

第三届现代切削与测量工程（国际）研讨会

高性能切削技术

何宁 教授

南京航空航天大学

2008. 11



□ 中国的机械制造业

□ 机遇与挑战

□ 高性能切削技术

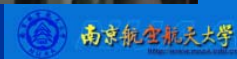
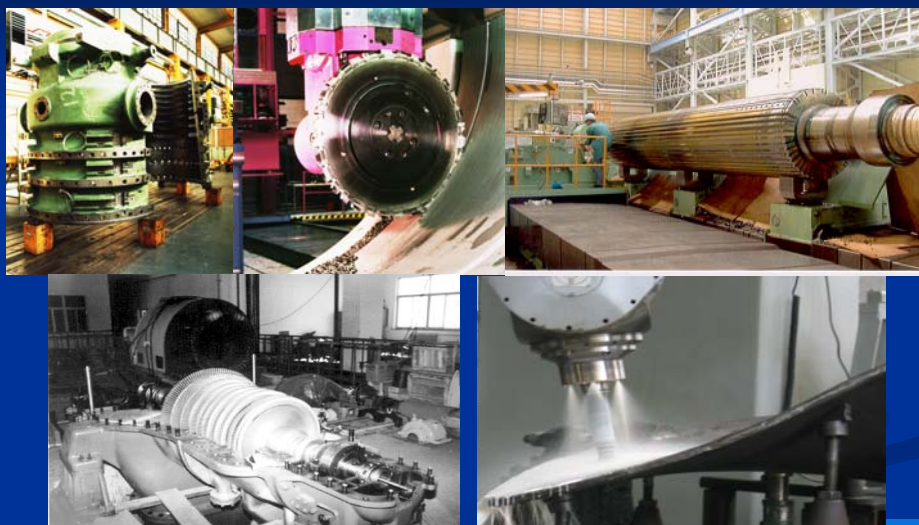
□ 小结



