

2013激光技术创新应用高峰论坛 --武汉 2013年10月31日

浅谈激光加工 与智能能量场制造



张文武 研究员

中科院宁波材料技术与工程研究所

中科院宁波工业技术研究院（筹）先进制造所

zhangwenwu@nimte.ac.cn, 159-06509608

目录

- 大背景
- 激光加工案例分析
- 理想的激光加工
- 多能场融合制造的优势
- 迈向智能能量场制造
- 讨论



中科院宁波工业技术研究院 (2004--)

目前~1100人 2015年预计2500人



研究生宿舍

材料所

综合办公楼

新能源所

先进制造所

特种纤维

学术交流中心

料要成材
材要成器
器要好用

中科院的新探索



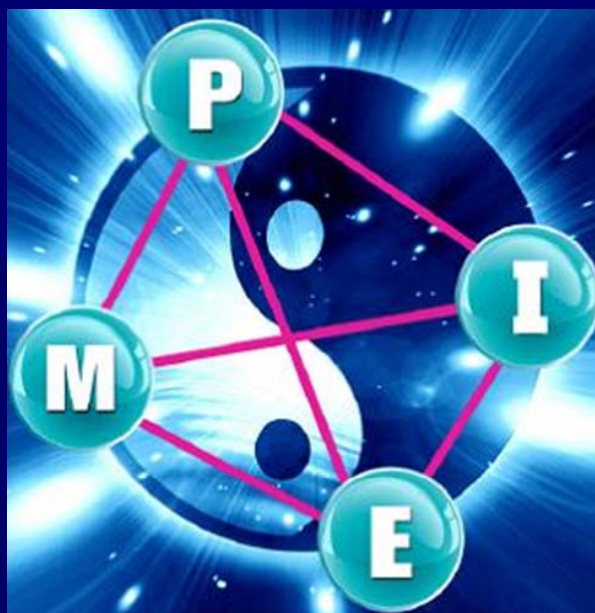
宁波乃普陀山（观音），雪窦山（弥勒）两大佛教名山所在地



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

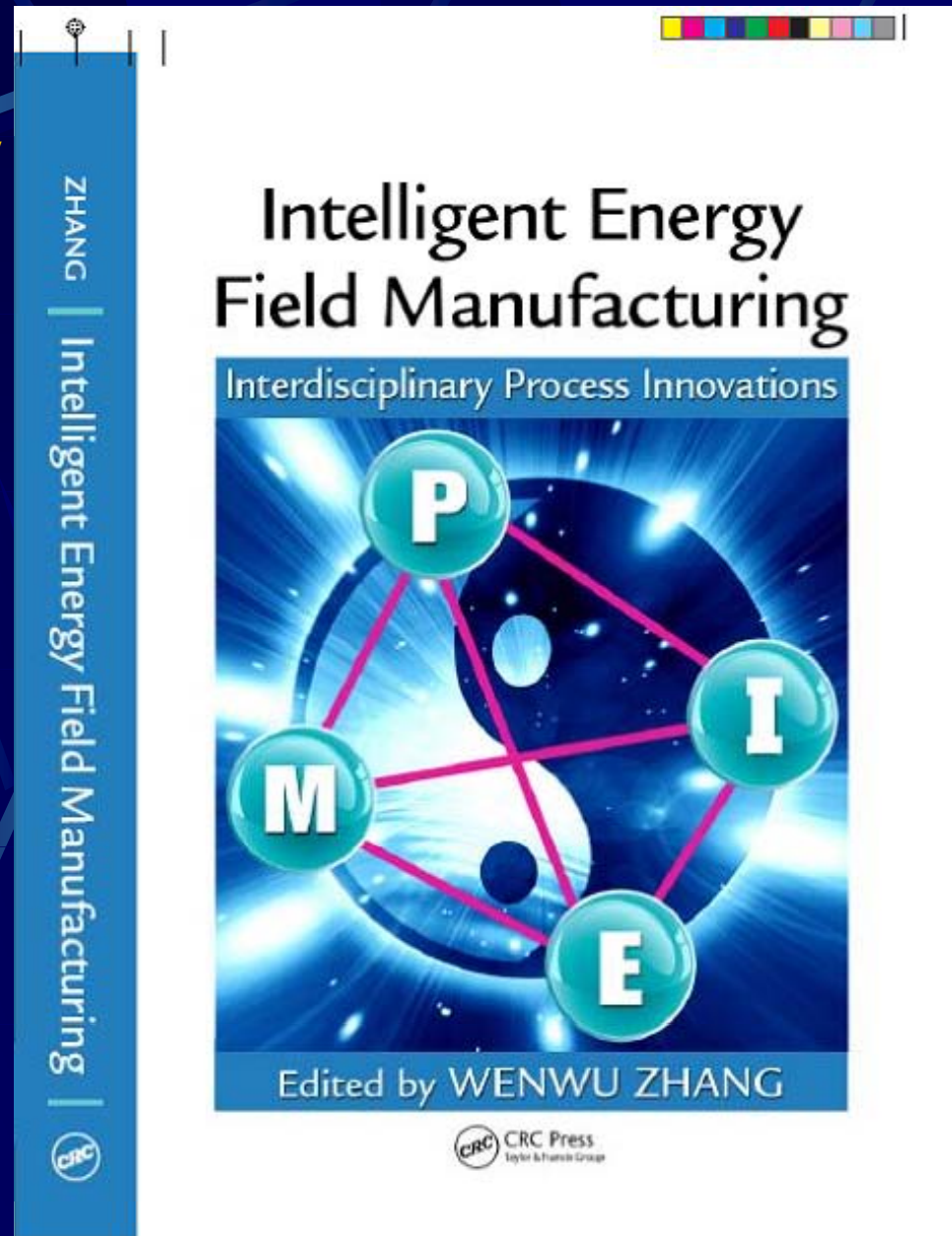
先进制造技术研究所

小时候	河南农村	果园里的工程师梦
1987-1992	中国科大	对制造工艺好奇困惑
1992-1998	航天一院十三所	RPM/3DM及科幻小说
2002-2012	GE GRC	激光加工, BB, TRIZ-III
	ASME	发起能量场制造论坛, 出书总结
2012-8-28	中科院	组建激光与智能能量场制造工程团队



