

内燃机系统 摩擦界面的可靠性增强技术

汇报人：刘大猛

摩擦学国家重点实验室

清华大学机械工程系

清华大学天津高端装备研究院



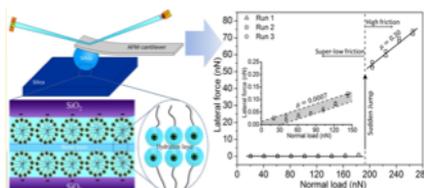
清华大学
Tsinghua University



清华大学天津高端装备研究院
TIANJIN RESEARCH INSTITUTE FOR ADVANCED EQUIPMENT, TSINGHUA UNIVERSITY

- 单位简介
- 研究背景
- 脉冲3D激光抛光技术
- 光谱成像的表面缺陷检测技术

- **摩擦学**：研究切削、压力、锻造、铸造、焊接、热处理等制造装备中表/界面粘着、摩擦、磨损、润滑机理与控制技术学科。



$$\mu = 0.02 - 0.05$$

弹流润滑



·1988

·1991

·1997

·2003

·2008

·2013

·2018

- 首批国家重点实验室之一 (1988)
- 在46所国家工程材料领域实验室
- 评估中三连优秀 (<1%)

薄膜润滑

表面工程

超精细摩擦

精密制造

工业互联网

超可靠技术

智能质检

“高校研发” — “应用技术” — “产品装备” — “产业服务”

天津高端装备研究院（2014）；
服务“中国制造2025”；
36个专业研究所；
产业公司15家；



机器人与自动化装备工程研究所
智能与生物机械研究所
工业自动化装备与技术研究所
动力传动应用技术研究所



重型装备技术研究所
沙产业工程装备研究所
先进能源装备技术研究所
智能安防技术与装备研究所
智慧医疗与医药装备研究所
测试装备与技术研究所
生物医药与装备研究所
轮轨关系与维护研究中心
特种模锻装备与成形技术研究所
海洋信息与智能装备研究所

表面工程研究所
表界面微纳技术研究所
润滑技术研究所
润滑与摩擦检测中心
刀具&轴承电磁强化技术研究所



激光工程研究所
增材制造技术与工程研究所
微流控系统设计与制造研究所
智能电控研究所
高端轴承与旋转机械研究所
先进汽车缓速器
飞行控制研究所
工业4.0研究所
嵌入式系统及物联网研究所
微纳能源研究中心
细胞操控技术与装备研究所
光电技术研究所



- 单位简介
- 研究背景
- 脉冲3D激光抛光技术
- 光谱成像的表面缺陷检测

背景：发动机摩擦界面

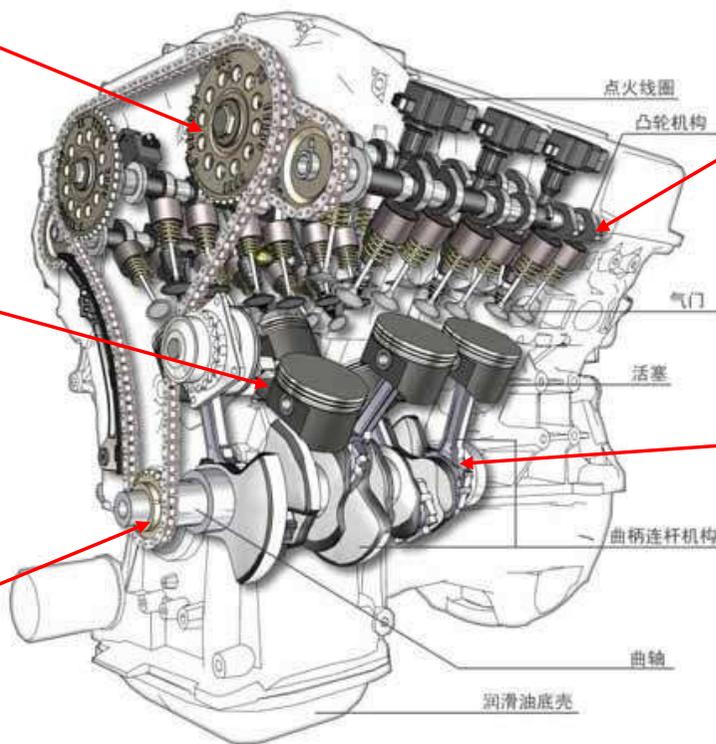
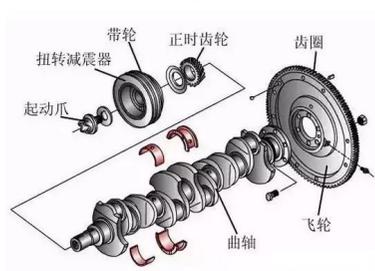
齿轮副