一、中国的机械制造业



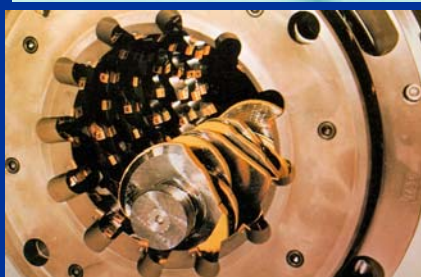
发电设备制造业



汽车



汽车



大学

高速列车



Hasea

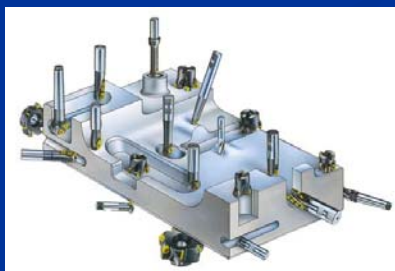


车轮



大学

模具制造业



一般机械制造业



航空工业

■ 大飞机

■ 大型客机

Seats: 150-200 passengers

■ ARJ21

Seats: about 100 passengers

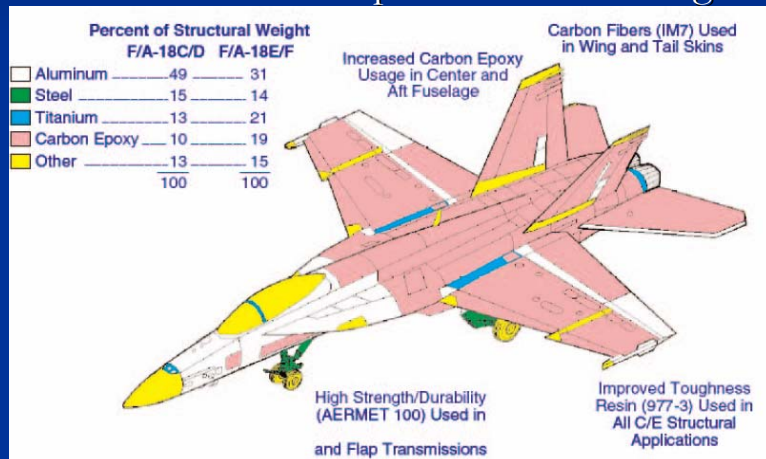


大飞机与ARJ21 客机

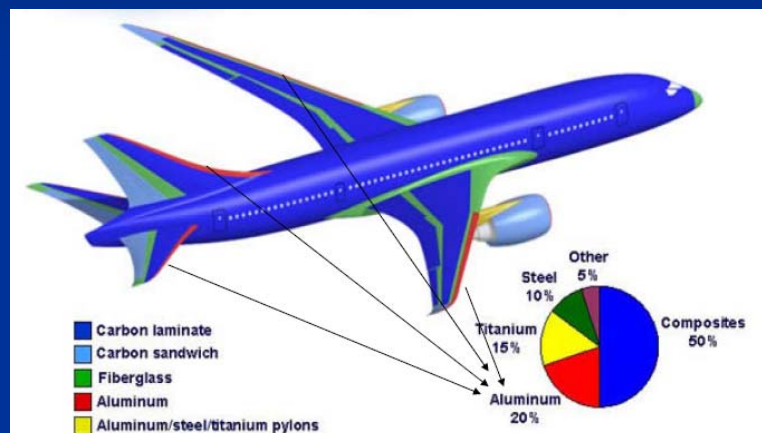


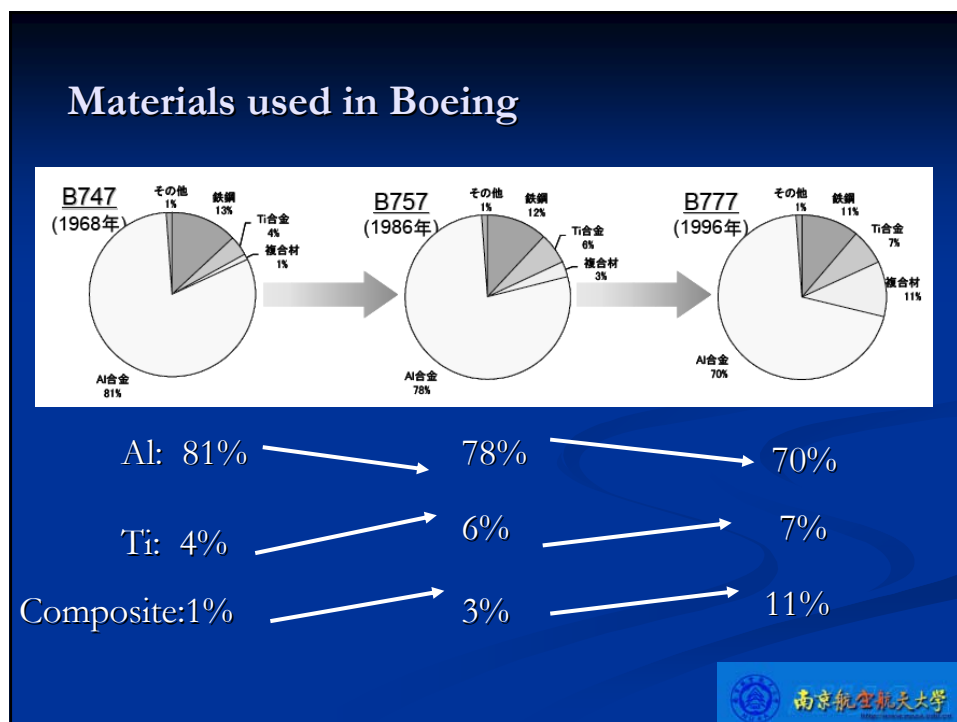
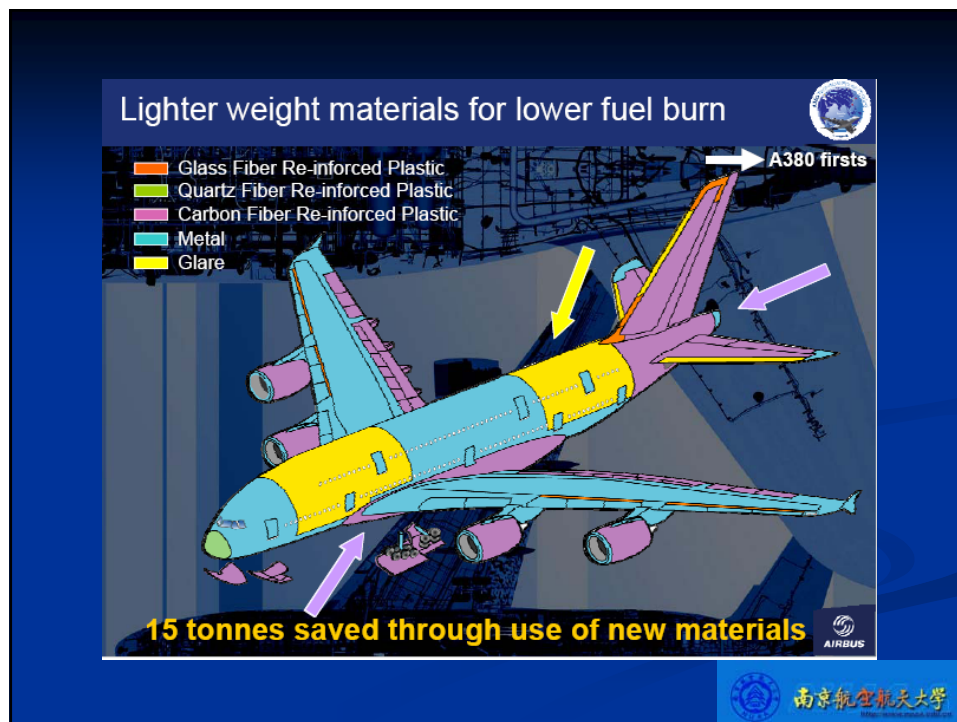
Materials Used in Aviation Industry

■ Materials used in Airplane manufacturing

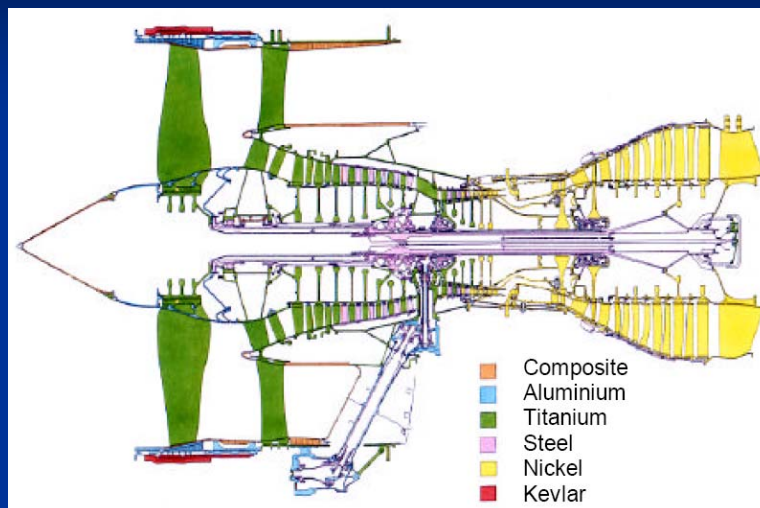


波音787材料体系





Materials used in turbine engine



部分发动机结构

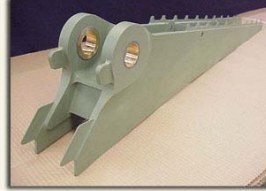


飞机结构件

Saab Grippen Spar



F-18 E/F Titanium Arrestor Hook Fitting



F-18 Titanium Landing Gear Fitting



757 Landing Gear Beam



767 Aluminum Side Load Fitting



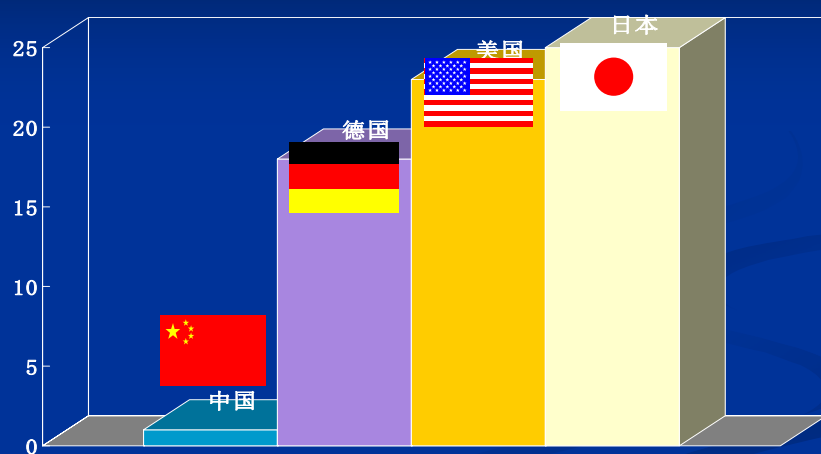
南京航空航天大学
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS



