



激光3D打印金属材料在个性化生物医学中的应用

杨永强 教授 博士生导师

华南理工大学 机械与汽车工程学院

国家人体组织功能重建工程技术研究中心

国家金属材料近净成形工程技术研究中心

华南协同创新研究院



3D打印名词概念

- Additive Manufacturing (AM) 增材制造、增量制造、累积制造、叠加制造
- Rapid Prototyping 快速成型
- Rapid Manufacturing 快速制造
- 3D Printing 三维打印 (狭义、广义)



增材制造（增量制造，累加制造，3D打印）工艺 Additive Manufacturing

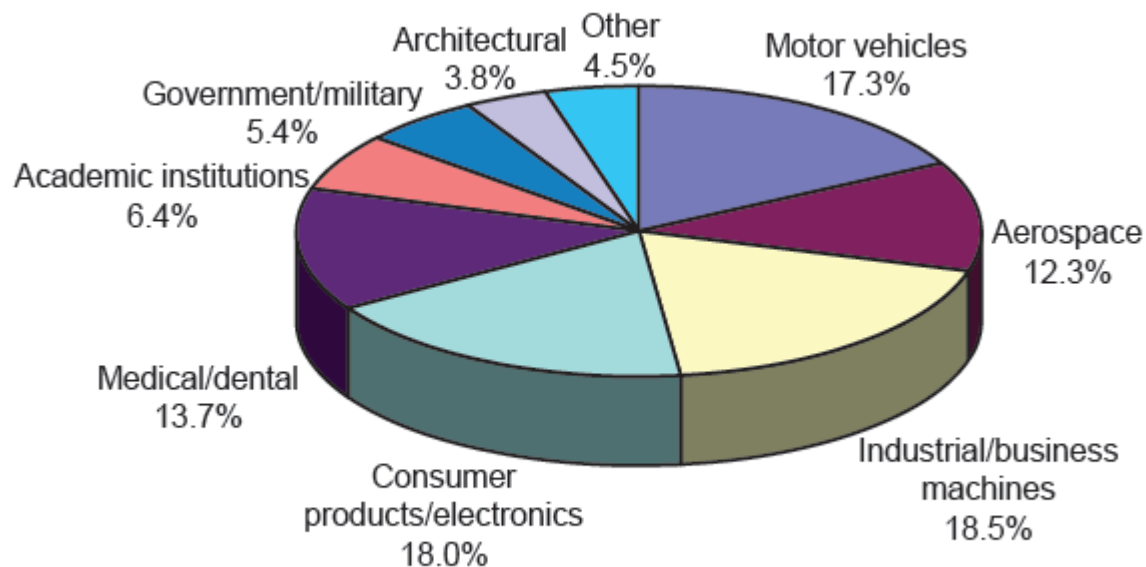
1. 立体光刻(SLA, Stereolithography)工艺
2. 分层实体制造(LOM, Laminated Object Manufacturing)
3. 熔化沉积制模 (FDM, Fused Deposition Modelling)
4. 三维印刷 (3D Printer)
5. 激光立体成形（净近成形LENS）工艺
6. 激光选区烧结(SLS, Selective Laser Sintering)工艺
7. 激光选区熔化 (SLM, Selective laser melting) 工艺





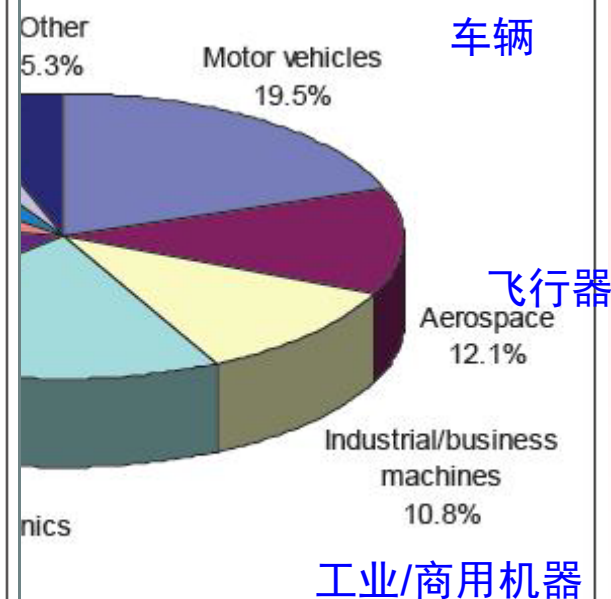
国际3D打印技术--2012年，2013

- 消费商品和电子：23.7% → 20.3%
- 航天：9.9% → 12.1%
- 医学和牙科：13.7% → 15.1%



Source: Wohlers Associates, Inc.

其他





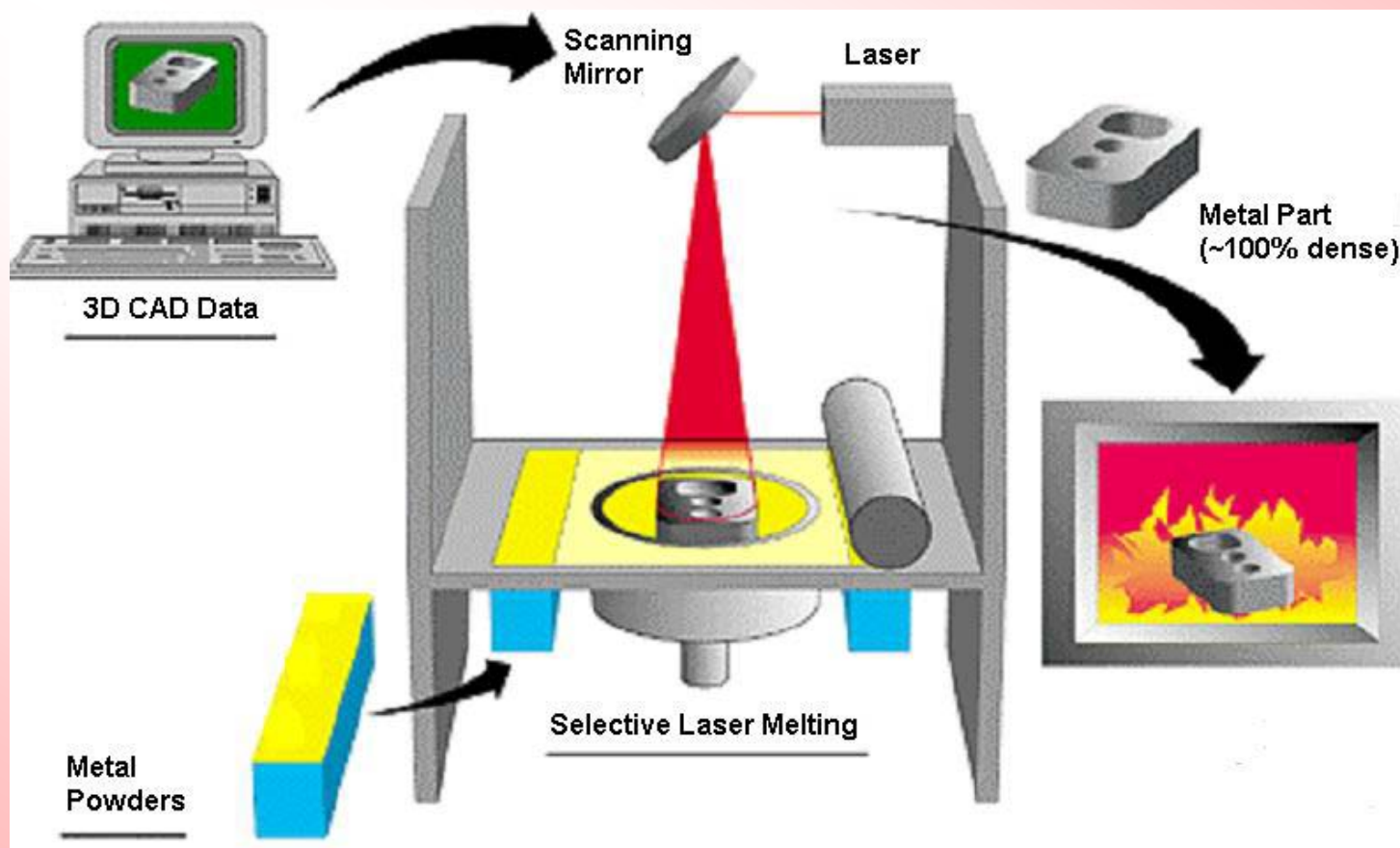
金属3D打印技术及其在医学应用





•选区激光熔化 (SLM, Selective laser melting) 工艺

金属零件的3D打印技术





设备开发方面，早在2004年，华南理工大学在国内选区激光烧结设备的基础上开发出了国内第一台选区激光熔化快速制造设备DiMetal-240。

2007年，华南理工大学开发了第二代SLM设备样机DiMetal-280。

2012年，华南理工大学自主研发预商业化的Dimetal-100成型机。



华南理工大学研发的选区激光熔化快速成型机



Dimetal- 280和Dimetal-100成型设备的主要参数

名称	Demetal-280			Dimetal-100		
激光器	类型	光纤激光器		类型	光纤激光器	
	波长	1090nm		波长	1090nm	
	最大功率	200W		最大功率	100W	
	功率控制	连续/脉冲		功率控制	连续/脉冲	
光路及扫描系统	焦平面光斑	50-70μm		焦平面光斑	30-50μm	
	扫描振镜	最大扫描速度7m/s		扫描振镜	最大扫描速度7m/s	
成型室	成型尺寸范围	(280×280×300) mm		成型尺寸范围	(100×100×100) mm	
	分层厚度	(10-100)μm		分层厚度	(10-100)μm	
	成型材料	不锈钢、钛合金、工具钢、铜合金、高温镍合金等		成型材料	不锈钢、钛合金、工具钢、铜合金、高温镍合金等	
f-θ聚焦镜及扫描范围	焦距1	100mm	75×75mm	焦距1	100mm	75×75mm
	焦距2	163mm	100×100mm	焦距2	163mm	100×100mm
	焦距3	254mm	180×180mm	焦距3		
	切片软件	Magics 14.0		切片软件	Magics 14.0	
软件	扫描路径生成软件	自行研发				
	总控软件	自行研发				
保护气体	氩气、高纯氮气 (成型室内含氧量在0.1%以下)					



国内外获奖情况



RAPID
Prototyping & Manufacturing

2013深圳高交会优秀产品奖



Dimetal系列 金属零件激光 选区熔化 快速成型机 (商业化机 型)



华南理工大学
South China University of Technology



华南理工大学

医学应用

1. 个性化牙科牙冠固定桥
2. 个性化舌侧正畸托槽
3. 个性化膝关节假体及手术器械
4. 外科手术辅助导板
5. 多孔骨、植入体等



医学应用

1. 个性化牙科牙冠固定桥

个性化牙冠牙桥的设计与直接制造



RAPID
Prototyping & Manufacturing



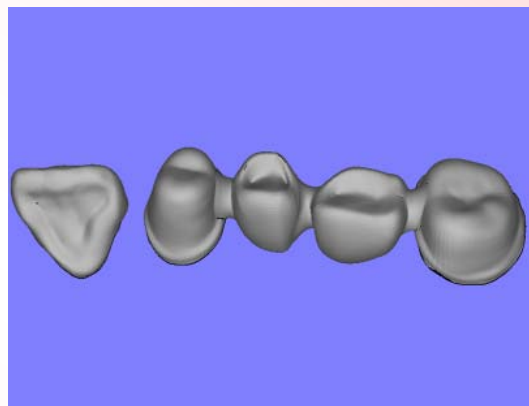
华南理工大学



牙科应用



Tooth



Crown CAD



Crown



Brackets

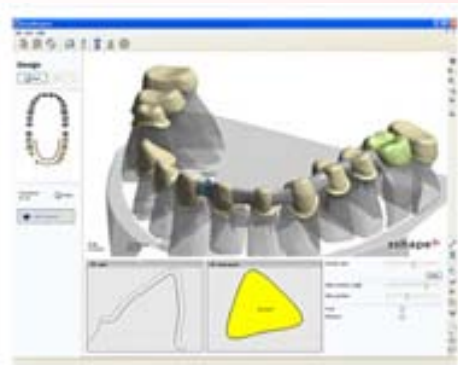
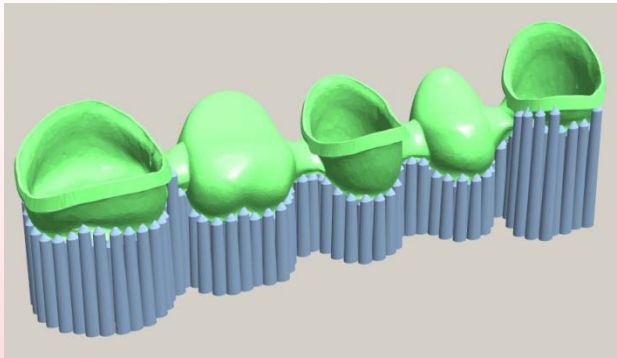