气缸壁与活塞环



曲轴轴承与齿轮

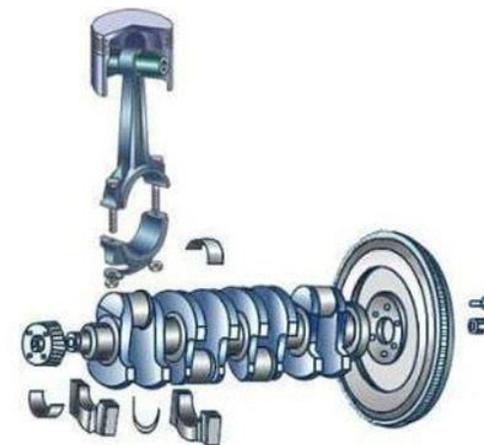


发动机

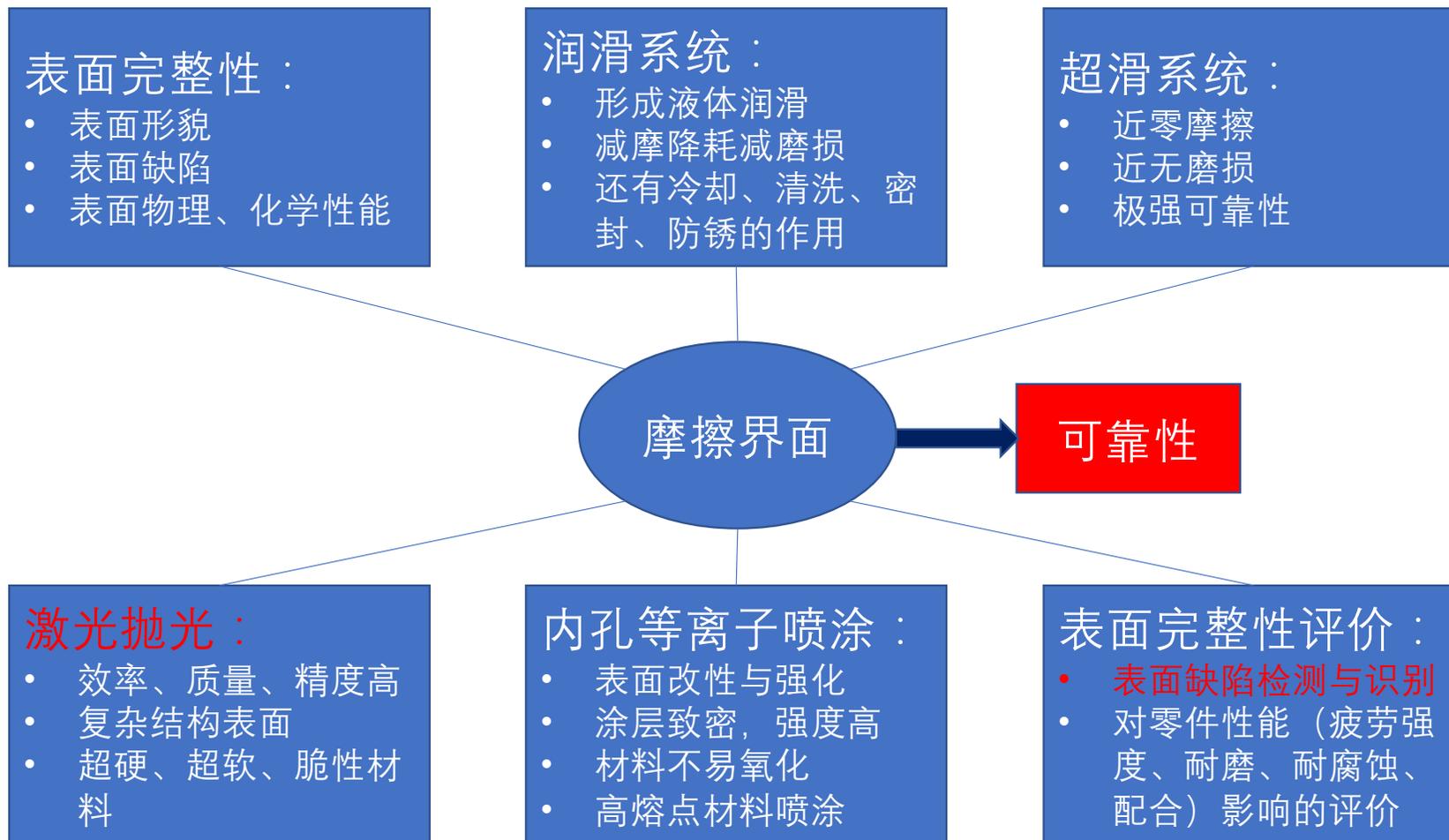
气门与凸轮



曲柄连杆

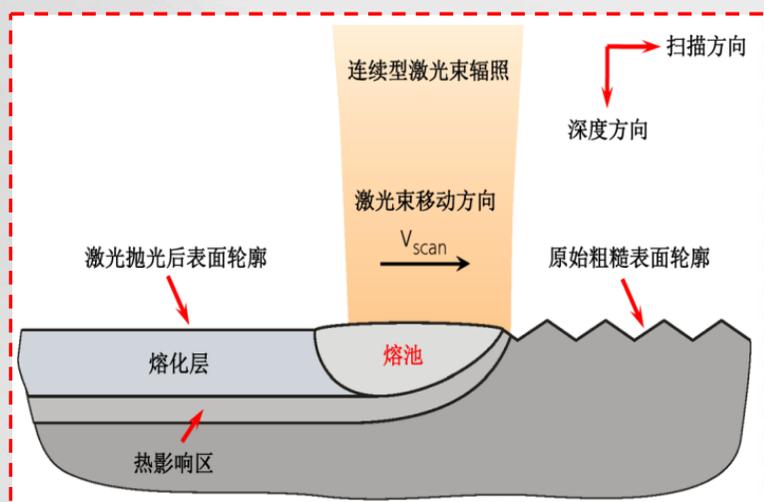


可靠性：摩擦界面摩擦性能
性能：摩擦界面表面质量



- 单位简介
- 研究背景
- 脉冲3D激光抛光技术
- 光谱成像的表面缺陷检测

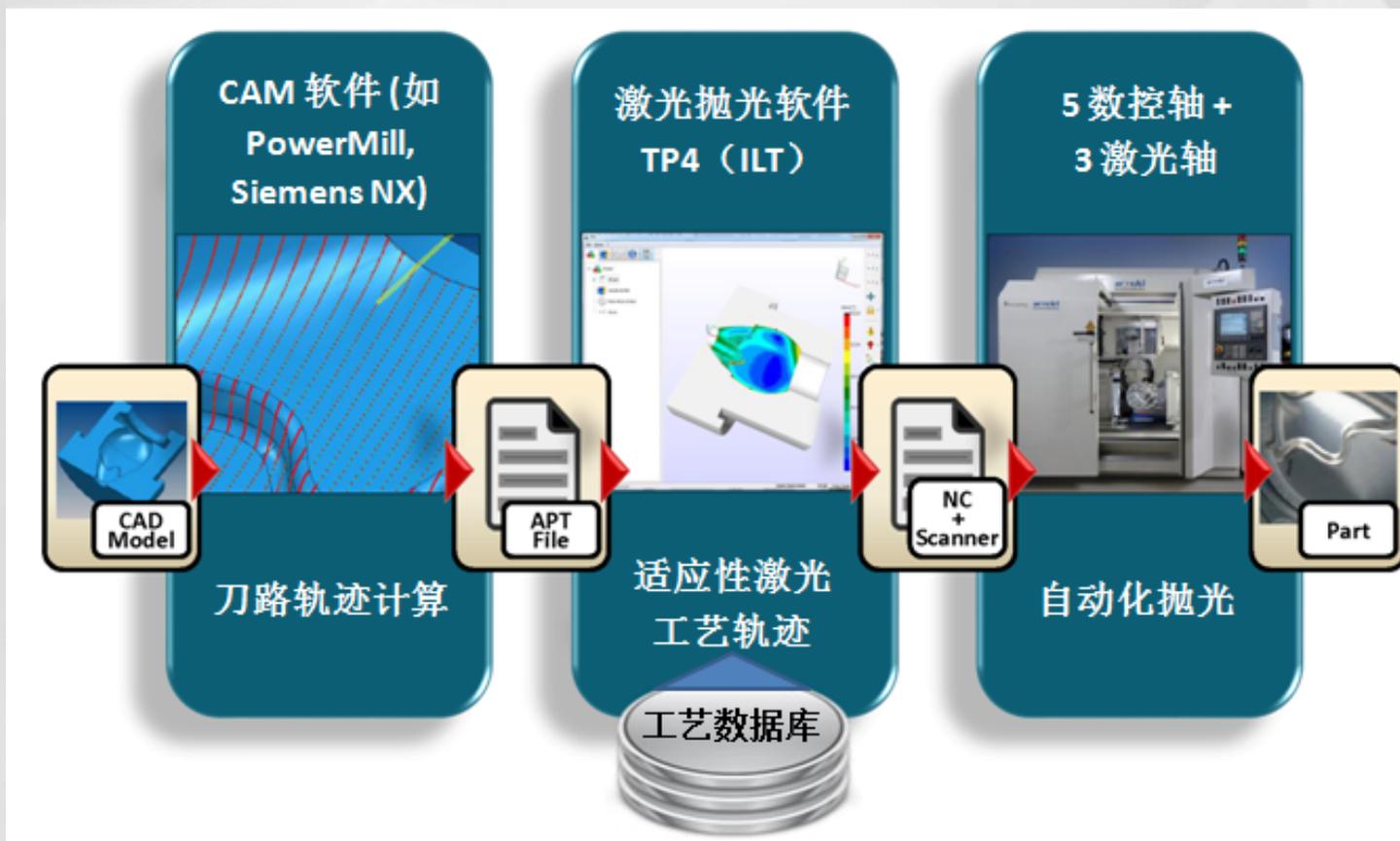
- ◆ 基于重新熔化工件的薄表面层，在**表面张力的作用下**对表面进行平滑处理；
- ◆ 抛光材料类型：**铸铁、模具钢、钛合金、镍、钴和铬合金**、石英玻璃、陶瓷等；
- ◆ 可抛光**任意复杂曲面**；高加工速度(可达 $10 \text{ m}^2/\text{s}$)；非接触、可控性强、加工过程**自动化**；
- ◆ 精度高，粗糙度降低为**微米级**甚至**纳米级**



