



金属3D打印的发展及应用

高鹏飞（华南区总监）
西安铂力特激光成形技术有限公司
2017年4月15日

设计更自由

制造更简单

报告提纲

- ✈ 金属3D打印的技术特点和应用方向
- ✈ 金属3D打印应用的一些建议
- ✈ 铂力特在金属3D打印技术的研究及应用概况

金属3D打印的技术特点和应用方向

技术特点

无模具快速自由成形
全数字化、无人值守
高柔性、高集成
可成形无限复杂的结构

益处

无需开模，节省时间&成本
成品率高、一致性好、节省人工&管理成本
个性化制造、缩短制造流程、降低投入&质量成本
设计自由、产品优化、降低成本，竞争力提升



对CAD模型进行分层切片



逐层打印

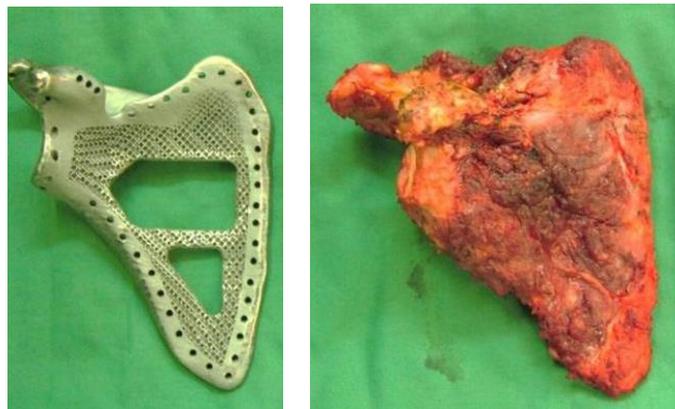


净尽成形件

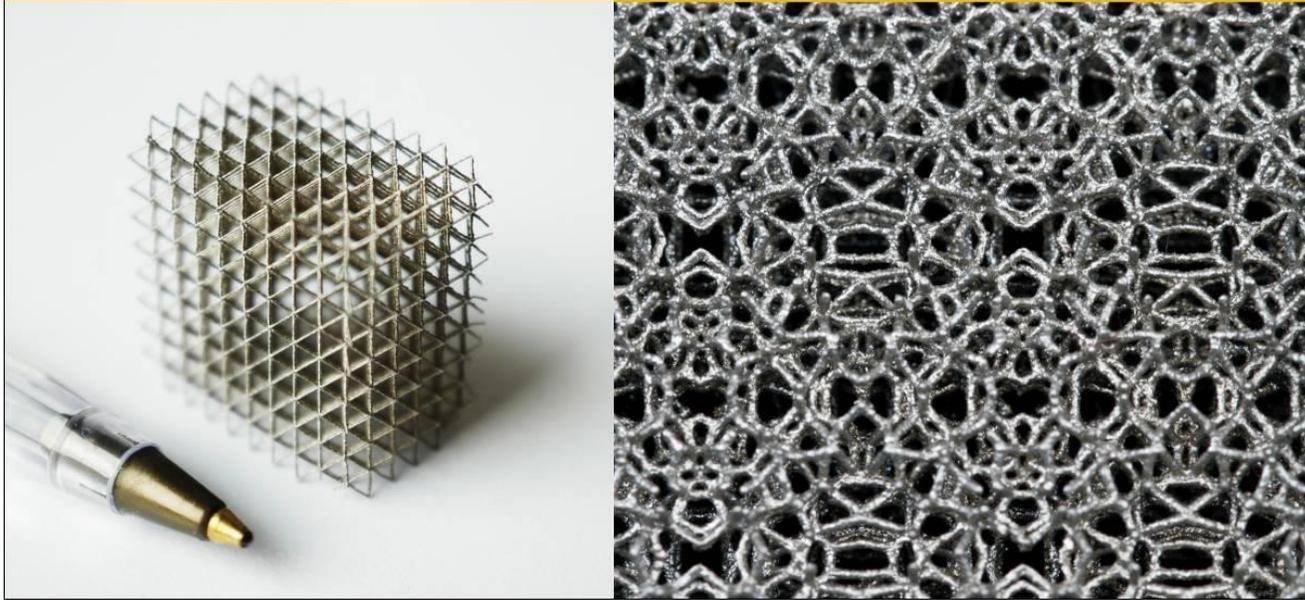
金属高性能增材制造的主要应用方向

- 新产品的快速开发
- 个性化制造
- 传统技术难以制造的零件
- 高性能成形修复
- 复合制造
- 通过创新设计显著提升产品功能

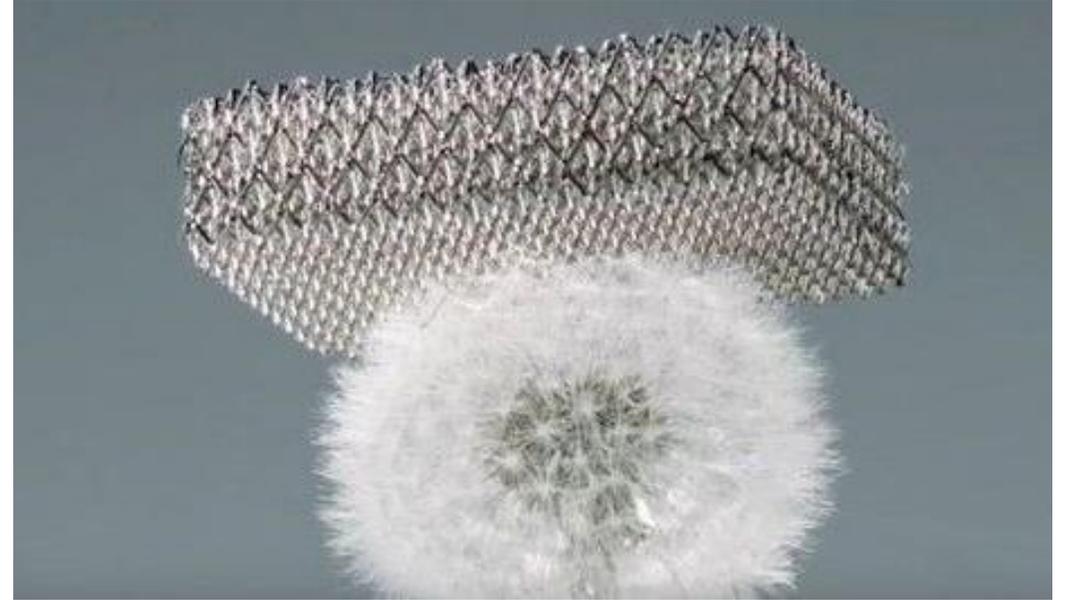
个性化制造



传统技术难以制造的零件-复杂镂空点阵结构

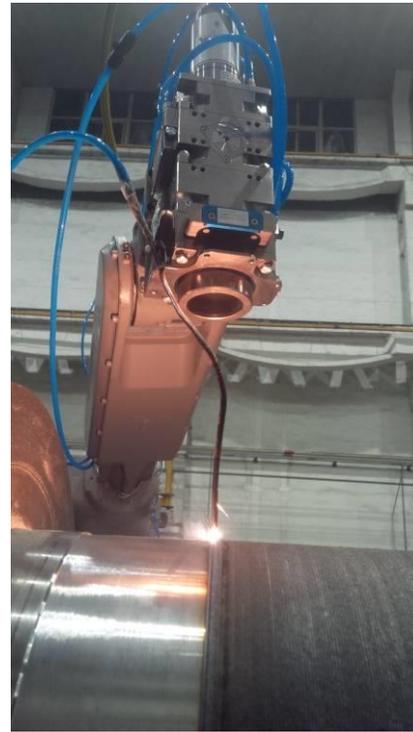


有效减重，微结构设计



波音发明史上最轻金属：99.99%都是空气
科学界公认的最坚固和最轻的材质之一
一是压缩性(这种材料的压缩性能还很强，压缩超过50%之后还能完全恢复)；二是中空轻质性质。