Teeth with brackets

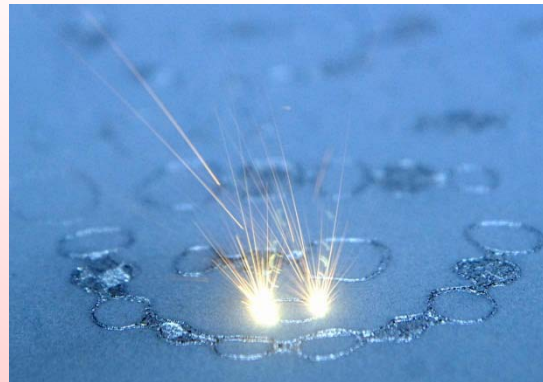


牙科牙冠固定桥

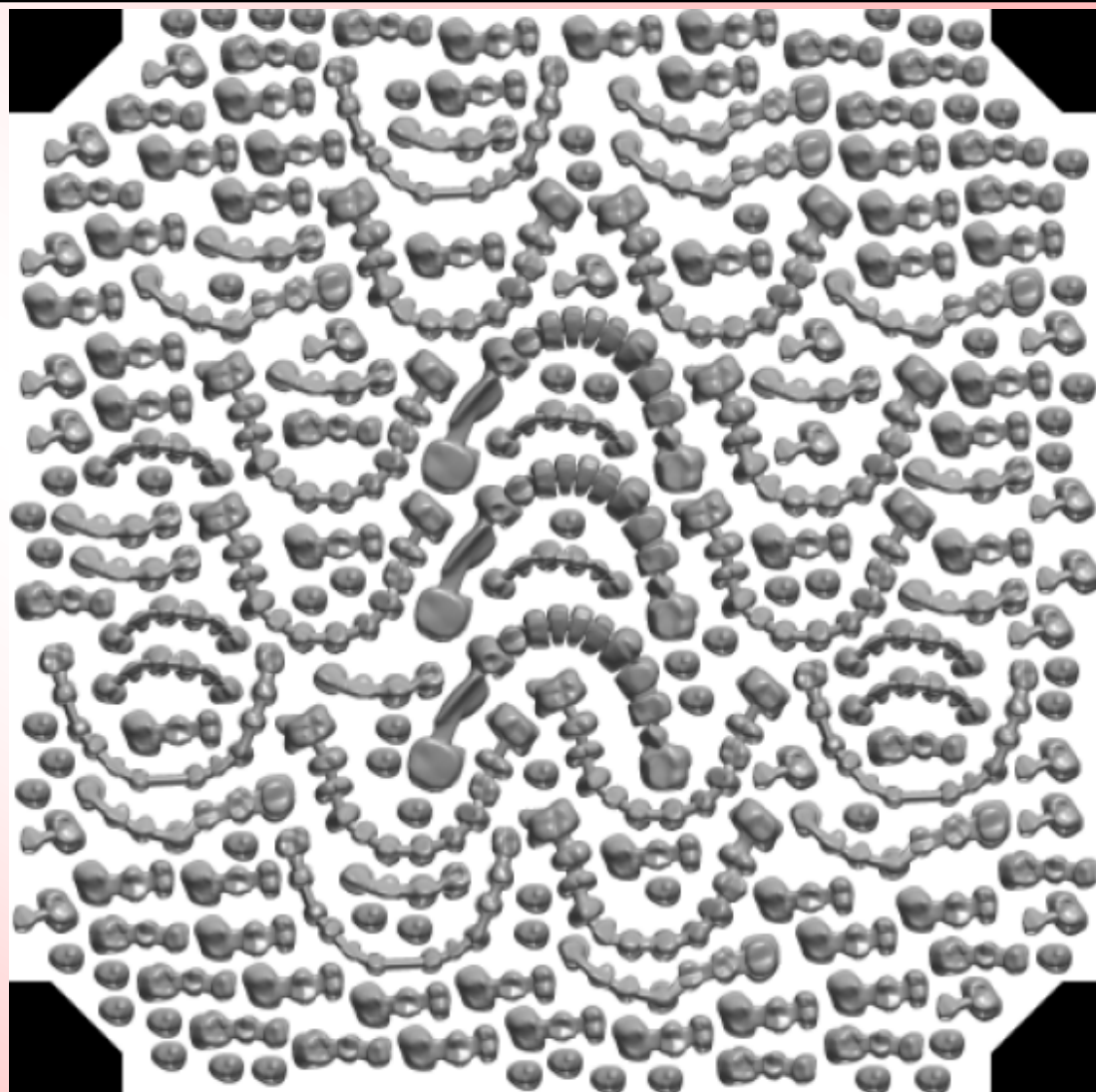
e-Manufacturing process



From 3D Data ...



... to the final product



11小时直接制造
200-250个牙冠



医学应用

2. 个性化舌侧正畸托槽

问题：牙齿矫正,有哪些选择？

唇侧金属矫治器

——一口钢牙，有碍观瞻

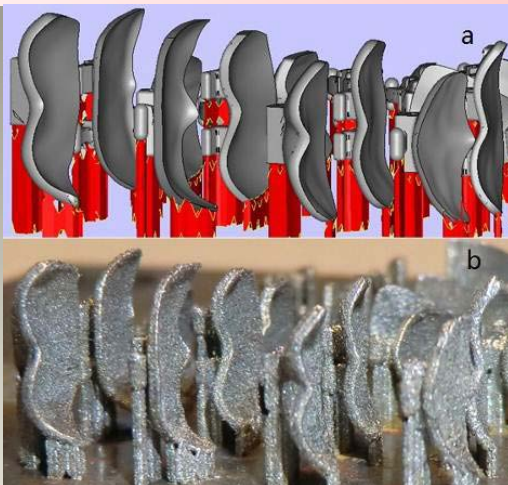
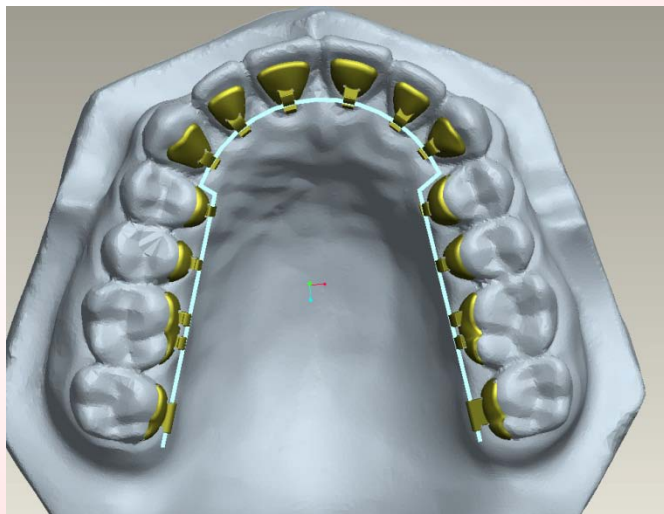


瑞通生物

个性化舌侧正畸托槽



RAPID
Prototyping & Manufacturing



发明专利ZL200810026491.1, PCT/CN2008/000965



华南理工大学

个性化定制化舌侧正畸托槽的设计与直接制造

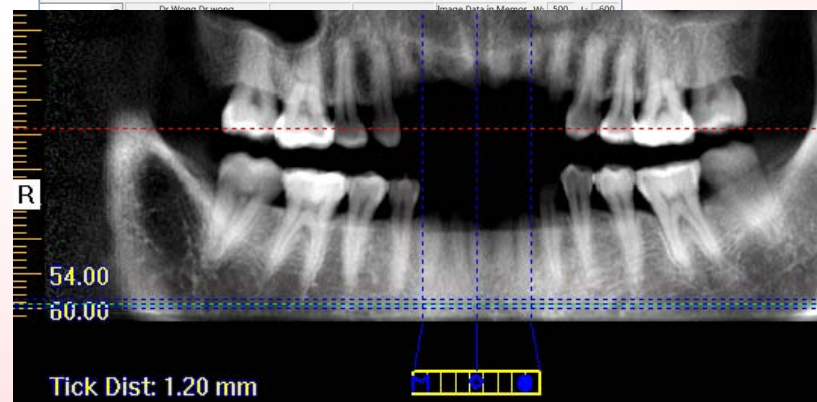
牙齿数据获取和CAD模型建立

- 通过CT扫描 获得牙齿数据



CBCT (Cone Beam
Computed Tomography)
扫描层厚 0.12mm

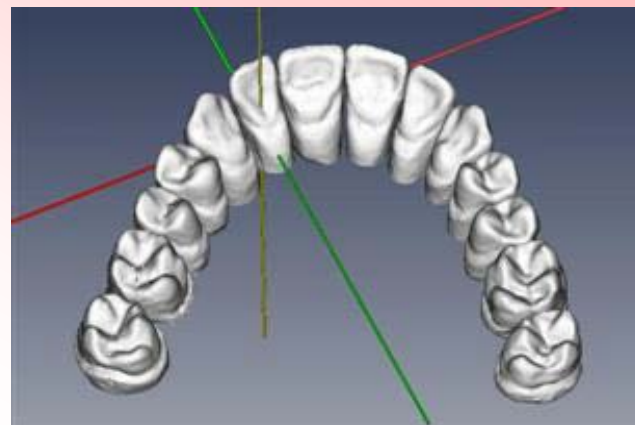
获得DCM文件



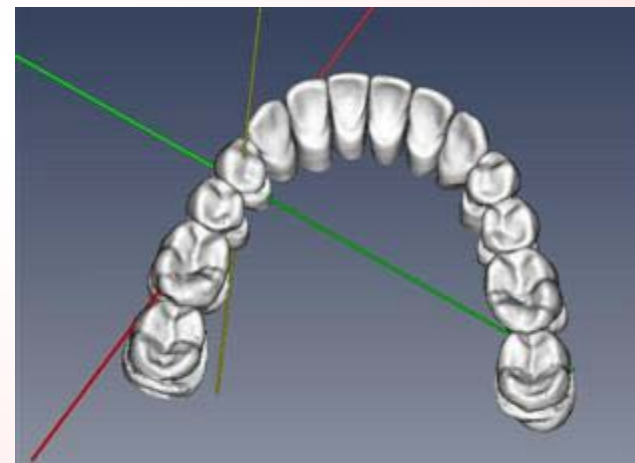
华南理工大学

电脑排牙

移动



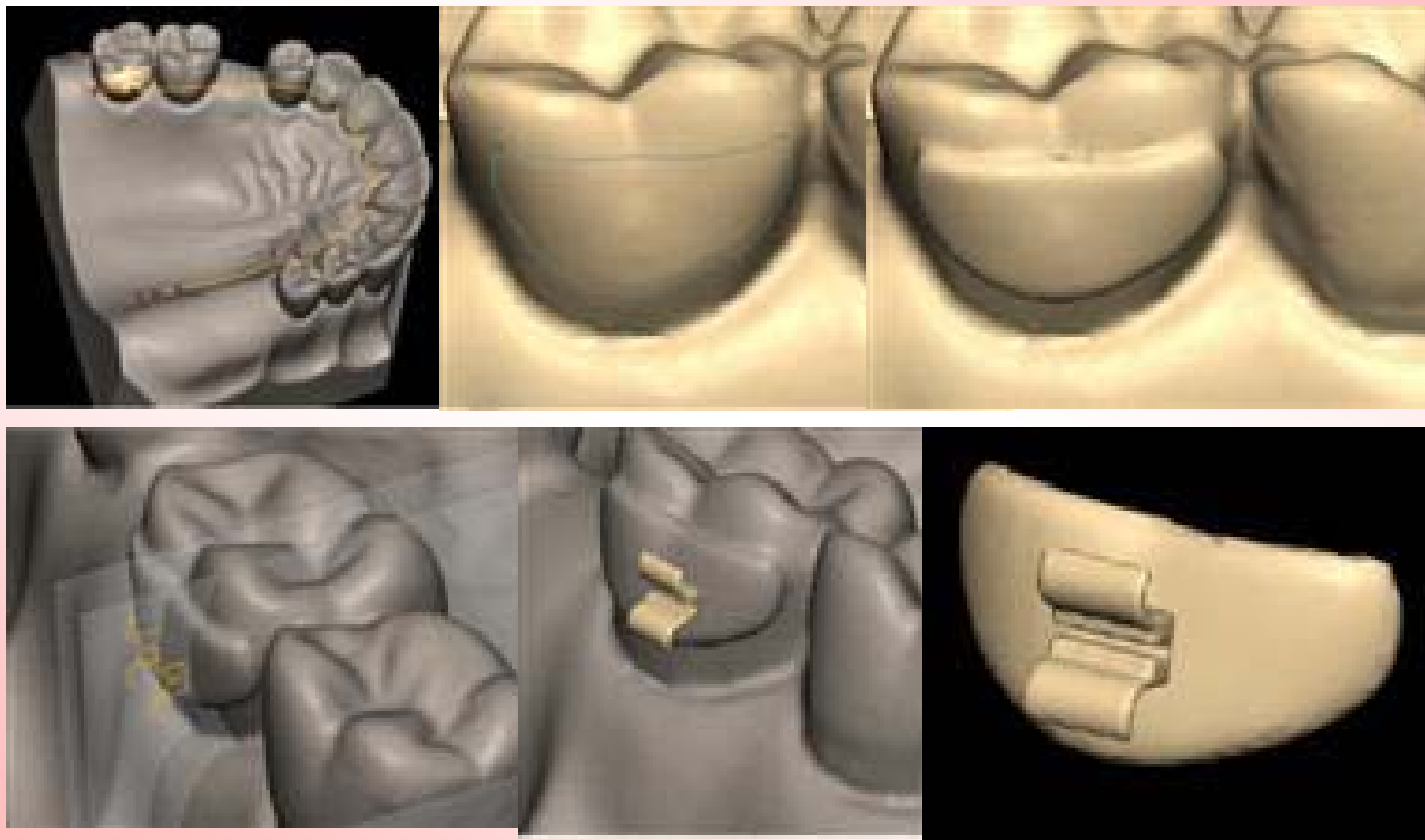
扭转



拔牙



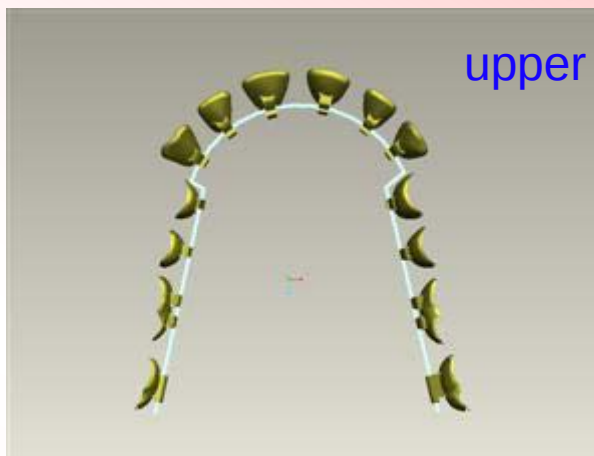
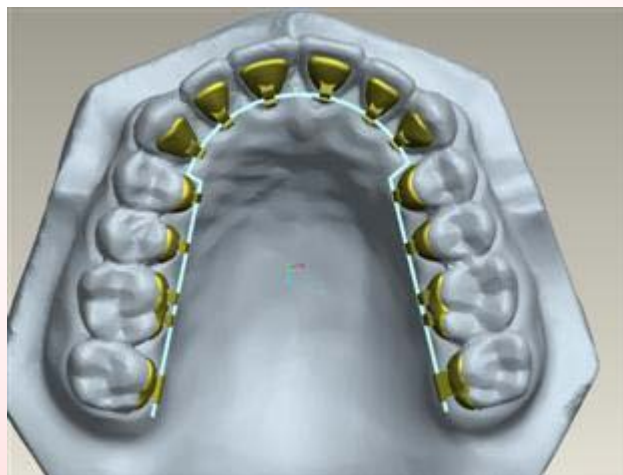
托槽设计