激光抛光原理



激光抛光装备



激光抛光工艺链

激光抛光复杂3D零件应用实例



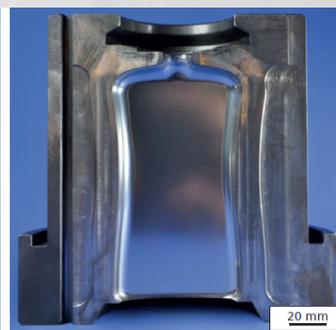
激光抛光酒瓶模具



激光抛光酒瓶模具

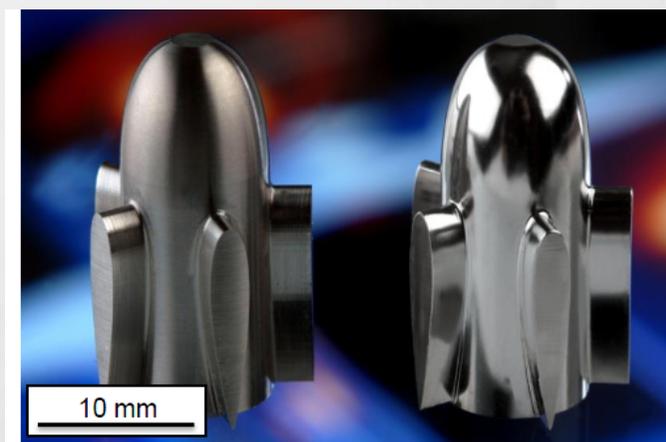
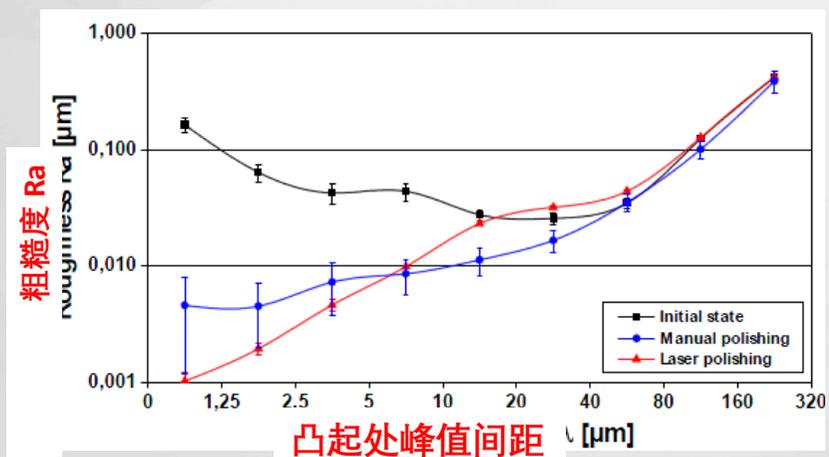


激光抛光模具零件



激光抛光模具腔体

人工抛光和激光抛光3维产品效率对比



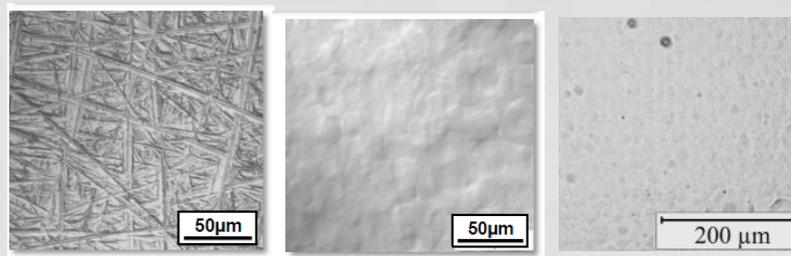
激光抛光钛合金零件

抛光3维产品效率对比：

原始表面粗糙度：Ra 3.6 μm

人工抛光：3 小时 Ra 0.02 μm

激光抛光：5 分钟 Ra 0.02 μm

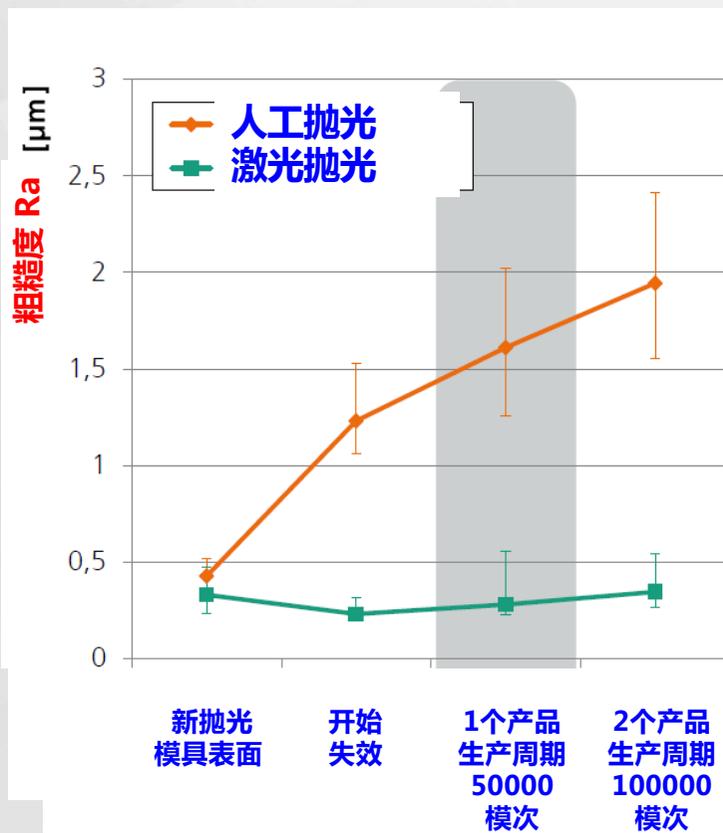


原始表面

人工抛光

激光抛光

人工抛光和激光抛光对模具寿命影响



人工抛光 激光抛光

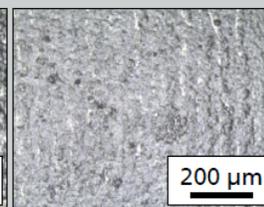
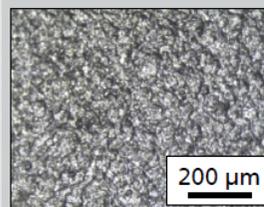
新抛光模具表面