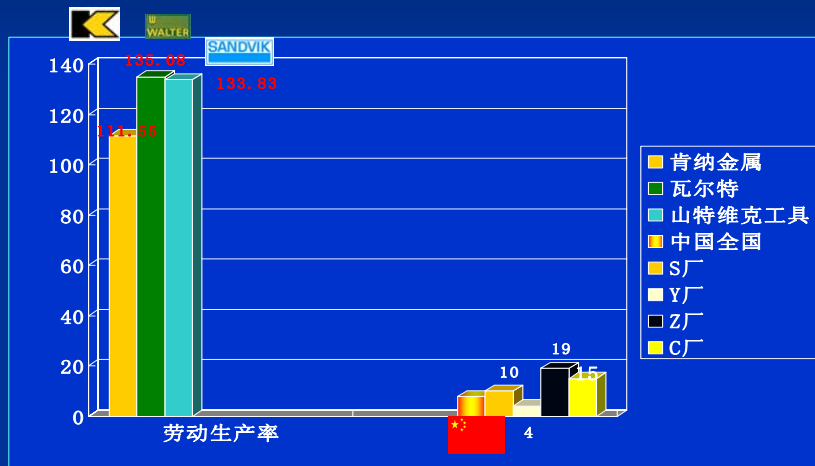
南京航空航天大学
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