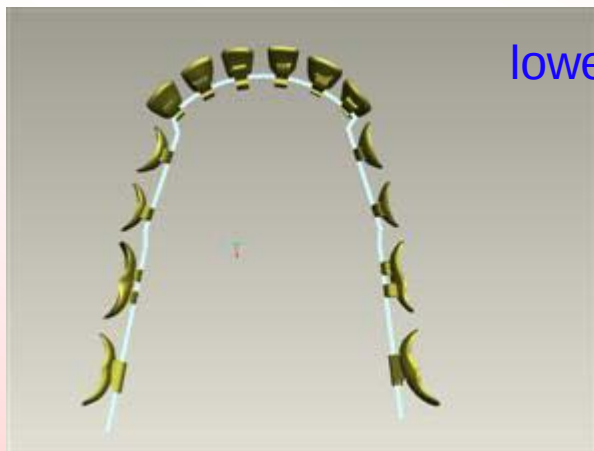
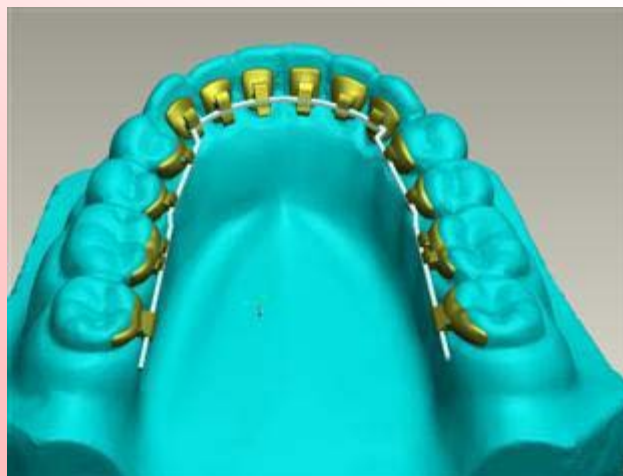
Design of lingual brackets

托槽设计



upper teeth

CAD model of
individual
braces (STL
files)



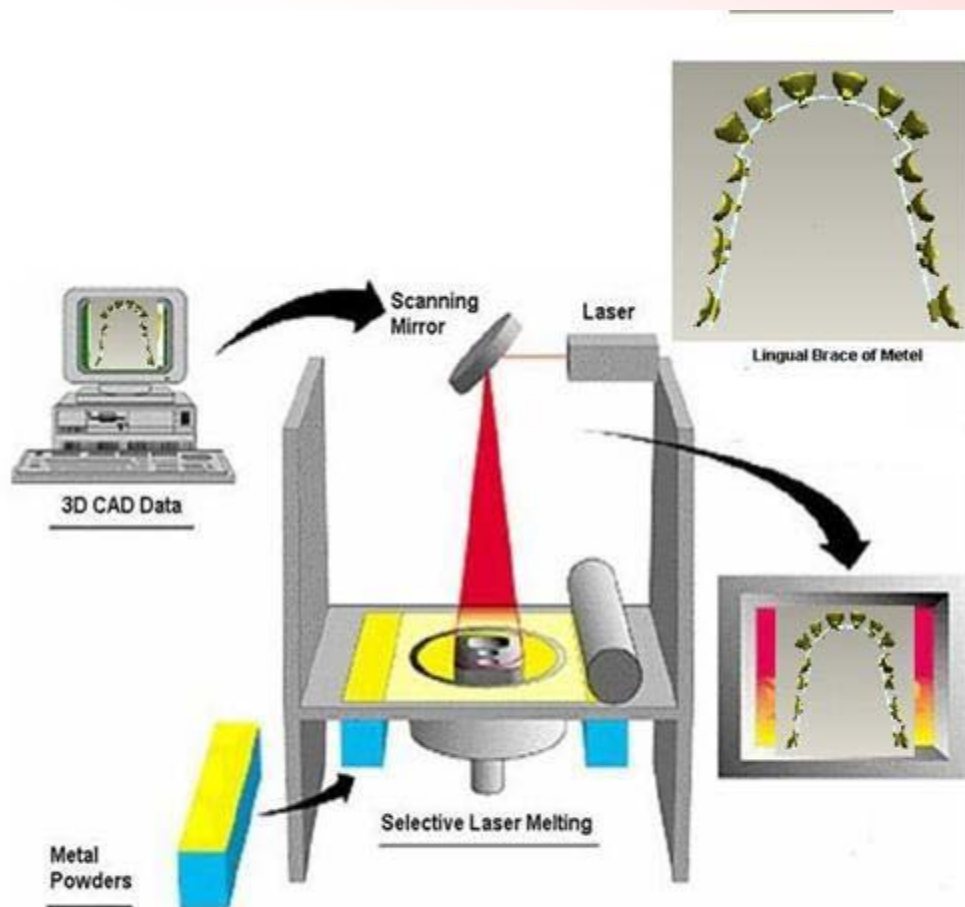
lower teeth



个性化托槽的设计与直接制造



RAPID
Prototyping & Manufacturing



选区激光熔化直接成型制造舌侧托槽示意图



上牙

下牙



华南理工大学

个性化托槽的设计与直接制造



Typodont模拟矫治前

Typodont模拟矫治后



舌侧矫治器



易美舌侧托槽
看不见的矫治
——隐形美观

瑞通生物



检验报告-登记证

No: 2012049



广东省质量监督机械检验站

检 验 报 告

产品名称: 选区激光熔化快速成型机

型号规格: Dimetal 280

受检单位: 华南理工大学 广东华欧焊接工程研究中心

检验类别: 委托检验

报告日期: 2012年8月1日

地址: 广州市天河北路663号

传真: 020-38732371

邮箱: gmte@vip.163.com

电话: 020-38732043 38732156

邮编: 510635

业务受理: www.gmte.com.cn



RAPID
Prototyping & Manufacturing

中华人民共和国

PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

医疗器械注册证

REGISTRATION CERTIFICATE FOR MEDICAL DEVICE

注册号: 粤食药监械(准)字2011第2310576号

广州瑞通生物科技有限公司:

你单位生产的个性化舌侧正畸托槽,经审查,符合医疗器械产品市场准入规定,准许注册。自批准之日起有效期至二〇一五年九月十五日止。

特此证明。

广东省食品药品监督管理局



附件: 医疗器械注册登记表

Dimetal-280检测报告

个性化舌侧托槽注册证

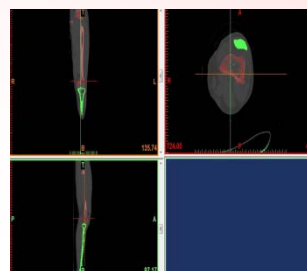
华南理工大学

医学应用

3. 个性化膝关节假体及手术器械



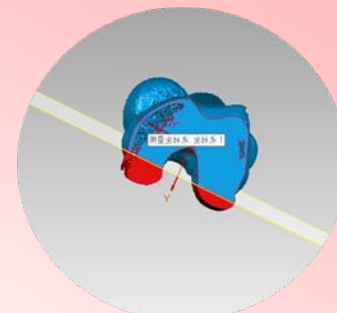
CT扫描



CT扫描数据



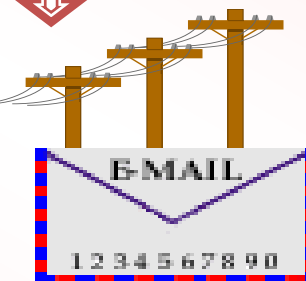
三维重建



可视化截骨



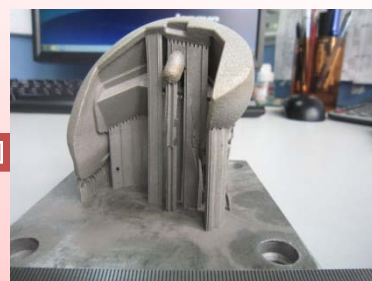
三维
假体
设计



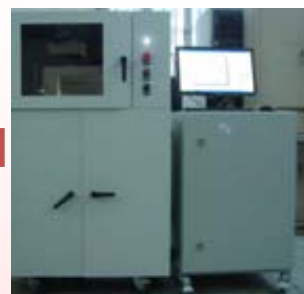
STL数据传输



发货临床



后处理

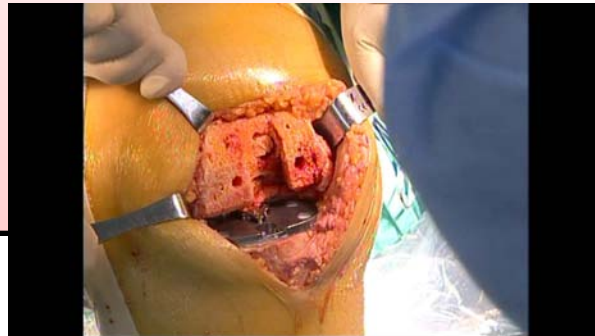
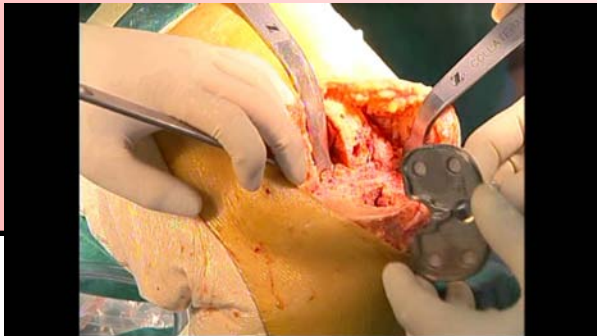
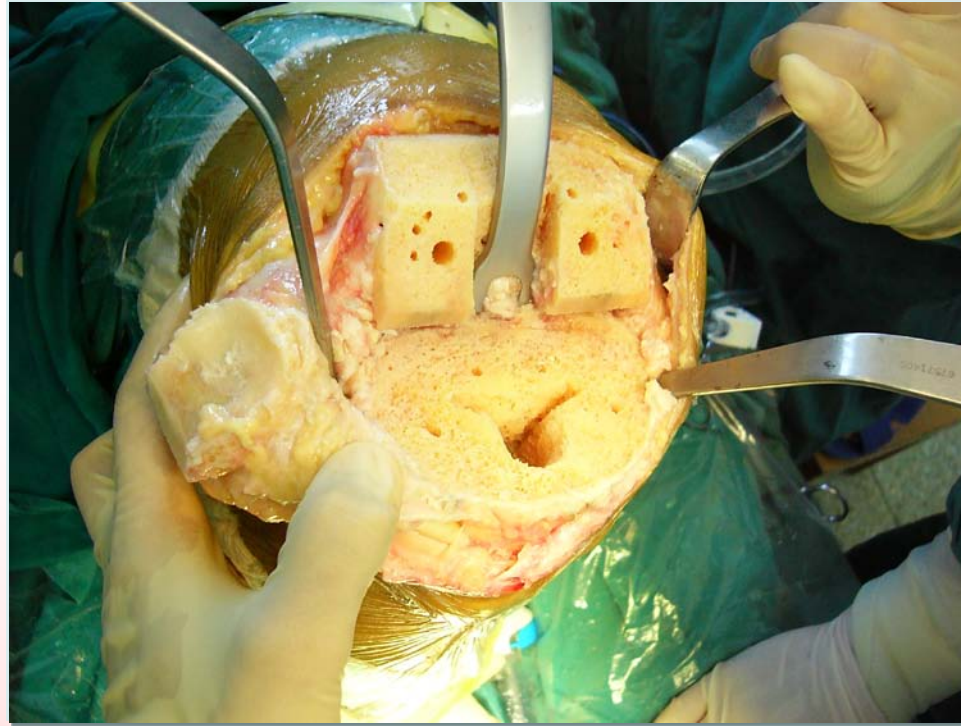