开始失效

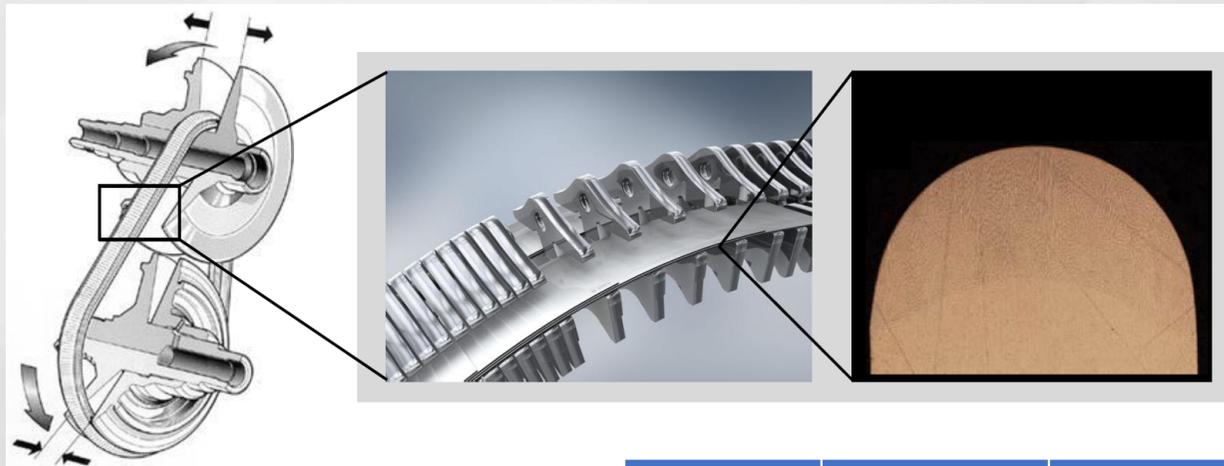


1个产品生产周期



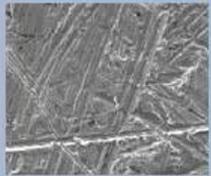
激光抛光技术

激光抛光应用示例：推带环(Push Belt Ring)零件抛光 (Bosch VDT)



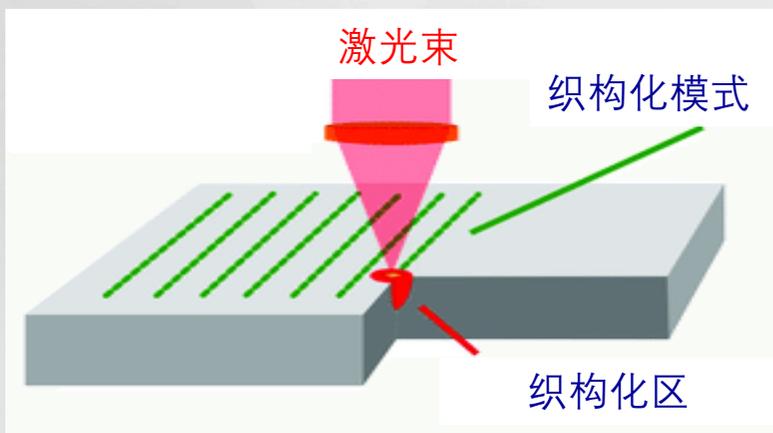
通过激光抛光取代传统辊压工艺

- + 零件边缘更光滑
- + 无划痕
- + 工艺环保无污染
- > 疲劳强度提高200%
- > 零件尺寸缩小、扭矩提高
- >> 100万批次产品验证

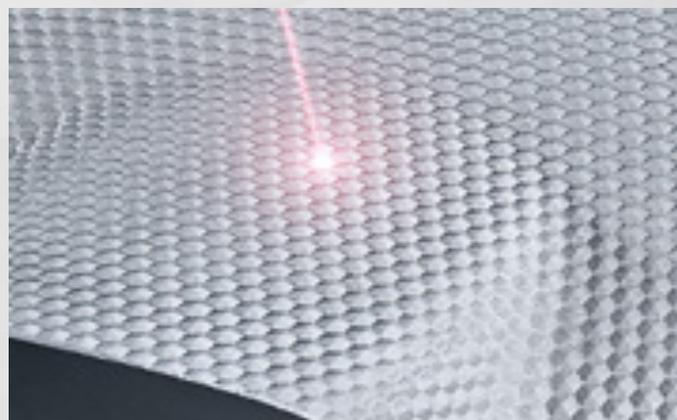
	表面质量	边缘轮廓
传统工艺		
激光抛光		

激光抛光拓展技术-激光织构化表面

- 根据给定的输入参数**去除或调控材料**，受激光束焦点和作用层控制；
- 可应用于任何材料，可**织构化复杂的曲面和自由形状纹理**；
- 可以调控热效应：出现**熔体或直接气化**，无毛刺或其他损坏；
- 非接触和无力过程，效率高、作用效果好。