二、机遇与挑战

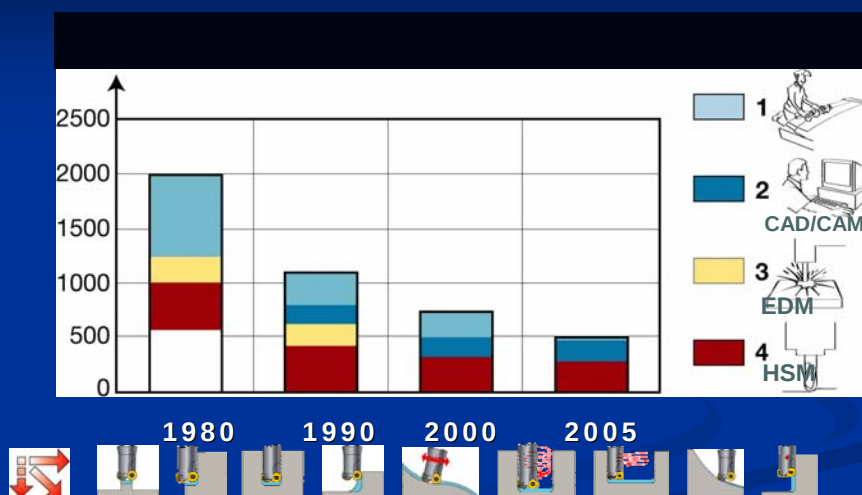
中外劳动生产率



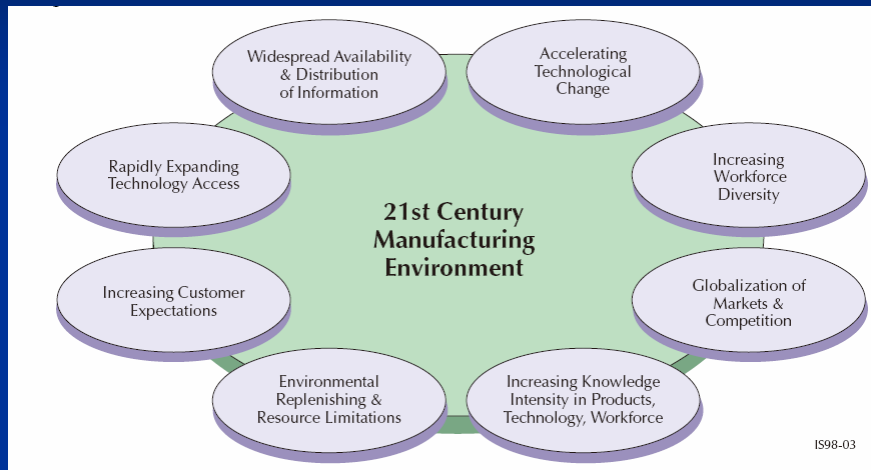
2003年刀具制造企业劳动生产率



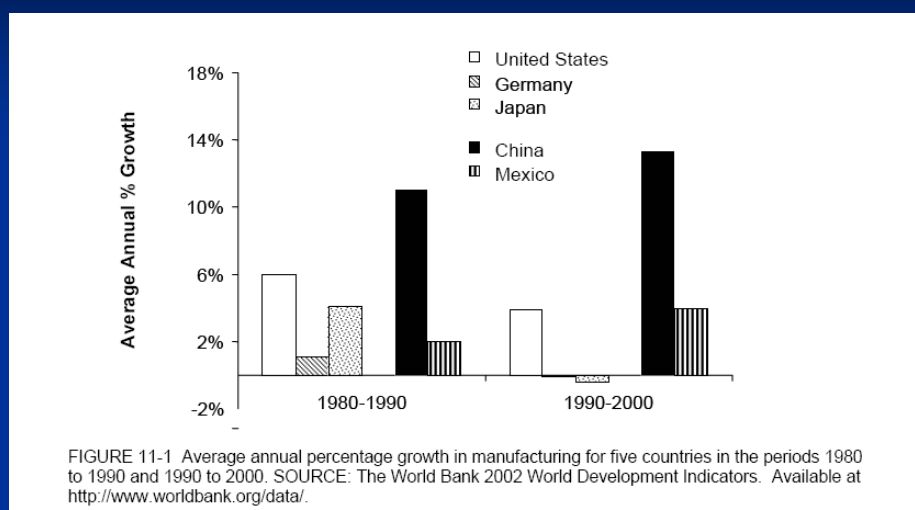
高速高效切削极大地提高了生产效率和制造能力



Forces Shaping the 21st Century Manufacturing Environment



制造业平均年增长率



■ 机遇与挑战

- 国内与国际大市场
- 中国低的劳动成本
- 低的劳动生产率
- 技术需求的增长与技术本身的发展



三、高性能切削技术

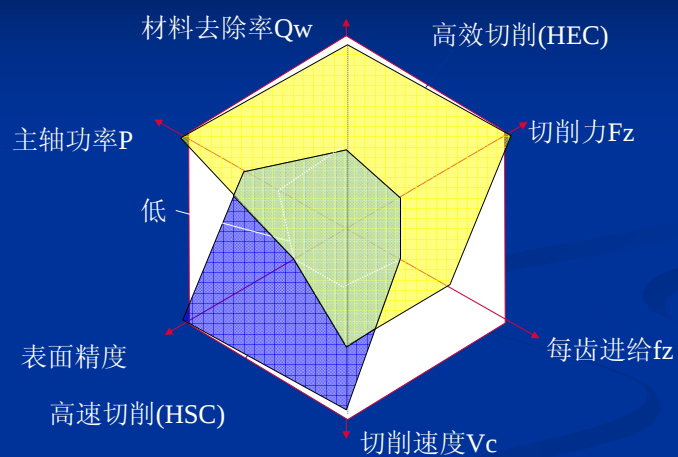


高性能切削

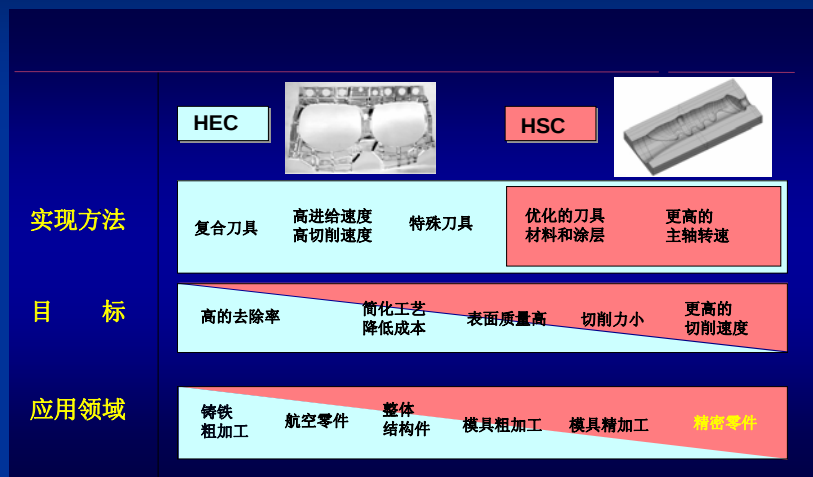
高性能切削—
以优质、高效率、
高效益为目标，
满足绿色可持续
发展要求，
能够科学预测，
综合性能最优的
切削技术



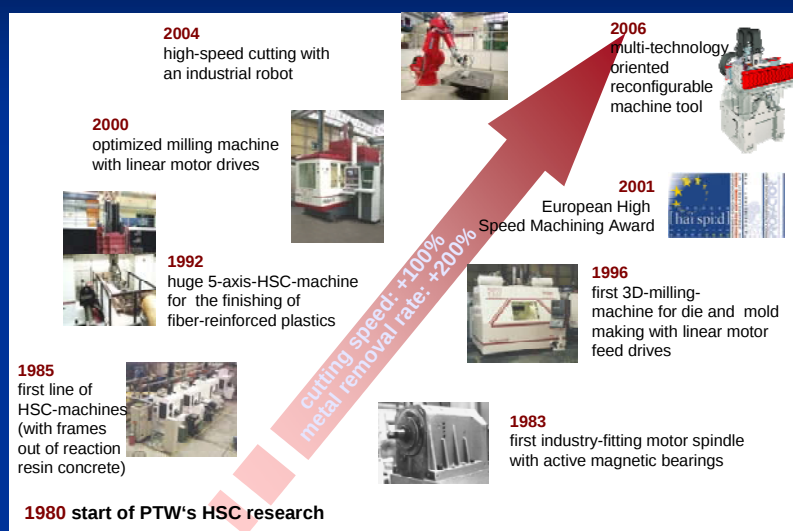
高速切削与高效切削特征



高效切削 (HEC) 与高速切削 (HSC) 的差异与联系



德国达姆斯塔特工业大学PTW加工技术发展





硬材料加工（加工硬度）50HRC材料）



TiC,N 或TiAlN

粗加工

v_c : 100 m/分, f_z : 0.05-0.1mm/齿

a_p : 刀具直径的6-8%,

a_e : 刀具直径的35-40%,

半精加工

v_c : 150-200 m/分,

a_p : 刀具直径的3-4%,

a_e : 刀具直径的20-40%,

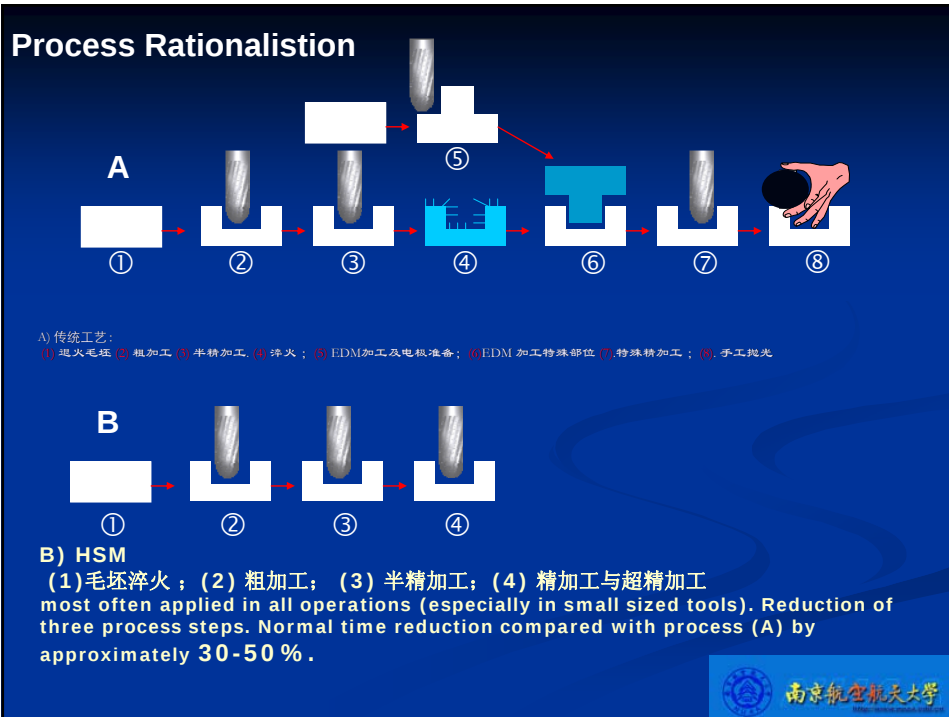
f_z : 0.05-,15 mm/齿

精加工和超精加工

v_c : 200-250 m/分,

a_p : 0.1-0.2 mm, a_e : 0.1-0.2 mm,

f_z : 0.02-0.2 mm/齿



薄壁结构件的主要特点:

- 薄壁框、薄壁腹板，局部刚性差
- 材料去除率高 $> 95\%$



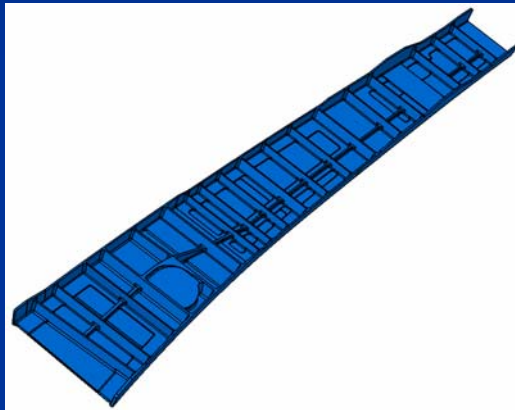
侧壁厚0.305mm

底板厚0.381mm

毛坯重量2000 kg

成品重量22.7 kg

航空薄壁件



侧壁厚 2mm

底板厚 2mm

➡ 外形尺寸 3912 x 820 x 120mm

毛坯重量1246 kg

成品重量26.1 kg



钛合金高效加工

Ti6Al4V, Slotting Dc 76 mm



$z_{eff}=4$



Slotting Cutter		
Machine	Waldrich 90 kW, ISO60/HSK100, horizontal	
Tool	F2338-100080	
ae	mm	76
ap	mm	50
vf	mm/min	81
Q	cm³/min	308
Remarks	soft cutting	



落祭

-

A diagram of a 16-segment train. The segments are numbered 1 through 16 from left to right. Segment 2 is highlighted in blue. The train has a locomotive at the left end and a cab at the right end. The segments are connected by couplers.