3D打印



个性化膝关节假体制造流程前期可行性探索

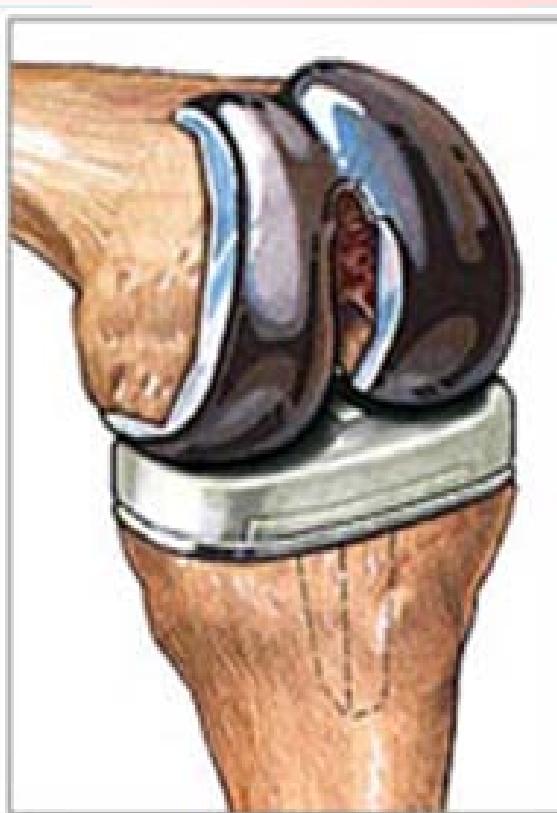
全膝置换手术和所用人工关节



个性化膝关节假体



RAPID
Prototyping & Manufacturing

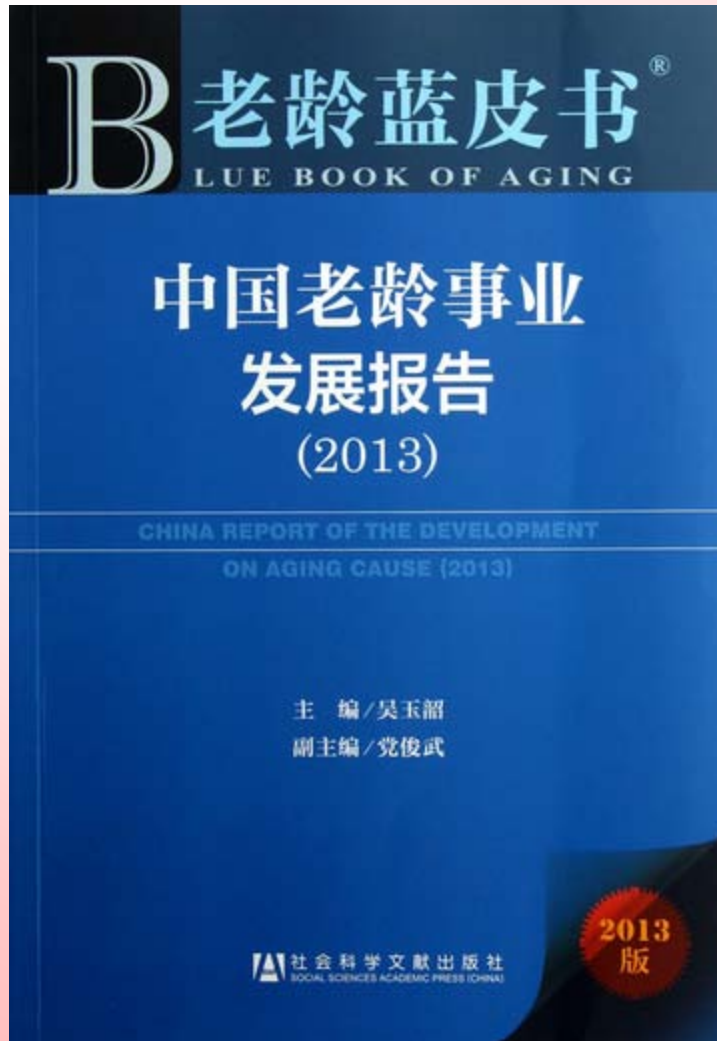


个性化膝盖骨

北京大学第三医院
华南理工大学



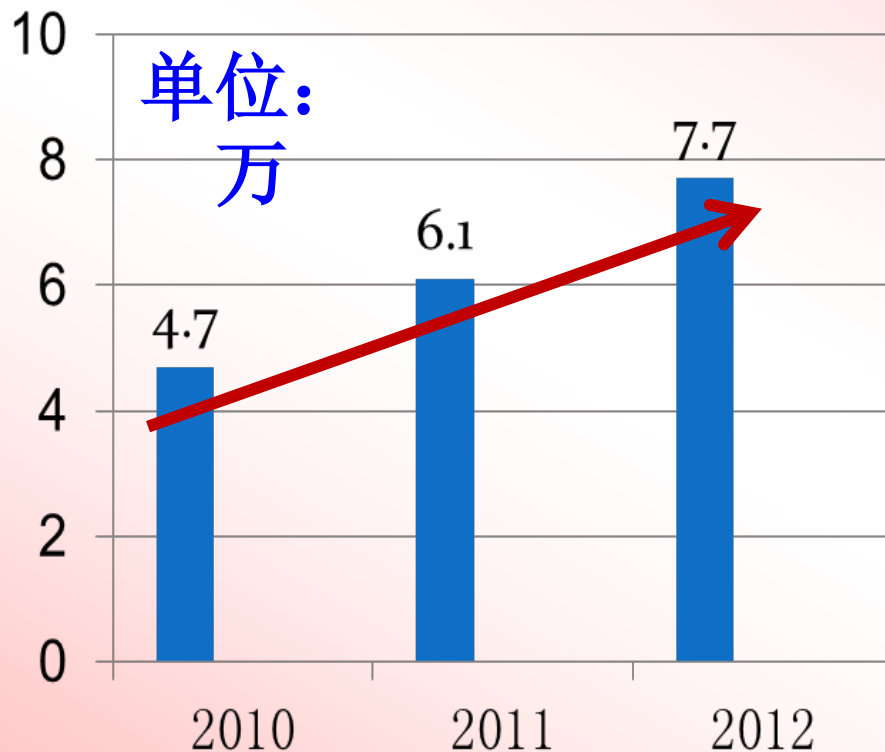
华南理工大学



- 2012年我国老年人口数量1.94亿。
- 2013年老年人口数量预计达2.02亿。
- 突破2亿。



《Millennium Research Group公司》权威报告



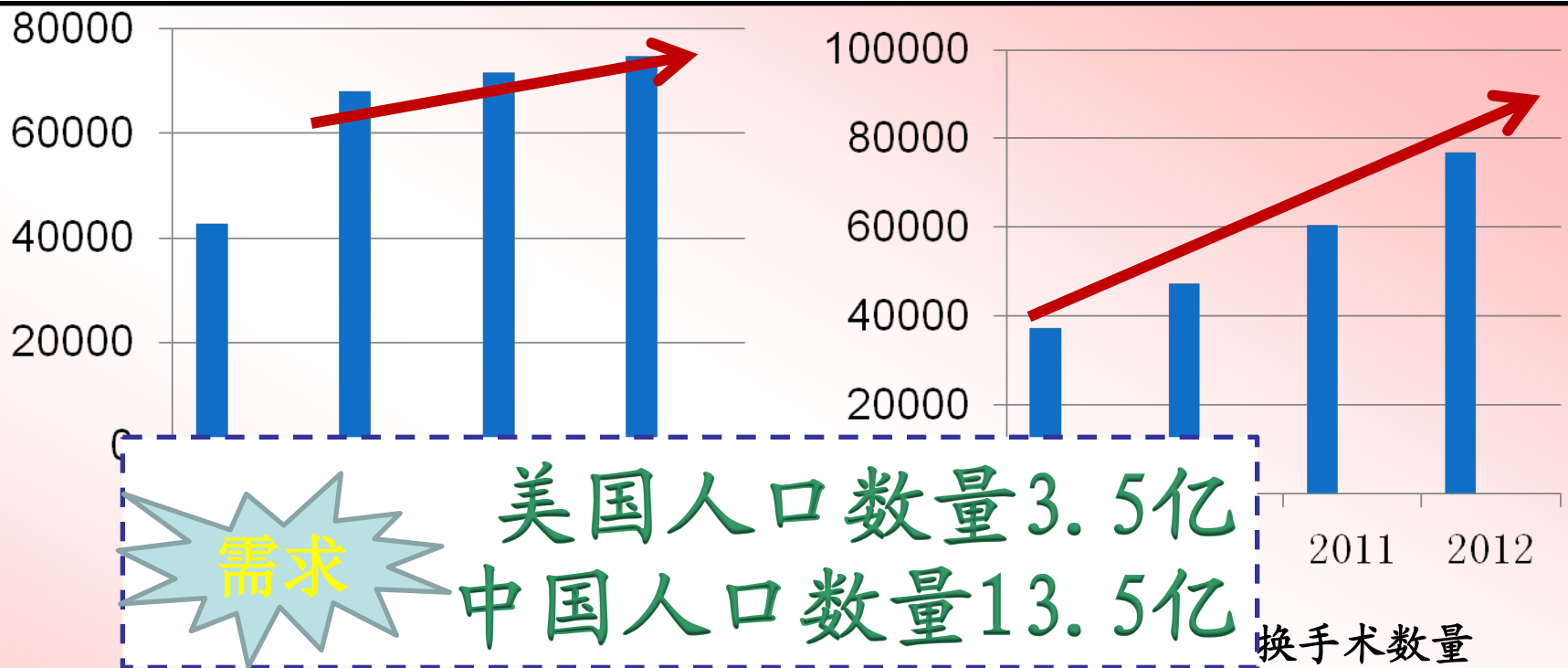
■ 中国2010年进行了4.7万例全膝置换，2011年6.1万例，2012年7.7万例全膝置换。

■ 每年以27%~28%的增长率增长。

■ 年增长率是美国

中国全膝置换手术数量

7倍。

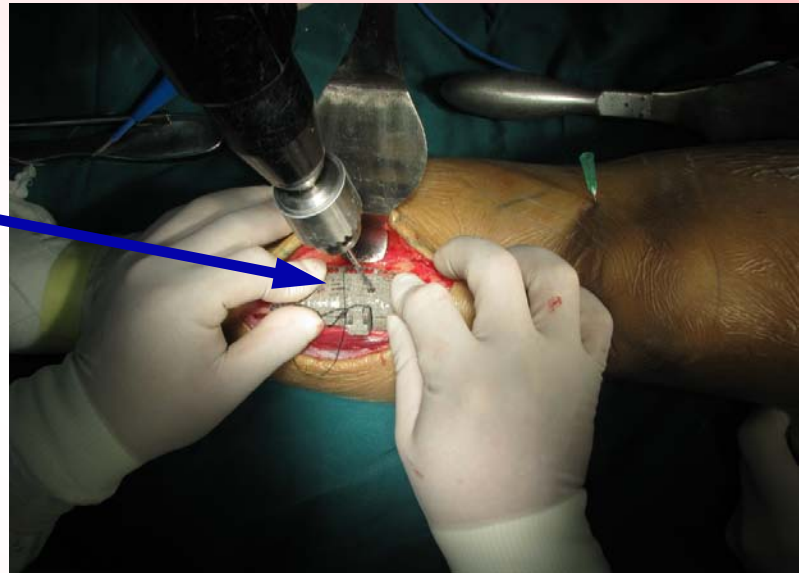
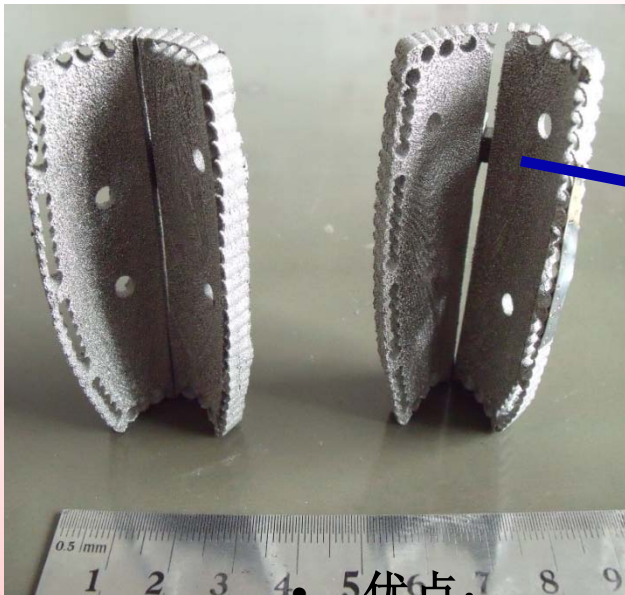


- 美国2010年TKA手术数量是68万例，2011年是70.5万例，每年在以3.7%~4.4%的增长率增长。
- 中国2010年进行了4.8万例全膝置换，2011年是6万例全膝置换，每年在以27.9%~26.9%的增长率在增长，年增长率是美国的至少6倍。

医学应用

4. 外科手术辅助导板

应用实例1：外科手术辅助导板



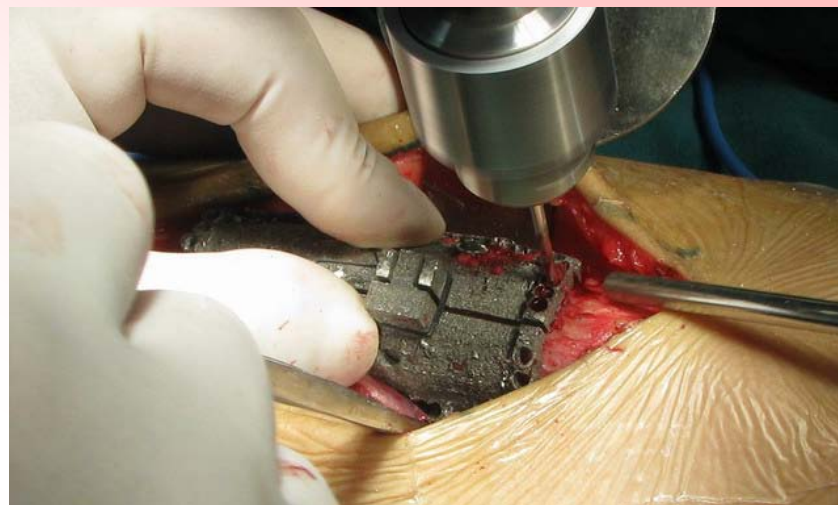
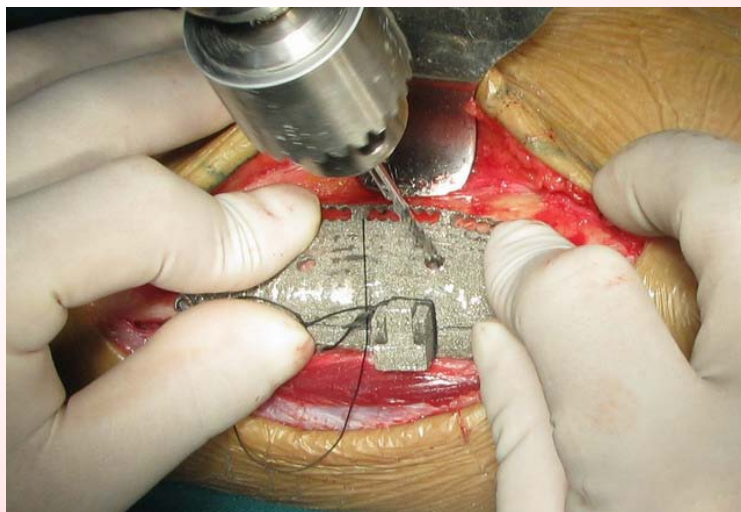
优点：

