

| 行业分析 | 激光清洗原理 | 应用分析 |

激光清洗 行业发展及应用

拓展激光清洗业务的必知干货

周晚君

CONTENT

1 激光清洗市场分析

2 激光清洗原理解析

3 激光清洗各行业应用案例

4 影响激光清洗的质量因素

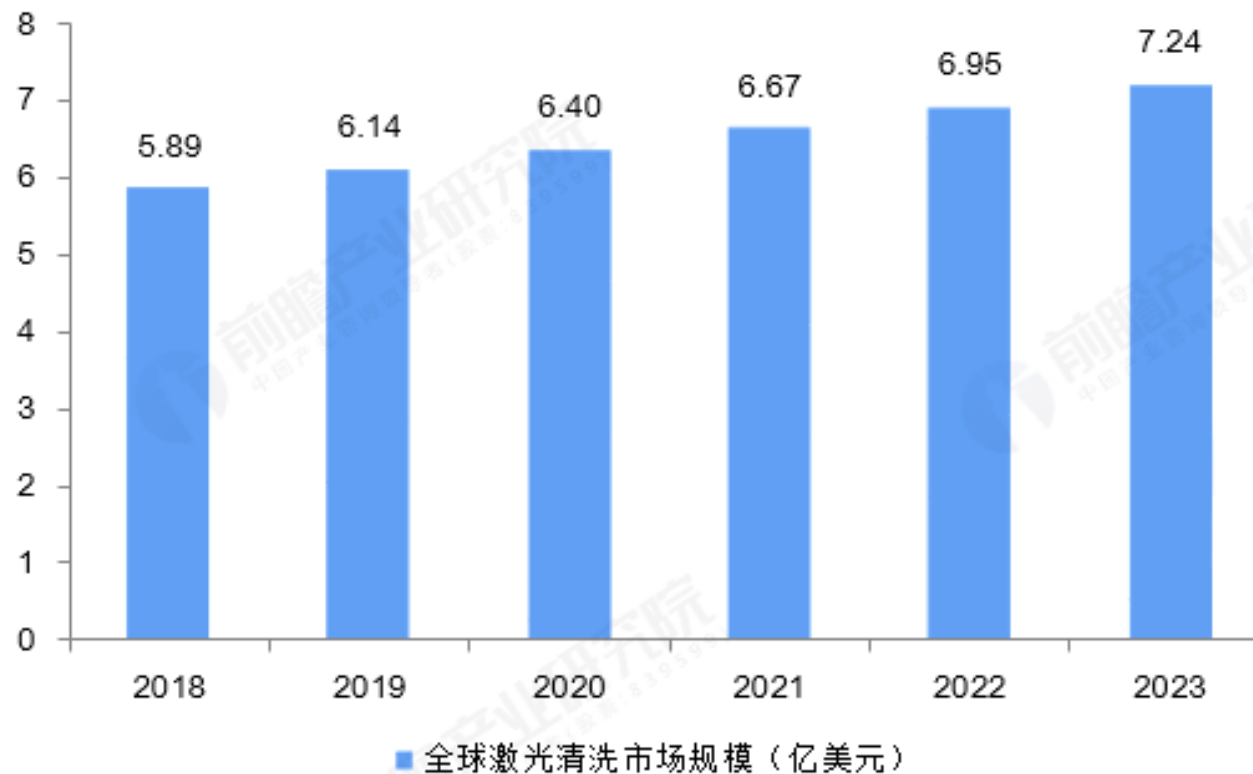
5 激光清洗未来发展趋势

PART 01

激光清洗市场分析

- 激光清洗市场2019年全年产值约6.14亿美元
- 我国仅占8%市场份额
- 预计国内激光清洗市场产值3.58亿

2018-2023全球激光清洗市场规模预测（单位：亿美元）



激光清洗市场全国布局



华东

汽车及其零部件激光清洗
 电脑、手机框架清洗
 塑料制品磨具清洗
 高铁制造及维修清洗
 5G导线及其零件清洗等

华中

汽车白车身焊前焊后清洗
 武器装备清洗
 铝合金焊前清洗
 电子元器件绿漆剥离等

华北

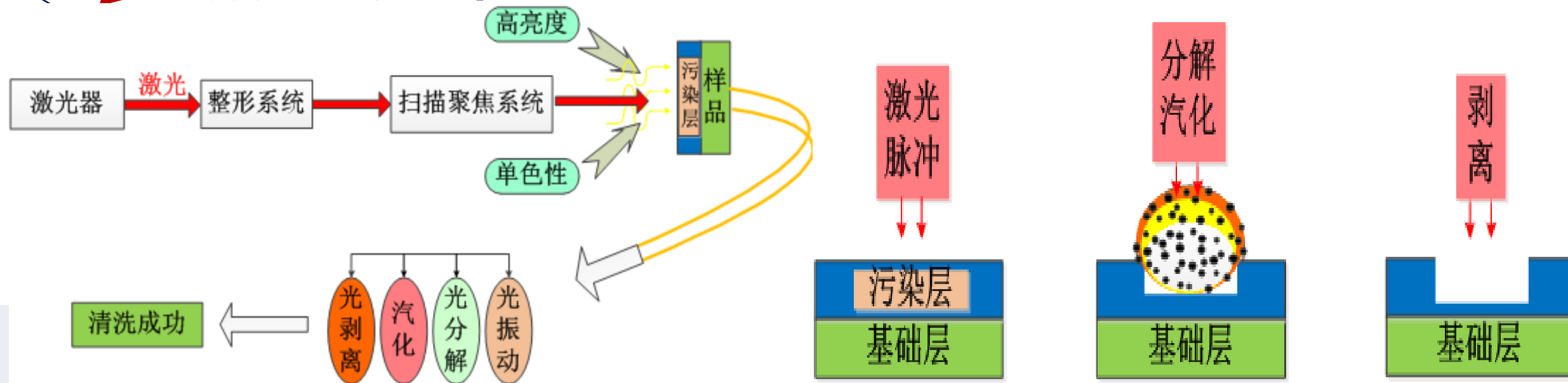
造船焊缝清洗
 桥梁维护除油漆
 高铁制造铝合金焊
 前焊后清洗
 密闭罐体除锈
 铁路维护除锈等

华南

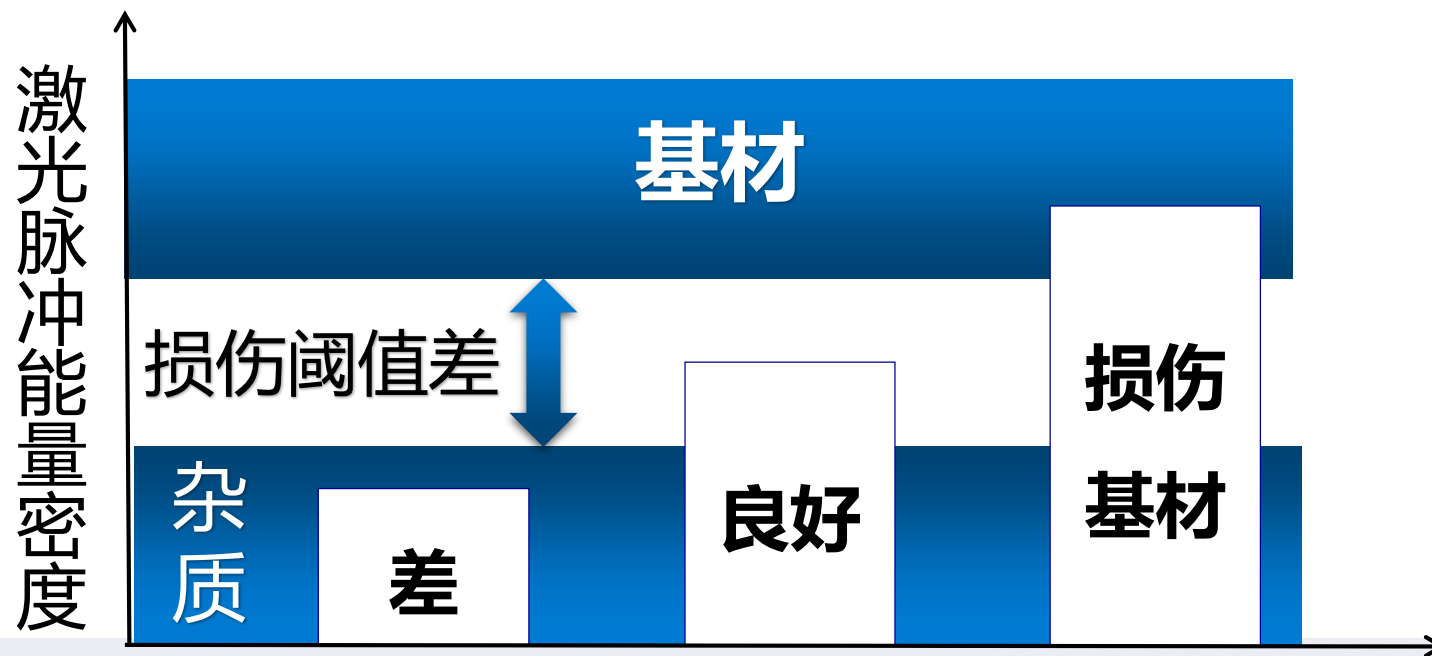
五金制品焊前除油
 家用电器除油漆
 橡胶磨具清洗等

PART 02

激光清洗原理解析



- 激光器发射的光束，被需处理表面上的污染层所吸收;
- 大能量的吸收形成急剧膨胀的等离子体（高度电离的不稳定气体），产生冲击波;
- 冲击波使污染物变成碎片并被剔除;
- 光脉冲宽度必须足够短，以避免使被处理表面遭到破坏的热积累;
- 实验表明当金属表面上有氧化物时，等离子体产生于金属表面;



