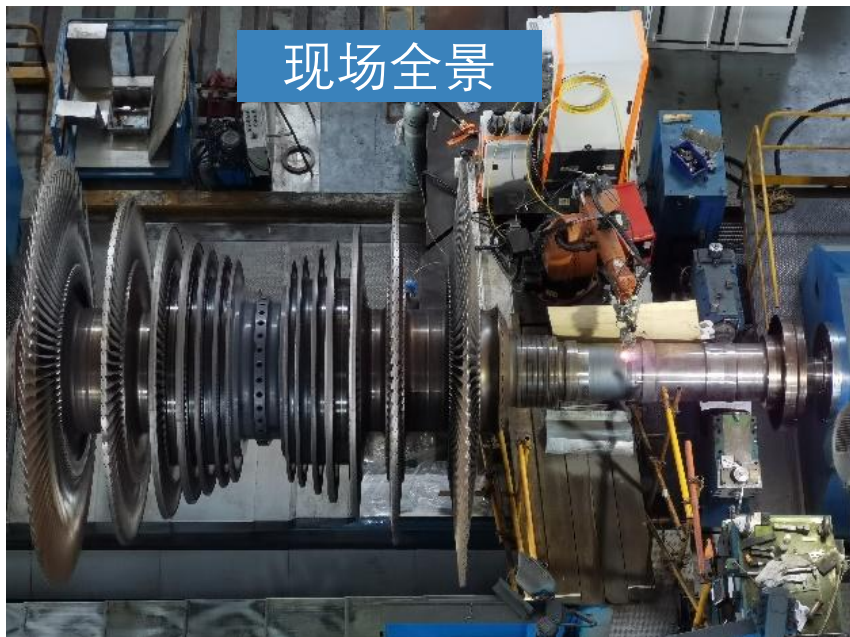
# 应用：冷轧辊表面强化



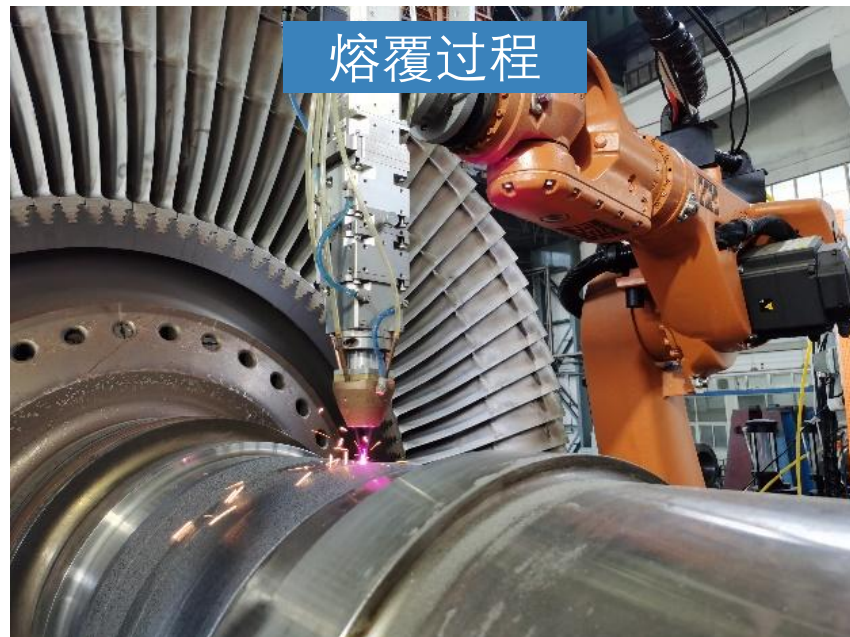
**基材：9Cr2Mo；熔覆层厚度：1.0 mm；硬度：~Hv800**  
**在线使用寿命提高6倍以上**