- (1) 个性化产品，可依据不同病人需要快速制造所需手术导板；
- (2) 医用金属制品，相对采用立体光刻成型的树脂手术导板，对人体生物兼容性更好、更安全、更方便消毒（高温消毒即可）；
- (3) 且在手术过程，足够坚硬，不易留下废屑。

实例2



手术实施与结果



基于患者个性化假体的手术模板

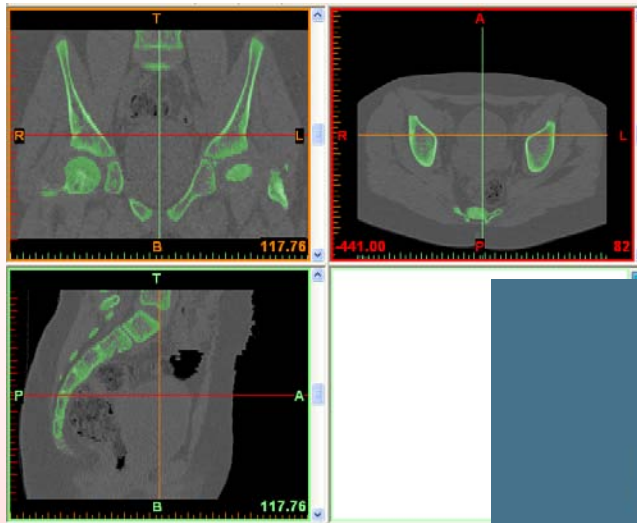


RAPID
Prototyping & Manufacturing



华南理工大学

股骨置换手术

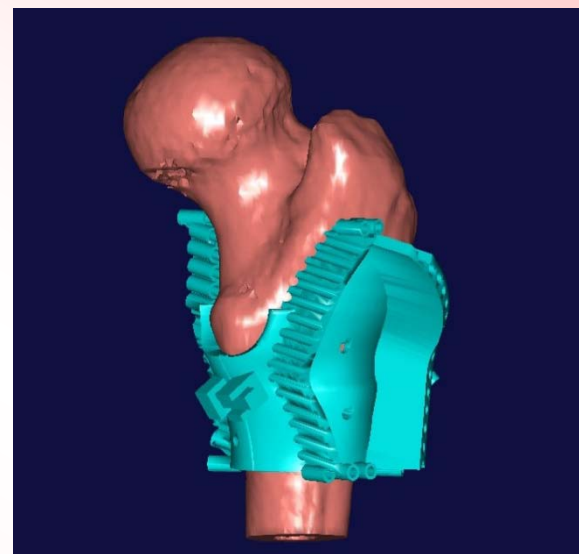


CT Image
Processing

Design of the Surgery guide



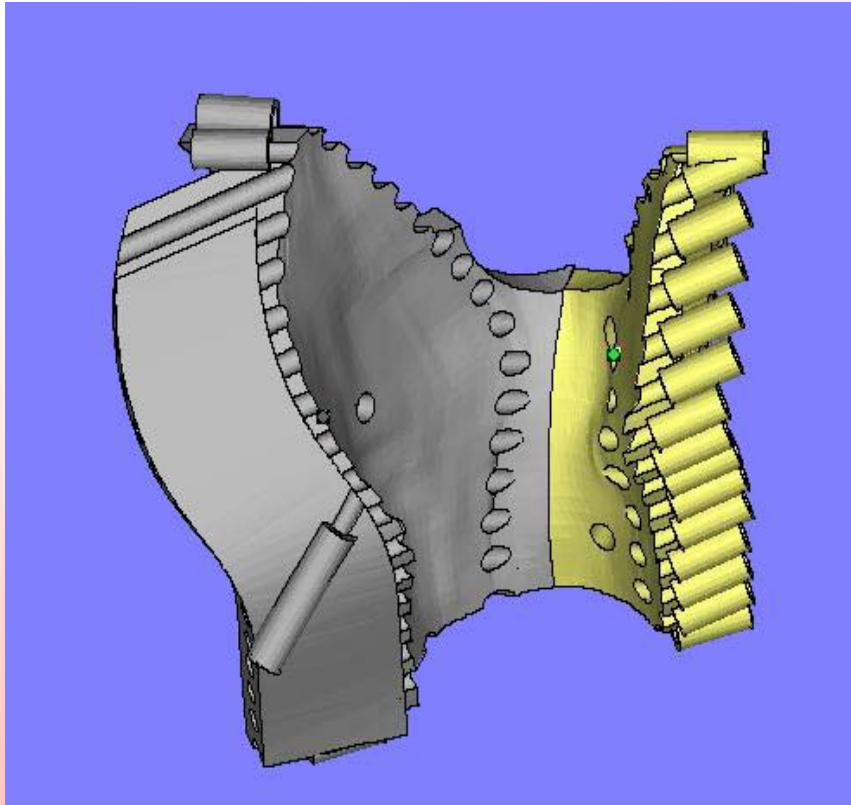
Signed on
cutting zone



Design of the
individual model



Stainless steel surgery guide-1



CAD model—1

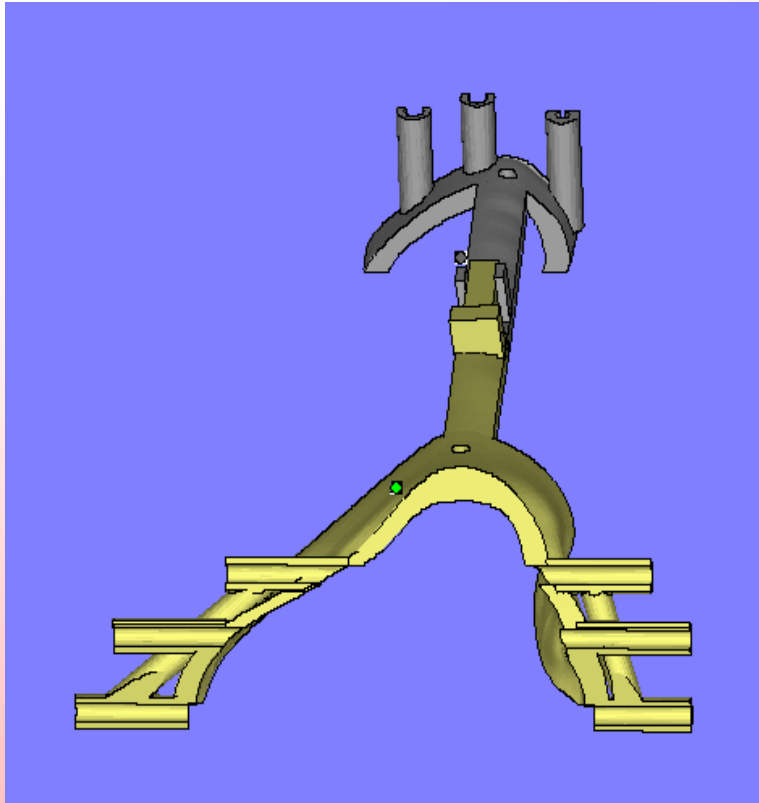


**Stainless steel guide-1
manufactured by SLM**





Stainless steel surgery guide-2



CAD model-2

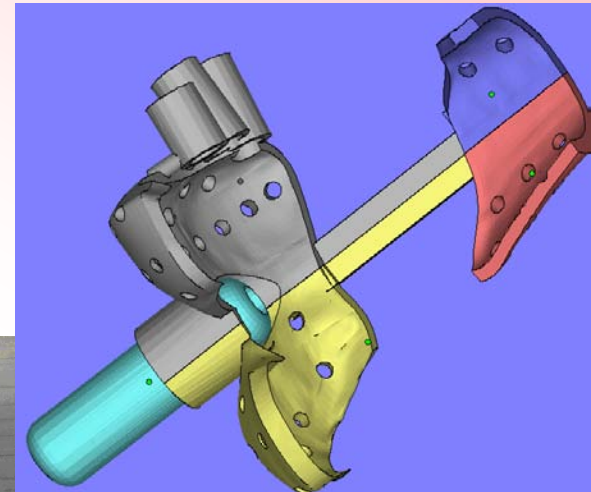
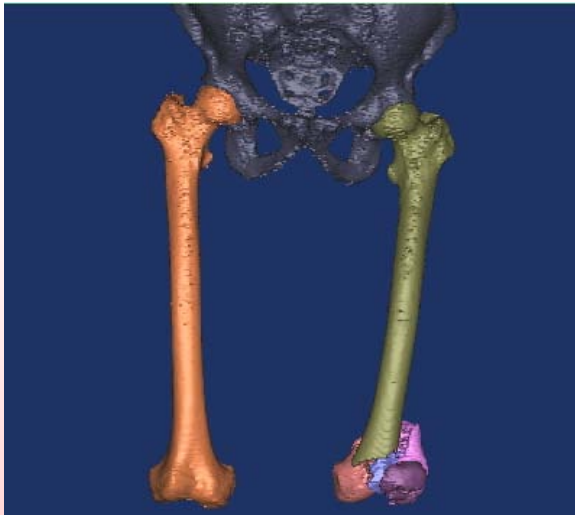