等离子体只在**能量密度高于阈值**的情况下产生，这个阈值取决于被去除的污染层或氧化层。这个阈值效应对在**保证基底材料安全**的情况下进行有效清洁非常重要。等离子体的出现还存在**第二个阈值**。如果能量密度**超过这一阈值**，则**基底材料将被破坏**。为在保证基底材料安全的前提下进行有效的清洁，必须根据情况调整激光参数，使光脉冲的能量密度**严格处于两个阈值之间**。

在激光清洗时，材料在光斑中心的温度梯度为：

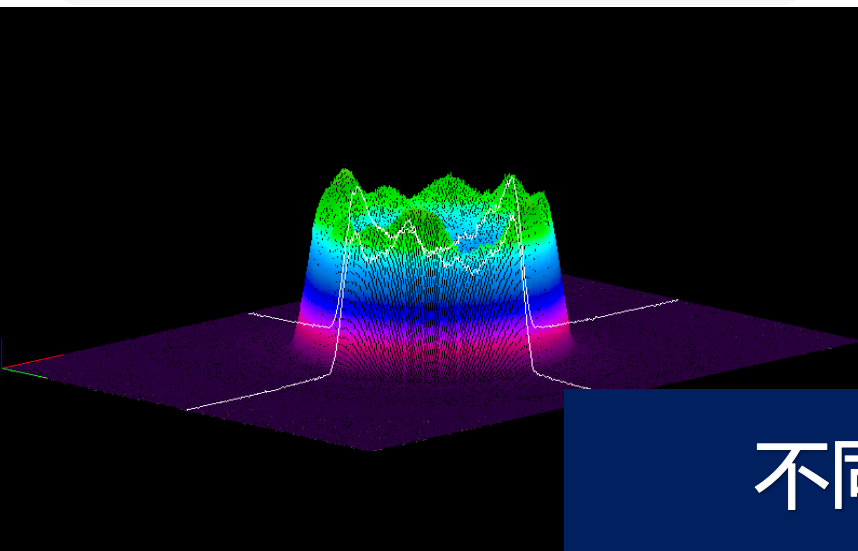
$$\Delta T \Big|_{t=\infty} = \frac{P_0}{\sqrt{\pi d_0 K}} < T$$

- 该公式常用来计算材料的损伤阈值，计算合适的激光参数
- 其中 d_0 是光斑直径； K 是材料的导热性； P_0 是被吸收的激光功率； T 为材料熔点。

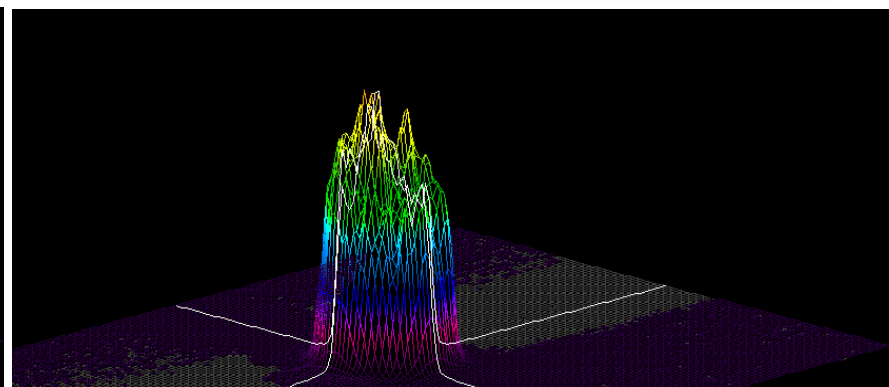


清洗后可见原始机加痕迹，对基材无损伤

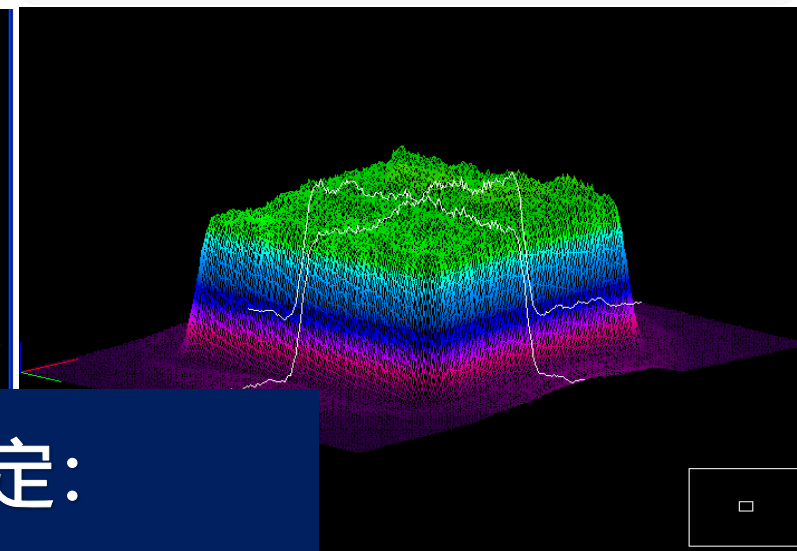
多模激光器光斑



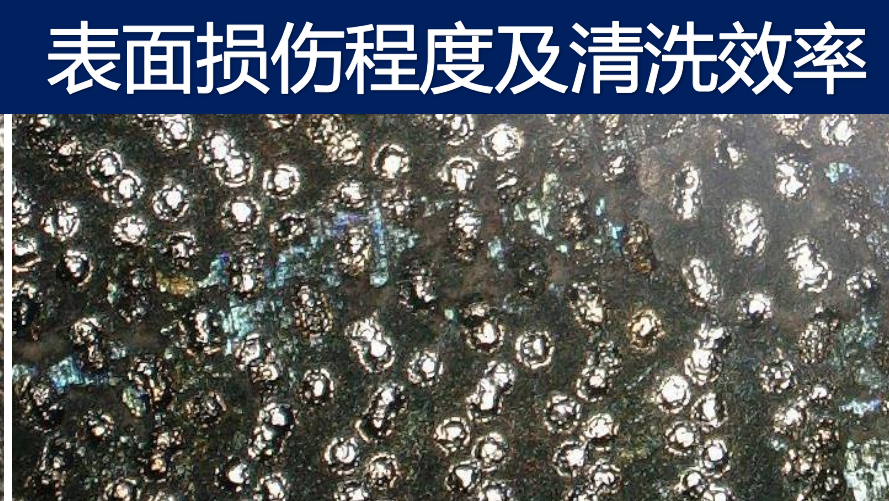
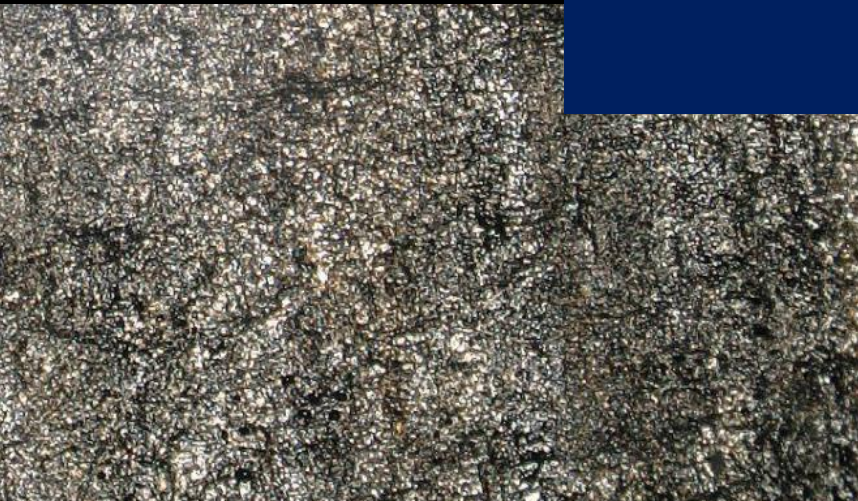
常规单模激光器光斑



脉冲清洗专用激光器光斑



不同的激光器光斑输出模式决定：
表面损伤程度及清洗效率



PART 03

激光清洗各行业应用



微电子领域： 半导体元件、微电子器件、存储器模板等；

文物保护领域： 石雕、青铜器、玻璃、油画和壁画等；

磨具清洗： 橡胶模具、复合模具、金属模具等；

表面处理： 亲水性处理、焊前焊后对焊缝的处理等；

除漆、除锈： 飞机、船舶、武器装备、桥梁、金属压力容器、金属管道等；飞机零部件、电器产品零件等；

其他： 城市涂鸦、印刷滚筒、建筑外墙、核工业等；

激光清洗与传统硼砂清洗对比（噪音，粉尘，安全）：激光清洗更为环保，安全

条件	清洗方式	背景	清洗中	问题点	改善对策
噪音	喷砂清洗	75~85dB		-	-
	干冰清洗	75~80dB	100~105dB	高噪音	需佩戴耳罩
	激光清洗	30~40dB	60~70dB	-	-
粉尘 (大/小)		粉尘大小		问题点	改善对策
	喷砂清洗	大		-	-
	干冰清洗	小		粉尘小	难以收集，需佩戴防尘口罩
	激光清洗	小		粉尘小	可用吸尘器直接收集
安全 (佳/差)		On-Line	Off-Line	问题点	改善对策
	喷砂清洗	-	佳	只能在线外清洗	
	干冰清洗	差	佳	1. 机台上清洗易发生烫伤 2. 易被干冰冻伤	需佩戴整套防护，以防烫伤及冻伤
	激光清洗	差	佳	机台上清洗易发生烫伤	需佩戴整套防护，只需防止烫伤