The first book on EFM was published by CRC Press in July 2010

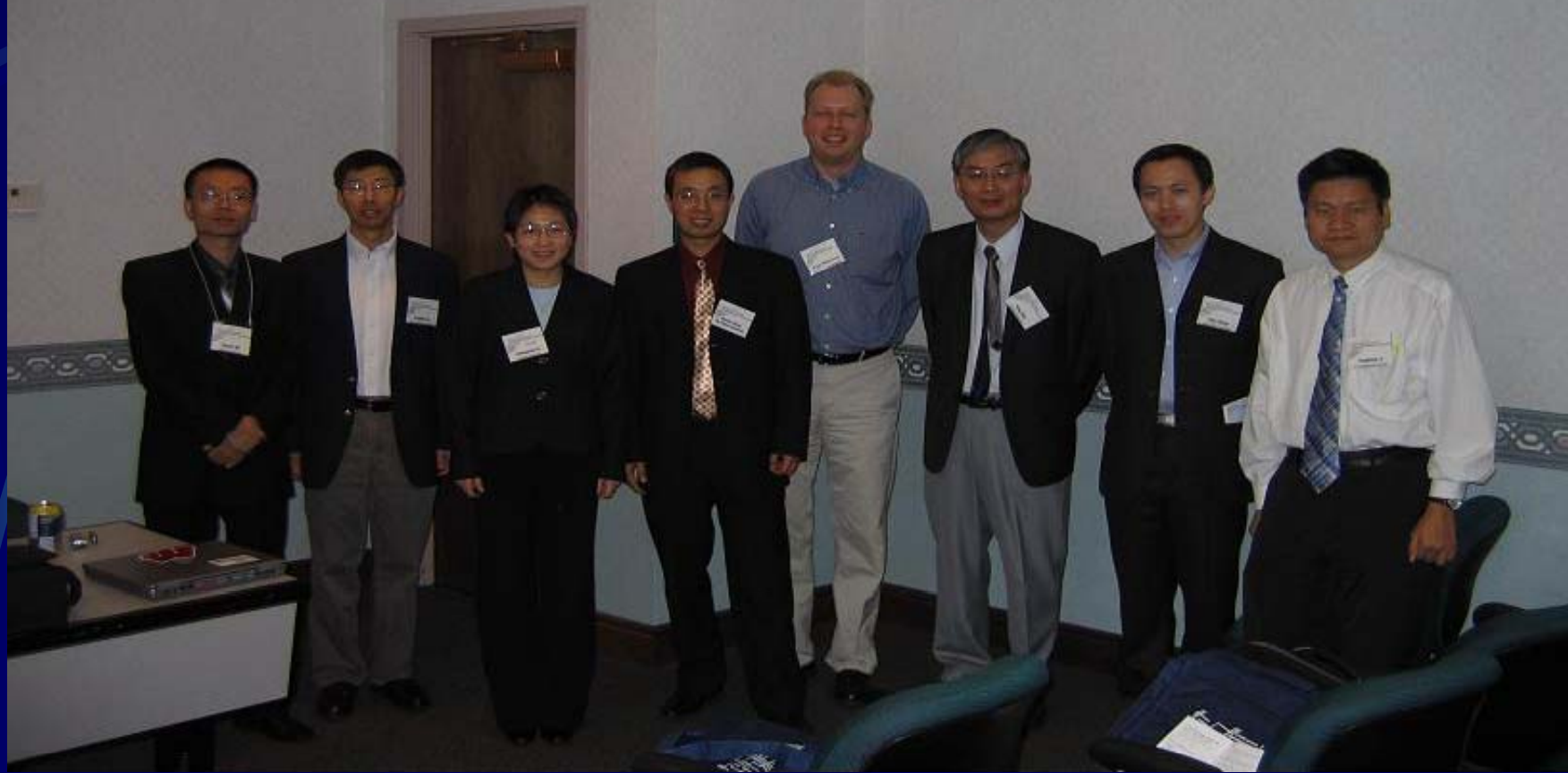
- Part I Fundamentals of Intelligent Energy Field Manufacturing (Ch. 1-4)
- Part II Classic Non-Mechanical Manufacturing Processes (Ch. 5-11)
- Part III Interdisciplinary Process Innovations (Ch. 12-17)
- Part IV Selected Innovative Processes (Ch. 18-22)
- Part V Towards Intelligent EFM (Ch. 23-26)
- ~720 pages



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

MSEC2006 The 1st Symposium of Energy Field Manufacturing in the University of Michigan, USA



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

We won the ASME/MSEC 2006/2008-BOSS Award
among many symposiums



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

2014年ASME/MSEC第五届EFM论坛将在密西根UM 举行，组织者来自中国、美国、欧洲

<http://www.asmeconferences.org/msec2014/CallForPapersDetail.cfm>



Home	Technical Program	Author Center	Meeting Information	Help	Login	
------	-------------------	---------------	---------------------	------	-------	--

Submit Paper

Call For Papers

Technical Tracks

ASME Presenter
Attendance Policy

Visas/
Invitation Letters

Author Resources

Laser, Process Innovations and Energy Field Manufacturing Methodology

Description

Process innovations keep the momentum of economic growth and manufacturing progress. 21st century manufacturing calls for new methodologies to address various challenges including global competition, manufacturing at multiple scales, green manufacturing, energy crisis, etc. Energy Field Manufacturing is one of the methodologies that try to use the integration of various energy fields to address these challenges. This is the 5th International Symposium on Energy Field Manufacturing with emphasis on process innovations. This symposium will report the latest progress in Energy Field Manufacturing,