**Stainless steel guide-2
manufactured by SLM**





Stainless steel surgery guide-3

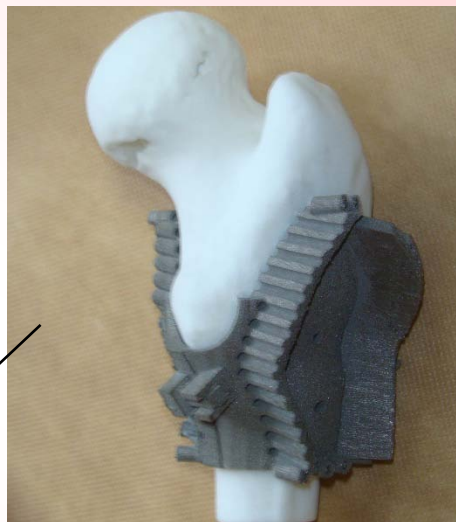




Surgery guide-1

In real surgery,
got satisfactory
result

Drilling on
shinbone



Before



After



医学应用

5. 多孔骨、植入体

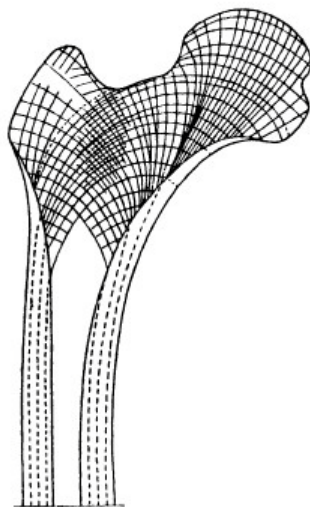
多孔骨



RAPID
Prototyping & Manufacturing



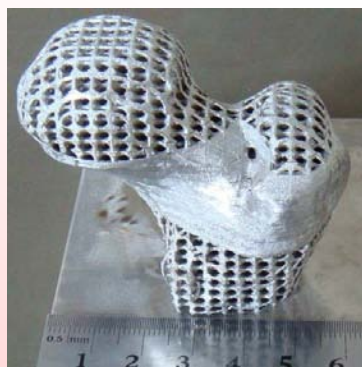
髁骨关节



内部应力分布



可以直接成型生物兼容性好，符合人体结构需求的轻量骨结构

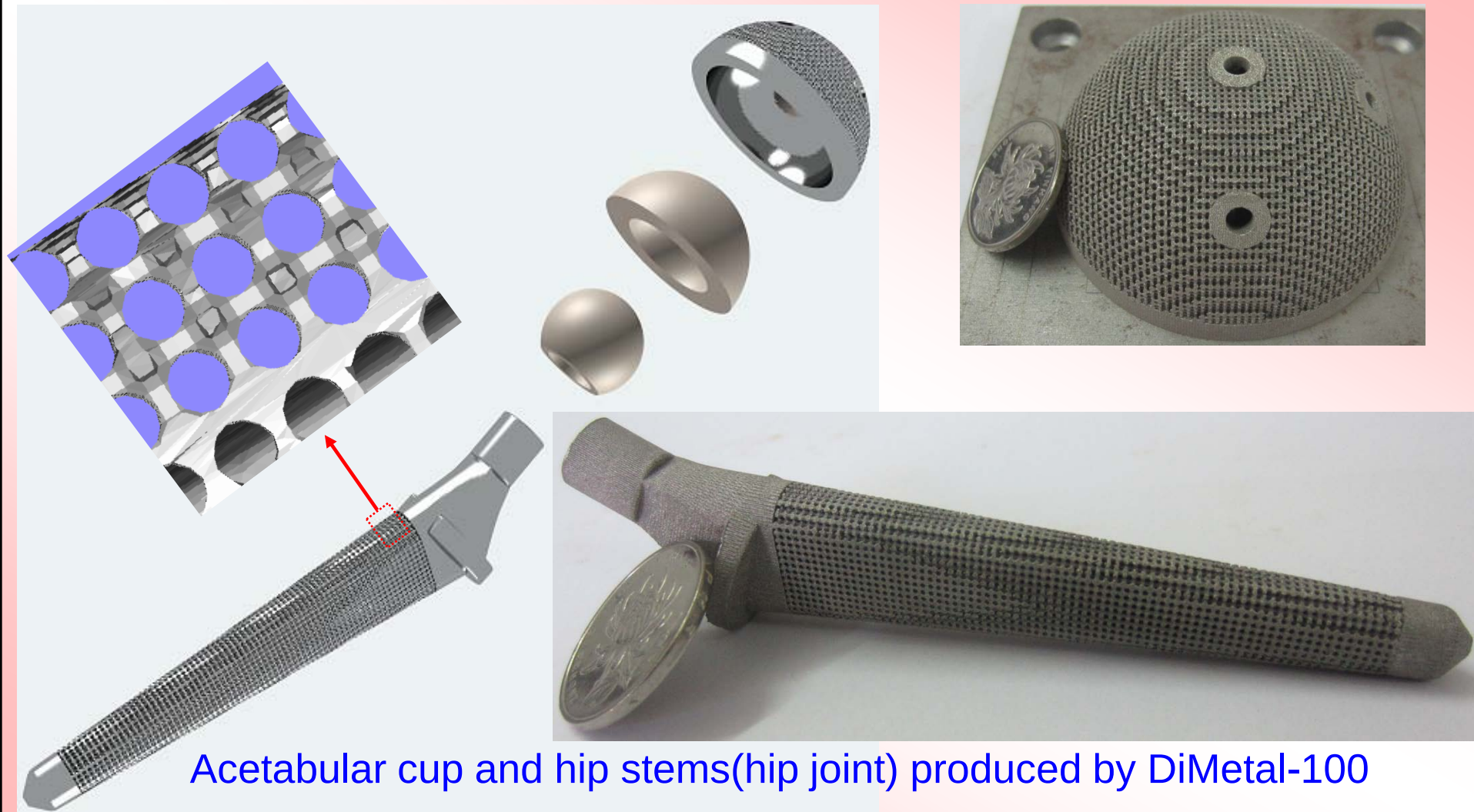


华南理工大学

髋关节植入体Hip implant



RAPID
Prototyping & Manufacturing



Acetabular cup and hip stems(hip joint) produced by DiMetal-100

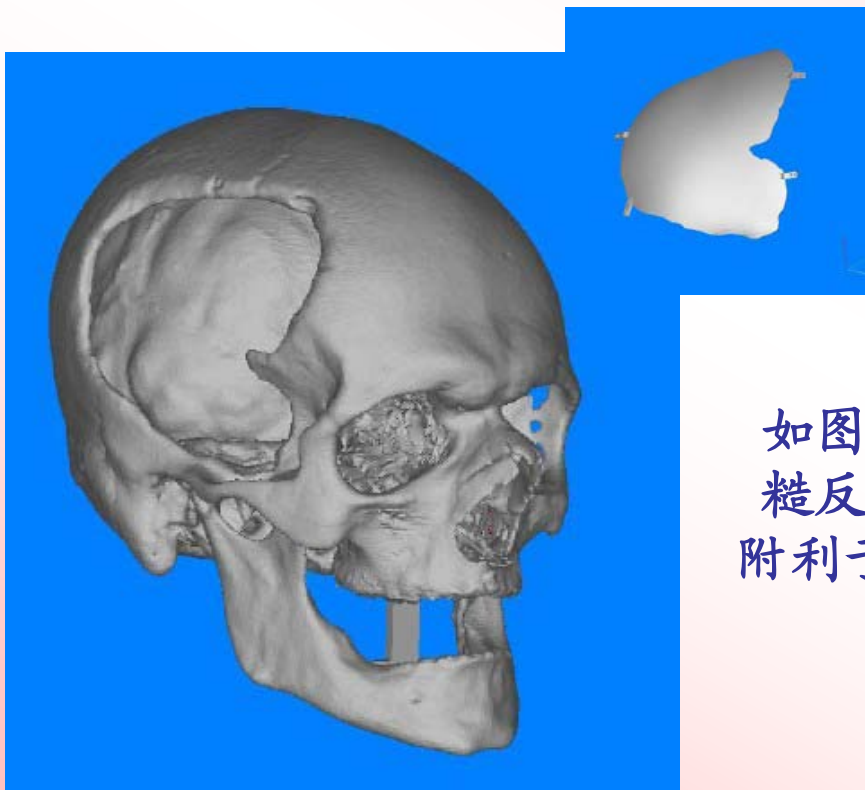


华南理工大学

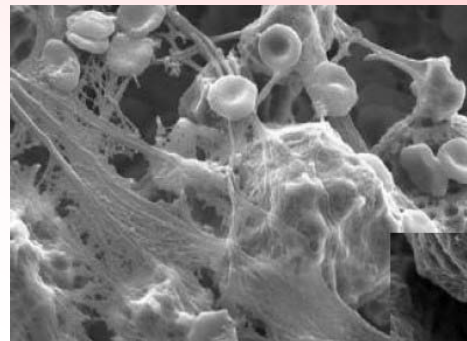
植入体



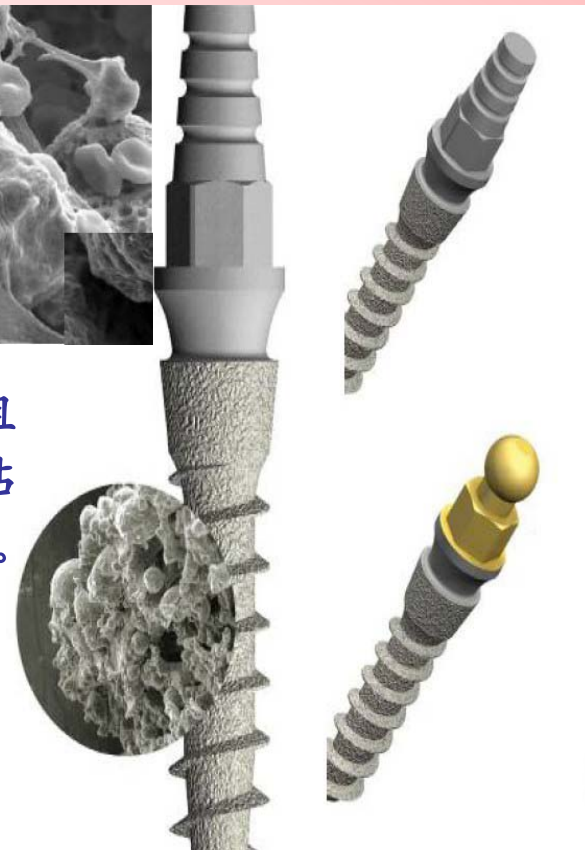
通过控制激光光功率可以产生复合结构；
可以直接加工最终精确表面形状；



颅骨手术



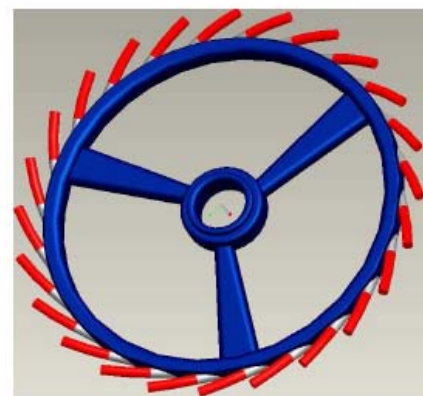
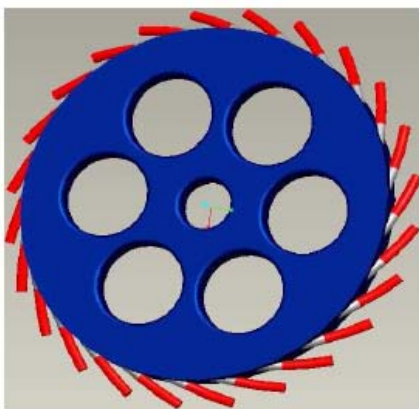
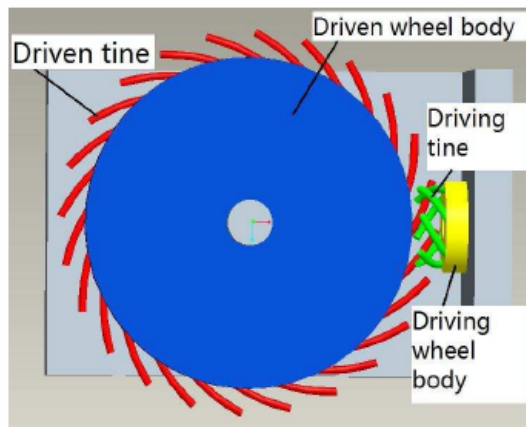
如图牙丁，表面的粗糙
糙反而更利于细胞粘
附利于增强细胞活性。



华南理工大学SLM技术其他应用

Other SLM Applications in SCUT

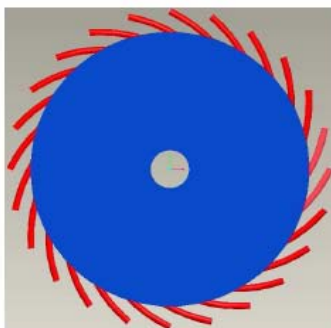
空间曲线啮合齿轮



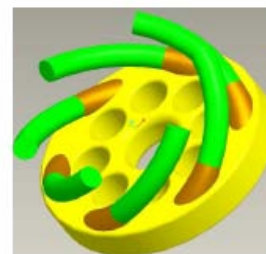
Schematic of SCMW transmission mechanism



(a) Driving wheel



(b) Driven wheel



(c) Optimized driving wheel

新型齿轮的开发

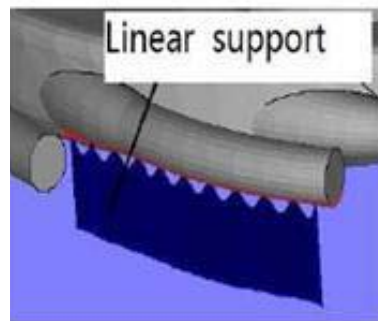
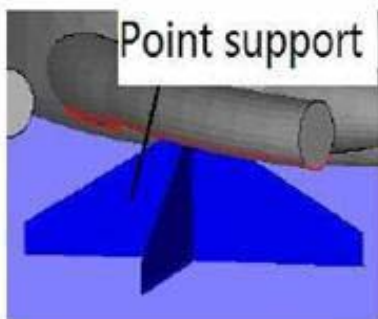


Table 1 Design of orthogonal table in SLM process

	Scan speed (mm/s)	Scan space (mm)	Defocus amount (mm)	Laser power (W)	Layer thickness (mm)	Scan strategy
Level 1	150	0.050	-0.5	150	0.025	X-direction
Level 2	200	0.065	0	180	0.040	x/y orthogonal
Level 3	300	0.080	0.5	200	0.050	Sectional scan



Stainless steel

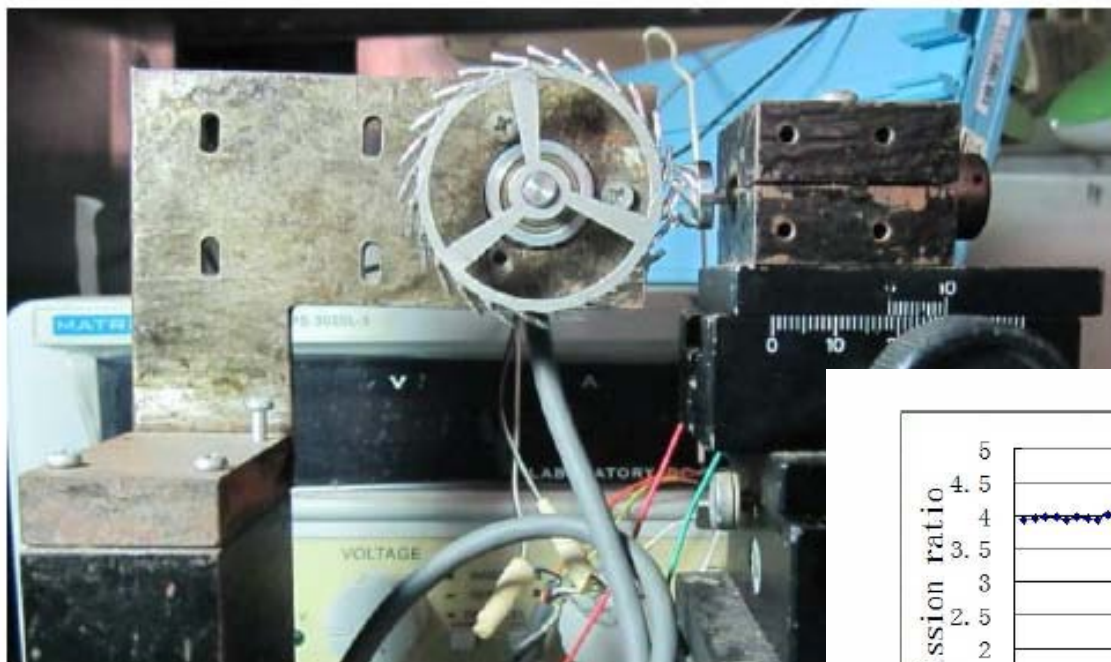


新型齿轮的开发



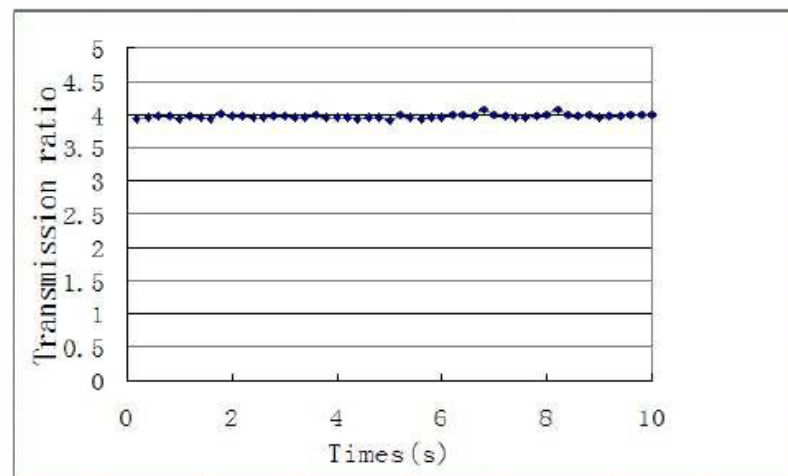
RAPID
Prototyping & Manufacturing

动力学测试



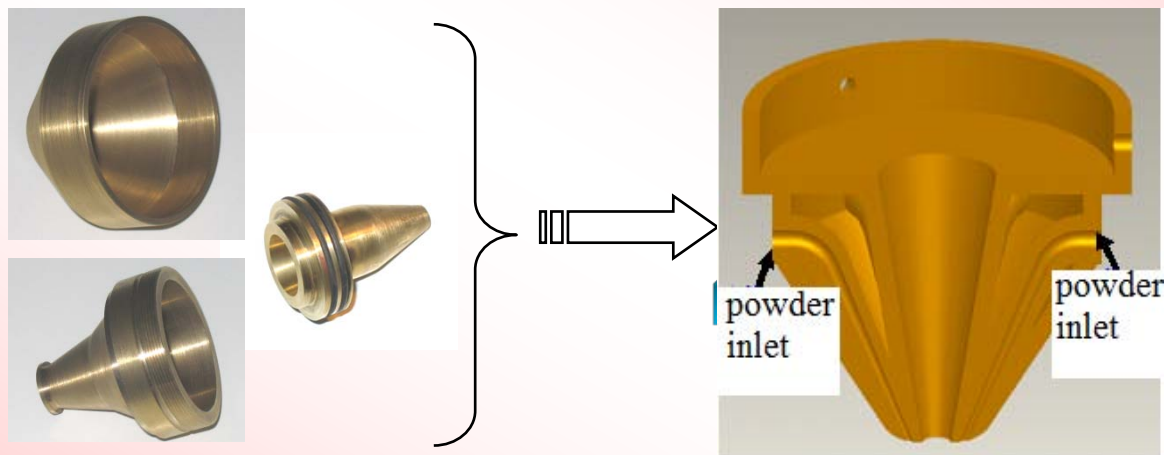
瞬间传动比曲线

NSC(No. 50775074).