高柔性移动修复单元



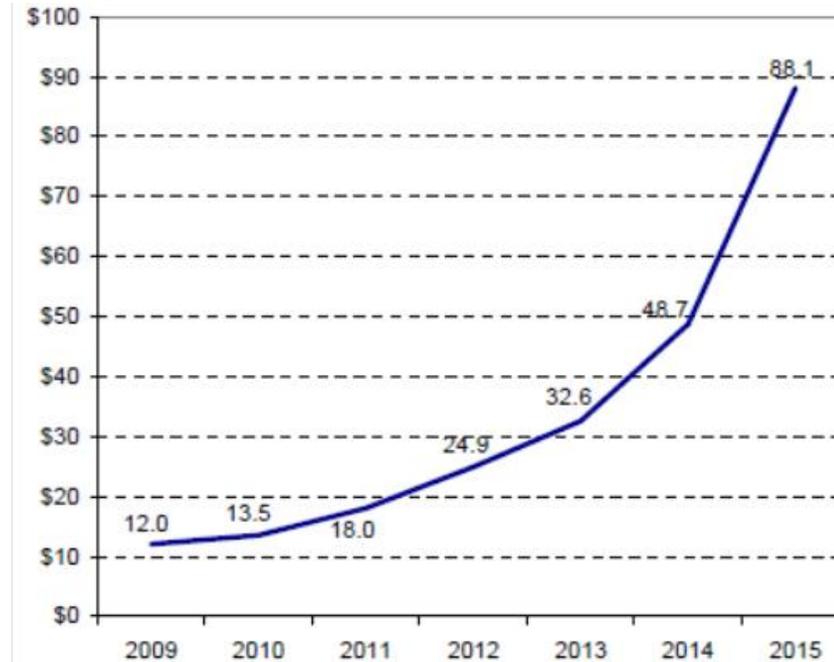
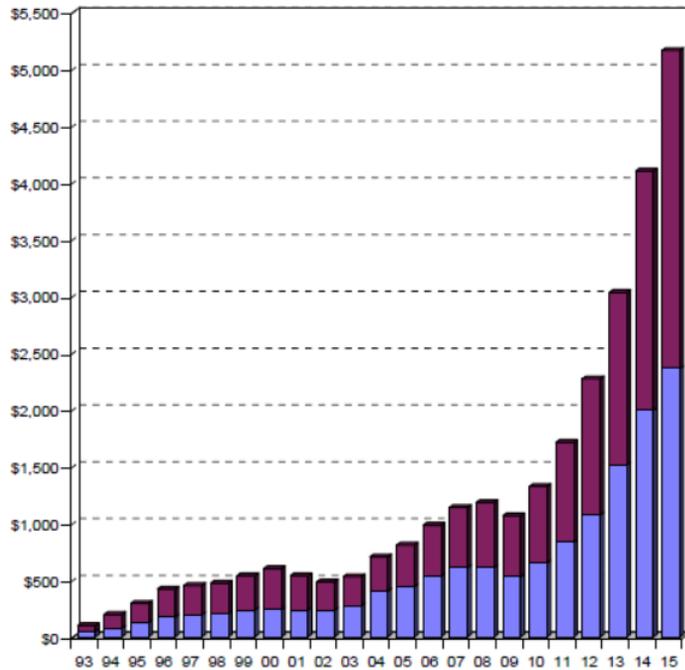
1. 3kW 光纤激光器;
2. 六轴机器人;
3. 惰性气氛气帘;
4. 成形过程实时监测系统;
5. 三维CAD建模及路径规划软件;
6. 方舱可展开;
7. 可配加工机床

高性能修复 - 海军



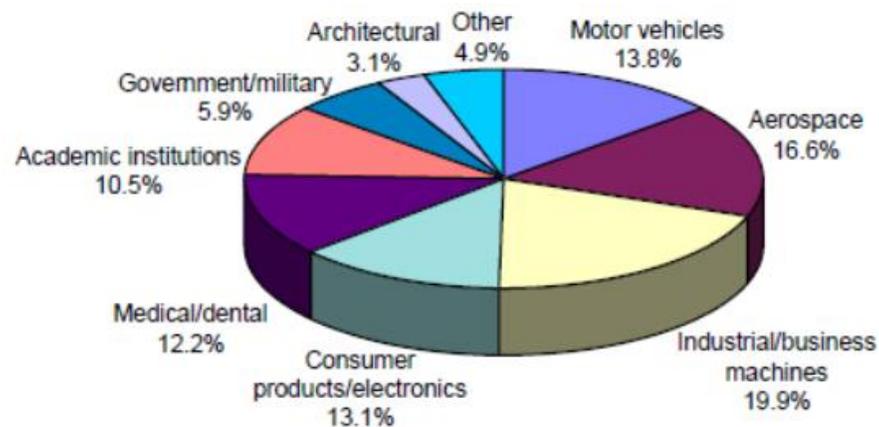
The U.S. Navy is exploring how 3D printing can be used as an at-sea manufacturing technology. On Jun 24 and 26, the U.S. Navy hosted its first Maker Faire, a two-day event featuring a series of workshops titled, "Print the Fleet," to introduce 3D printing and additive manufacturing to Sailors and other stakeholders at Combat Direction Systems Activity (CDSA), Dam Neck, a Navy warfare center.

金属增材制造近年超高速发展

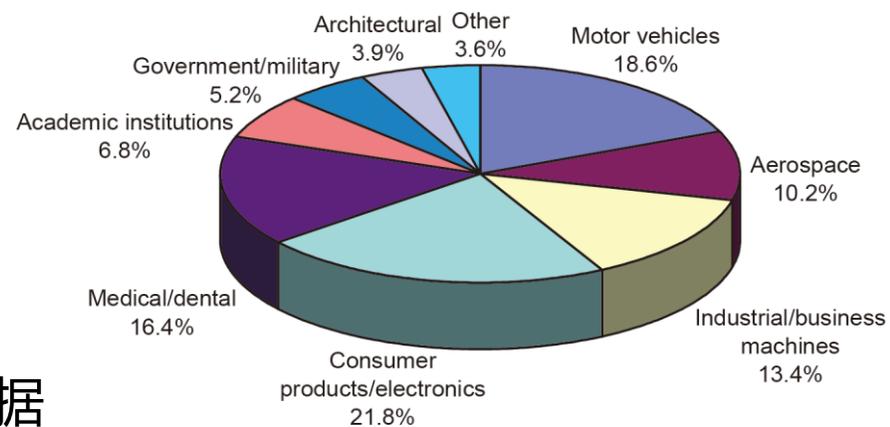


2015年增材制造总产值较2014年增加25.9%，而金属增材制造增加80.9%

2015年航空航天增材制造应用发展迅速



2015年数据



2013年数据

金属3D打印应用的一些建议

金属3D打印应用的一些建议

- 结构设计原则
- 检测与质量控制

结构设计原则

- 功能优先
- 总体结构优化设计——综合考虑工艺实现路线：增材制造、复合制造、多材料复合、多功能融合、传统工艺
- 局部结构分解设计——普遍应用拓扑优化设计技术——实现从经验设计到数学最优设计的转化
- 适合于SLM制造的结构设计考虑

适用于SLM技术的结构设计考虑

- SLM成形材料制备
- SLM制件的材料力学性能特性
- SLM制造尺寸精度特性
- SLM制造的有利与不利结构

研发可用于SLM技术的专用材料



钛合金

纯钛
TC4
TA15
Ti40
TA7
Ti6Al7Nb
TiAl
...

铝合金

AlSi12
AlSi10Mg
AlSi7Mg
AlSi9Cu3
6061
...

高温合金

Inconel 718
Hastelloy X9
GH5188
CoCrW
Waspaloy
...

不锈钢

304
316L
321
15-5PH
17-4PH
2Cr13
...

铜合金

HC Cu
...

其它

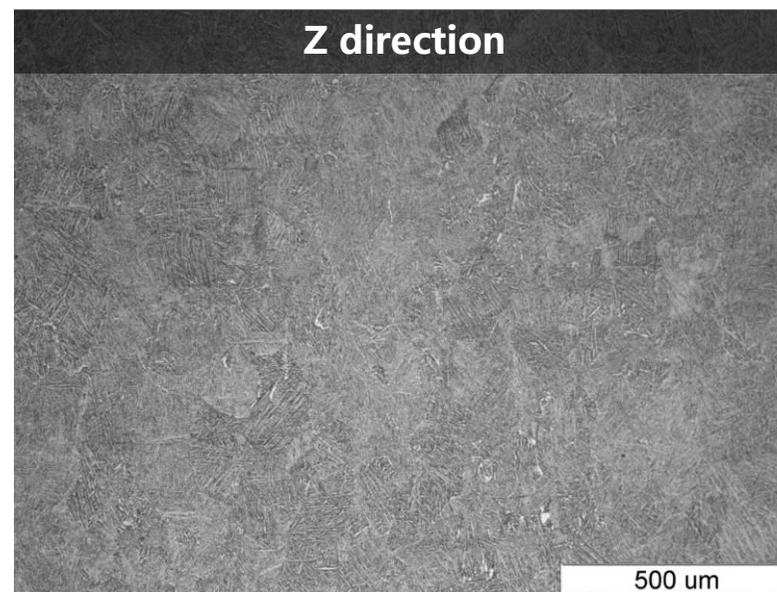
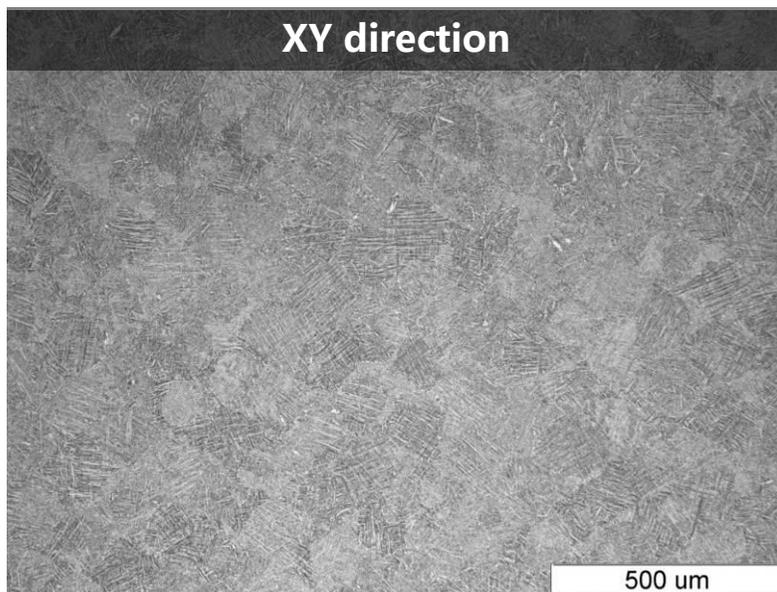
Aermet 100
300M
H13
18Ni300
Invar 36
...