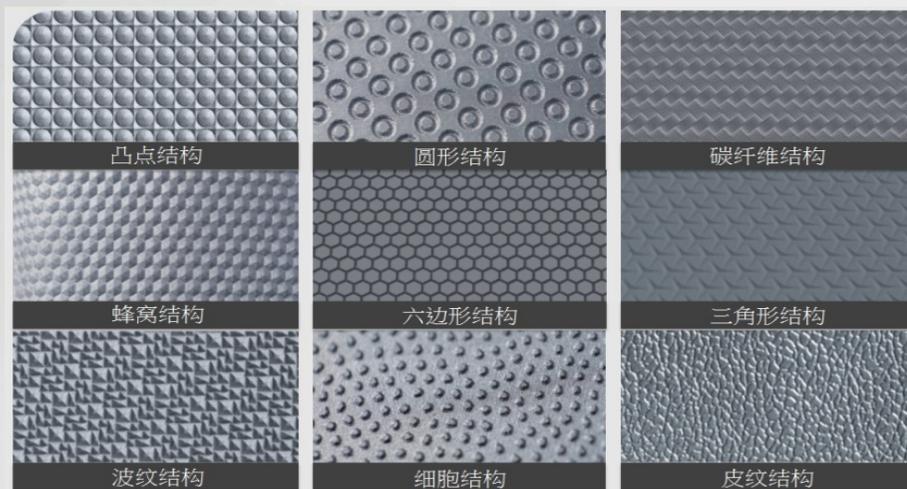


激光织构化原理

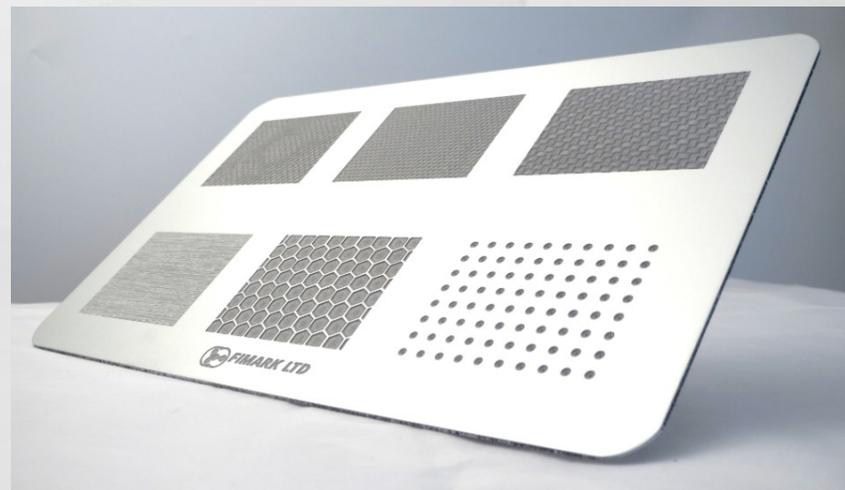


激光织构化过程

- 表面纹理-为零件添加高清晰度、低浮雕纹理、色彩效果，改善零件外观；
- 摩擦学-减少运动部件（密封件，轴承，缸套）的摩擦；
- 润湿-使表面超疏水（疏水）或超亲水；
- 光学特性-改变光的吸收甚至充当衍射光栅，改变表面以减少眩光。

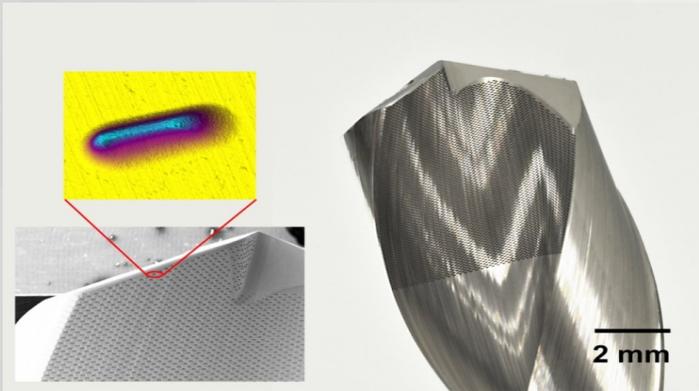


激光织构化表面类型



织构化表面宏观效果

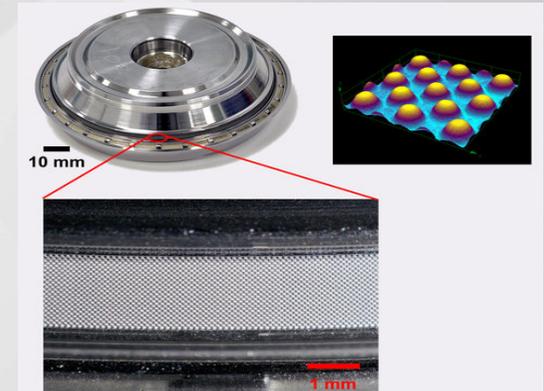
激光抛光拓展技术-激光织构化表面



激光织构化钻头表面



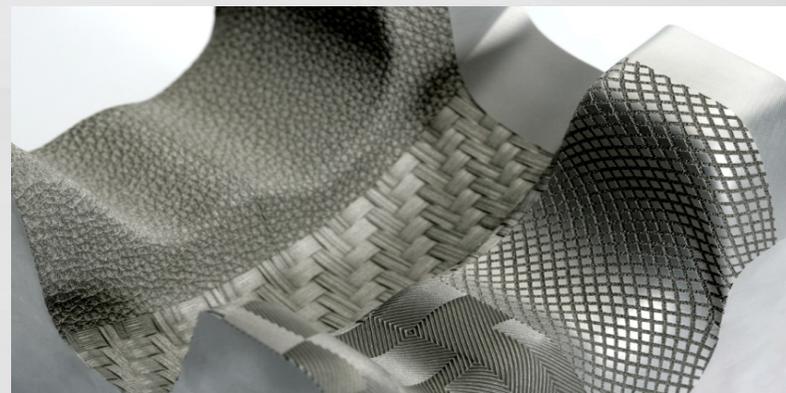
激光织构化套筒表面



功能性-纹理模具表面

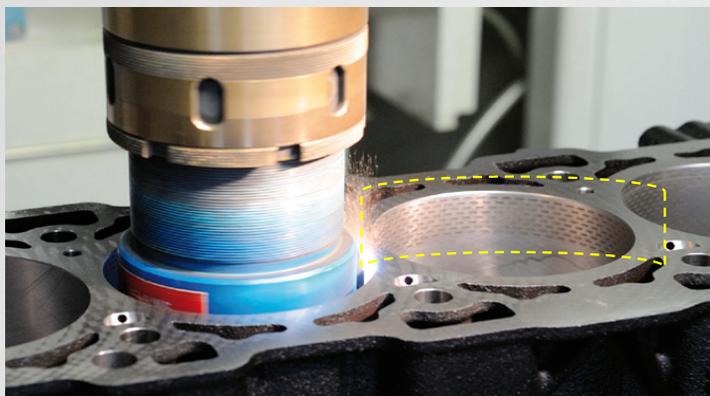


复合纹理结构

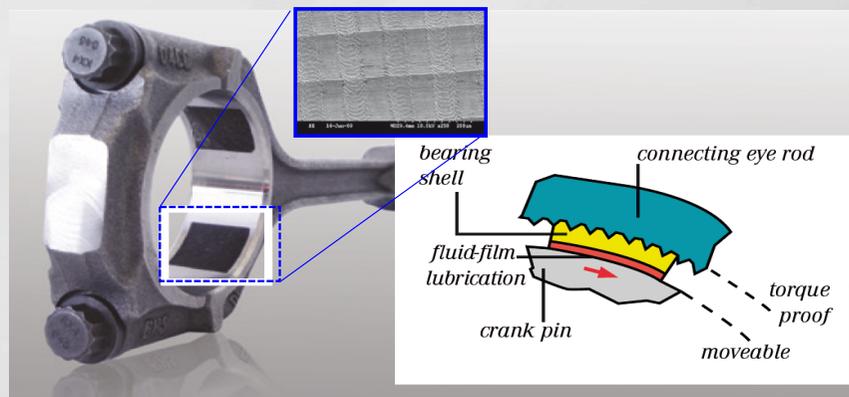


织构化表面反光特性

- 表面织构能提高内燃机缸套耐磨性能，表面织构有利于**润滑油膜的生成**，其协同润滑效应有助于改善缸套-活塞环的摩擦学性能；
- 提高活塞环/缸套的使用寿命（**提高20%以上**），大幅度提高发动机的效率，降低发动机的燃油消耗。