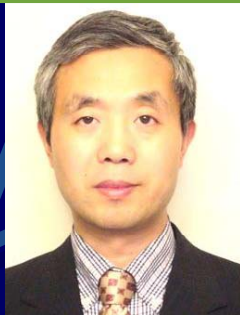
中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

团队介绍

2013-25人 — 2020~100人

激光加工工艺研究与应用开发



张文武

浙江省千人，“旗舰”研究员，ASME微纳制造委员会主席，宁波机械工程学会副理事长，先进制造所所长助理，

焦俊科
(8月加入)

关键人才高工，博士，激光材料加工与分析



张希平

高工，机电产品自动控制系统设计开发，关键装备研制方向



邓涛教授

客聘研究员，上海交通大学材料学院教授，国家千人计划，国际知名微纳米制造专家



李萌

博士后，天津大学博士，光电探测与仪器集成化，激光加工

智能测控系统集成



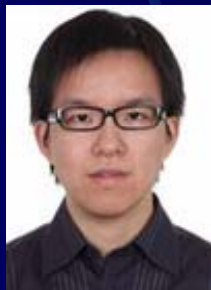
左国坤

研究员，日本京都大学博士，博导，百人计划，智能制造方向



郑华文

博士后，浙江大学博士，智能装备与控制系统设计与开发



何元峰

博士后，浙江大学博士，机械制造及其自动化



陈希良

研究员，新加坡国立大学博士，博导，模拟和仿真方向



吕宏展

助理研究员，重庆大学博士，机械工程多学科数值仿真



郭春海

博士后，南京理工大学博士，计算流体力学、流场数值模拟

能量场仿真与分析



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

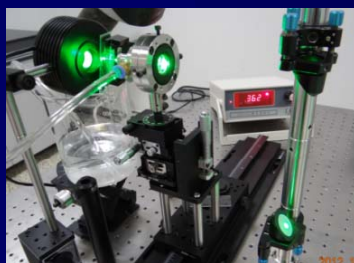
先进制造技术研究所

当前的研发布局

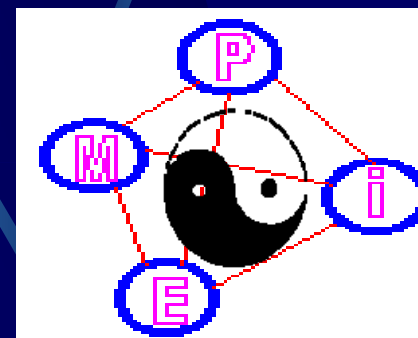
先进制造工艺
激光等精密与极端制造技术
3D打印及多维仿生制造
生物医学制造



能量场综合仿真
ANSYS, MATLAB, ZEMAX
COMCOL-MULTIPHYSICS,
CAD/CAE/CAM软件
多台工作站



**智能能量
场制造工程**



智能测控与系统集成
ABB机器人与五轴联动机器人
康复机器人
多参数传感与信号采集
嵌入式系统开发系统
AEROTECH精密工作台, A3200
虚拟现实技术



工程方法研究
SixSigma
Lean DesignSolutions
TRIZ
DOE
智能能量场制造



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

团队在激光加工领域取得的进展

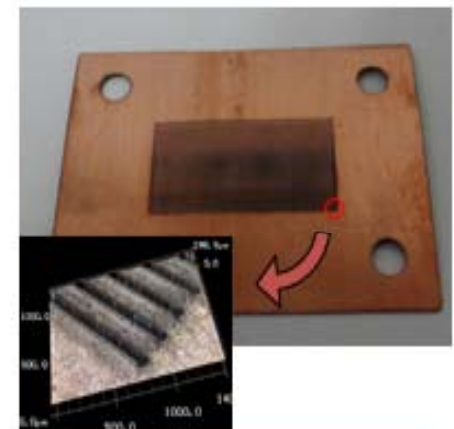
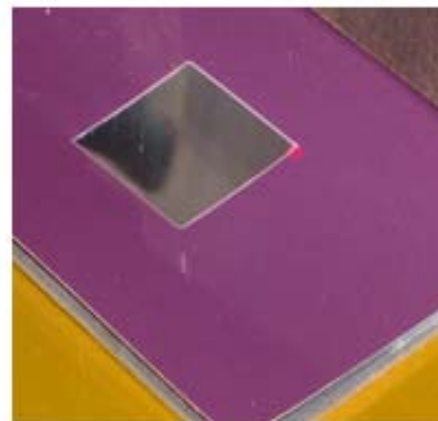
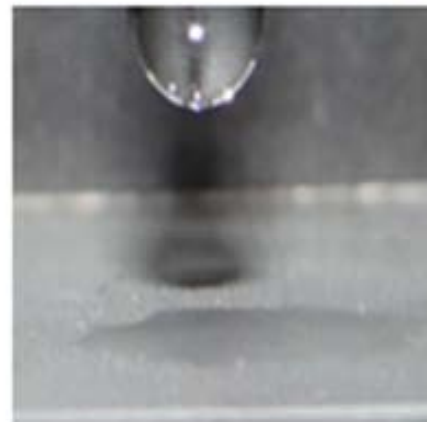


陶瓷基复材

树脂基复材

陶瓷材料

金刚石锯片



疏水表面

亲水表面

激光清洗

微槽冷却

中美制造业大对决

中国是工业生产产值第一大国，工业污染第一大国

2007，工业产值 中/美 67%

2012，工业产值 中/美 126% (3.7/2.9万亿\$)

企业收益 美国 = 4X 中国

美国已经积极调整国策，制造业回流，“美国创造，美国制造”