清洁效果对比：激光清洗速度更快，清洗效果佳，对模具无任何损伤

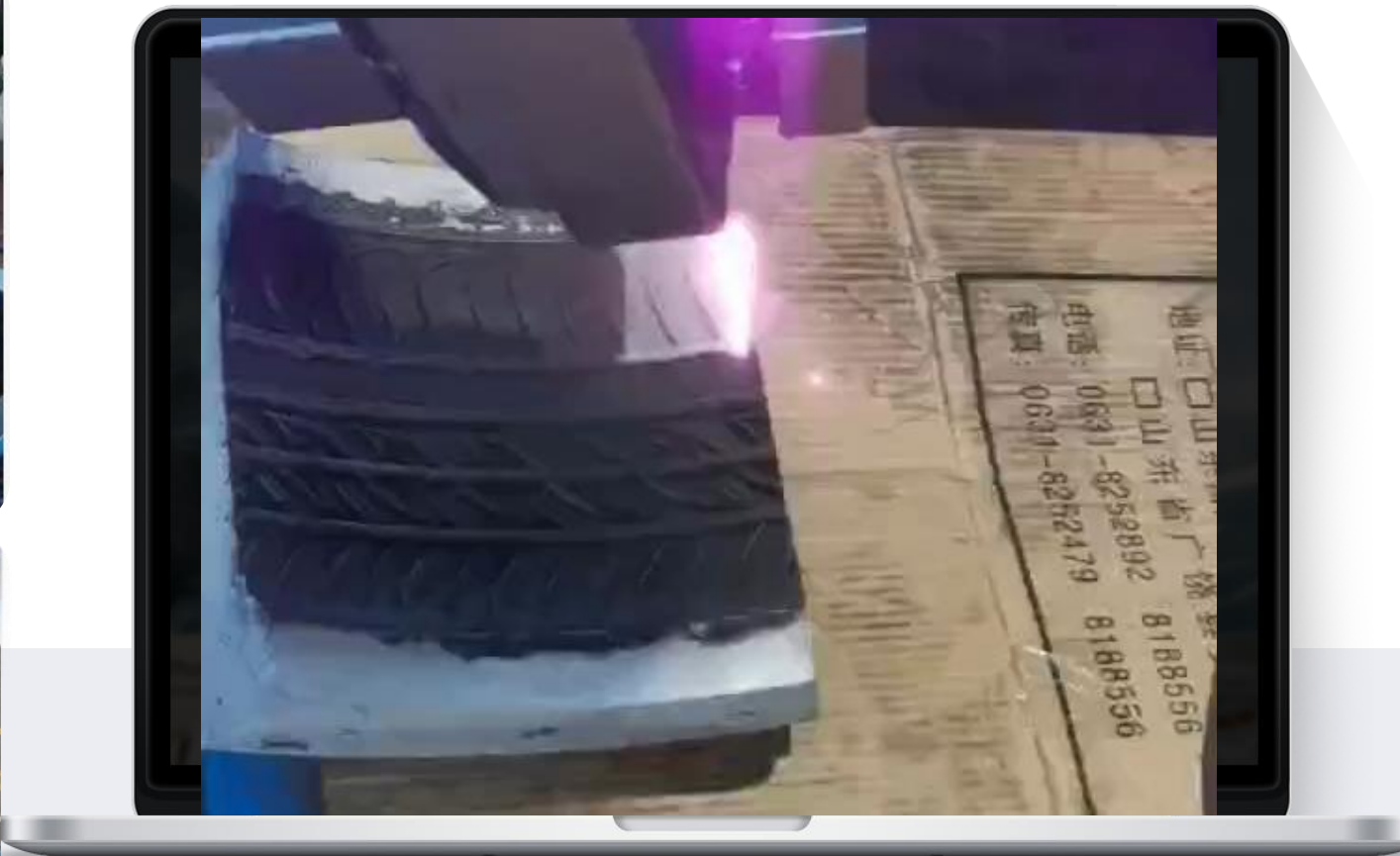
项目	两片模					片模				
	喷砂清洗	干冰清洗		激光清洗		喷砂清洗	干冰清洗		激光清洗	
		On-Line	Off-Line	On-Line	Off-Line		On-Line	Off-Line	On-Line	Off-Line
停机、卸组 模 预热	220分钟	50分钟	135分钟	25分钟	110分钟	360分钟	90分钟	215分钟	40分钟	165分钟
	相差	-170分钟	-85分钟	-195分钟	-110分钟	相差	-270分钟	-145分钟	-320分钟	-195分钟
前后温度 (°C)	-	170/150	130/55	170/170	130/55	-	170/150	150/85	170/170	150/85
清洗时间	35分钟	25分钟	30分钟	25分钟	25分钟	60分钟	30分钟	35分钟	30分钟	30分钟
VH孔疏通	用手电钻 需钻通	不需要钻 直接加硫		不需要钻 直接加硫		用手电钻 需钻通	不需要钻 直接加硫		不需要钻 直接加硫	
污垢清洗	离型剂 处理不掉	所有污垢 全部可以处理掉		所有污垢 全部可以处理掉		离型剂 处理不掉	所有污垢 全部可以处理掉		所有污垢 全部可以处理掉	
模具表面	容易损伤 或麻点	无任何伤痕		无任何伤痕		容易损伤 或麻点	无任何伤痕		无任何伤痕	

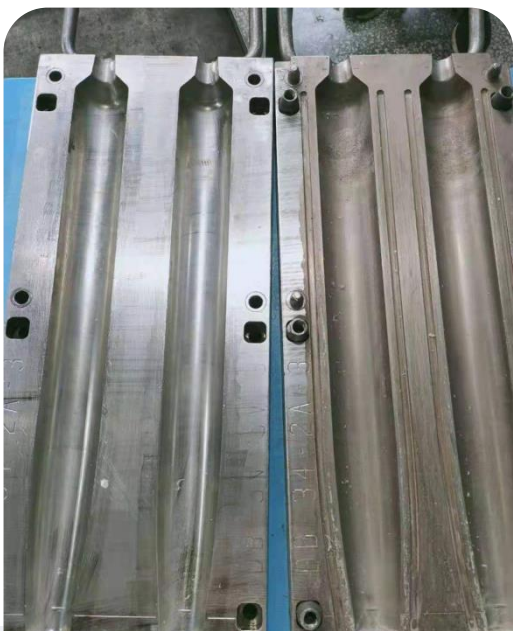
增产及利润分析：激光清洗带来的增产和利润更大

型式		节约时间 (分钟)		每条平均 硫化时间	增产轮胎 数量		假设每 条轮胎 单价	每条 利润	增加利润 (元)		清洗成本 (元)		纯收益 (元)	
		干冰	激光		干冰	激光			干冰	激光	干冰	激光	干冰	激光
两片模	On-Line	170	195	15分钟	11条	13条	200元	25%	550	650	225	179	325	471
	Off-Line	85	110	15分钟	6条	7条	200元	25%	300	350	225	179	75	171
片模	On-Line	270	320	15分钟	18条	21条	200元	25%	900	1050	270	215	630	835
	Off-Line	145	195	15分钟	10条	13条	200元	25%	500	650	270	215	230	435

03

激光清洗模具效果演示





高尔夫球棒清洗前后对比



日用品磨具清洗完成前后对比

Green and Lean - Laser Mold Cleaning

Noise-Emissions per Mold Cleaning

CO₂-Emissions per Mold Cleaning

Energy Consumption per Mold Cleaning



设备型号

RFL-P500手持设备

干冰清洗

性能

清理完后, **无需等待**模具升温即可生产清理完后, **需1-2小时等待**模具升温

能耗

每小时电费**5元**每小时耗电**50元**

效率

相当

成本

相当于每套模具**清洗价格40-50元**每套模具清洗价格**200-300元**

对比结论

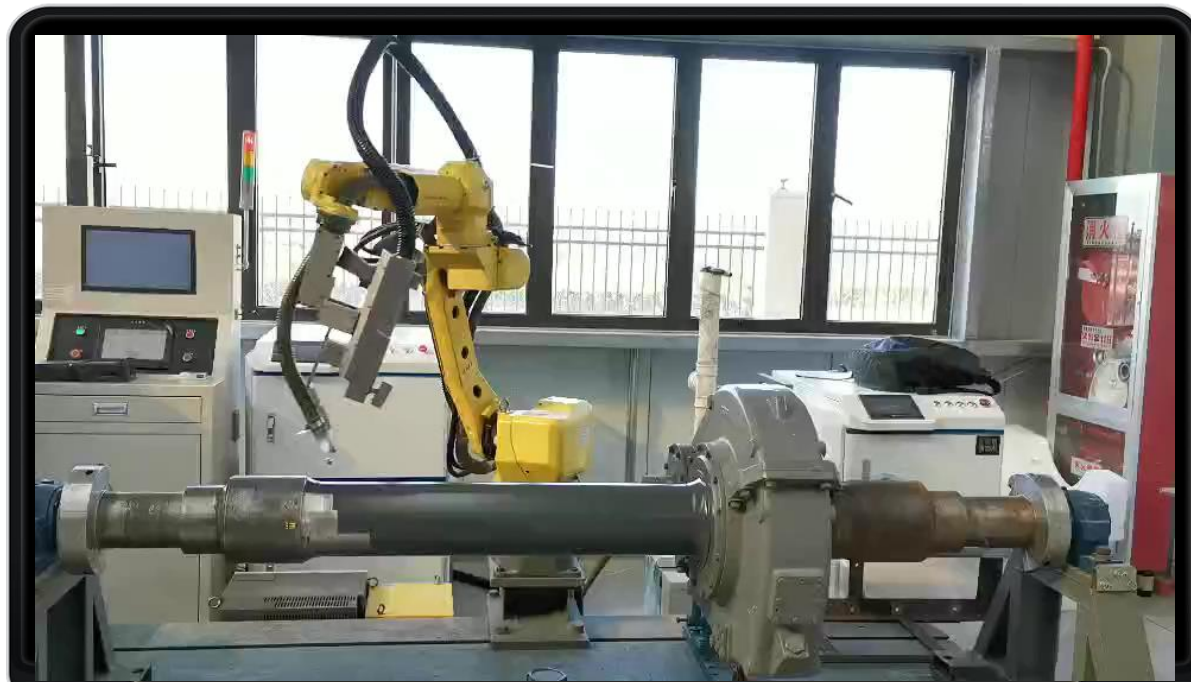
激光清洗设备本身**无耗材**, 使用**成本低**, 设备投资**回收期短**