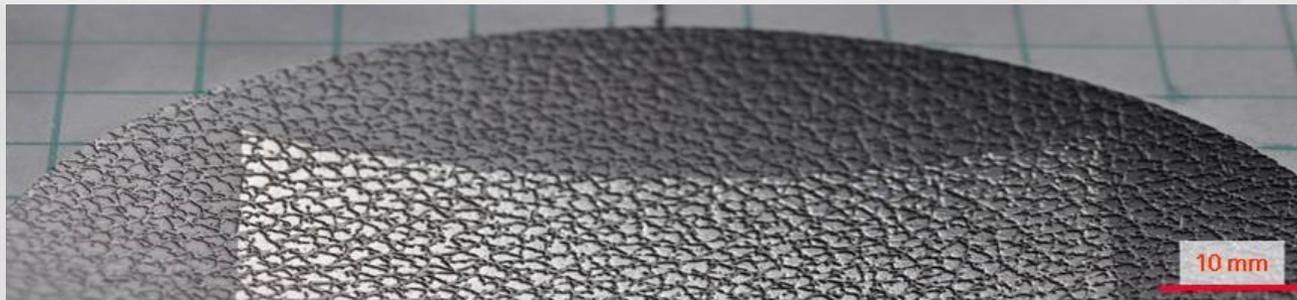
缸套表面激光结构化



活塞杆表面激光结构化

激光抛光拓展技术-激光结构化表面

激光结构化表面应用案例：汽车仪表板



- 单位简介
- 研究背景
- 脉冲3D激光抛光技术
- 光谱成像的表面缺陷检测

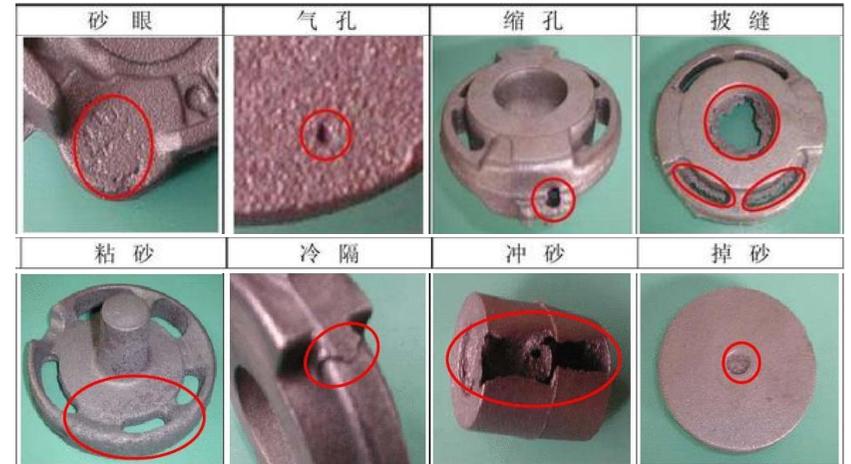
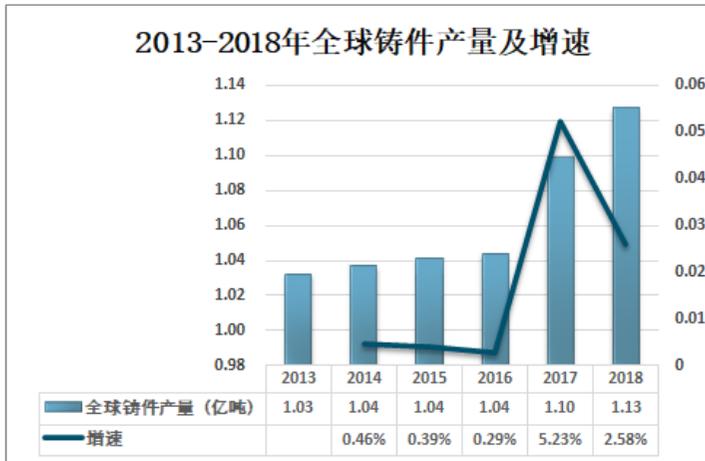
研究背景

机械加工表面缺陷与检测技术

工艺复杂，形态多样



2013-2018年全球铸件产量及增速



铸件产业发展趋势

铸件质量控制和提升

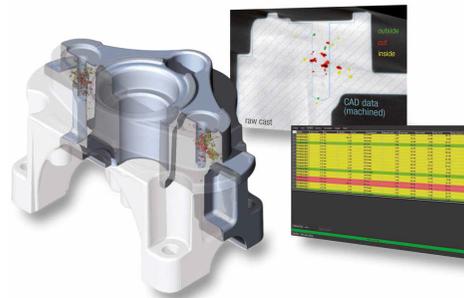
铸造生产信息化

铸铁新材料开发

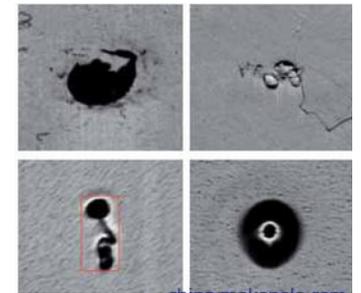
缺陷检测



便携化



数字化、智能化

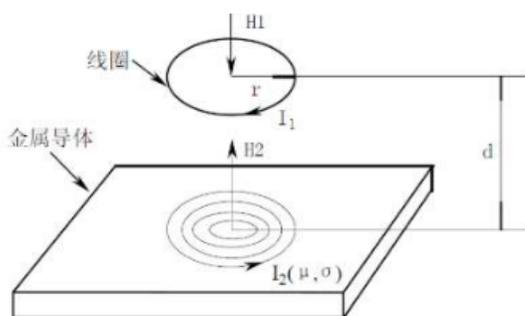


精密化

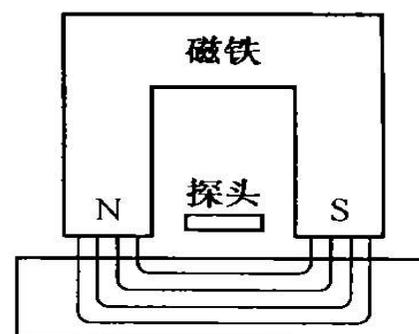
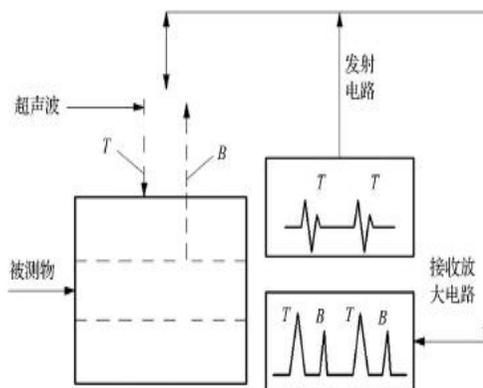
表面缺陷检测技术仍是机加领域一项持续发展的关键技术

常用的无损检测技术

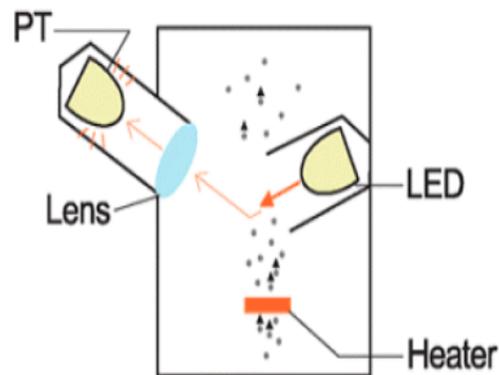
涡流检测：在检测过程中不会对测量件造成影响，但受钢板孔洞断面闭环特性的影响，检测精度相对较差。