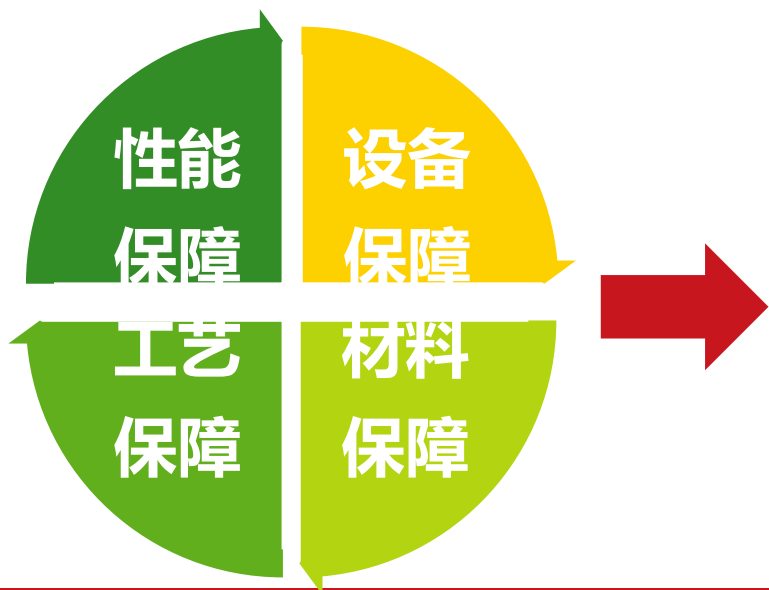
# 应用：汽轮机转子激光熔覆修复



现场全景



熔覆过程



- 结合力 $\geq$ 原件90%
- 强度 $\geq$ 原件90% 表面硬度
- 同心度 $\leq$ 0.01mm 同圆度 $\leq$ 0.02mm
- 圆柱度 $\leq$ 0.02mm 表面粗糙度Ra0.4 $\mu$ m