SLM常用合金的静载拉伸性能

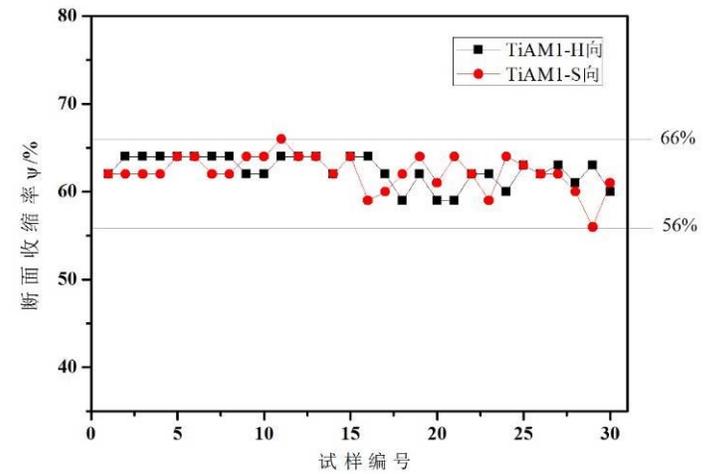
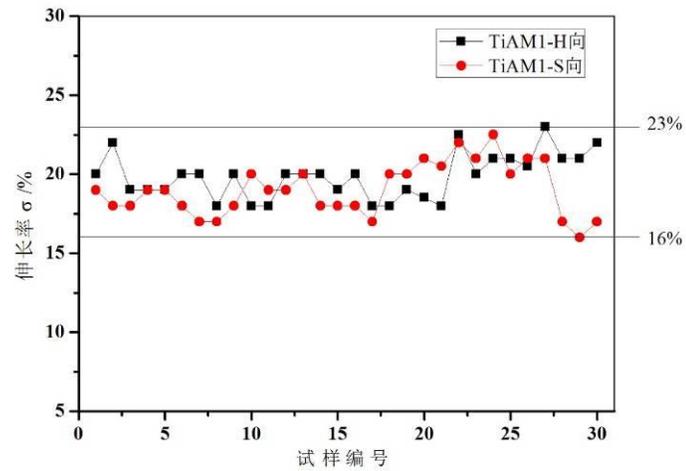
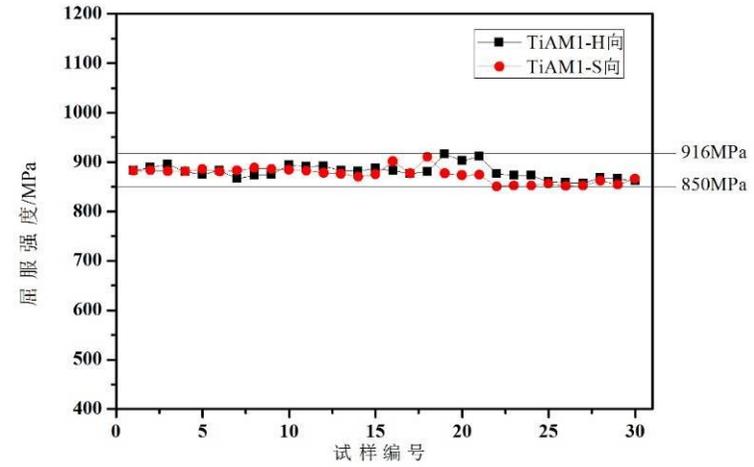
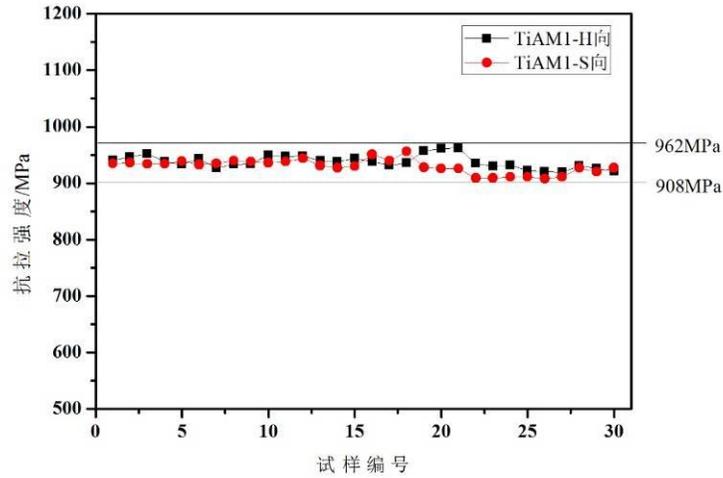
Material	Mechanical Properties					
	SLM成形数据			锻件标准		
	UTS	Y	EL	UTS	YS	EL
TC4	1040~1100	870~1030	11~19	895	825	8~10
17-4PH	1100~1300	600~890	13~23	1000	865	13
15-5PH	1350~1550	1200~1400	10~14	1310	1170	10
In718	1295~1541	1113~1340	9~22	1280	1030	12
In625	830~1140	550~820	30~40	830	410	30
HX	600~910	320~550	11~50	/		
AlSi10Mg	280~400	170~220	8~18			

SLM钛合金TC4力学性能 – 良好的各向同性

	Sampling direction	UTS/ MPa	YS/ MPa	EI/ %
铂力特	XY	1039	970	15
	Z	1045	986	15
ASME SB348		895	828	10
Airbus 标准		920	830	10



SLM钛合金多批次性能稳定性



SLM钛合金多批次性能稳定性

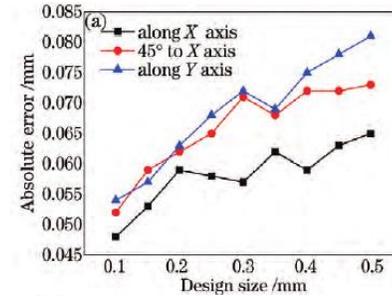
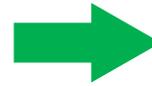
设备	标准块尺寸	尺寸精度	表面粗糙度
德国E公司	20×20×15	±0.025	6.3
德国S公司	20×20×15	±0.030	6.3
铂力特 (S300)	20×20×15	±0.020	5.8



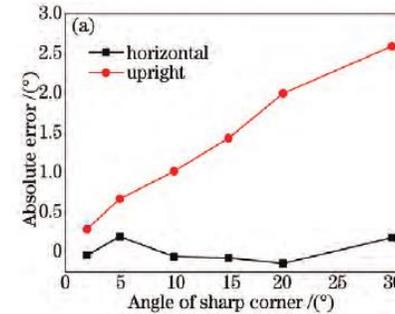
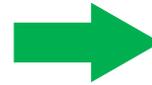
铂力特设备无论是精度还是表面质量都要优于其他厂商设备。

最小结构单元

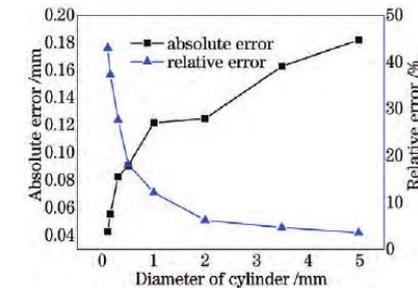
- 薄壁件：厚度小至0.08mm，绝对误差可控制在0.03~0.05mm



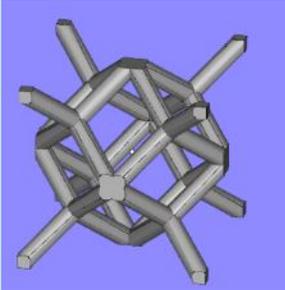
- 尖角件：2~30°尖角件6个试样，高20mm，绝对误差可控制在0.15°~0.2°