超声波检测：具有完全非接触的优点，基于远程操控的方式便可进行检测，更适用于微裂纹产品。

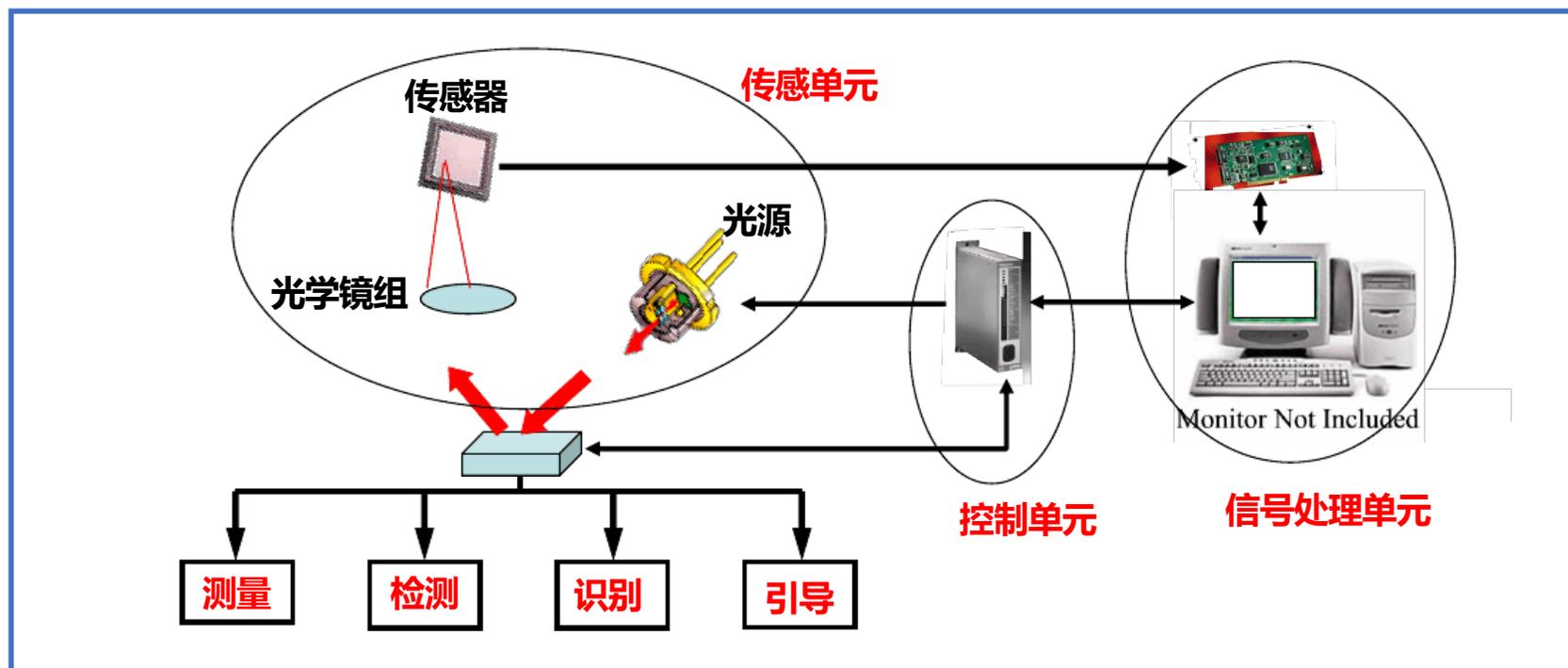


漏磁检测：适用于铁磁性零件，准确率高，但整体结构复杂，加大了制造难度。



红外检测：具有较高的精测精度，不易受到光照的影响，但随着生产车间环境的改变，检测精度将受到影响。

视觉检测介绍

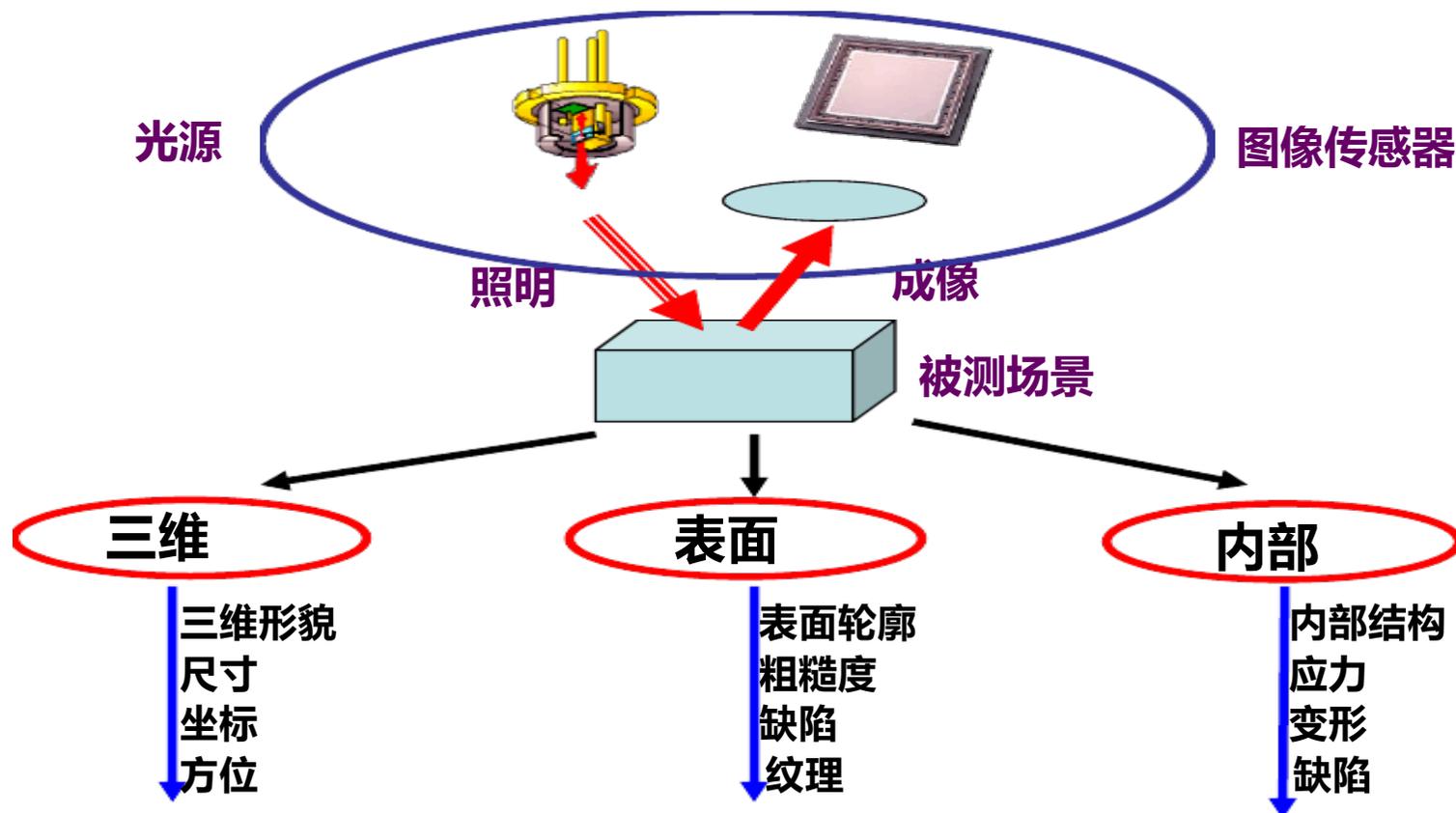


机器视觉的优势

机器视觉系统与被检测对象无接触，安全可靠，其与人工检测相比，优势在于：

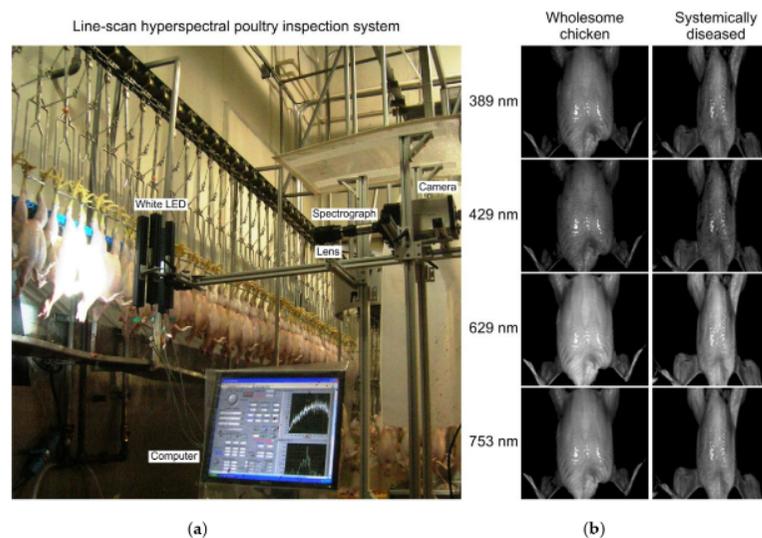
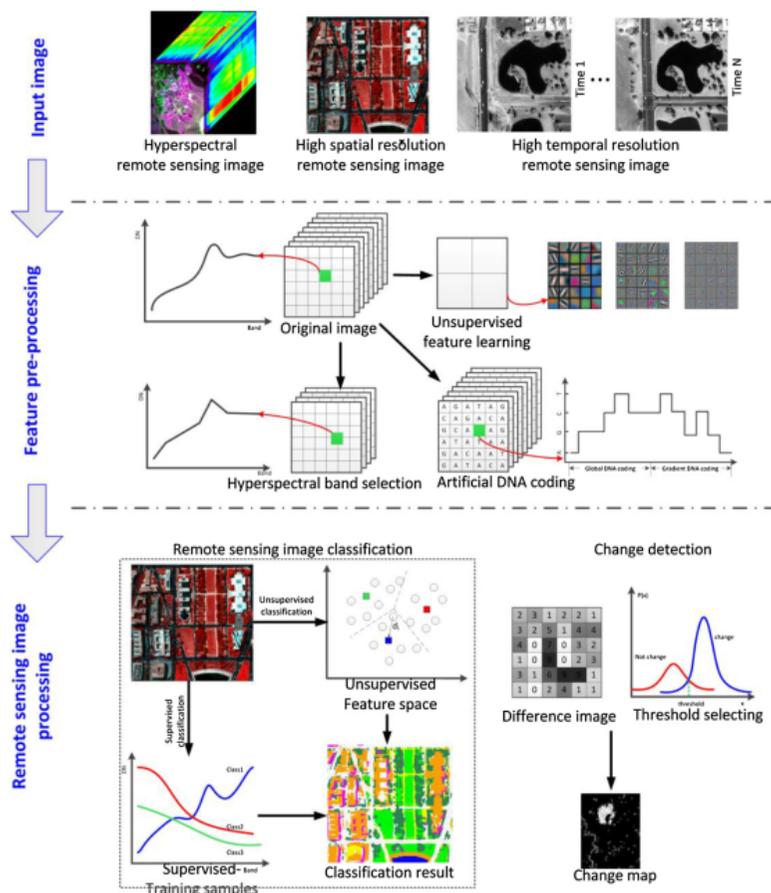
	机器视觉自动检测	人工检测
效率	效率高	效率低
速度	速度快	速度慢
精度	高精度	受主观影响，精度低
可靠性	稳定可靠	易疲劳，受情绪波动
工作时间	持续工作	间歇工作