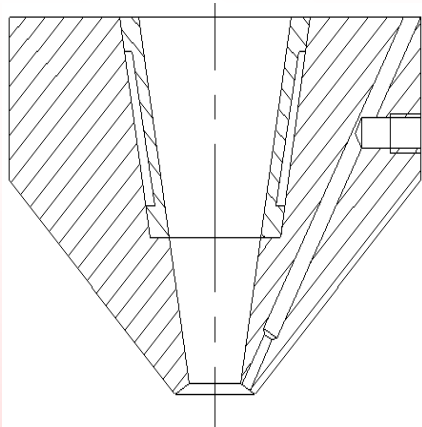
华南理工大学

新型喷嘴的开发

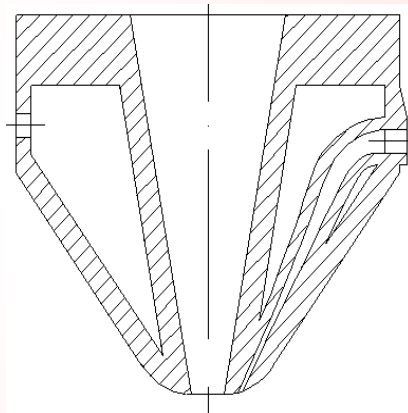


传统喷嘴

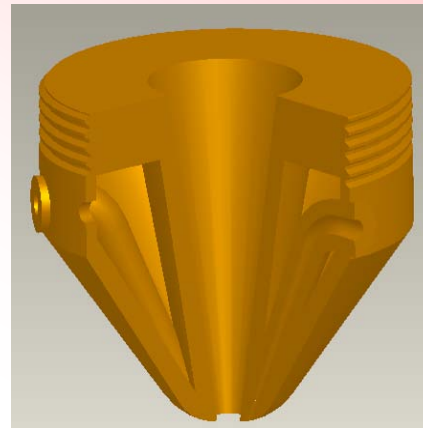
新型喷嘴



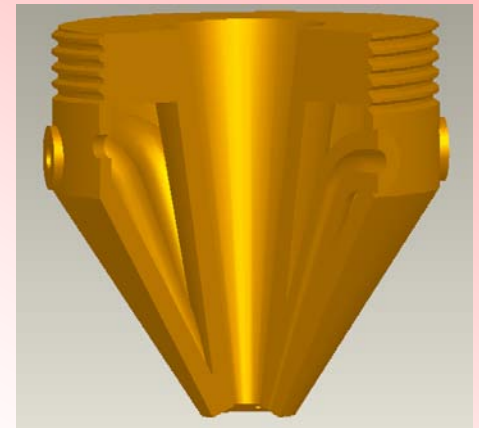
Conventional Hole nozzle



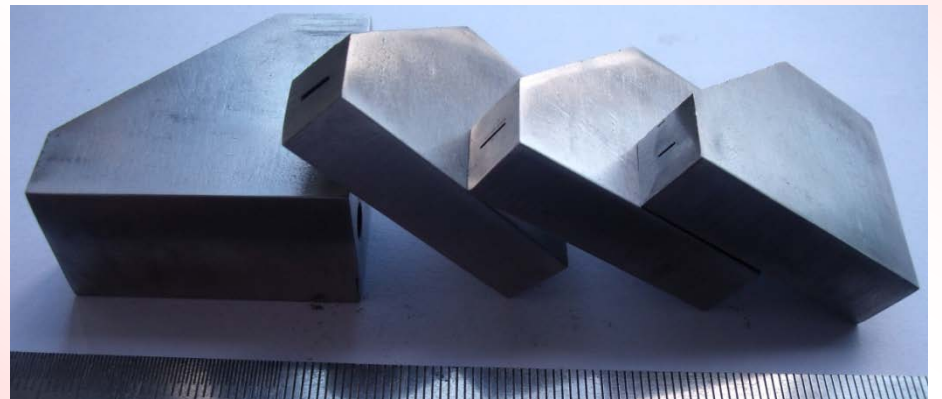
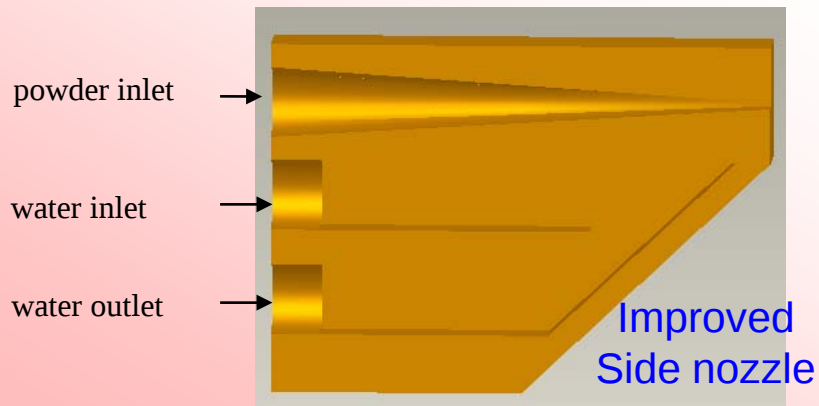
Improved Hole nozzle



3 Hole nozzle



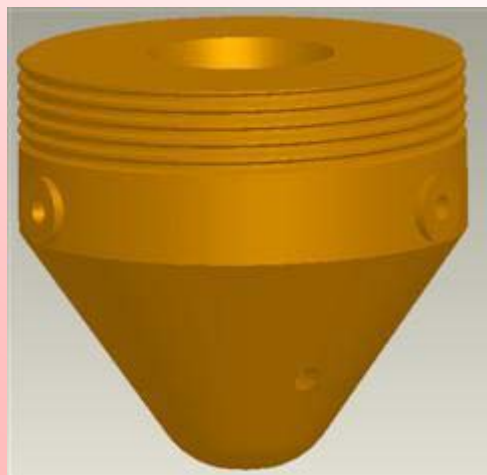
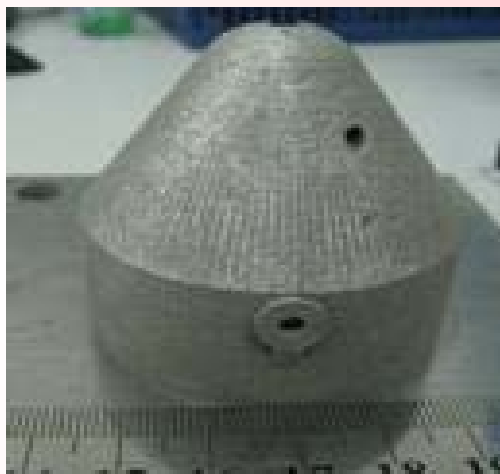
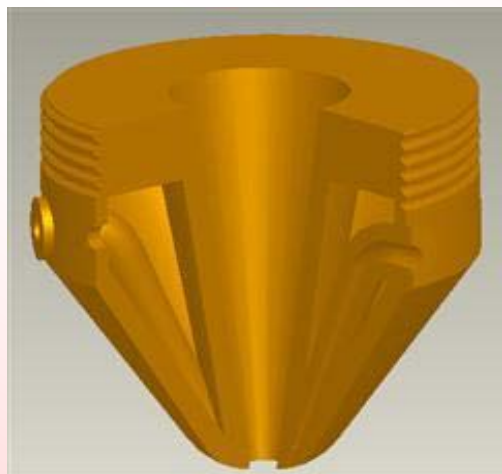
6 Hole nozzle





SLM直接制造的同轴喷嘴

Stainless steel

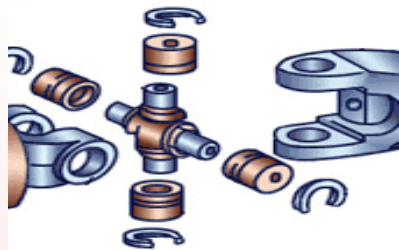


新型免组装机机构研究



RAPID
Prototyping & Manufacturing

传统方式制造万向节



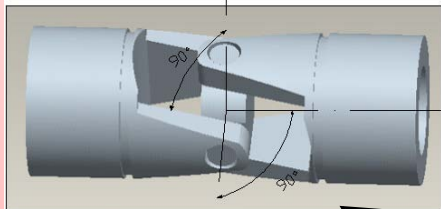
制造



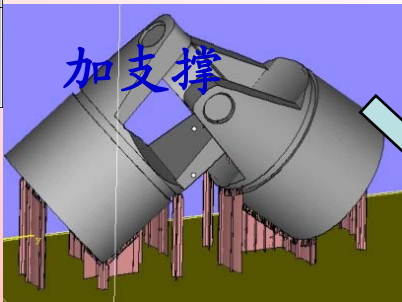
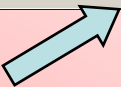
组装