- 圆柱体：可成形直径0.08~5mm任意圆柱体，绝对误差可控制在0.043~0.182mm



典型镂空单元体的最小结构尺度

材料	晶格尺寸 (mm)	筋条尺寸 (mm)	镂空结构示意图
钛合金	2×2×2	0.2	
铝合金	3×3×3	0.3	
高温合金/不锈钢	3×3×3	0.4	

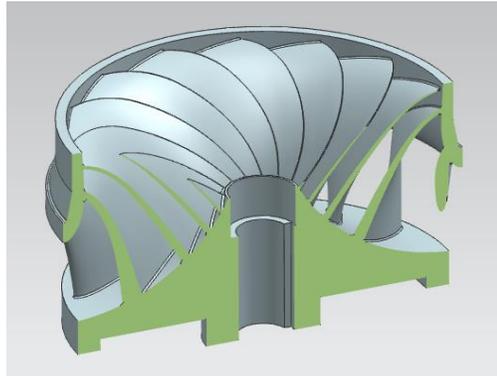
镂空单元体的尺寸对减重效果的影响：

- 1：晶格尺寸不变，筋条尺寸越小，减重效果越好
- 2：晶格尺寸等比例变化，理论减重效果无变化
- 3：晶格尺寸若 $< 0.3\text{mm}$ ，成形表面粘粉严重，实际减重效果不明显。

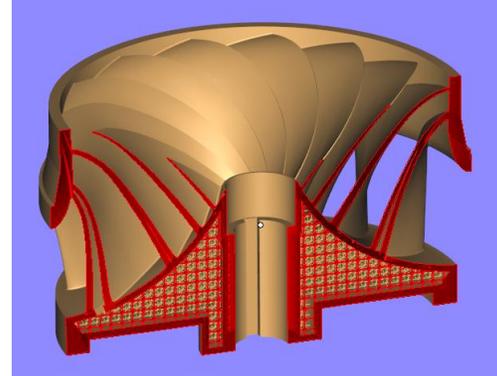
利用镂空减重优化设计，减少实体区域的截面积，提高成品率



实体区域截面积过大导致零件应力积累过大，出现翘曲

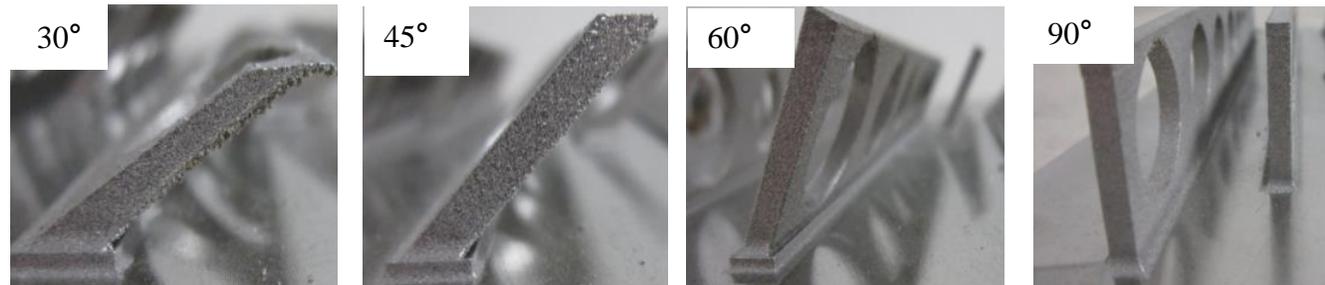
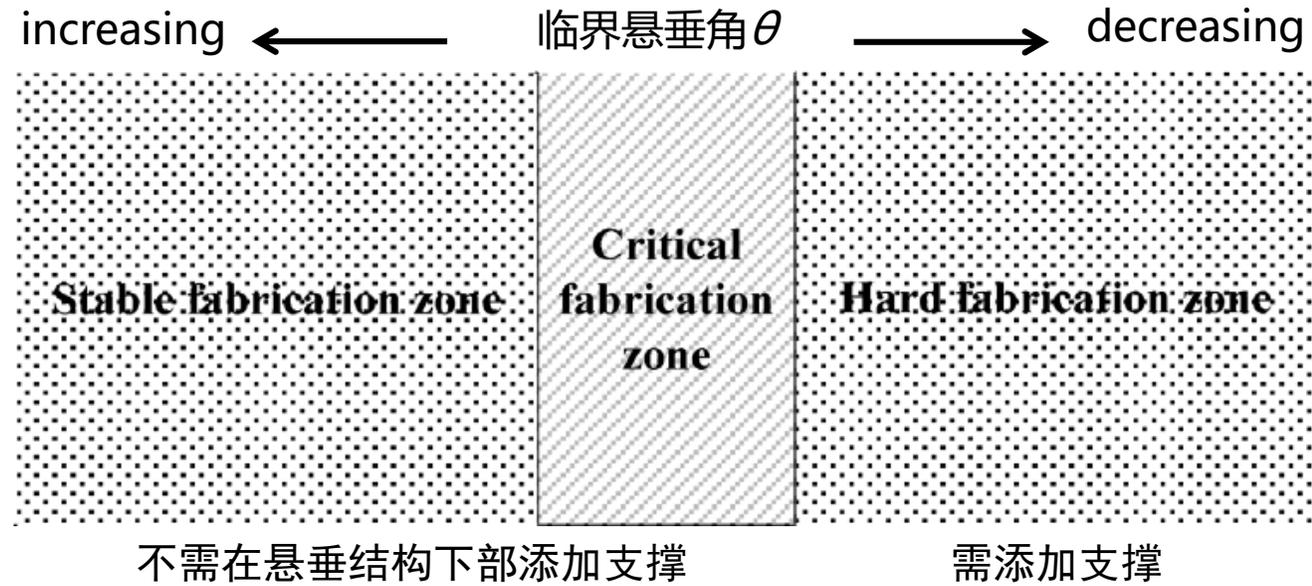


实体区域截面积大



镂空减重后减小截面积

适合于SLM制造的结构设计考虑 - 悬垂角



悬垂角在30度以上时不需要添加支撑结构，但45度时成形精度很好

实验表明临界悬垂角为30°

增强刚性的支撑设计



153.5g



65.8g 减重57.1%



57.5g 减重62.5%

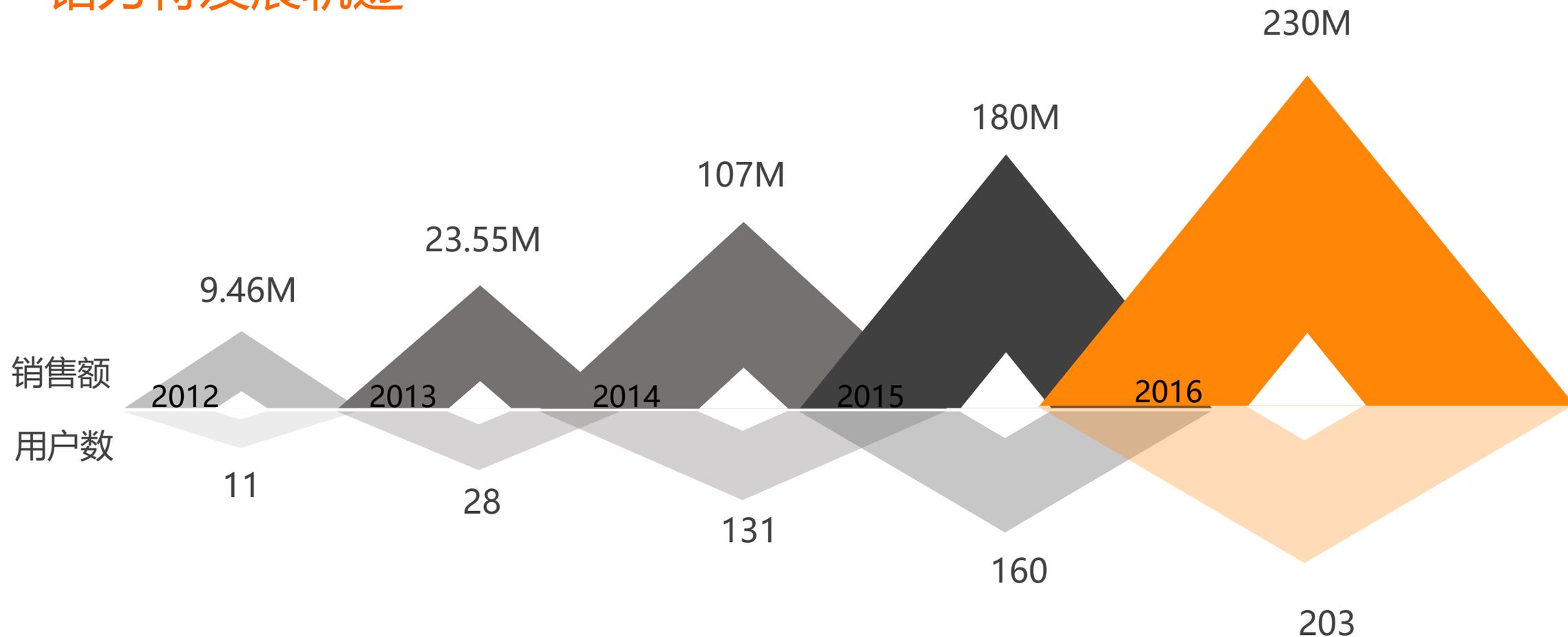
铂力特在金属3D打印技术的研究及应用概况

发展历程

- 2011 **诞生** 西安铂力特激光成形技术有限公司正式成立
- 2007 **国内第一** 成功研制并出售国内第一台金属3D打印大型商用化设备
- 1995 **开创先河** 创始人黄卫东教授从1995年开始进行金属增材制造技术研究