信息集成	简便	复杂
成本	成本不断降低，一次性投入	人力和管理成本不断上升
环境	适合恶劣、危险环境	不适合恶劣和危险环境

基于光谱成像的表面缺陷检测-产业应用



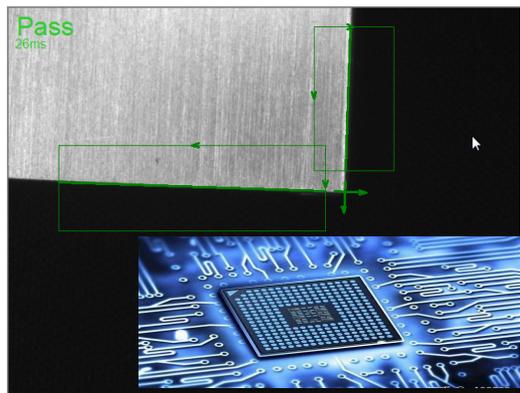
基于光谱成像的表面缺陷检测-产业应用

光谱成像检测系统

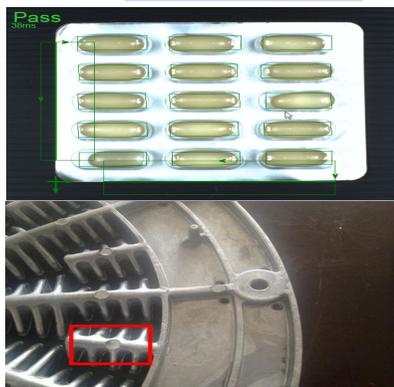


启发:
多种光谱复合成像，引入数据处理算法，实现在线缺陷检测。

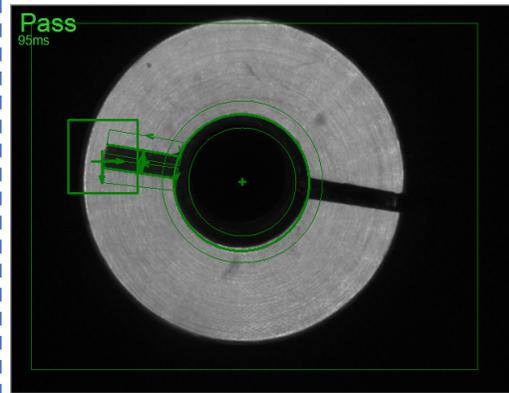
基于光谱成像的表面缺陷检测-产业应用



防错
计数
分类
表面伤缺



- 色彩和瑕疵检测
- 零件或部件的有无检测
- 目标位置和方向检测



距离
角度
真圆度
直线度

- 尺寸和容量
- 预设标记的测量



一维码
二维码
OCR



引导

定位
纠偏
实时反馈

- 输出空间坐标引导
- 机械手精确定位

谢谢！