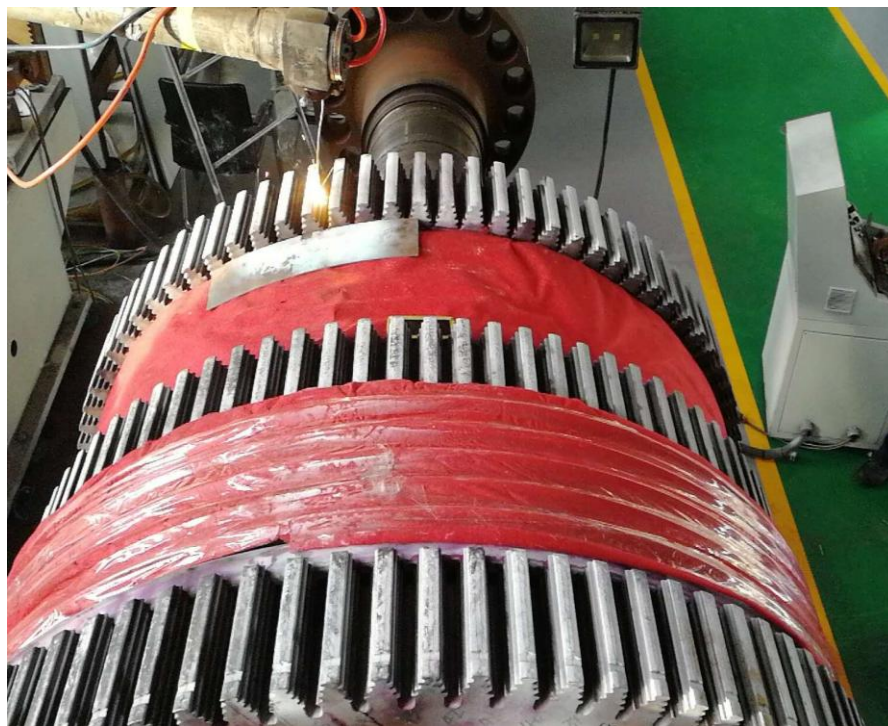
# 应用：重型燃气轮机转子轮毂修复

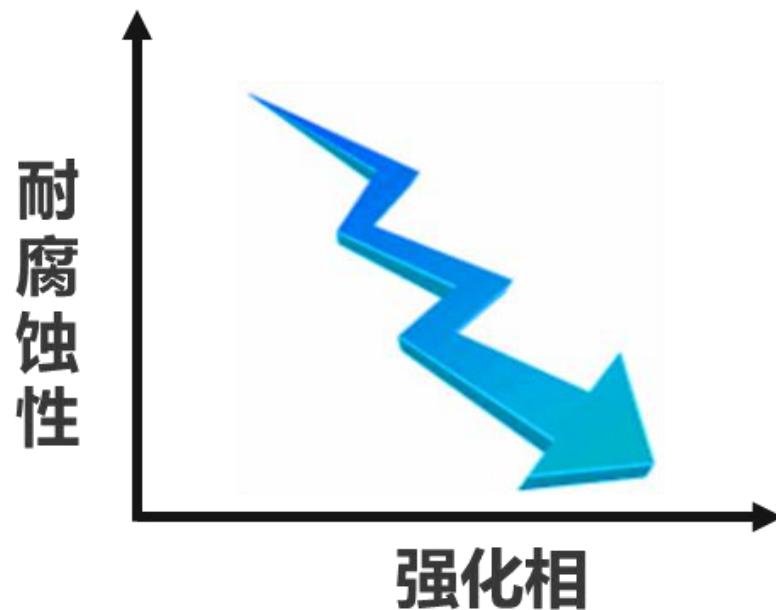
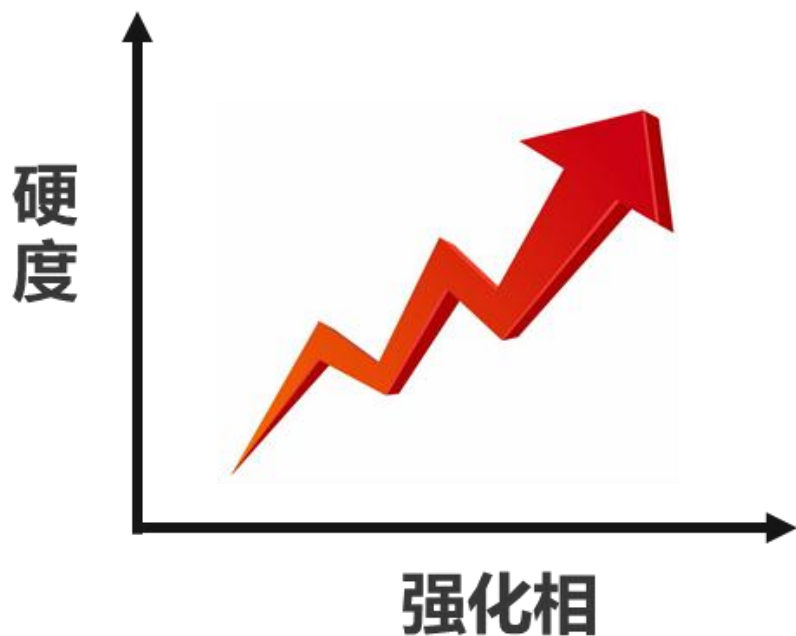


针对美国GE 9E重型燃机转子轮毂榫齿由于磨损及腐蚀导致的均匀性安全隐患，研发了新型耐磨抗疲劳镍基合金材料及激光再制造工艺技术，实现了首例重型燃气轮机转子的激光熔覆再制造。



磨损及腐蚀严重





- 强化相与基体存在**接触电位差**，两者之间构成腐蚀微电偶；
- 强化相与基体界面的**晶界错配度高**，高界面活性导致钝化膜的不稳定；
- 强化相与基体界面处的**耐蚀元素贫乏**(Cr)，削弱钝化膜的防护能力。