2011年美国研发投入占全球份额的33%左右

2013财年用于先进制造业研发支出增加19%

大而强，强而美，正规军团之资源与创新力大比拼

创新设计

创新**工艺**，产品，服务

创新**思想**



中国创新战略之“创新设计”

中国工程院，科学院，机械工程学会，**16**位院士联合推动



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

激光等特种加工的历史地位

兴起于难加工材料的加工

电化学，电火花，等离子体，超声，电子束，水刀，
激光，摩擦焊，冲击成型

高硬合金，高温合金，陶瓷，复合材料等

丰富多彩，意义重大，但非主流

激光加工 **2012年** 全球产值不足**80**亿美元

水射流加工 **2012年** 全球产值不足**15**亿美元

电加工 **2012年** 全球产值不足 **30**亿美元

中国传统机床产值 **2012年** 大于**200**亿美元

如何创造一个更为积极、主动的局面？



中国特种加工业的历史责任

- 更好地服务于国家及世界的重大需求
- 引领世界制造工艺与产品，工程思想与方法的创新
- 加速实现中国从**制造大国**到**创造大国**的升华



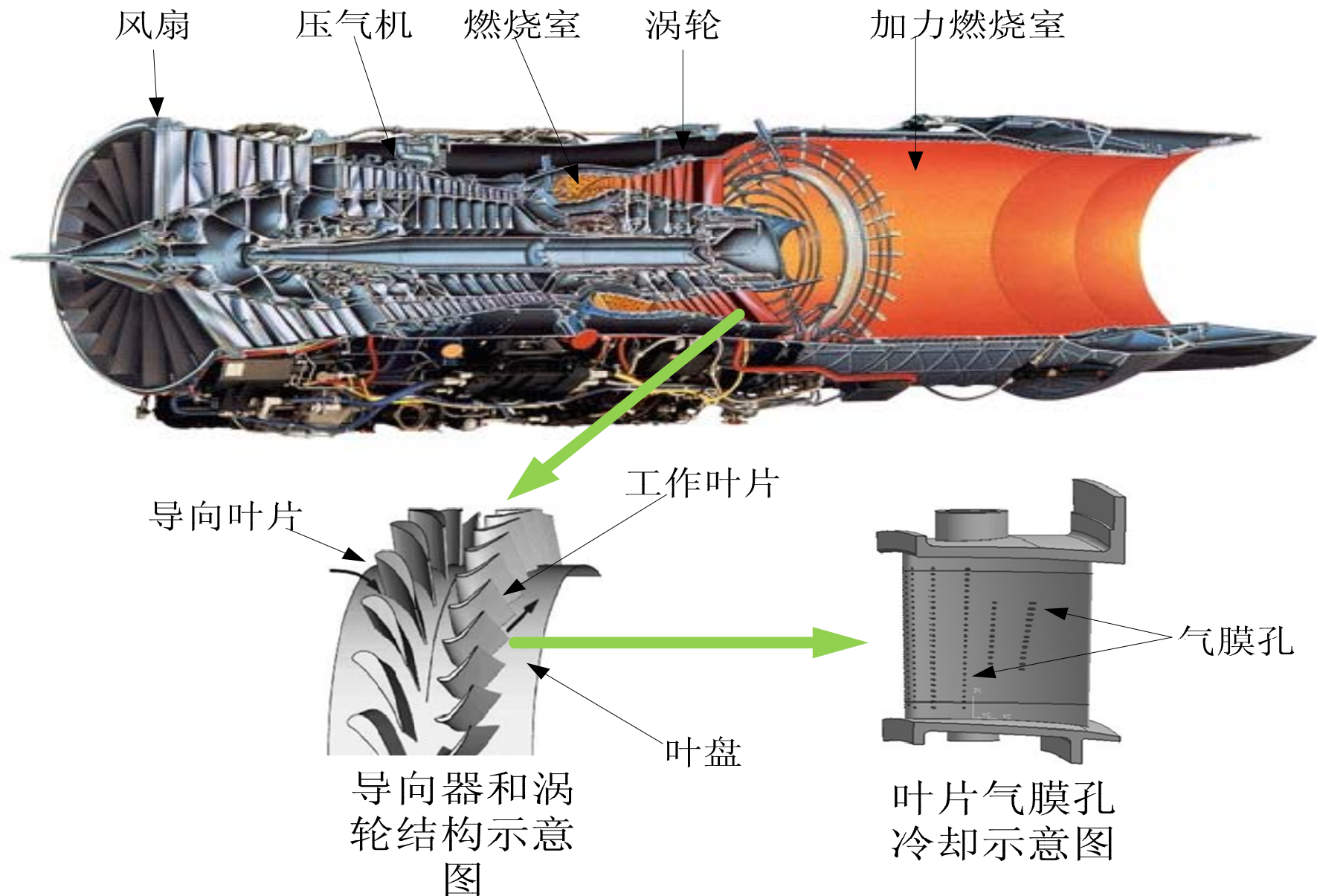
目录

- 大背景
- 激光加工案例分析
 - 发动机打孔
 - 复合材料加工
- 理想的激光加工
- 多能场融合制造的优势
- 新工程优化标准
- 迈向智能能量场制造
- 讨论