设计更自由，制造更简单

铂力特发展轨迹



设计更自由，制造更简单

公司概况



成立于2011年7月；现有员工**265**人；2016年销售额**2.3亿**



拥有金属3D打印专利**62**项；通过了ISO 9001、GJB9001B、三级保密资质

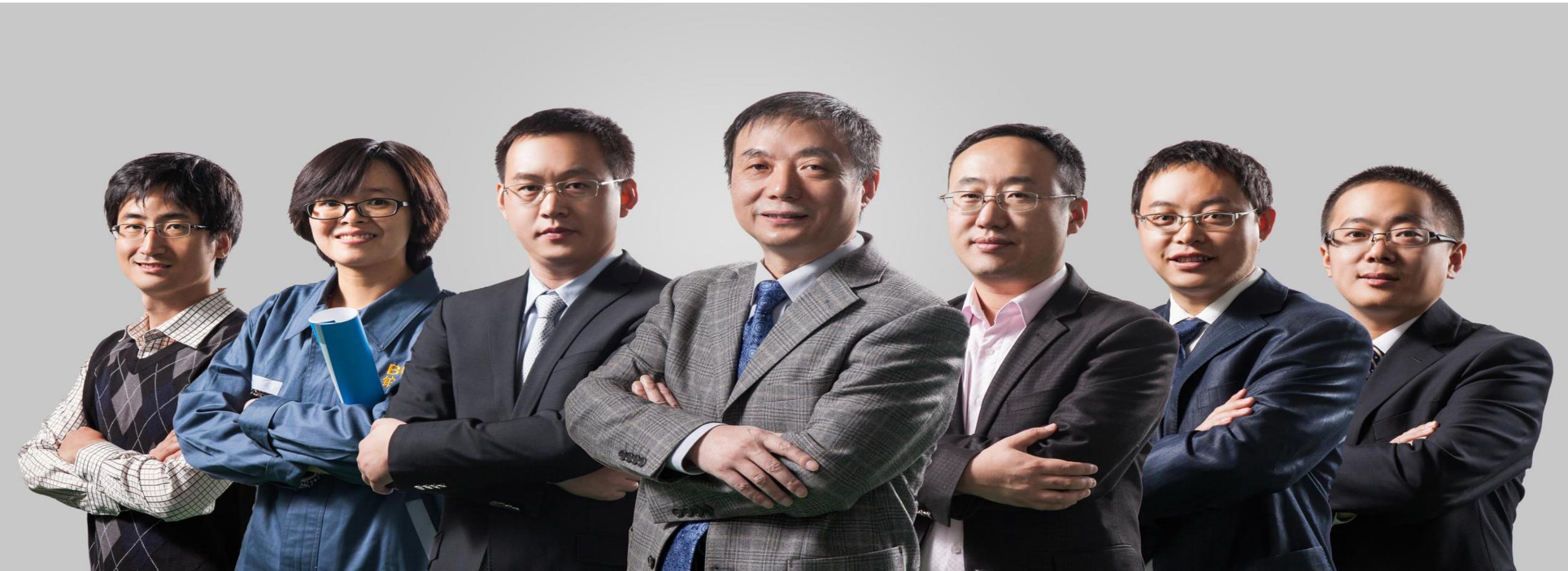


52台金属3D打印机；销售金属3D打印设备近**50余**台



用户**200**多家，包括：中航、航发、航天科工/科技、空客、GE、宝马、美敦力等

管理团队



- 黄卫东教授
- 国家增材制造协会副主席、科技部增材制造首席专家

研发团队



工艺技术研发团队

64名 研发人员

3个专业方向：新材料、新工艺、标准化

4个专利牌号



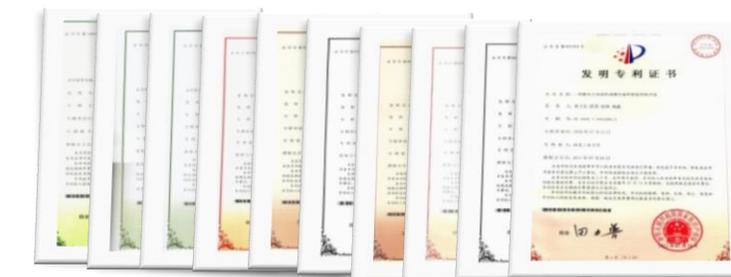
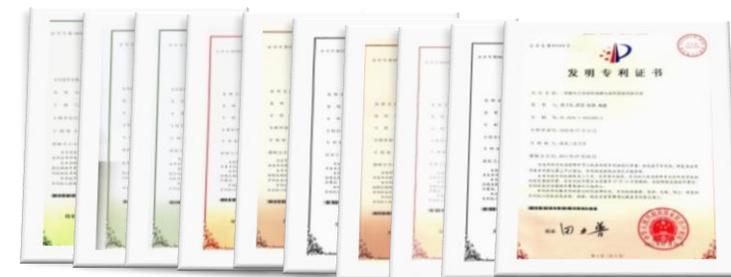
设备研发团队

52 名工程师及设计师

3个专业团队：机械、电气、软件

7款设备型号

企业资质





业务版块



设备

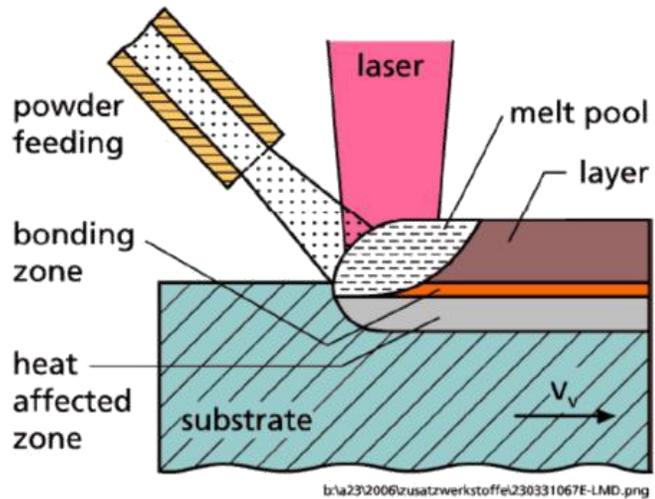
原材料

定制化产品

技术服务

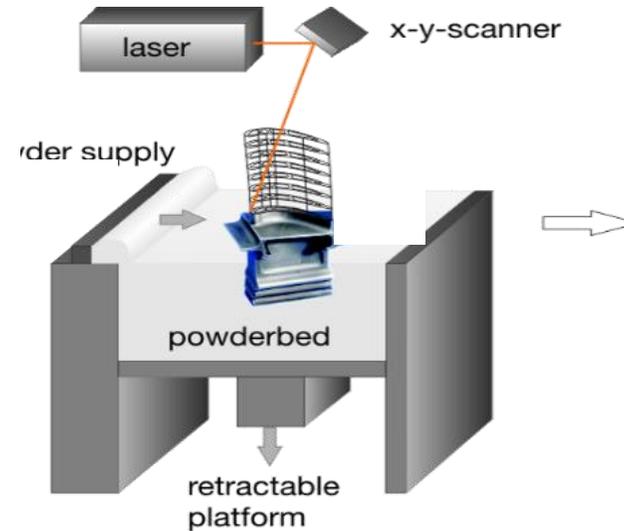
设计更自由，制造更简单

核心技术



同步材料送进成形 (LSF)