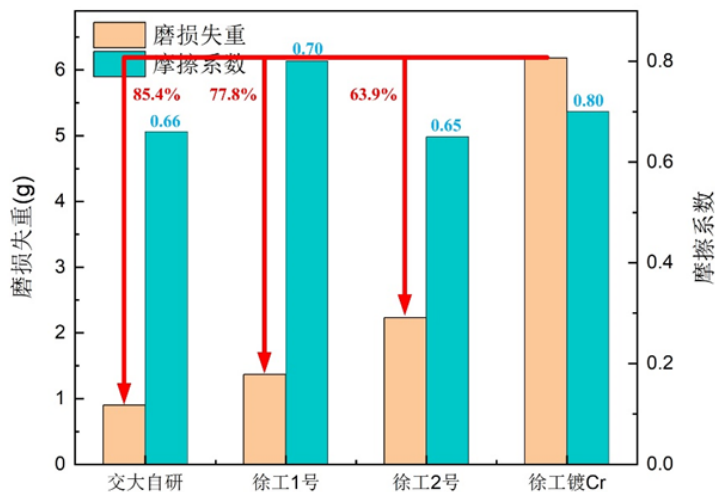
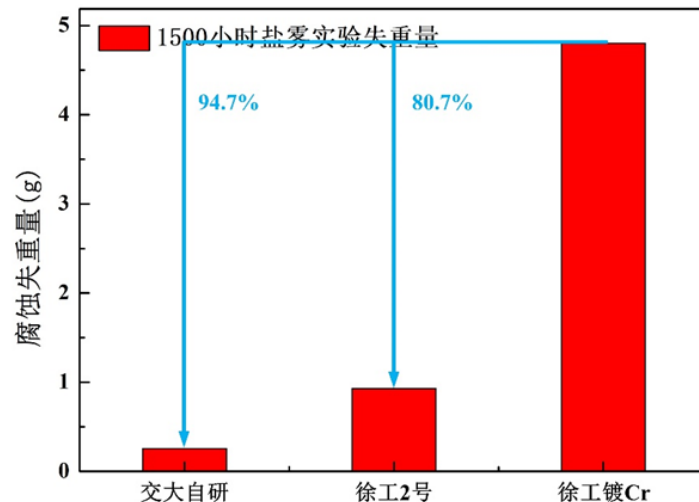
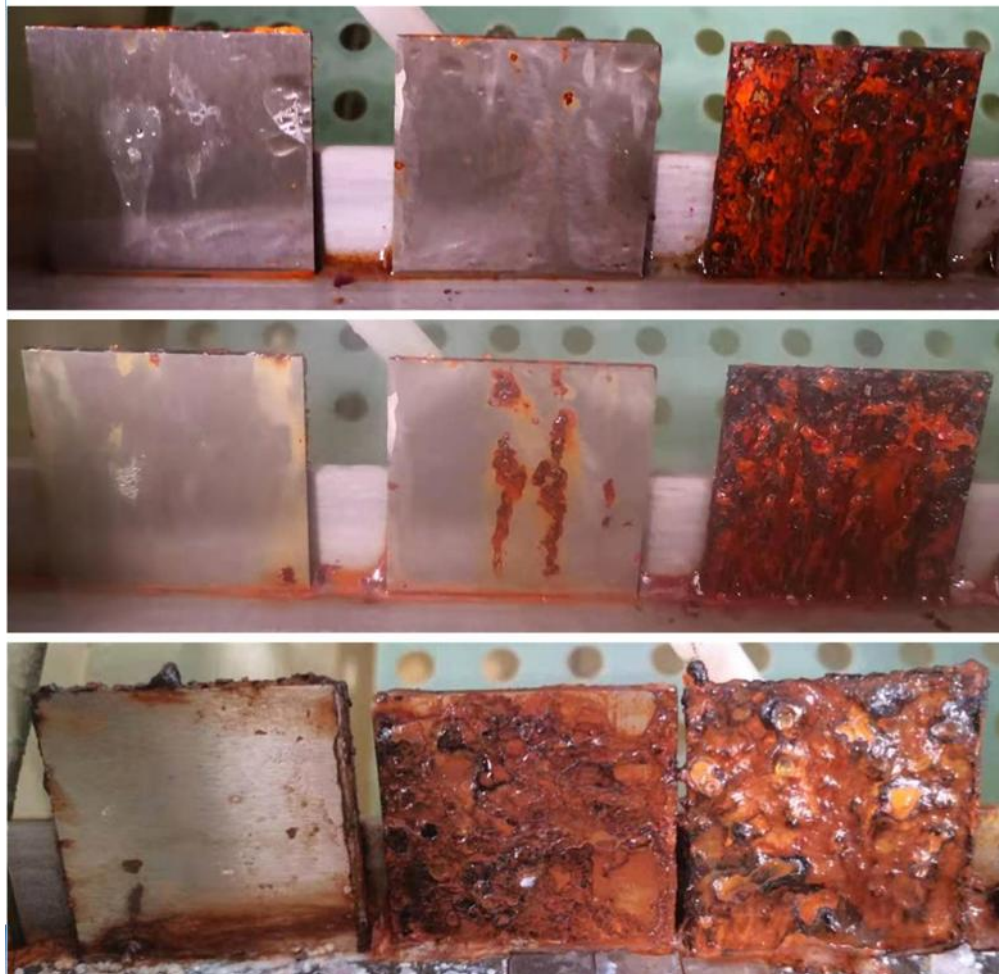
# 耐磨耐蚀涂层材料设计



交大自研

徐工2号

徐工镀Cr



创新粉末配方，突破耐磨耐蚀性难以兼顾的问题

# 应用：掘进机伸缩筒耐磨耐蚀涂层



掘进机伸缩外筒

外筒：Q345B材质锻造  
(表面需要激光熔覆)