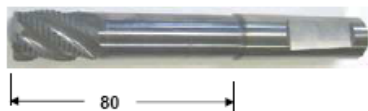


南京航空航天大学

Blisk milling

Material: TiAl6V4

Cutter diameter 16mm, solid carbide,
roughing profile with special edge preparation
 $z=5$



Cutting data:

ae=16mm (slotting) ap=12mm

 $v_c = 43 \text{ m/min}$

vf=150mm/min

fz=0,035mm

tool life: 180 minutes



- 加工过程取决于机床、刀具、切削方式、切削参数，同时与
 冷却润滑
 零件结构
 工件特殊要求
 等有重大关系
- 加工问题需要以整体观念解决

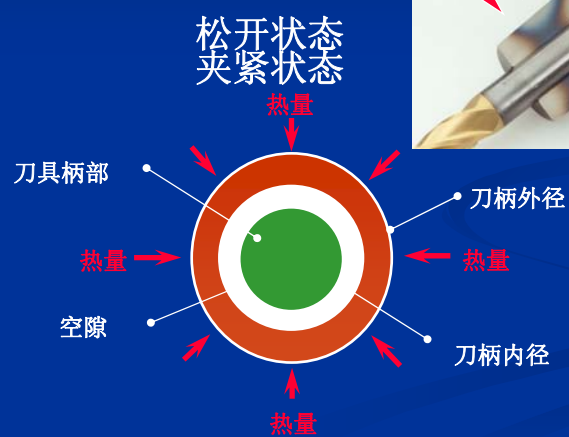


高性能加工主要技术

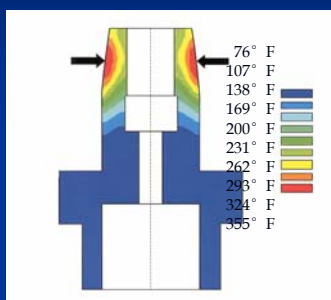
- 高性能加工刀具
- 高效加工技术
- 硬材料切削技术
- 绿色冷却润滑技术
- 薄壁件加工技术



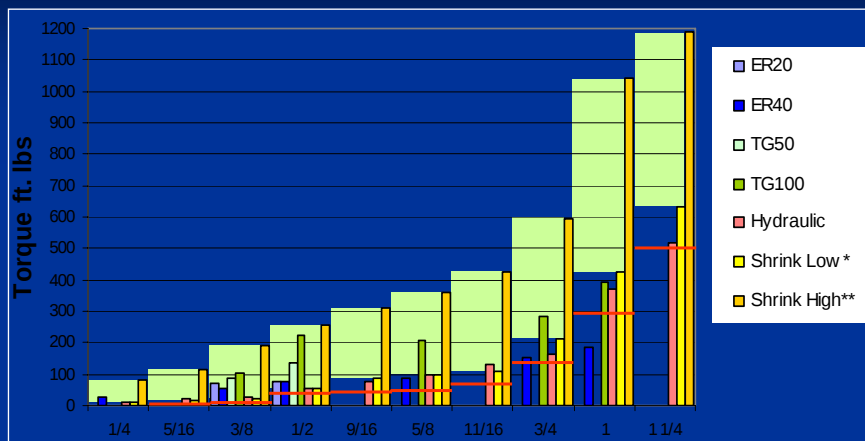
热装夹系统原理



热装夹头快速精密加热的温度分布



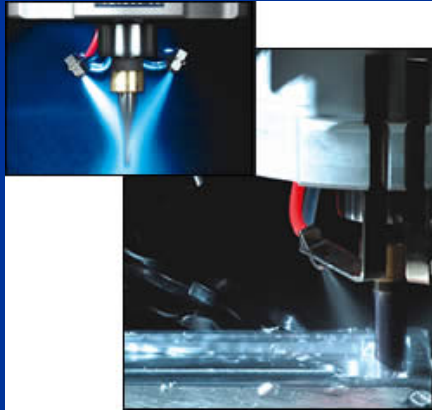
不同尺寸各种夹头夹持扭矩比较



三种夹头比较

	弹簧夹头	液压夹头	冷缩夹头
径向跳动	最好情况 $\leq 10 \mu$	$\approx 5 \mu$	$\approx 4 \mu$
刚性	良好	中等	优秀
动平衡	良好,	良	优秀
操作方便	一般, 精度与操作人员有关	较好, 精度一致性好, 但结构易损坏	高,
成本	正常	较贵	刀杆简单, 但初期投资热膨胀装置费用较大。
综合	适用高速加工低速段	精度较高时应用	同心度, 动平衡和使用简便型最好, 适用更高转速的高速切削

绿色冷却润滑技术



绿色冷却润滑技术

高效

经济

环境保护

基于高速切削技术

低温冷风切削技术

微量润滑技术

水蒸气冷却润滑切削技术

低温喷雾射流冷却切削技术

低温微量润滑切削技术

.....

❑ 低温微量润滑介质的作用机理

低温微量润滑介质的作用

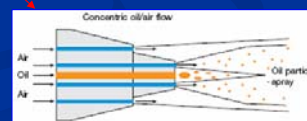
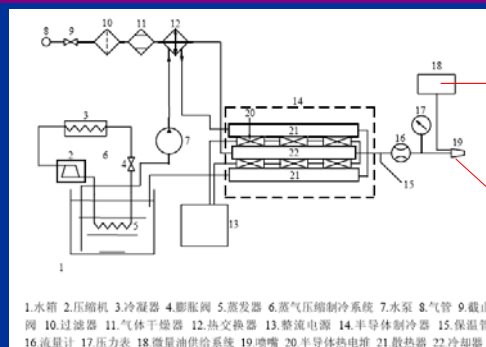
- ◇ 良好的低温冷却作用
- ◇ 优异的减摩润滑作用
- ◇ 较佳的排屑作用
- ◇ 良好的隔氧保护作用（与非活泼性气体搭配）
- ◇ 良好的防锈作用