酸洗作业现场

传统酸洗存在的问题

- 1、清洗效率低
- 2、岗位作业环境差
- 3、环境污染严重
- 4、人员配置多
- 5、经济效益低

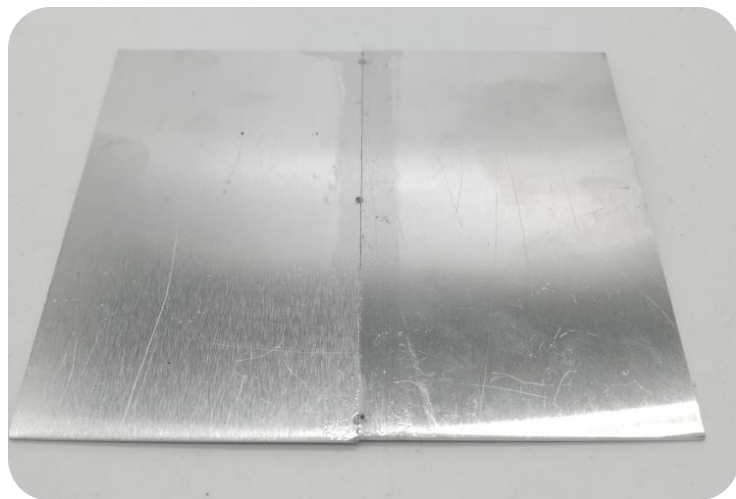


	清洗效率	作业环境	经济效益 (客户)
传统清洗	50min	脏、乱、气味刺鼻	单条线运营1200万/年
激光清洗	18min	整齐、无味道	单条线运营280万/年

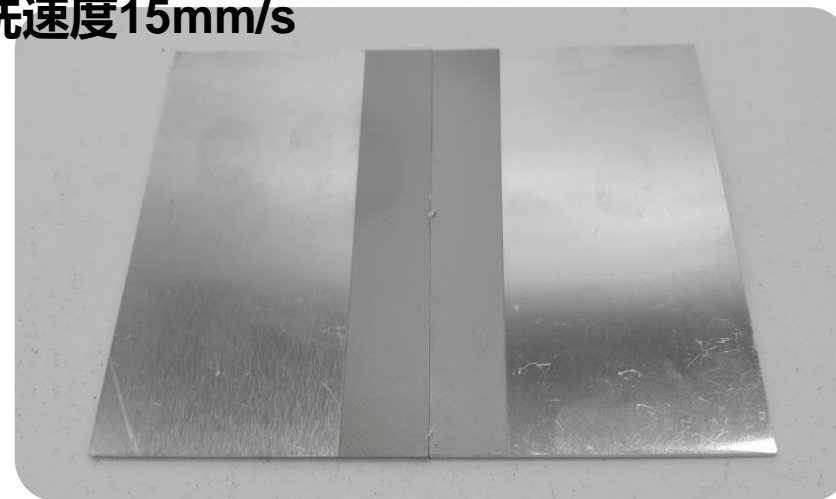
激光清洗工艺参数:

功率100W, 扫描速度8m/s, 脉宽240ns, 线宽15mm,

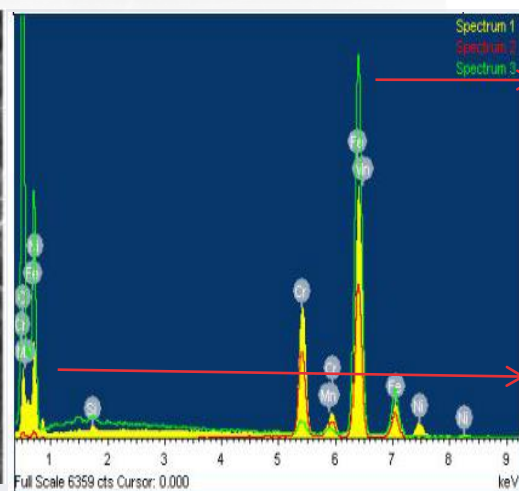
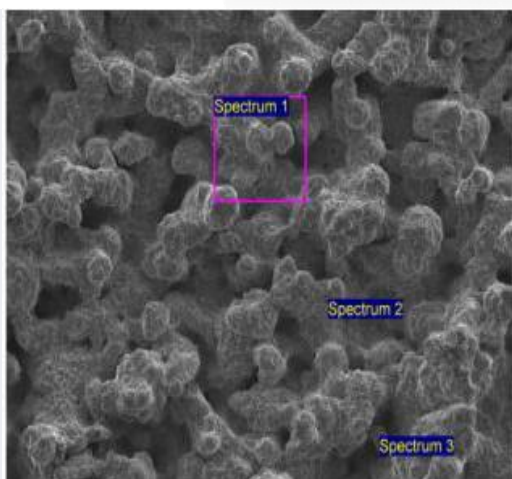
清洗速度15mm/s



未清洗前有油污、氧化层铝合金表面

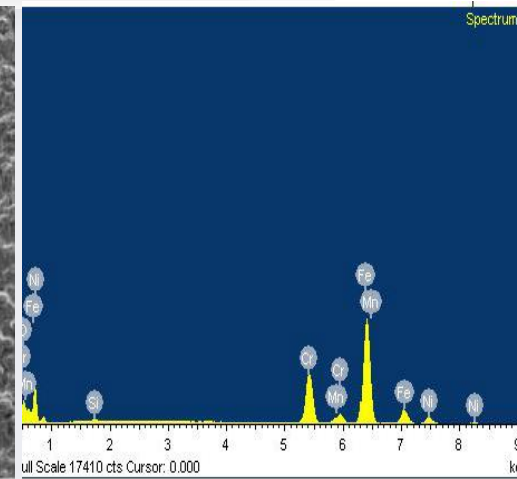
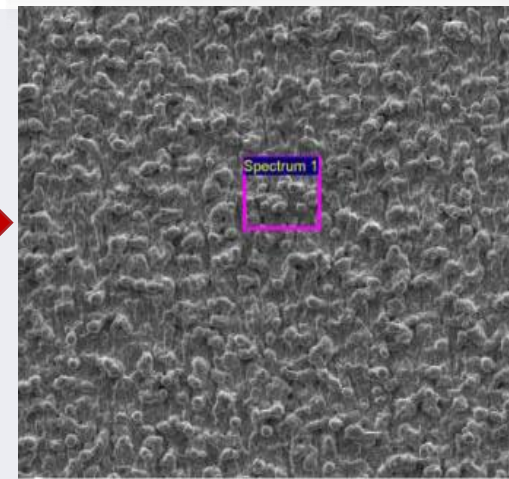


激光清洗后铝合金表面 (需要焊接处)