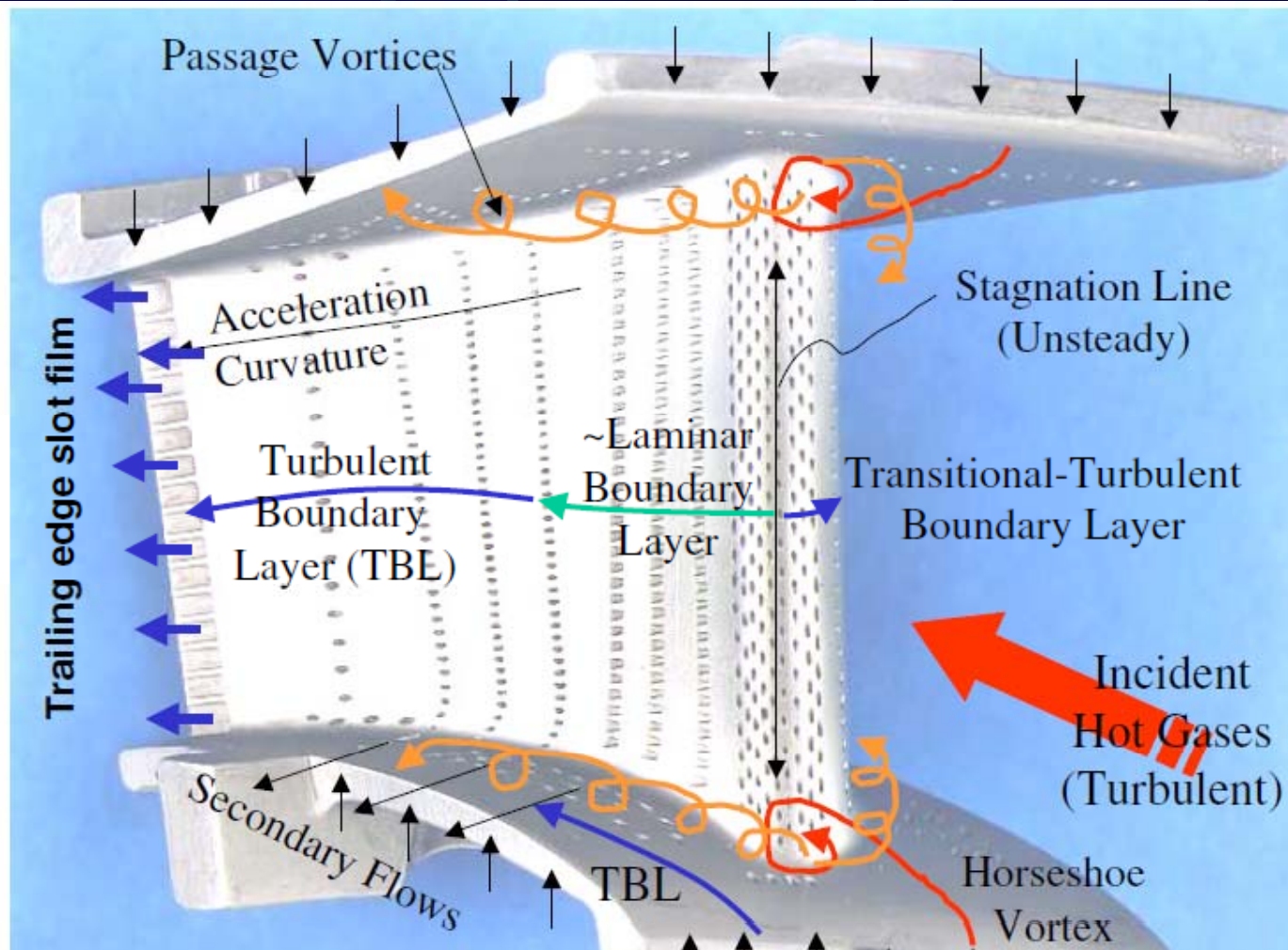




飞机发动机热构件的孔加工



We are facing a lot of engineering challenges



- Stagnation region
- Low Mach flows
- Transitional boundary layers
- Destabilizing concave surface
- Relaminarization
- Separation and/or shocks
- Trailing edge slots
- Carryover film cooling
- Leakage flows
- Film migration
- Vortex scrubbing
- Directional injection
- Horseshoe rollup vortex

Can we double the efficiency of aircraft engines?

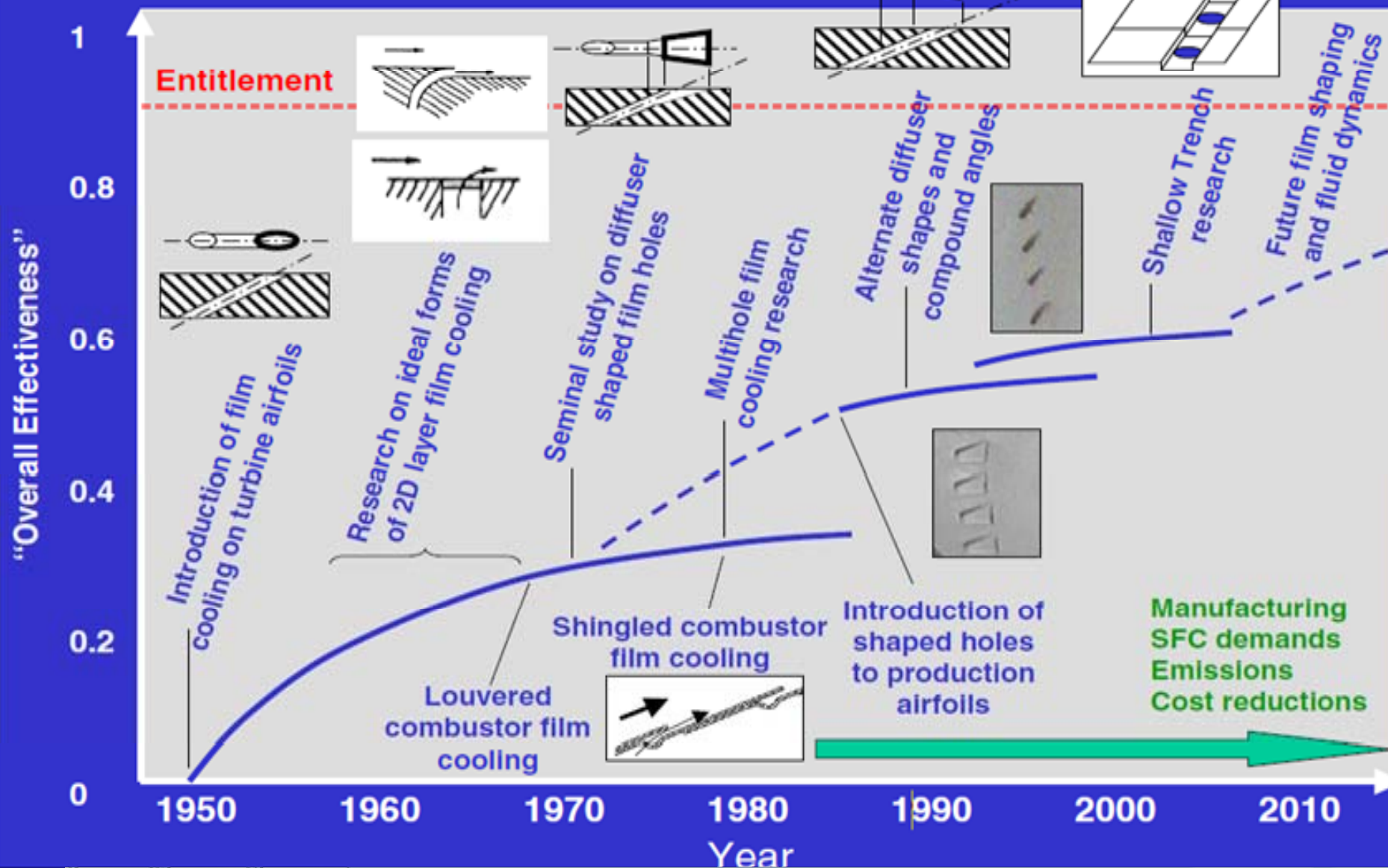
Ron Bunker , IGTI-VKI Lectures, 13 June, 2010