- 高效率
- 多材料复合
- 无尺寸大小限制 (mm~m)
- 高性能修复
- 结构复杂性受限

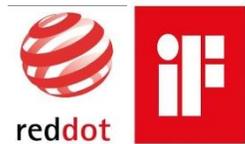


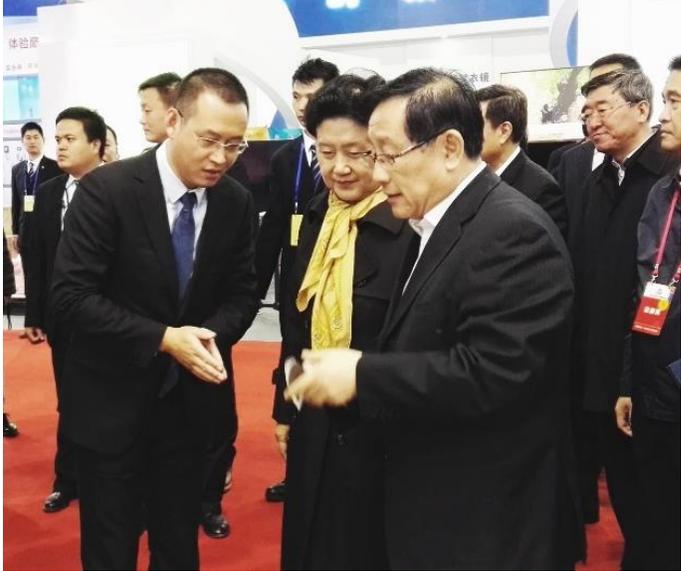
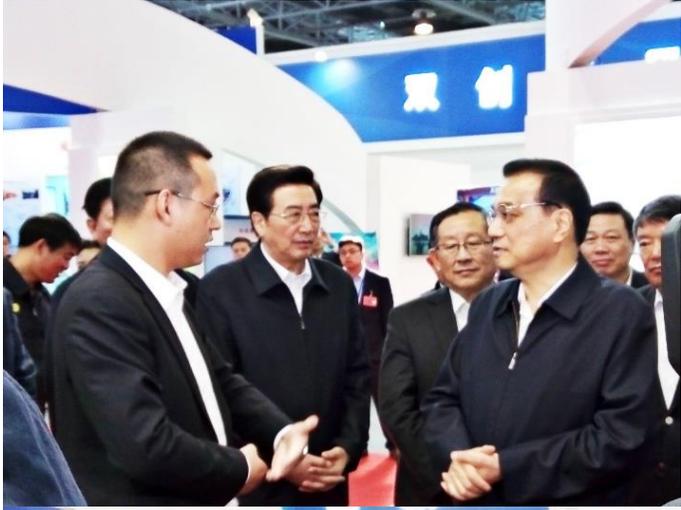
粉末床选区熔化成形 (SLM)

- 低效率
- 单一材料
- 成形尺寸较小
- 尺寸精度高
- 近乎无限的结构复杂性

设计更自由，制造更简单

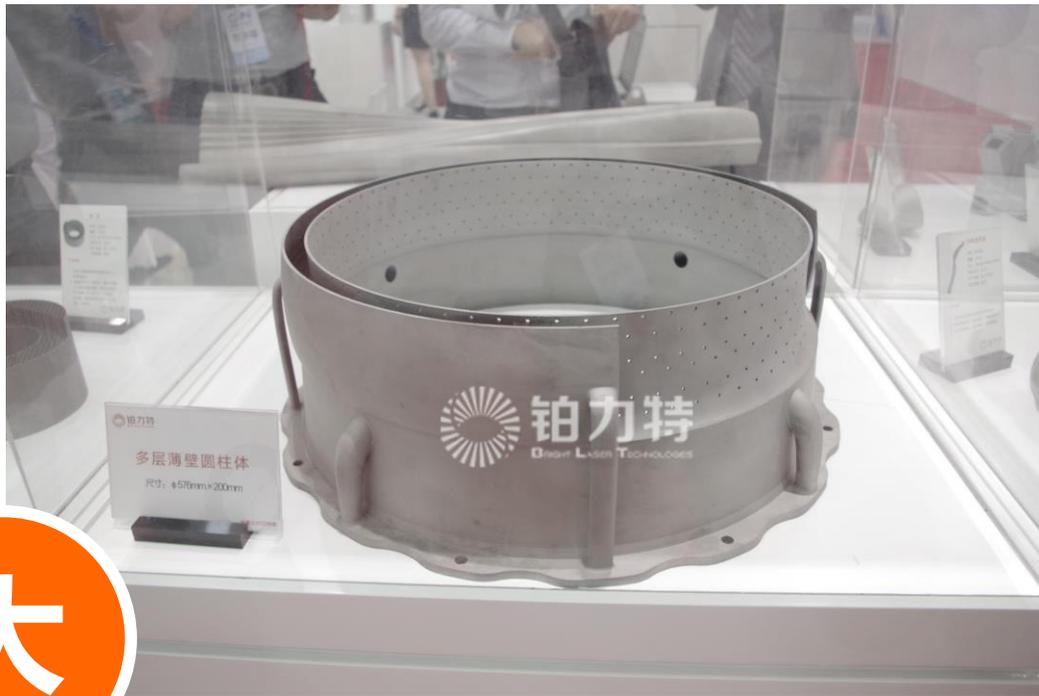
设备





产品优势

设备最大成形尺寸1.5m 刷新铺粉设备成形纪录



大

▲ 镍基合金航空发动机机匣
尺寸 (mm) : $\Phi 576 \times 200$

◀ 镍基高温合金大叶片
尺寸 (mm) : $50 \times 30 \times 933$

产品优势

国内第一家可以打印铜和钨的企业



▶ 钨合金光栅
尺寸 (mm) :
87 × 20 × 20

特

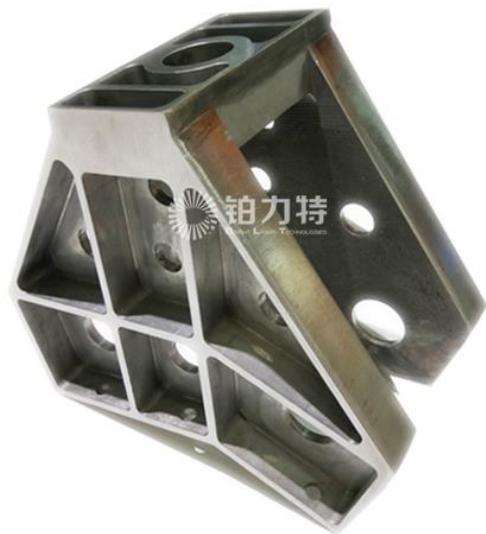
可制备特殊金属材料
并达到很高的稳定性

◀ 铜合金尾喷管
尺寸 (mm) :
Φ210 × 295



产品优势

拓扑优化实现功能更优质量更轻



▲原型件

材料：钛合金
尺寸 (mm) : 140×140×79
重量 (g) : 670
加工时间 (h) : 120

优



实现减重65%
节约工时115h



▲拓扑优化件

材料：钛合金
尺寸 (mm) : 86×97×134
重量 (g) : 245
成形时间 (h) : 5

产品优势



丝径仅为0.2mm
孔隙仅为0.8mm



工艺品质稳定 打印精度高



精

▲ 纱网

材料：钛合金
尺寸 (mm) : $\Phi 176 \times 200$
重量 (kg) : 0.023
成形时间 (h) : 20

医疗应用范围



| 整形外科 (orthopedic)

修复与植入 (髋关节、膝关节、脊柱)、骨钉&骨板



| 牙科 (Dental)

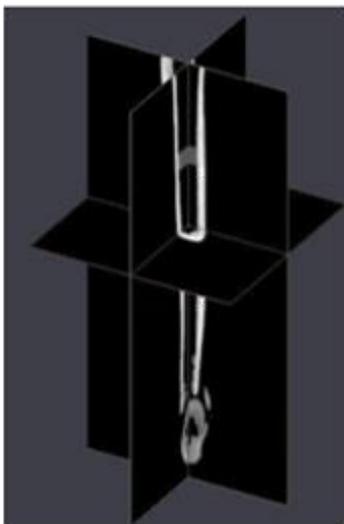
牙冠, 冠&桥



| 其他(Others)