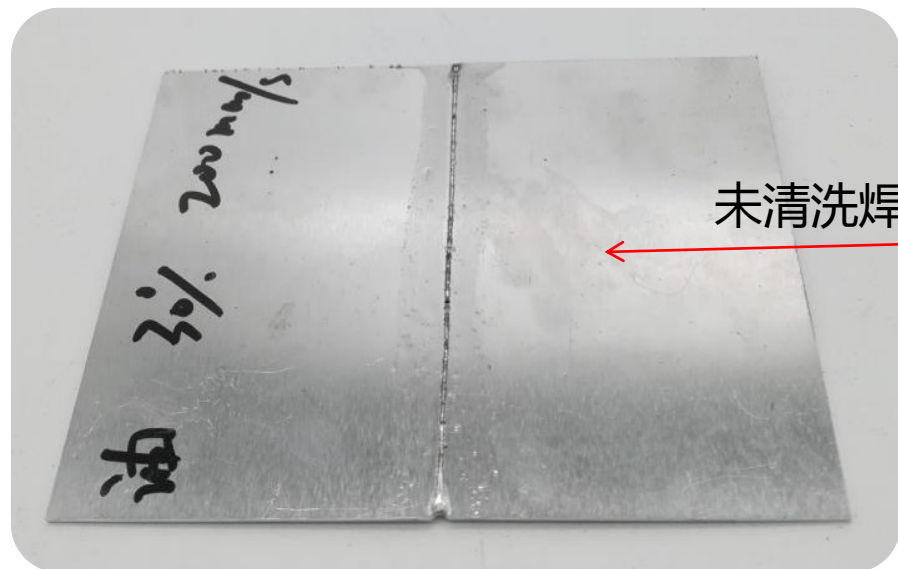
氧离子

碳离子

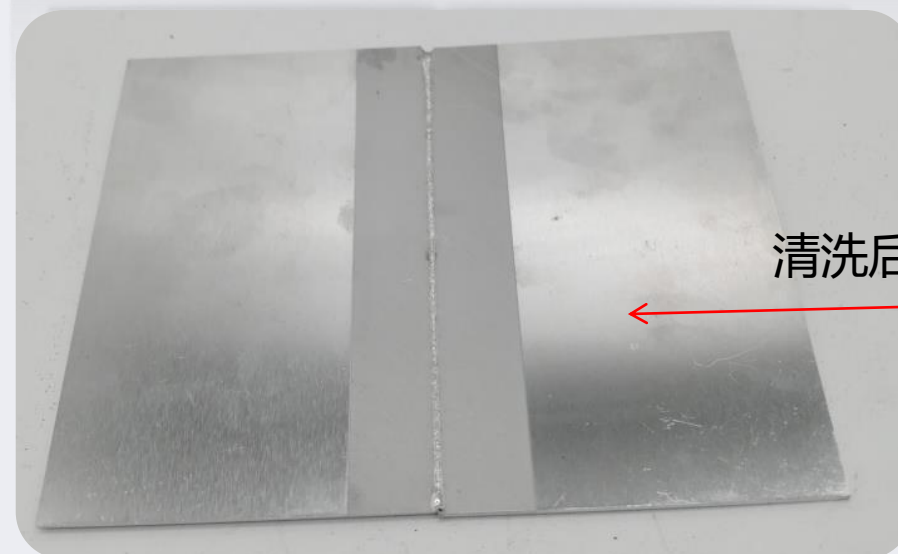


03

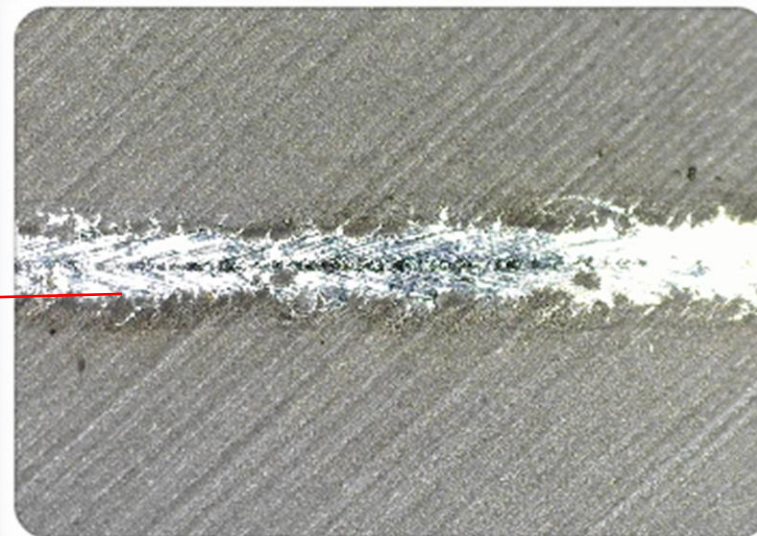
激光清洗之焊前案例研究



未清洗焊接

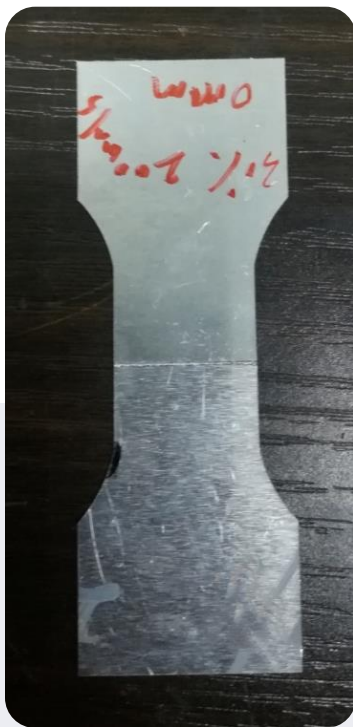


清洗后焊接



激光焊接参数：
功率：1200W
速度：200mm/s
离焦量：0mm

测试铝合金焊缝的力学性能，进行拉力测试

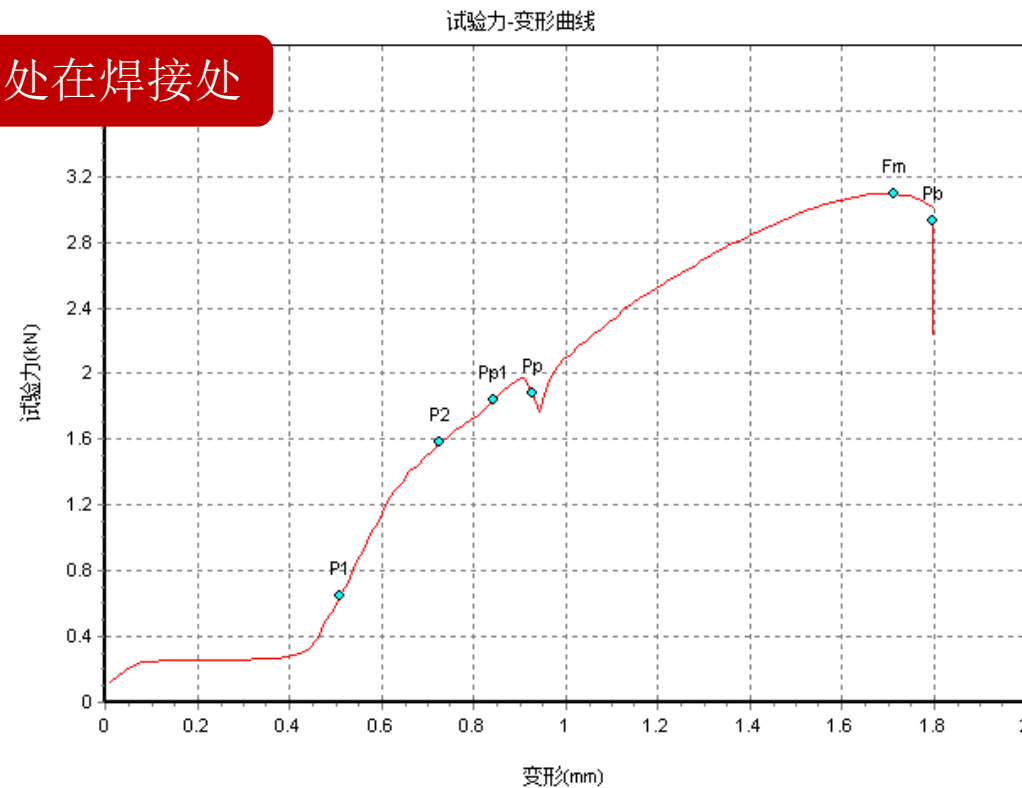


铝合金未清洗
拉伸前示意图

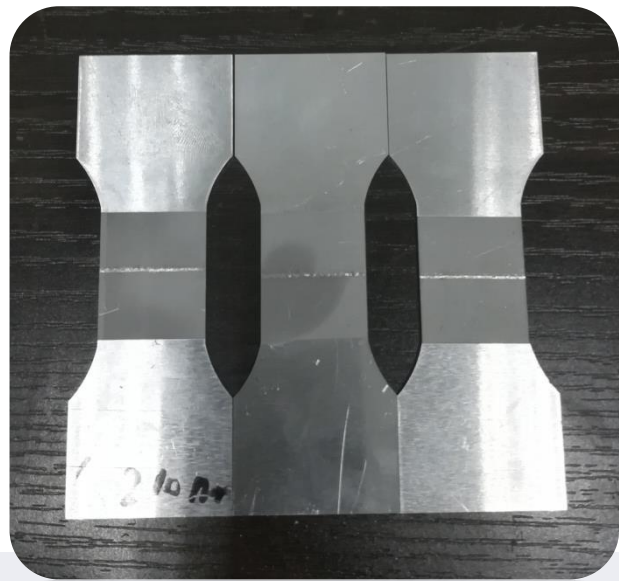


铝合金未清洗
拉伸后示意图

断裂处在焊接处



最大拉力2.996kN

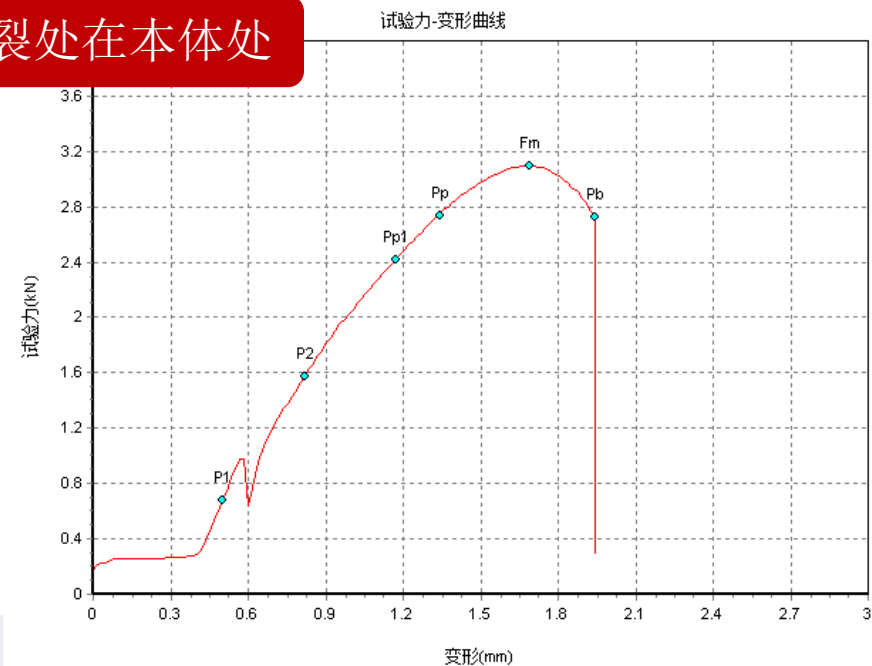


铝合金激光清洗拉伸前示意图