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

Film History



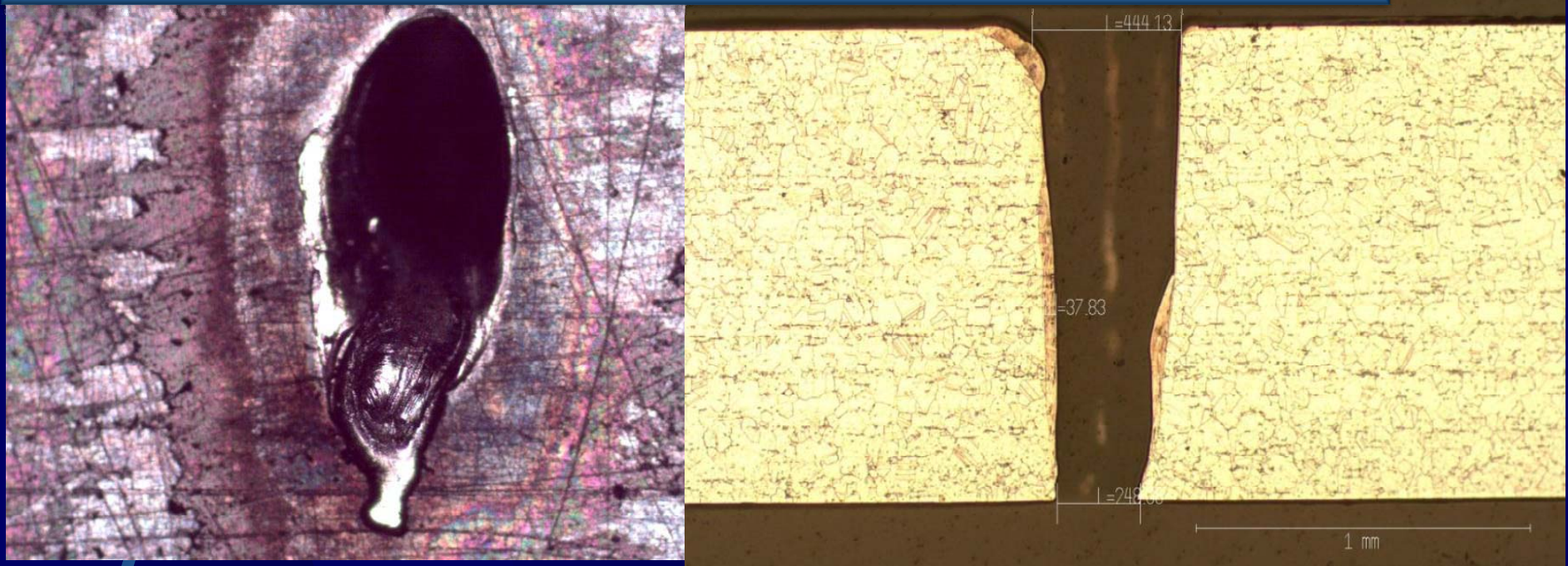
GE公司飞机发动机气膜冷却孔的演化历史，Ref: R Bunker



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所

毫秒级激光孔加工，快速但存在质量问题 --恐龙级



Single pulse 19J 10Hz 0.6 ms 30 degrees through 1 mm thick super alloy

钻孔速度0.1-1 秒/孔；深度2-12 毫米，直径0.4 毫米以上

问题：

表面堆积，重铸层，内孔的不光滑，HAZ，背伤，层间撕裂等
无法实现复杂三维结构；无法实现穿越TBC/EBC高质量孔加工



FS/PS激光打孔存在速度，锥度和深度问题 小老鼠级

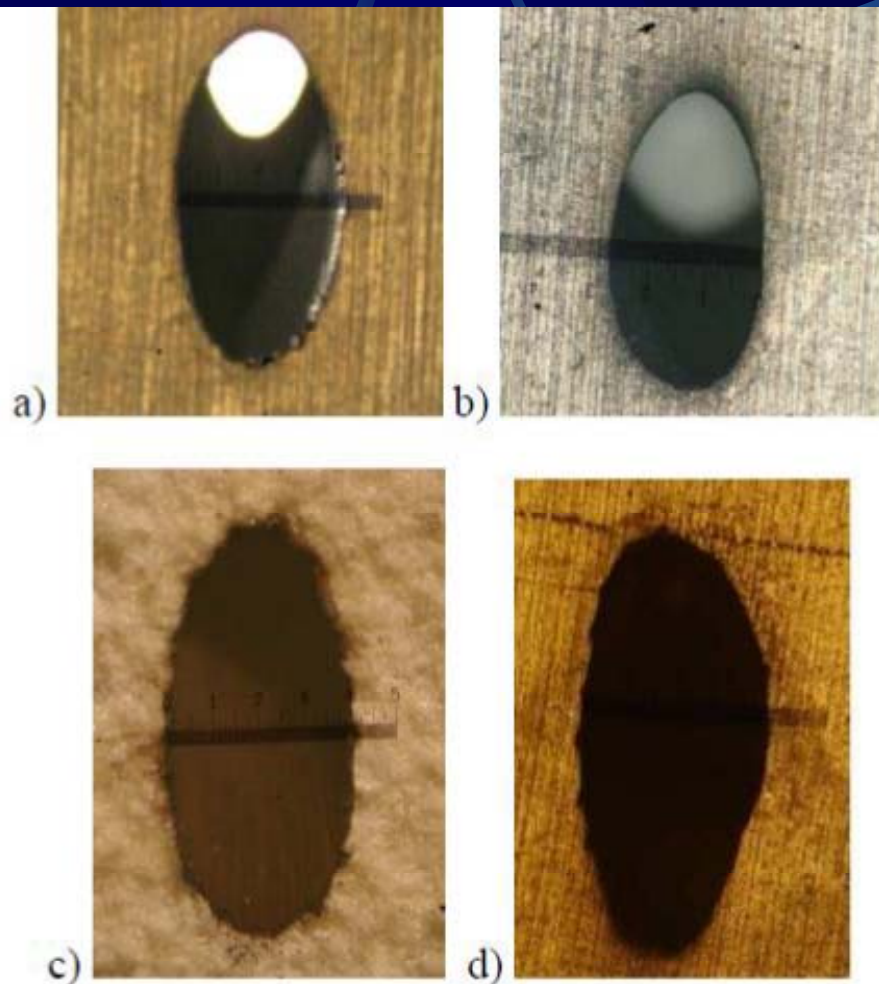