内窥镜、手术导板、手术器械

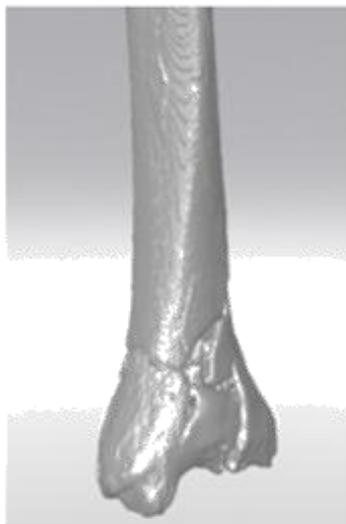
植入体加工过程



CT扫描
骨折部位



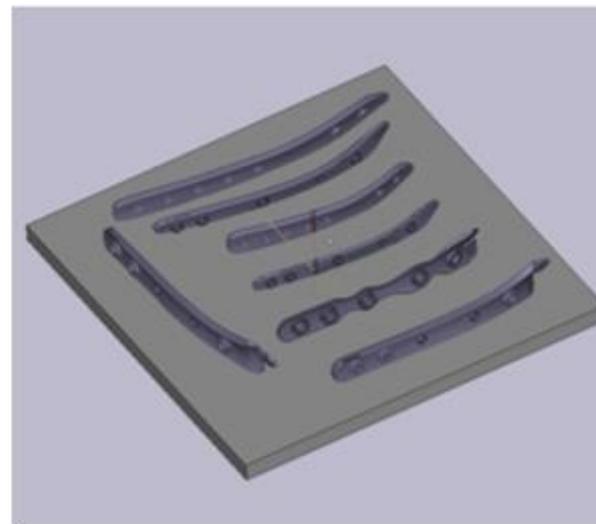
转换骨骼
3D模型



消除模型中
断裂部位

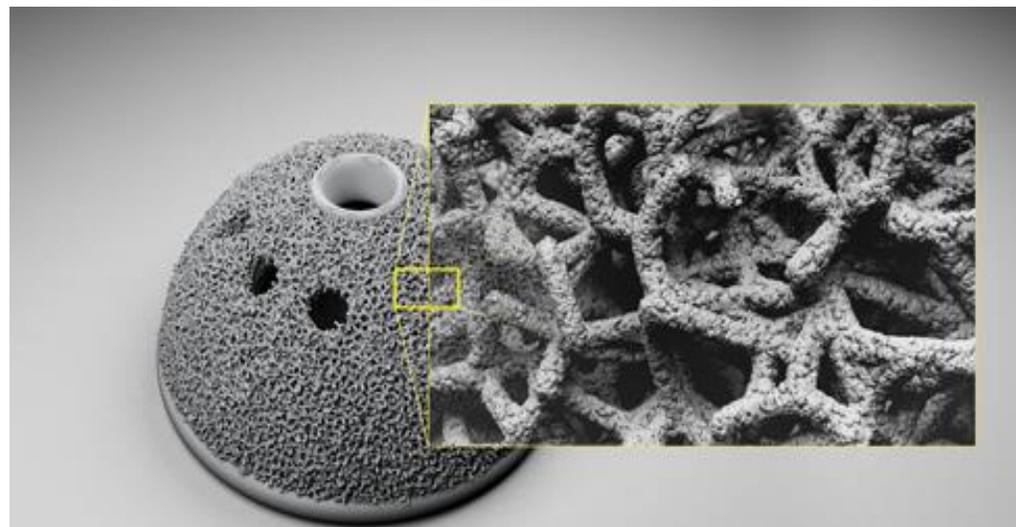
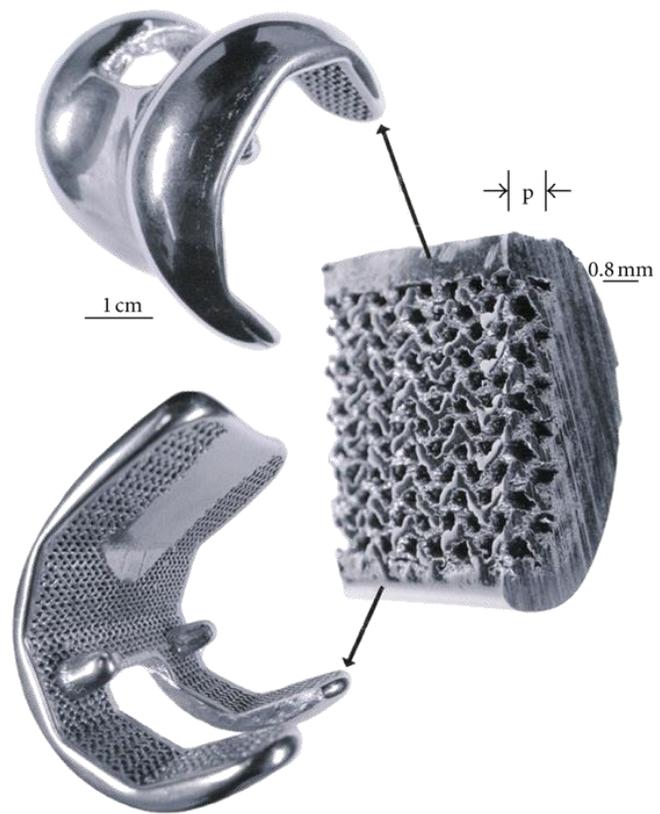


设计植入物



使用3D打印技术
制造个性化植入物

微孔结构



案例1 髌骨



右髌骨软骨肉瘤，置换后躯体外形和功能恢复良好。

案例2 锁骨



锁骨构造复

杂，传统假体无法
满足其精细化
要求，经常发生
假体重建不匹配
导致功能障碍。

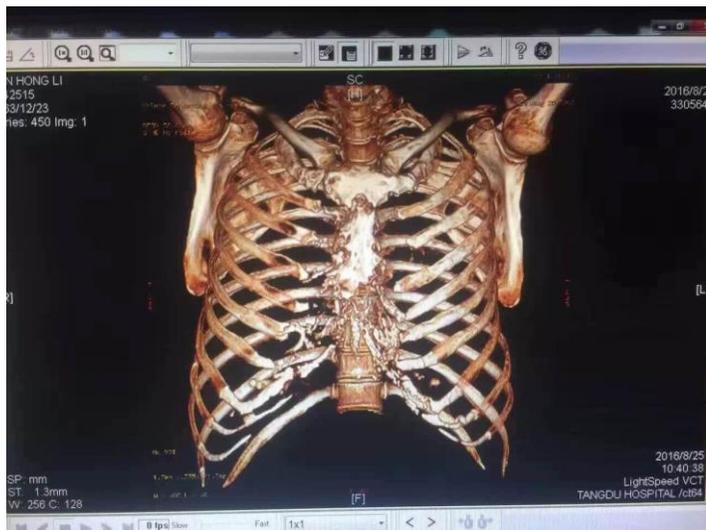
3D打印技术可
个性化定制锁骨。

案例3 肩胛骨



右肩胛骨尤文肉瘤，右肩胛骨被切除，肩胛骨尺寸、形状与患者完全一样

案例4 胸骨



案例4 胸骨

1



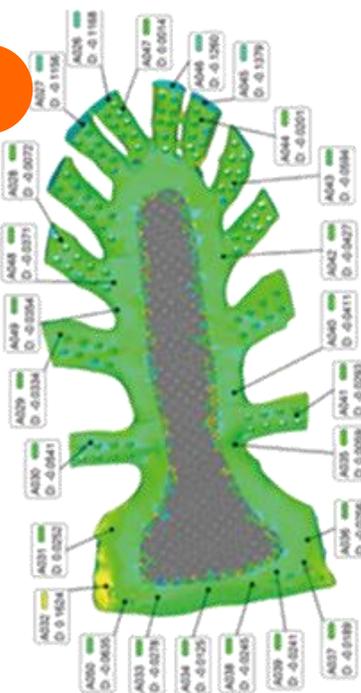
2



3

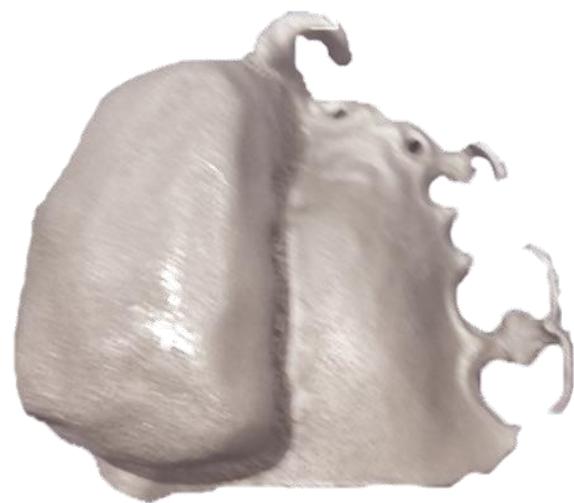
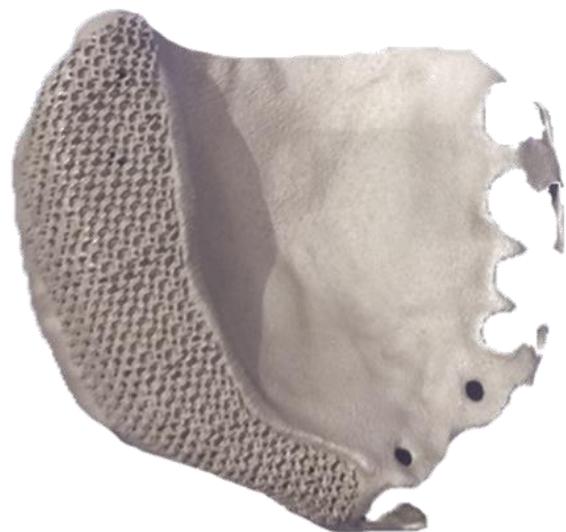