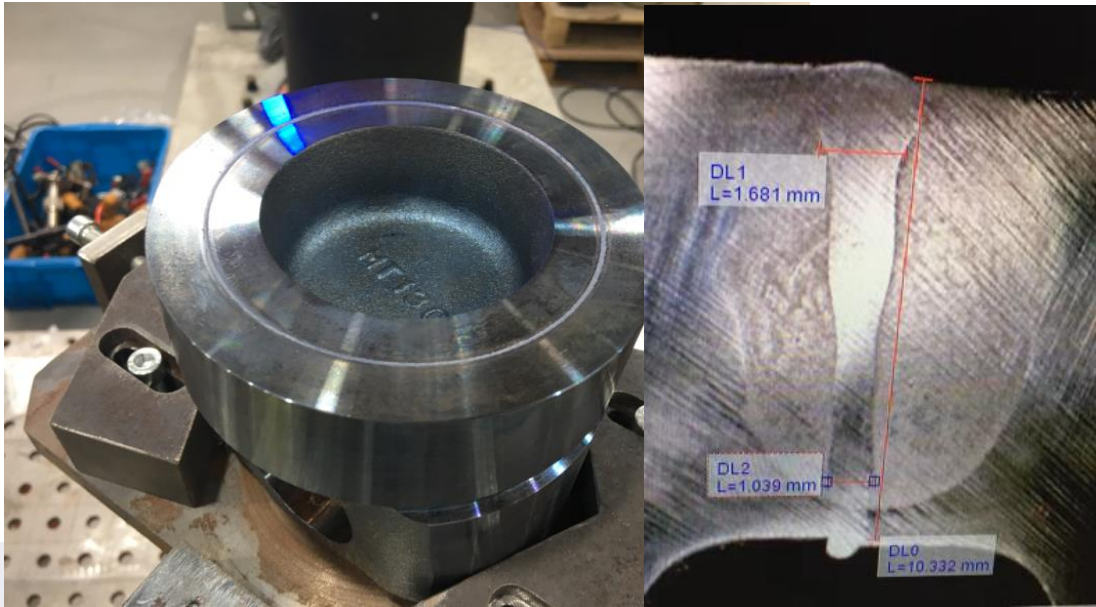
铝合金激光清洗拉伸后示意图

断裂处在本体处

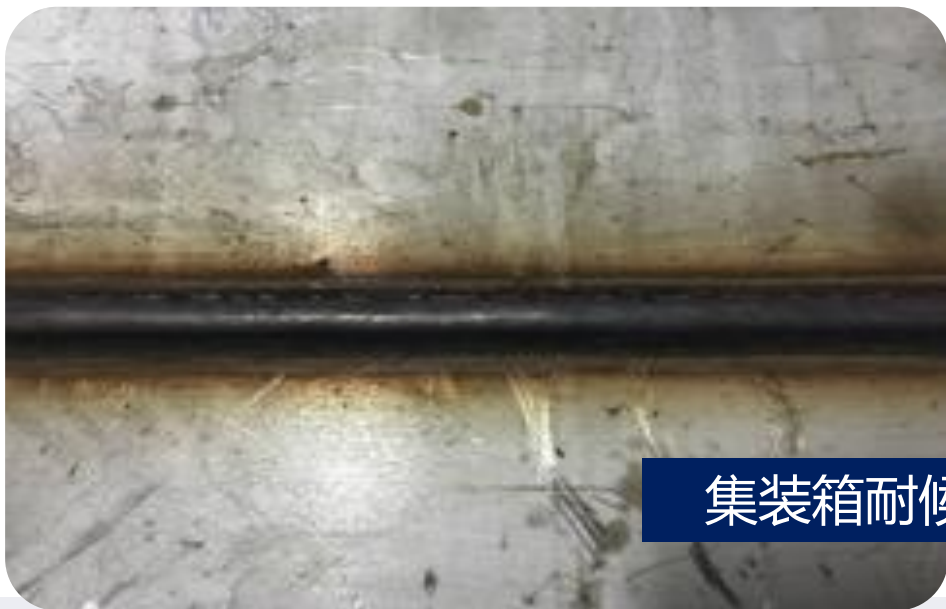


最大拉力3.137kN

	拉伸试样1	拉伸试样2	拉伸试样3	平均拉力	备注
未清理铝合金	2.996	2.895	2.766	2.885	清洗后焊接比未清洗焊接拉力提高了8.7%
清理后铝合金	3.108	3.127	3.146	3.137	



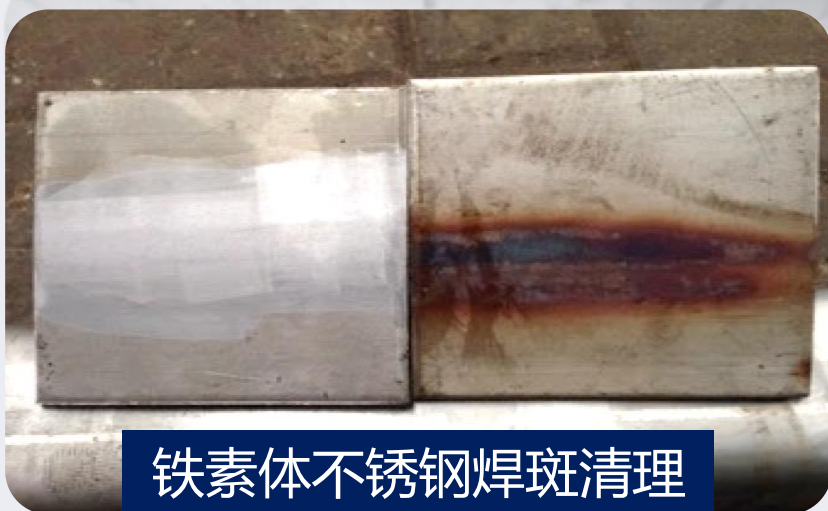
	未采用激光清洗	采用激光清洗焊前处理
形成状态	焊后裂缝形成概率60%，气孔率20%	焊后裂缝形成率2%，气孔率5%
合格率	15%	95%



集装箱耐候钢焊道激光清理



钢板焊后清洗，便于防腐涂料涂装



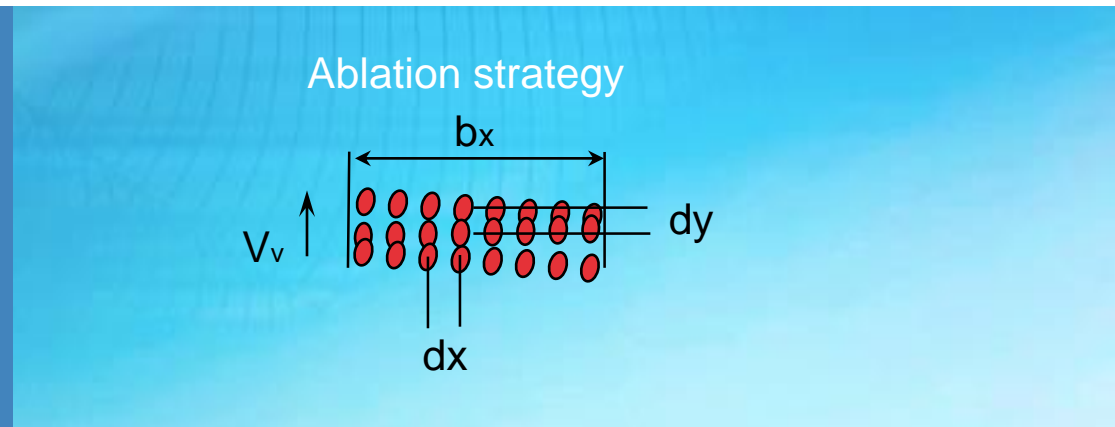
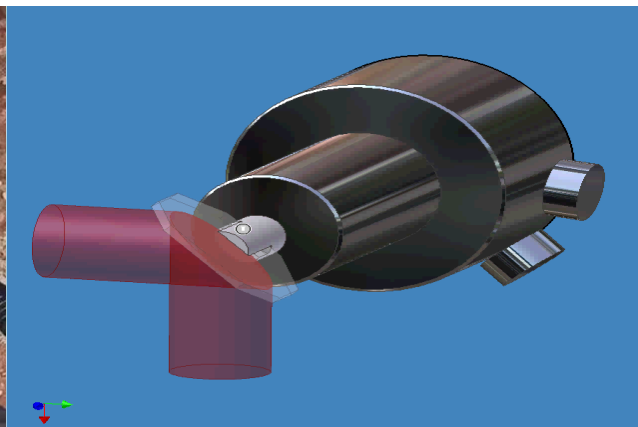
铁素体不锈钢焊斑清理