Figure 9: (a) Inlet surface and (b) outlet surface of bare material compared to (c) inlet TBC coated and (c) outlet of TBC material at a cut angle of 30 degrees.

Best results:

30 degrees, max 3mm thickness,
92 s for front 0.8 exit 0.6 mm.

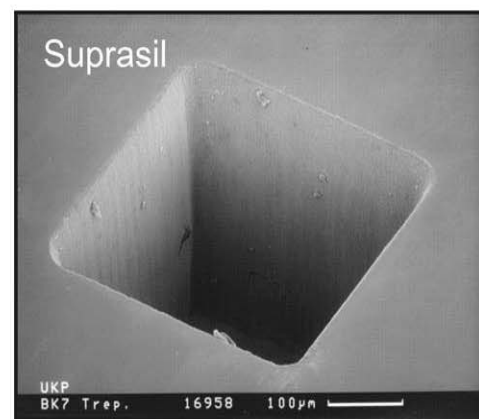
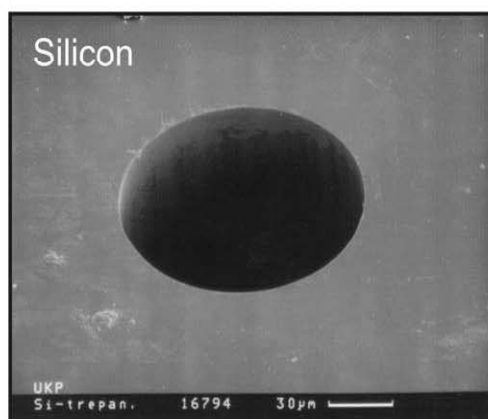
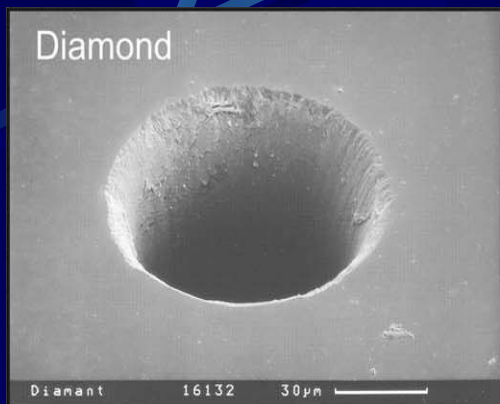
Showed good quality through
TBC Showed good shaping
capability

(Mound Laser & Photonics
Center Inc. ICALEO 2009.
Lumera 10W 12 ps laser)



Laser Drillings and ablation in different materials with a fs laser (Courtesy of LZH)