低温微量润滑切削技术

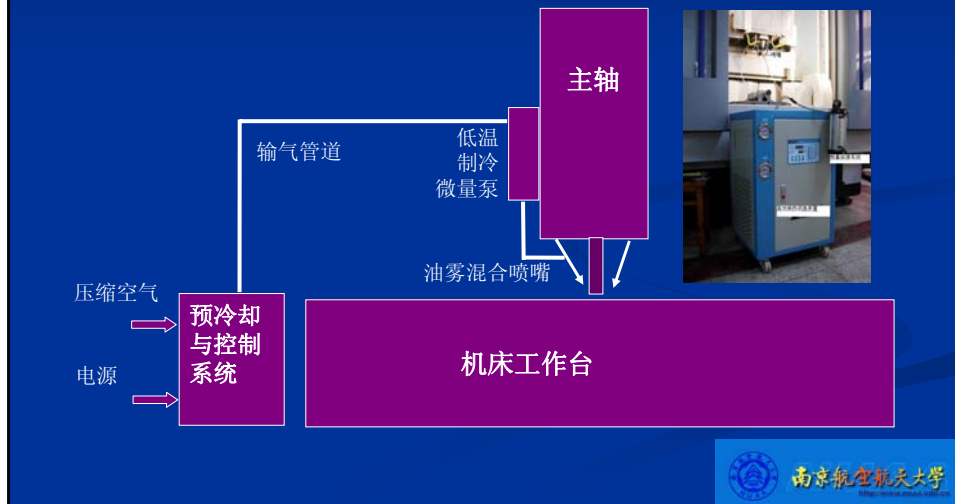
——是将低温冷风切削技术与微量润滑技术有机结合起来的一种新型的高性能切削冷却润滑技术，既充分利用低温介质的冷却效果，又充分利用微量润滑的减摩润滑效果。