激光功率	波长	脉宽	加工速度
200W	1064nm	100ns	5m ² /h

PART 04

影响激光清洗的质量因素

我们拥有自主专利的剥离策略——扫描和移动



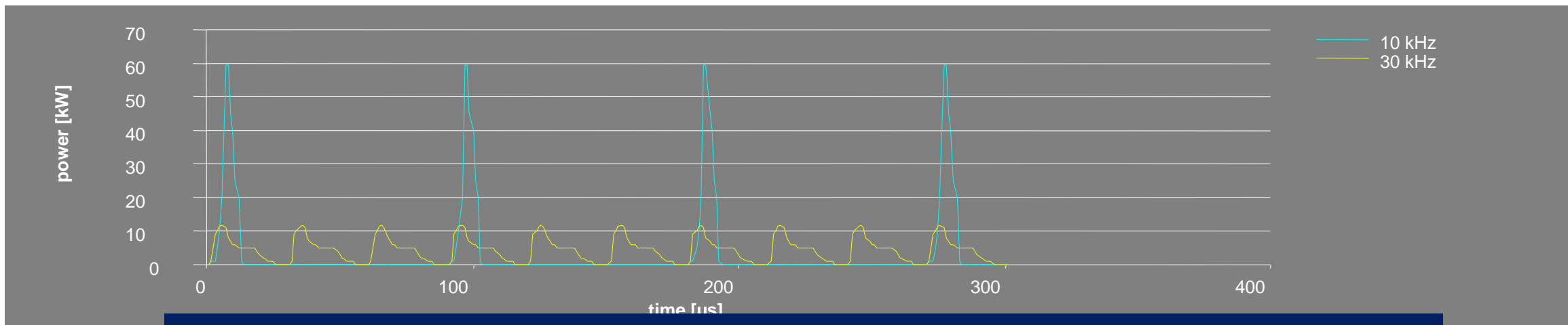
剥离原理

每秒脉冲可达5000次

线状光束偏转

扫描参数可调节（扫描速度 V 和扫描长度 H ）

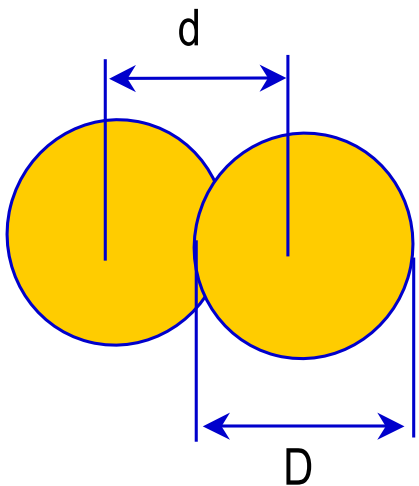
扫描激光光束作用时间很短（在特定行业试用超短脉宽）



不同的输出频率决定了不同的峰值功率和单脉冲能量
针对不同的清洗对象选择不同的峰值功率单脉冲能量

锐科200瓦激光器
清洗效果

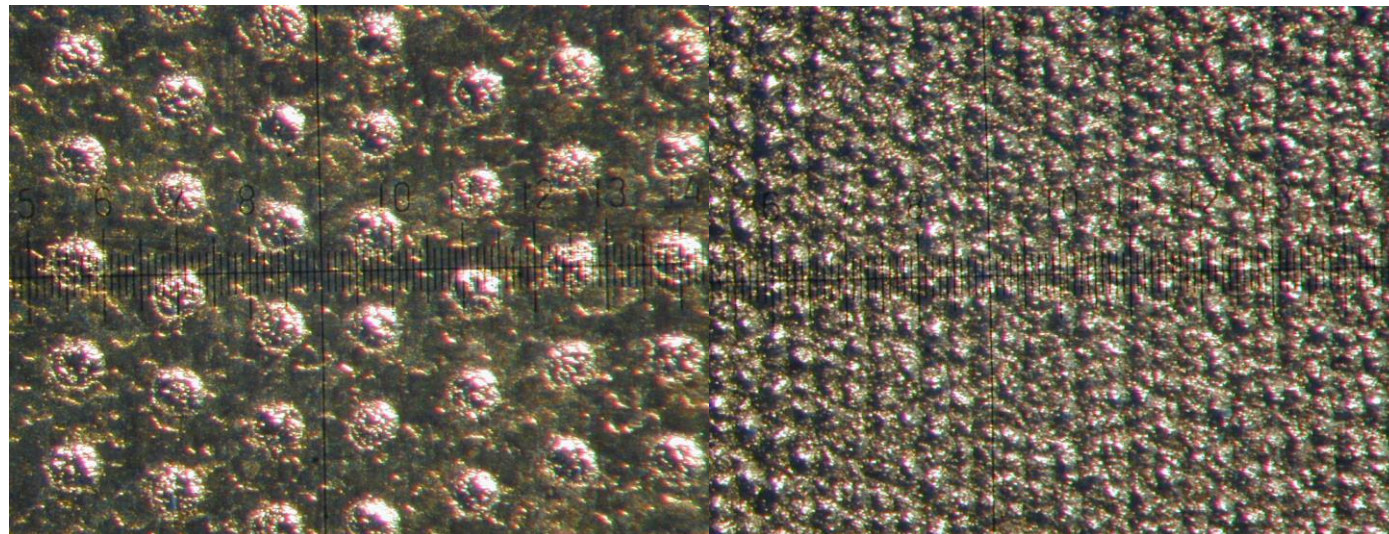
某品牌激光器清洗
效果



d = 光斑中心间距;