Great for several mm thickness



© LZH



特殊激光—大功率**1KW Excimer Laser** 纳秒激光是未来正解吗？也许！

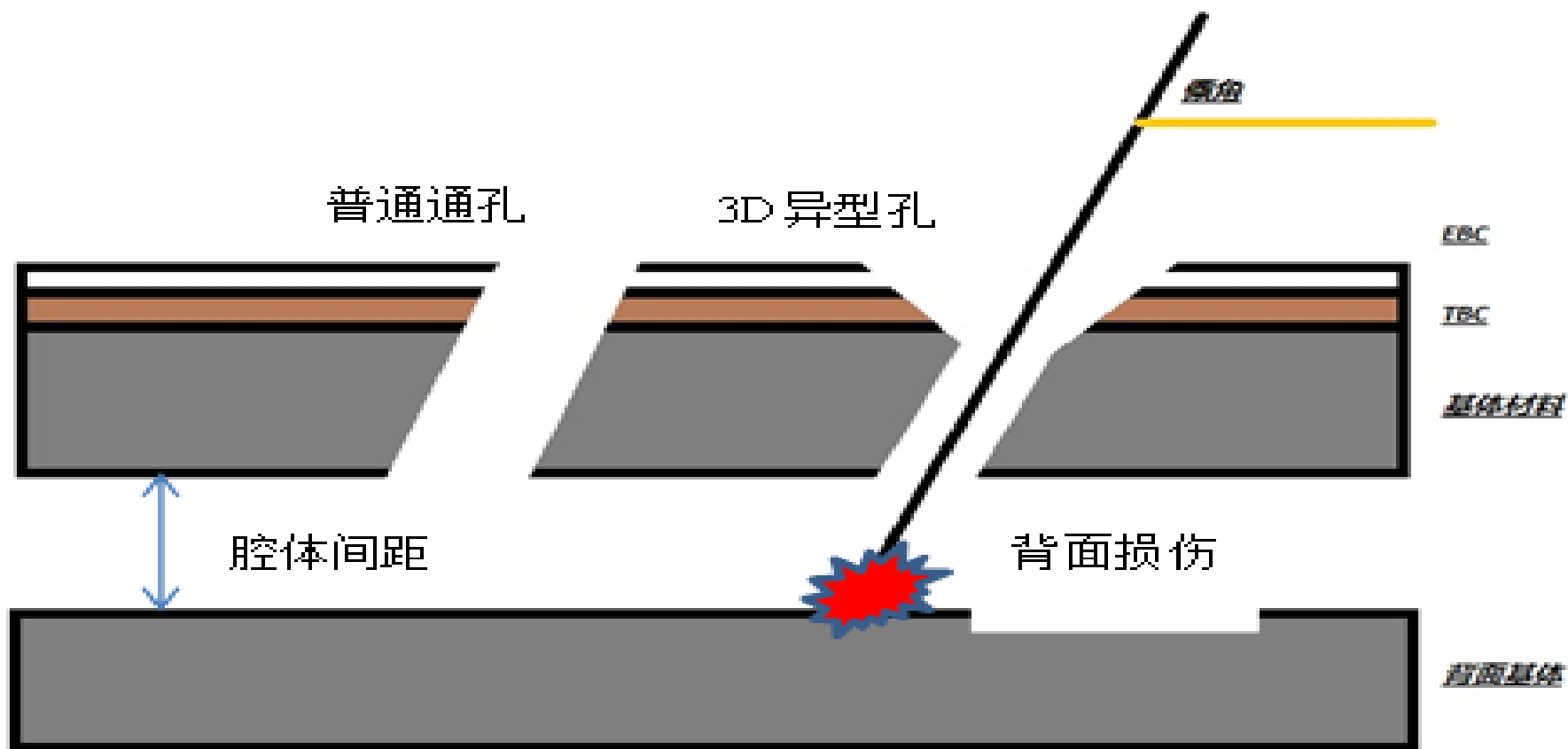


欧洲NCLR公司，1J，200ns，1KHz 308nm



中国科学院宁波材料技术与工程研究所
中国科学院宁波工业技术研究院（筹）

先进制造技术研究所



发动机激光孔加工面临的挑战：

- 深度，锥度，倾角，热影响，裂纹，背部损伤
- 成品率，速度与成本





完善复合材料去除加工的重大研究意义

复合材料是未来主要工程材料，高精度、高速度和低成本去除加工是制约其在航空航天，交通运输业等领域广泛应用的主要技术瓶颈

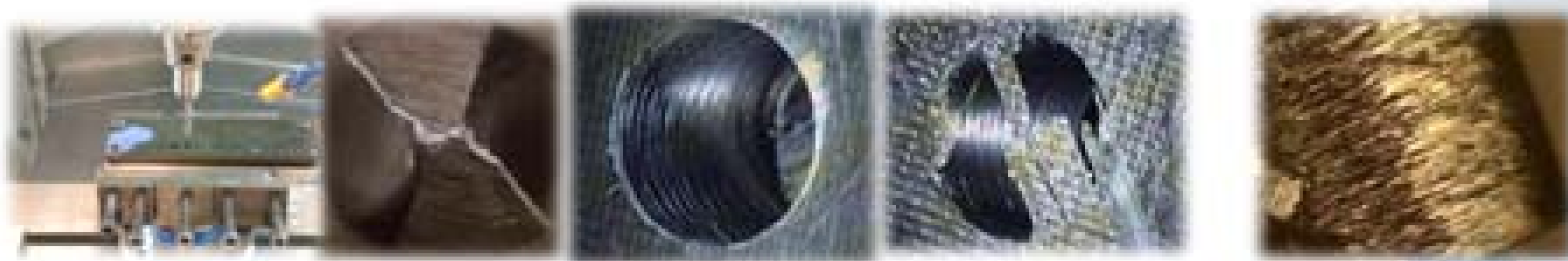
超硬机械刀具加工或水射流加工

- 工件层间断裂，加工精度低
- 刀具磨损严重，加工成本高
- 深度能力不足，粉尘污染大
- 成品率不高，一致性较差

激光加工

- 加工灵活，无磨损问题
- 速度可控，效率精度高
- 可加工多种不同类材料
- **热影响严重**

解决方案：水助激光加工，消减热影响，拓展加工深度



复合材料精密孔机械加工易产生质量问题，且不够稳定

直接激光加工热损伤严重

精密低损伤加工CMC—孔，槽，及三维加工