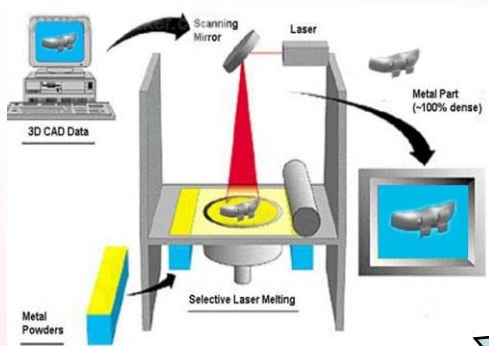
SLM制造万向节



设计



加支撑



SLM 制造



金属零件



华南理工大学

新型免组装机机构研究

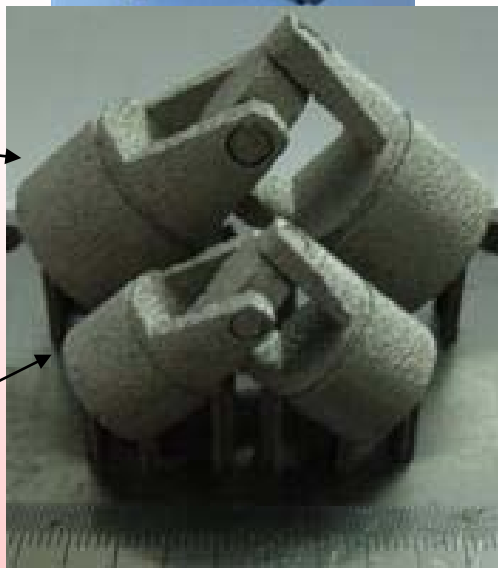
免装配机械机构, 最小间隙0.1mm



$a=0.5\text{mm}$
 $c=1\text{mm}$



$a=0.15\text{mm}$
 $c=0.3\text{mm}$



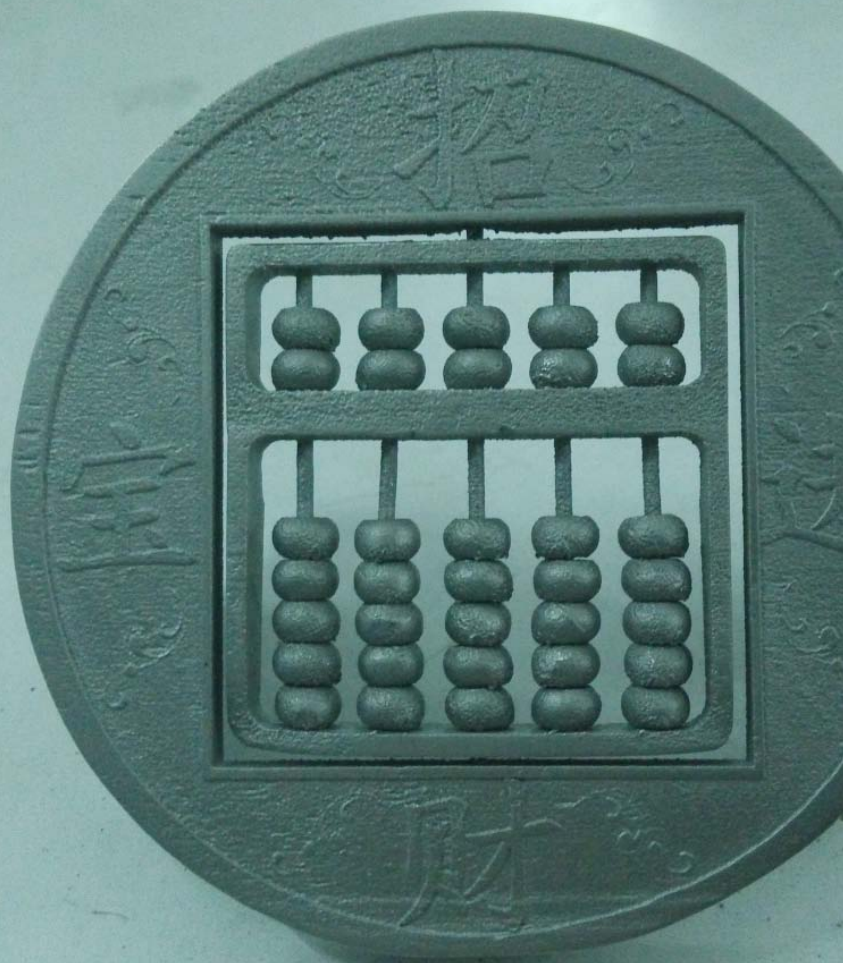
$a=0.1\text{mm}$
 $c=0.2\text{mm}$



$a=0.2\text{mm}$
 $c=0.4\text{mm}$



华南理工大学



2013年12月17日，新加坡南洋理工大学



RAPID
Prototyping & Manufacturing

获得新加坡第一届国际3D打印大赛（珠算）特等奖（Grand Prize）

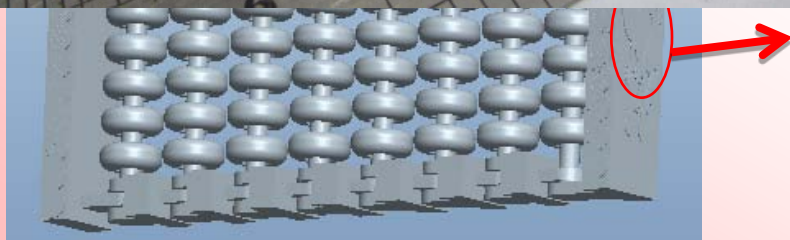
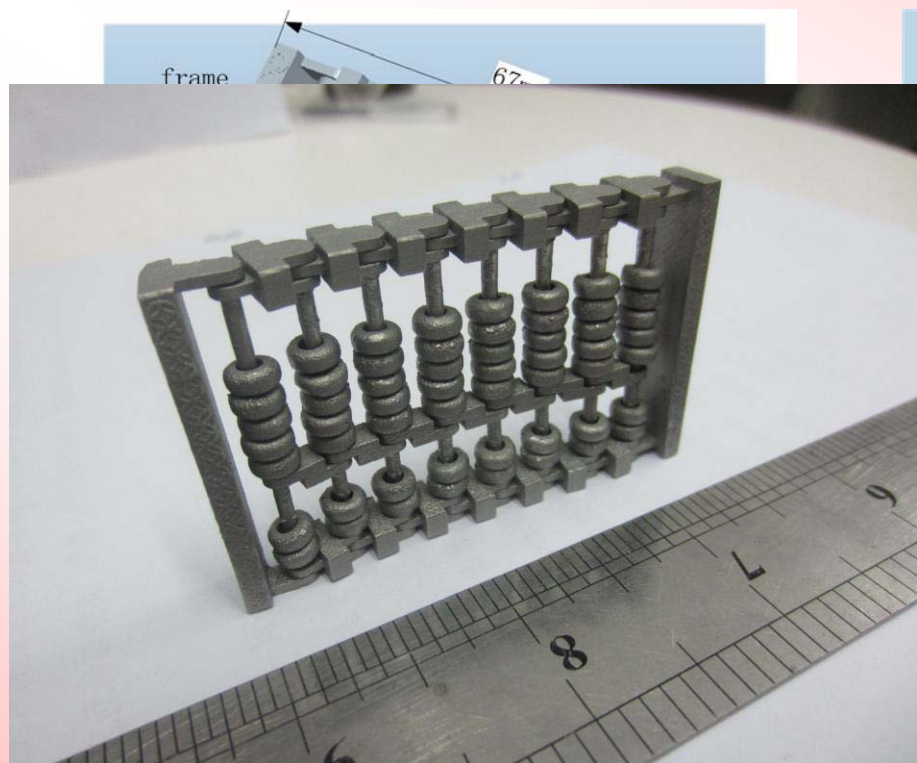


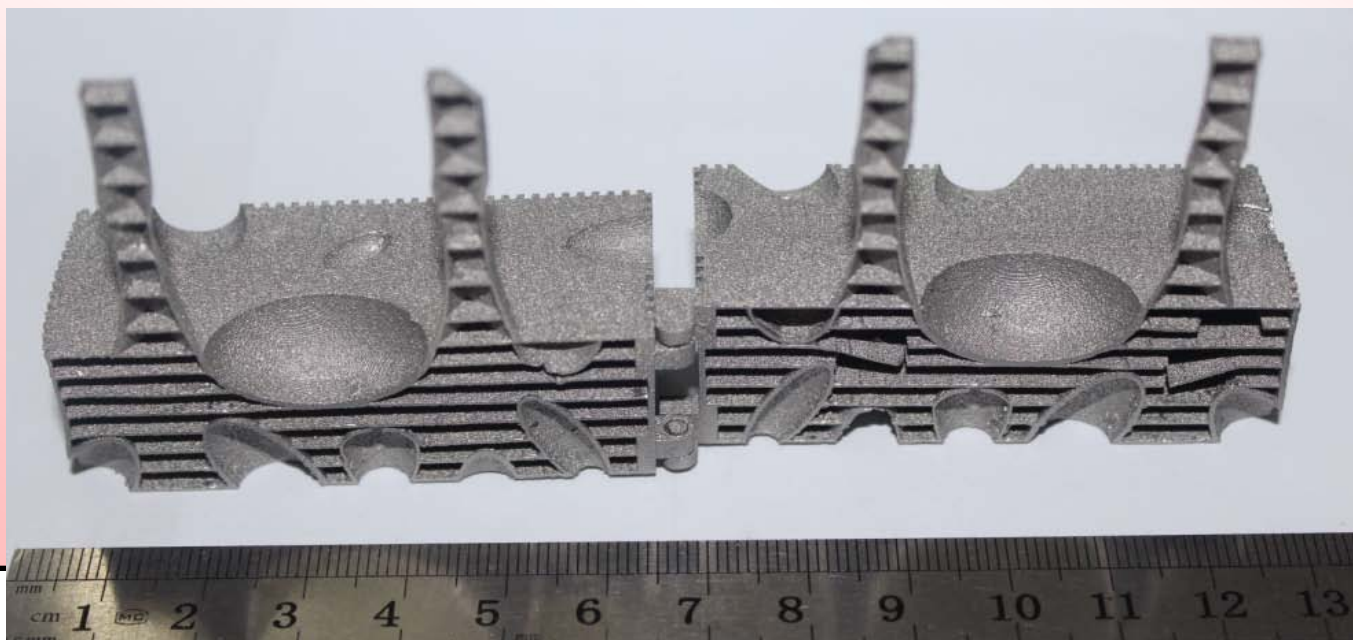
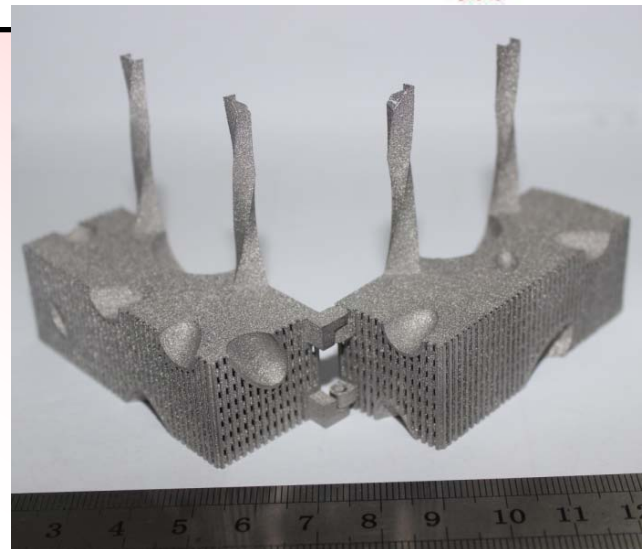
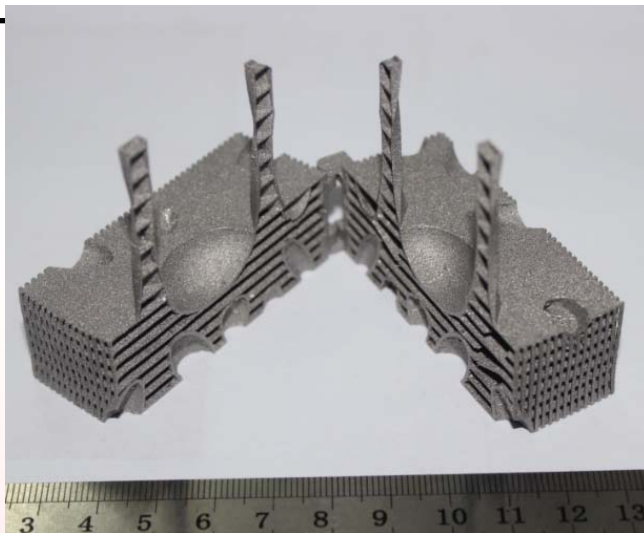
CAD 模型

3D 打印成型的不锈钢“铜钱珠算”



南洋理工大学



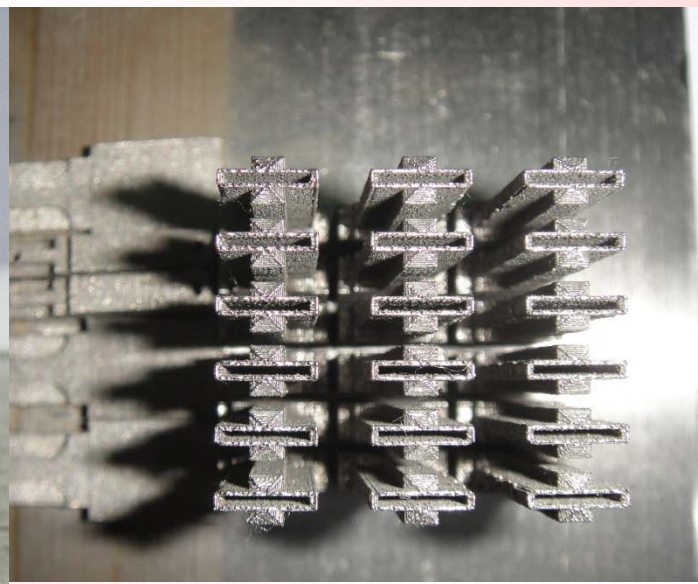
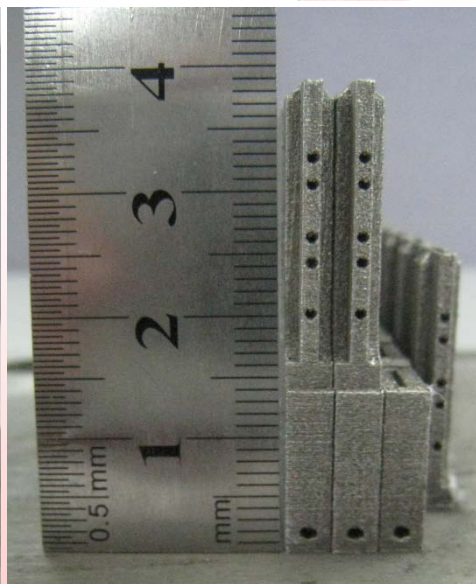
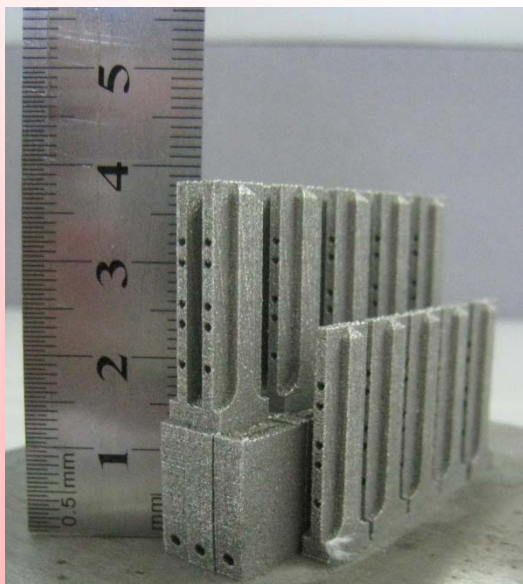




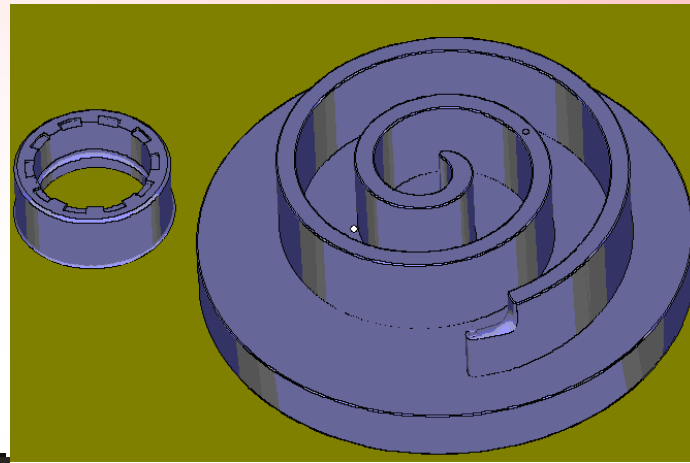
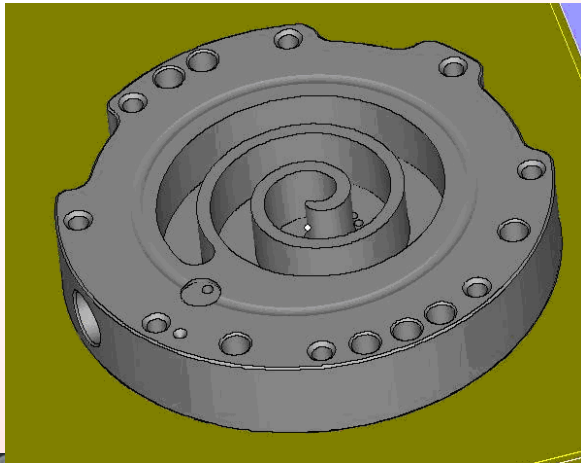
RAPID
Prototyping & Manufacturing



华南理工大学



一种压缩机对偶件



CAD
模型



SLM
制造

制造改变设计 3D打印直接制造技术

杨永强 吴伟辉 编著