关键技术——低温油雾/油气生成及喷射



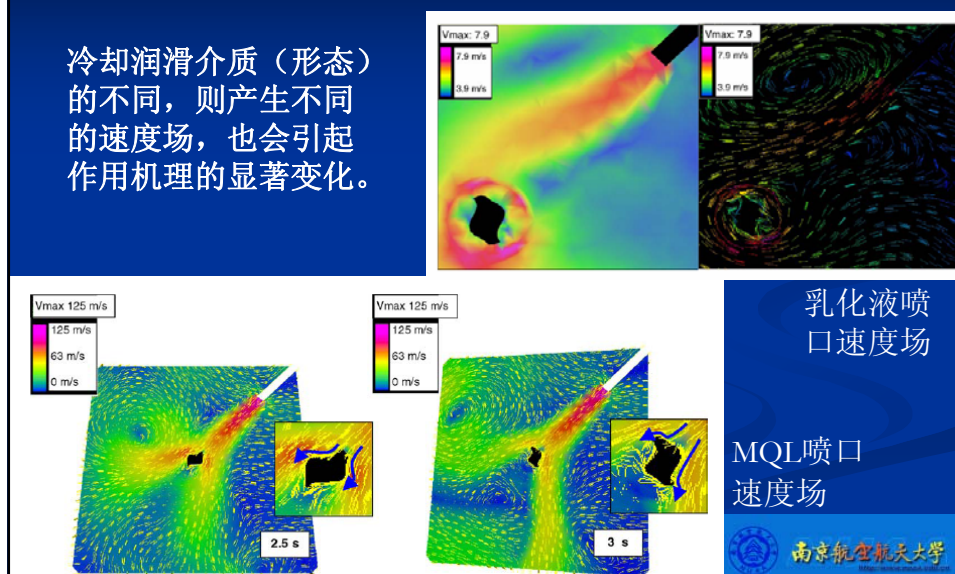
❑ 低温微量润滑系统设计实现

◎ 低温微量润滑系统安装示意图



❑ 低温微量润滑介质的作用机理

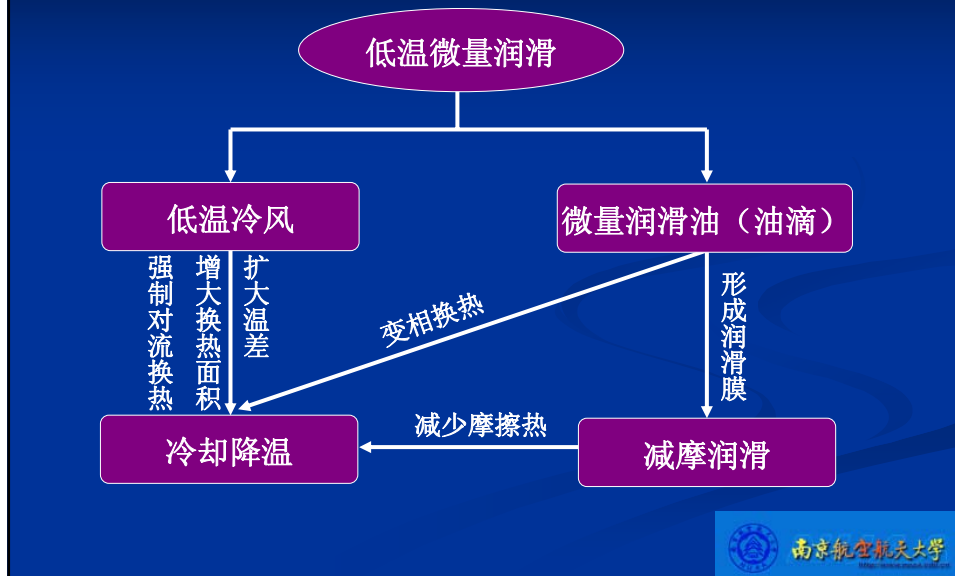
冷却润滑介质（形态）的不同，则产生不同的速度场，也会引起作用机理的显著变化。



乳化液喷嘴速度场

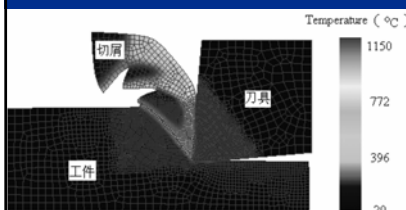
MQL喷嘴速度场

❑ 低温微量润滑介质的作用机理

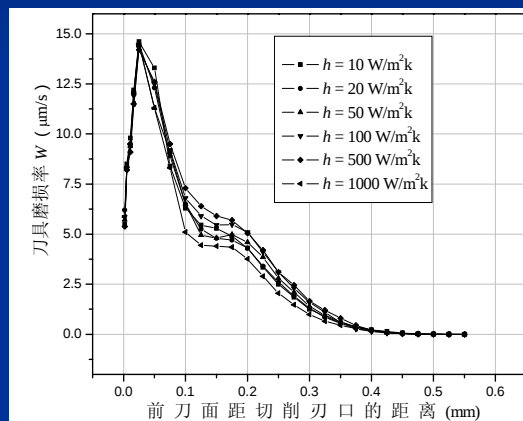


❑ 低温微量润滑介质的作用机理

◇ 良好的低温冷却作用

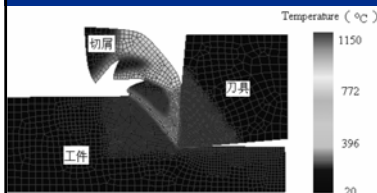


低温微量润滑条件下，具有良好的低温冷却效果，可在一定程度上降低前刀面滑动摩擦区的扩散磨损率。

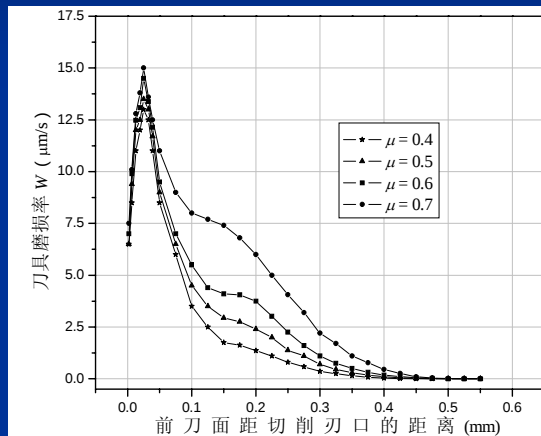


❑ 低温微量润滑介质的作用机理

◇ 优异的减摩润滑作用



低温微量润滑条件下，刀-屑接触区的摩擦接触状况得到有效改善，可有显著效降前刀面的扩散磨损率。



❑ 低温微量润滑介质的作用机理

◇ 低温微量润滑介质的环境友好性

采用植物油等环保润滑剂

润滑油计量精确，无明显油雾

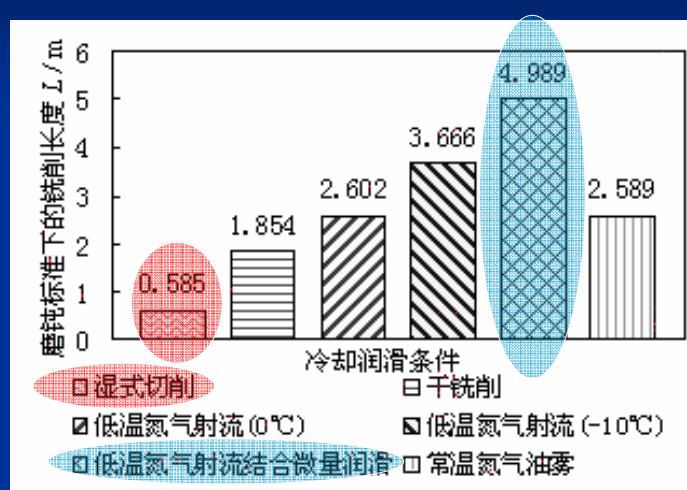
高温燃烧废弃物可忽略

开放式环境中的气溶胶密度低

对环境近似无污染

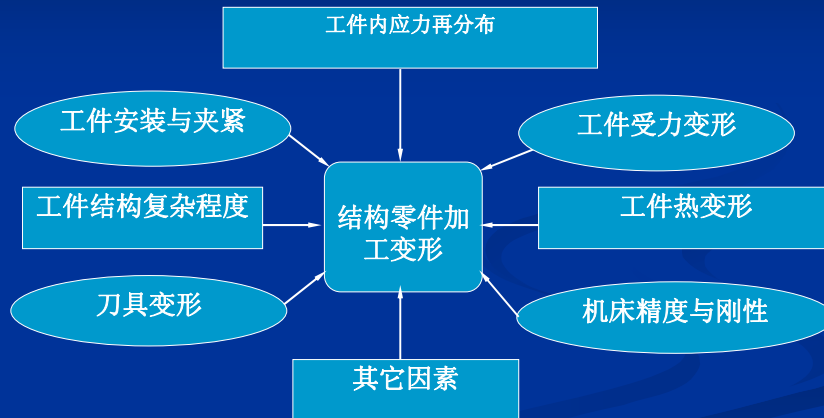


钛合金高速铣削刀具寿命



(V: 400 m/min; VB=0.2 mm)

航空结构件加工变形因素



薄壁结构件铣削加工的主要问题

- ❑ 铣削振动导致加工效率低下
- ❑ 结构局部变形
 - 薄壁零件的结构复杂、尺寸较大、加工余量大、相对刚度较低，加工工艺性差，不易控制加工精度和提高加工效率，加工变形问题是薄壁件加工的主要技术难题。
 - 切削力导致薄壁类零件变形

薄壁件加工的基本原则



薄壁件加工 变形分析的 关键技术

动、静态切削力模型

- 空间力分布状态
- 加工变形影响
- 加工条件影响

薄壁件的加工变形 分析技术

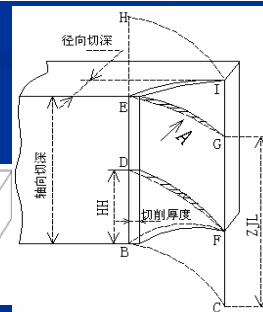
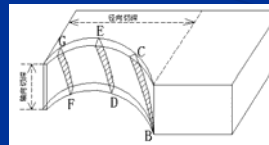
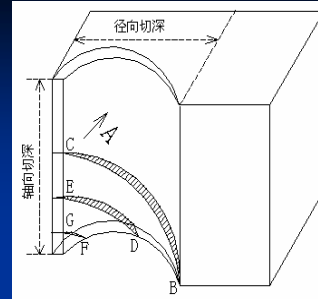
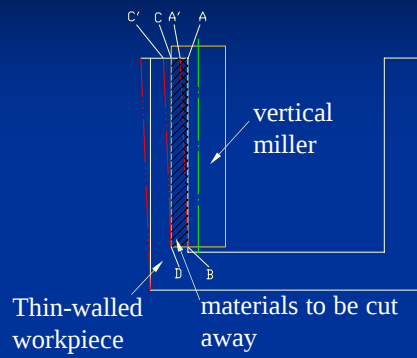
- 切削力加载
- 加工过程模拟
- 参数化建模
- 工件与刀具变形耦合