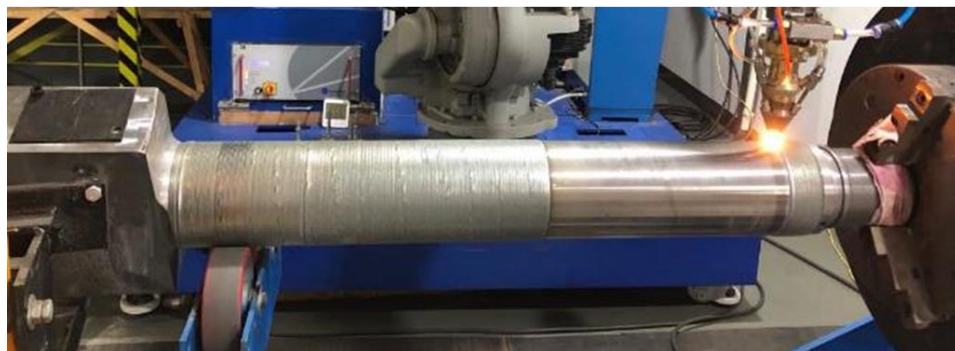


保护筒



煤炭开采中切削装置长期工作在**高温、高湿、高硬度**及含有**复杂磨粒和腐蚀液体**的极端恶劣工况下，会产生**严重的磨损和腐蚀失效**，导致掘进效能低下。

# 应用：掘进机伸缩筒耐磨耐蚀涂层



涂层高硬度**60HRC**  
耐蚀性能较镀Cr提升**20倍**

涂层微稀释率(2-3%)  
**无气孔裂纹缺陷**

激光工艺稳定,  
后加工**成熟可靠**

服役寿命  
**提升4倍以上**

产品全生命周期成本  
**降低15%以上**

较传统激光熔覆涂层  
耐磨性能**提升30%**  
耐蚀性能**提升40%**



# 应用：掘进机伸缩筒耐磨耐蚀涂层



1 首个客户：  
煤矿行业龙头企业神华集团

6 一次为其提供了6台套产品，  
价值3000余万元

24 该技术带动产品新增订单24  
台套，创造经济效益1.2亿元

2 成倍提升了掘进效率，设备  
停机检修时间减少一半以上



# 应用：飞机关键部件激光熔覆修复



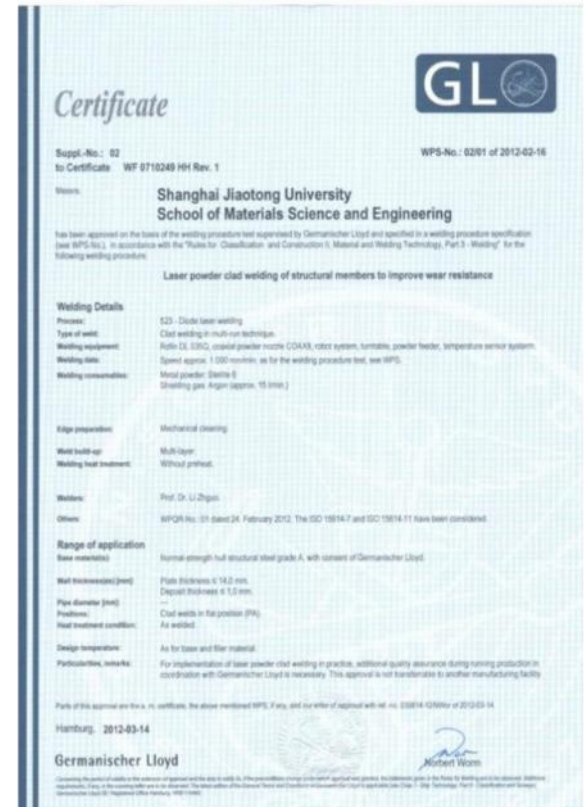
以飞机起落架支柱、舱门作动筒等部件的高强钢、钛合金材料为研究载体，进行了激光熔覆增材修复技术研究，激光增材修复区力学性能优于母材锻件拉伸、冲击力学性能指标的90%。



# 高功率半导体激光表面制造技术体系

2008-2018年间，获授权国家发明专利32项

技术体系获DNV-GL船级社认证





# 感谢您的关注！

# 欢迎批评指正！

感谢：

- 科技部国际科技合作项目 (2009DFB50350)
- 国家自然科学基金委面上项目 (50971091)
- 国家自然科学基金委面上项目 (51171116)