D = 光斑直径

$\text{Overlapp} = (d/D - 1) * (-100) [\%]$



Overlap -100 %

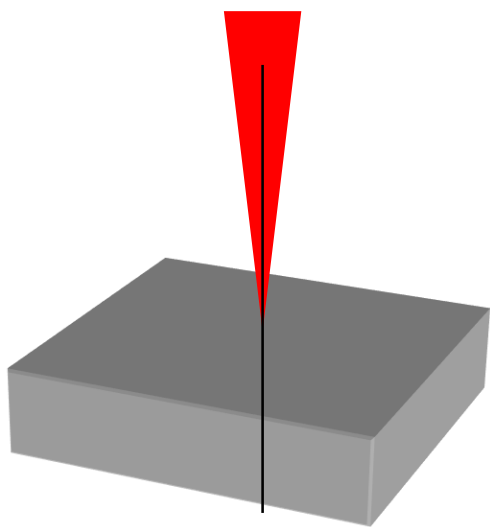
Overlap +50 %

OVERLAP

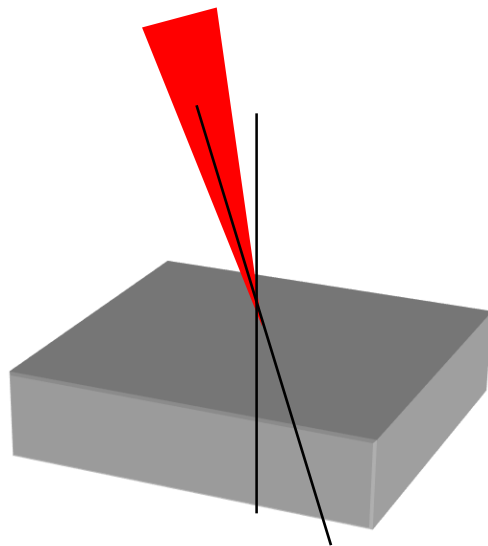
影响清洗质量 影响清洗速度

影响清洗质量 影响清洗速度

入射角度对清洗质量的影响

 $a=0^\circ$ 

$$I = I_0 \cos(a) = I_0$$

 $a=15^\circ$ 

$$I = I_0 \cos(a) = 0,96 I_0$$

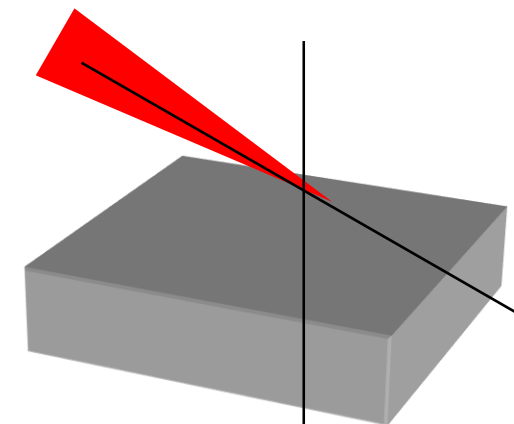
$$a = 20^\circ : I = I_0 0,94$$

$$a = 30^\circ : I = I_0 0,87$$

$$a = 40^\circ : I = I_0 0,77$$

$$a = 45^\circ : I = I_0 0,71$$

$$a = 50^\circ : I = I_0 0,64$$

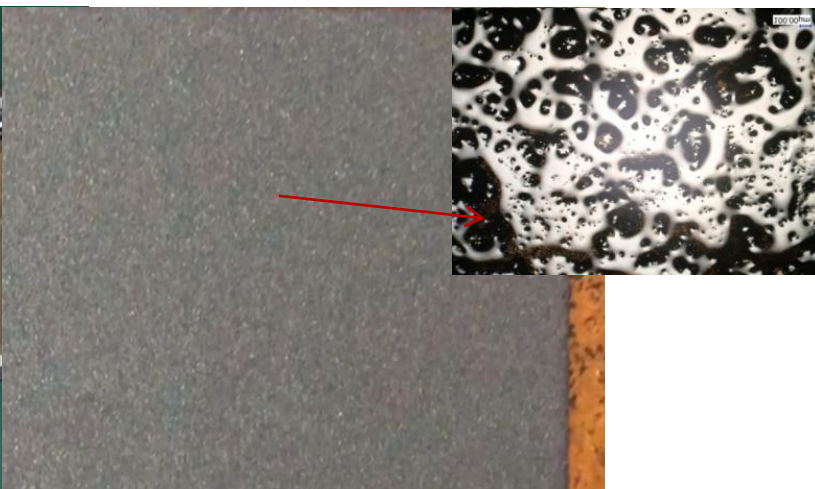
 $a=60^\circ$ 

$$I = I_0 \cos(a) = 0,5 I_0$$

$$a = 70^\circ : I = I_0 0,34$$

$$a = 80^\circ : I = I_0 0,17$$

同质层和异质层清洗怎么选择合适的激光器？



同质层清洗（除锈）
传统方式（打磨和喷砂）

异质层清洗（除锈）
传统方式（干冰）

- **铁锈、氧化层**：一般选择**高斯光束类激光器**
- **轮胎模具**：通常采用**平顶光束类清洗激光器**

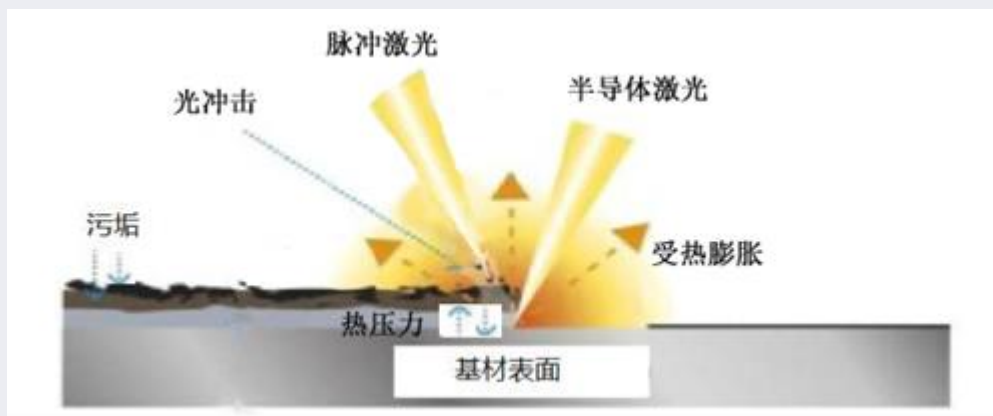
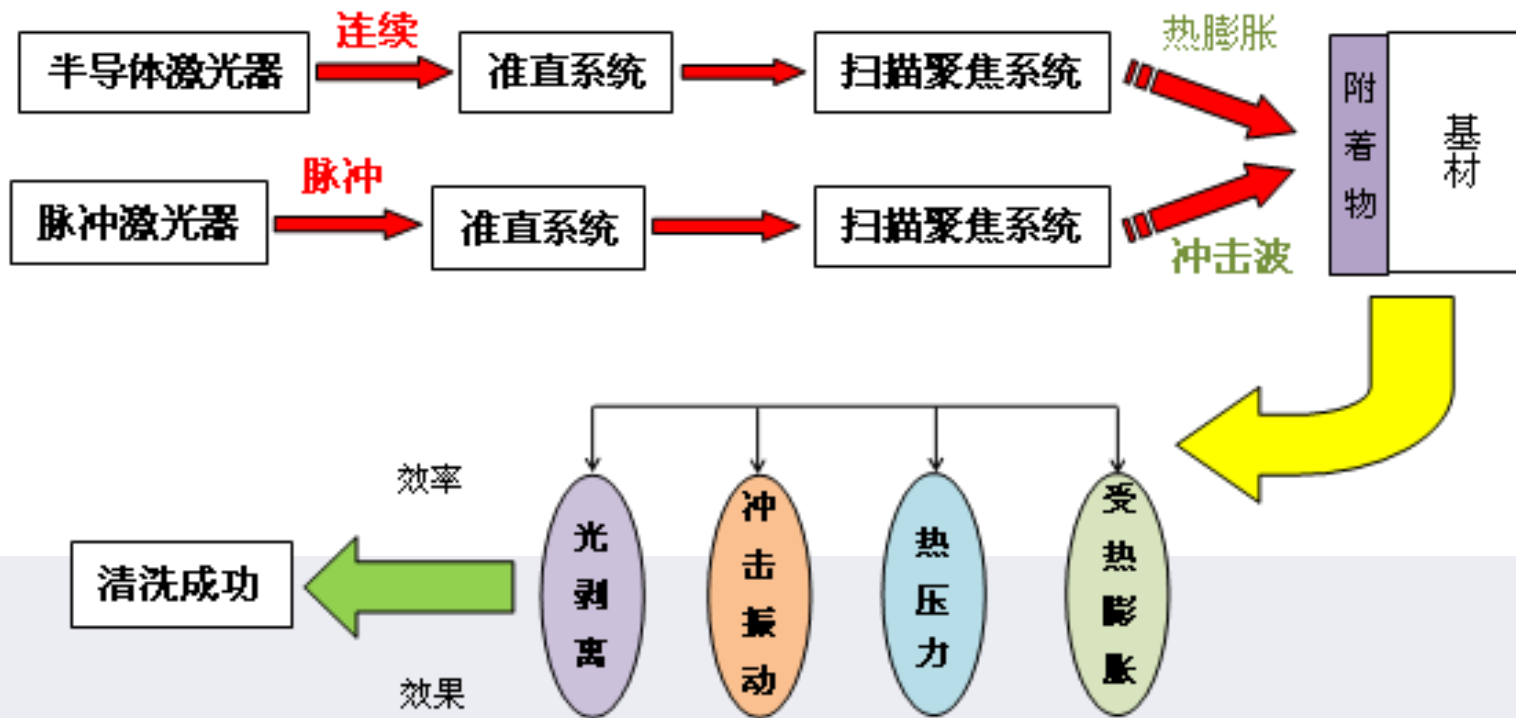
PART 05

激光清洗未来发展趋势



激光复合清洗技术是复合脉冲激光和高功率半导体激光清洗技术的一个新发展方向。

激光复合清洗技术避免了单一清洗的缺点和不足，具有提高清洗质量、增大清洗效率、稳定清洗加工过程、实现高反射材料的清洗等优点



05

复合清洗应用案例



激光器	功率	频率	扫描速度	线宽	清洗速度
脉冲300W	100%	20KHz	9.6m/s	80mm	/
半导体2000W	70%	/	/	80mm	/

05

锐科清洗激光专用光器

Raycus



RFL-P100

RFL-P200

RFL-P300

RFL-P500

RFL-P1000

激光功率

100W

200W

300W

500W

1000W

重复频率

20-200kHz

10-50kHz

10-50kHz

20-50kHz

25-50kHz

最大单脉冲能量

1mJ

10mJ

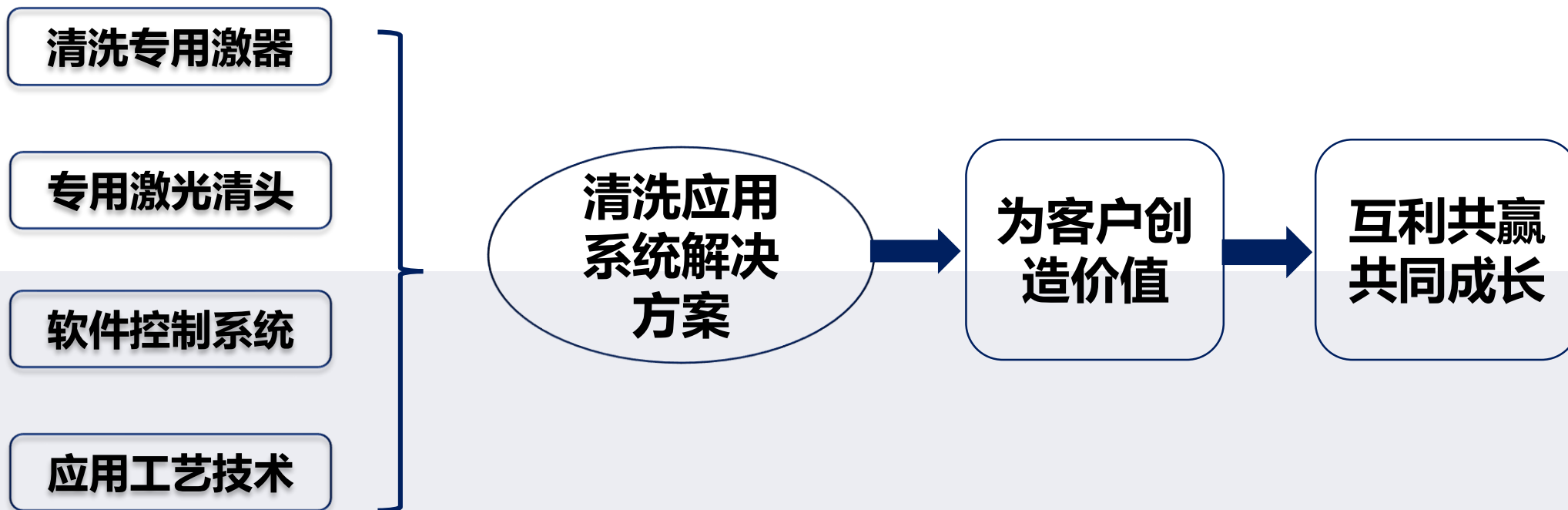
12.5mJ

25mJ

50mJ

芯径

30 μ m100 μ m100 μ m200 μ m600 μ m



| 产品介绍 | 激光清洗原理 | 案例分析 |

核心光源 锐科制造