薄壁件的铣削 加工变形控制工艺

- 机床
- 刀具
- 装夹方式
- 切削参数、
- 切削方式
- 走刀路径的选择



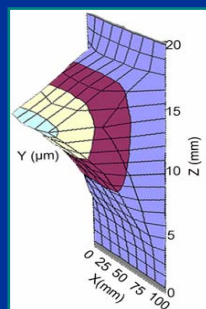
薄壁件铣削加工受力分析



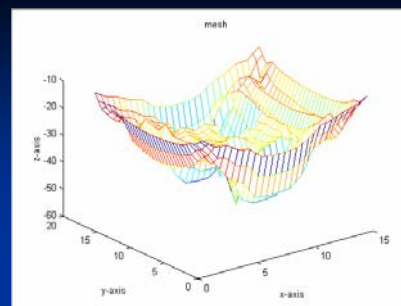
螺旋立铣刀铣削力分布示意图



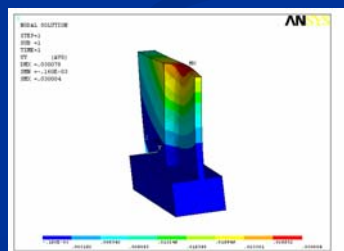
FEM results



Side wall deflection
加工后侧壁变形



Deflection of bottom side

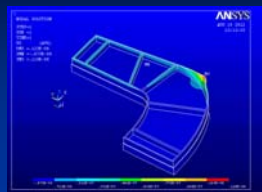


Deflection

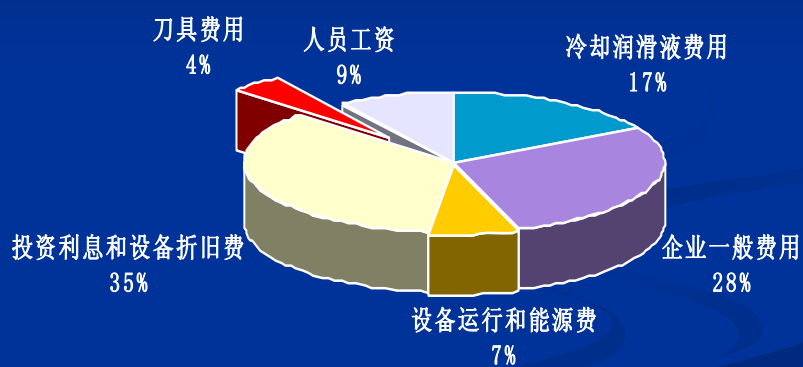


薄壁件加工技术

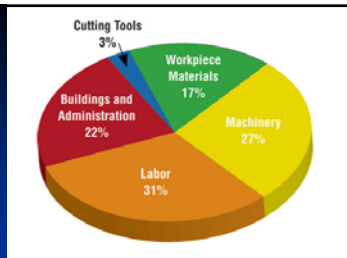
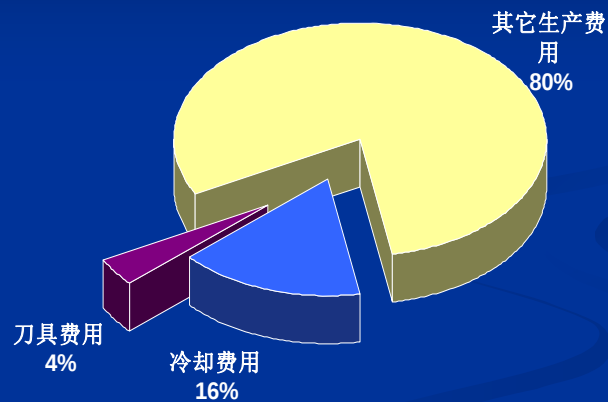
利用铣削力模型、加工变形模型，分析加工变形形式与大小，充分利用毛坯残余刚度，采用高速铣削技术，解决薄壁零件切削加工受力变形问题。



汽车零件加工的单件成本构成



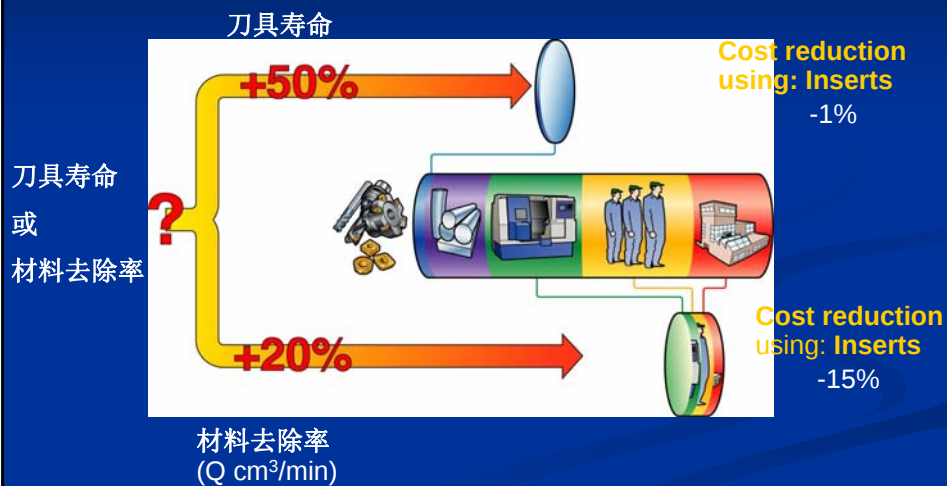
铝合金工件的大批量生产



Because machine and labor costs are so large, faster cutting offers the best chance for significant savings, even if the tool cost increases.

	Today	30% Discount	20% Increase Cutting Speed
Variable Costs			
• Cutting tools	.30	.21	.45
• Workpiece materials	1.70	1.70	1.70
Fixed Costs			
• Machinery	2.70	2.70	2.16
• Labor	3.10	3.10	2.48
• Building & admin.	2.20	2.20	1.76
Cost Per Part	\$10.00	\$9.91	\$8.55
Savings		1%	15%

Total performance related to possible manufacturing cost reductions = Productivity



刀具费用, 寿命和效率

- 费用降低
 - 降低刀具费用30%，约可降低单件制造成本1%
- 延长刀具寿命
 - 延长刀具寿命50%，约可降低单件制造成本1%
- 增加切削参数
 - 增加切削参数20%，约可降低单件制造成本15%

四、小 结



小 结

- 切削加工仍然是加工技术的主流
- 以高速、高效切削为特征的高性能切削将是切削加工的发展趋势
- 刀具技术是实现高性能加工的关键之一，高性能刀具配合高性能加工技术可以显著提高企业效益
- 需要更多的技术支持
- 整体解决方案



谢 谢!

南京航空航天大学研究平台
“机械制造及其自动化”国家重点学科
科工委“难加工材料高校精密加工”工程技术应用中心
教育部“高效精密加工技术与装备”工程研究中心
江苏省“精密微细制造技术”重点实验室

联系方式:

何宁 教授 南京航空航天大学国际教育学院

邮编: 210016

Tel/Fax: 025-84892256 E-Mail: drnhe@nuaa.edu.cn