4

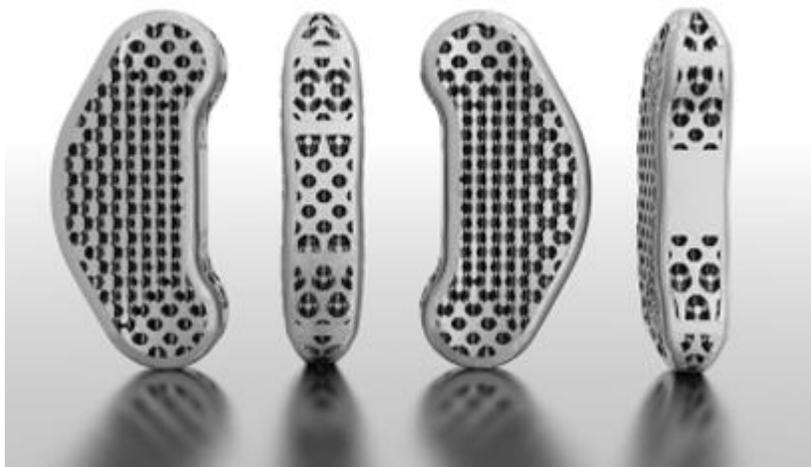


经检测，各项指标均符合临床要求

案例5 贲附体

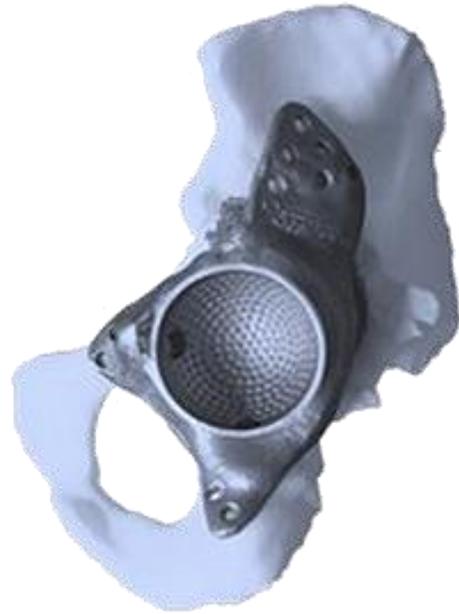


案例6 脊柱重建



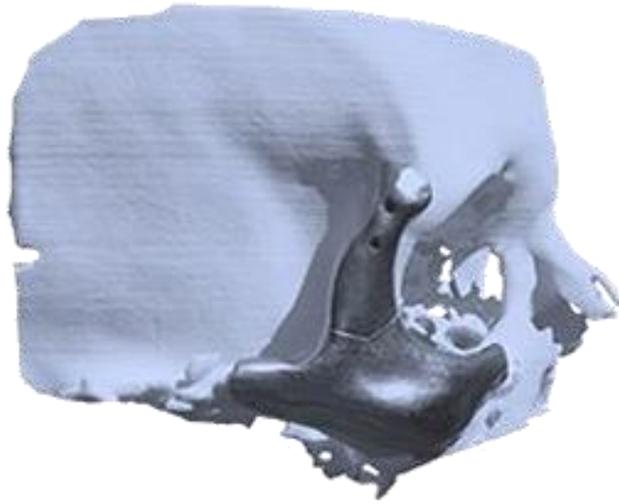
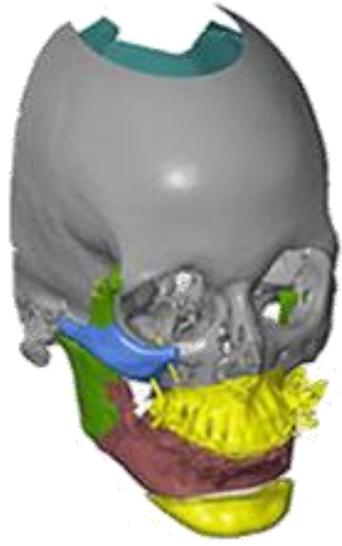
根据患者脊柱形状进行定制

案例7 个性化髌臼



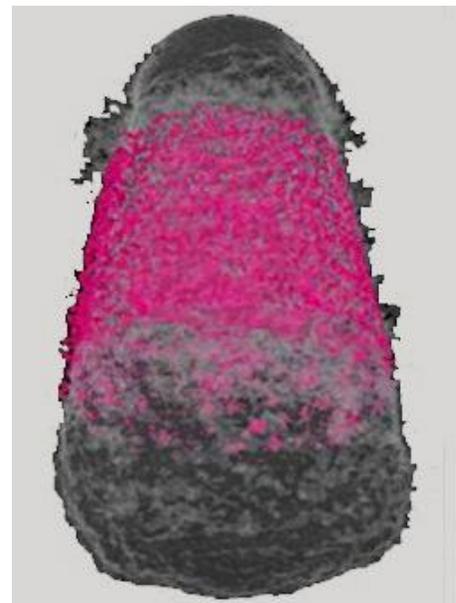
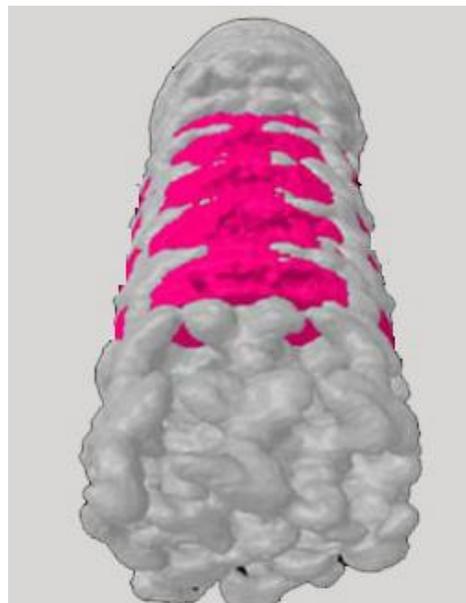
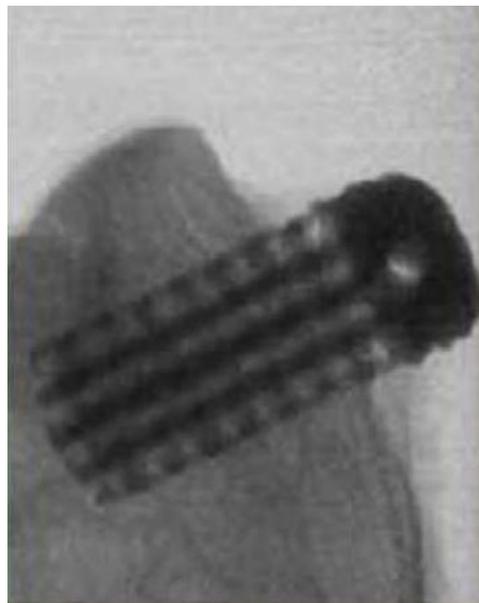
基于患者CT扫描结果，设计的髌臼三翼法兰加入微孔结构，可实现骨整合（osseointegration）

案例8 颧骨



颧骨植入体考虑面部骨骼对称性。植入物设计为两个部分可实现微创手术

案例9 微孔结构骨钉



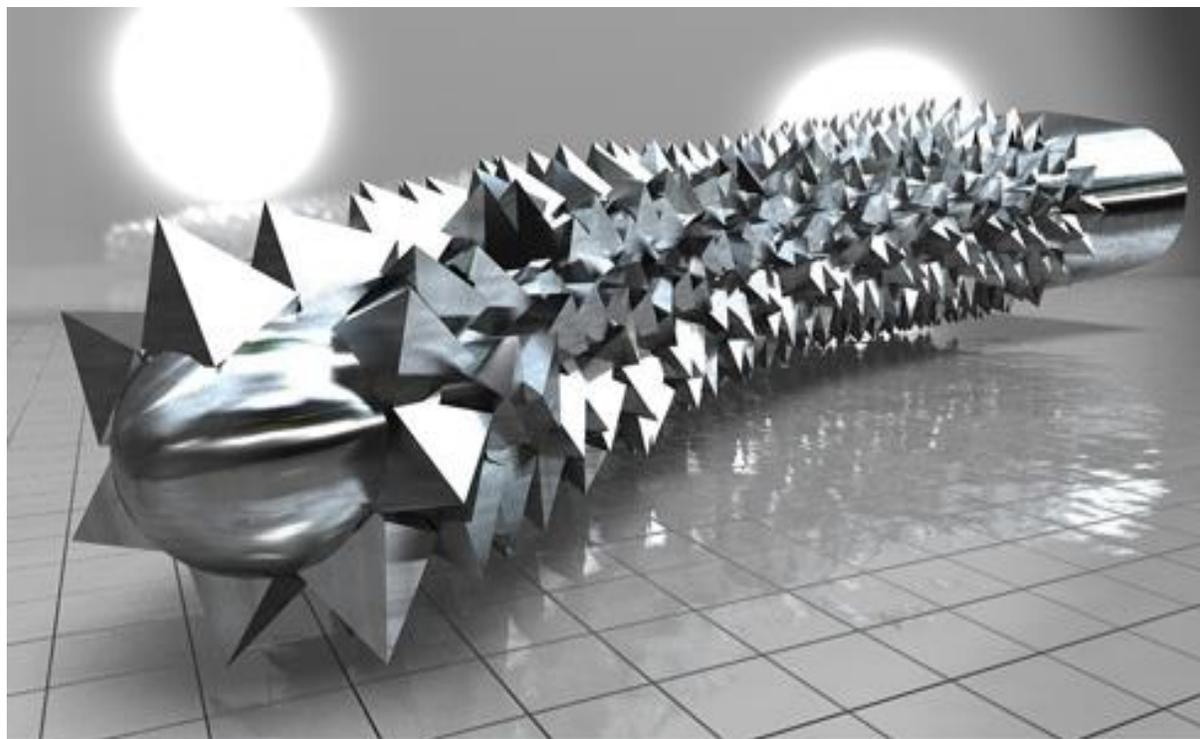
案例10 义齿



定制不同形状，不同大小的义齿



案例11 骨锉刀



西安铂力特激光成形技术有限公司

华南区总监：高鹏飞

手机&微信：181-8244-9170

邮 箱：gaopf@xa-blt.com

设计更自由，制造更简单

谢 谢

www.xa-blt.com