

# 力流变抛光技术及其应用

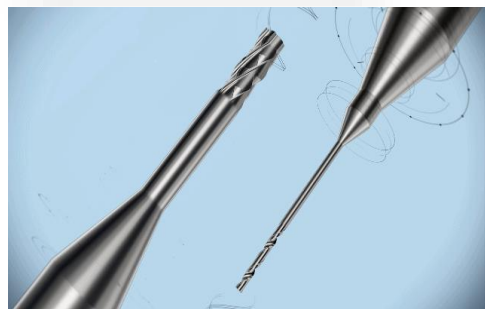
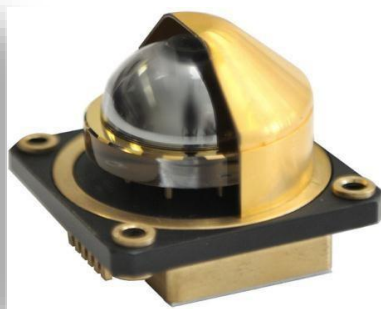
袁巨龙

苏州九韧新材料科技有限公司联合袁教授推出



## 2. 力流变抛光技术背景

随着航空航天技术、武器装备、3C 行业等领域装备性能的不不断提高，各类复杂表面零件得到了广泛应用，并且对加工质量、加工效率以及加工成本提出了越来越高的要求。



## 2. 力流变抛光技术背景

### 问题:

- 复杂曲面曲率的**多变性**，导致抛光工具曲率很难和被抛光曲面曲率相贴合。

### 现有解决途径:

#### 小抛光工具

适应工件曲面的曲率变化——牺牲效率

#### 柔性或弹性抛光头

适应工件曲面的曲率变化——各点压强不匀，表面质量、精度不一致

#### 外加物理辅助场

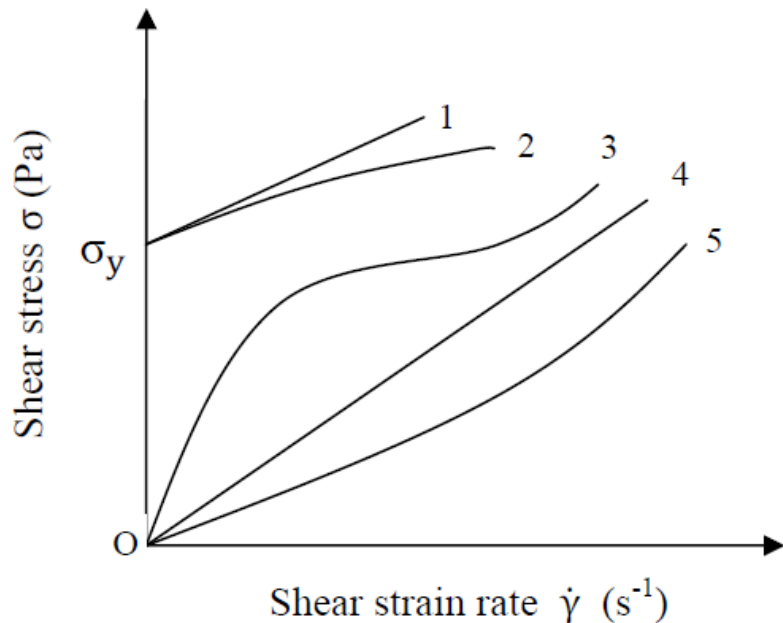
磁流变抛光、电流变抛光——昂贵、受控

**必须开发高效、高质量、低成本的复杂曲面抛光新技术**



# 3.1 力流变抛光定义

**力流变抛光技术**是一种利用非牛顿流体抛光液在剪切应力作用下的非线性流变特性实现材料去除的新型非接触超精密抛光方法。



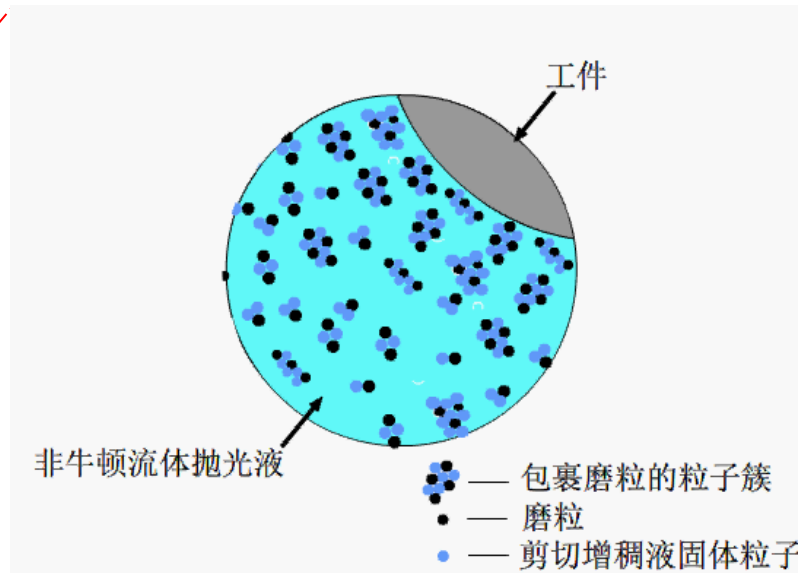
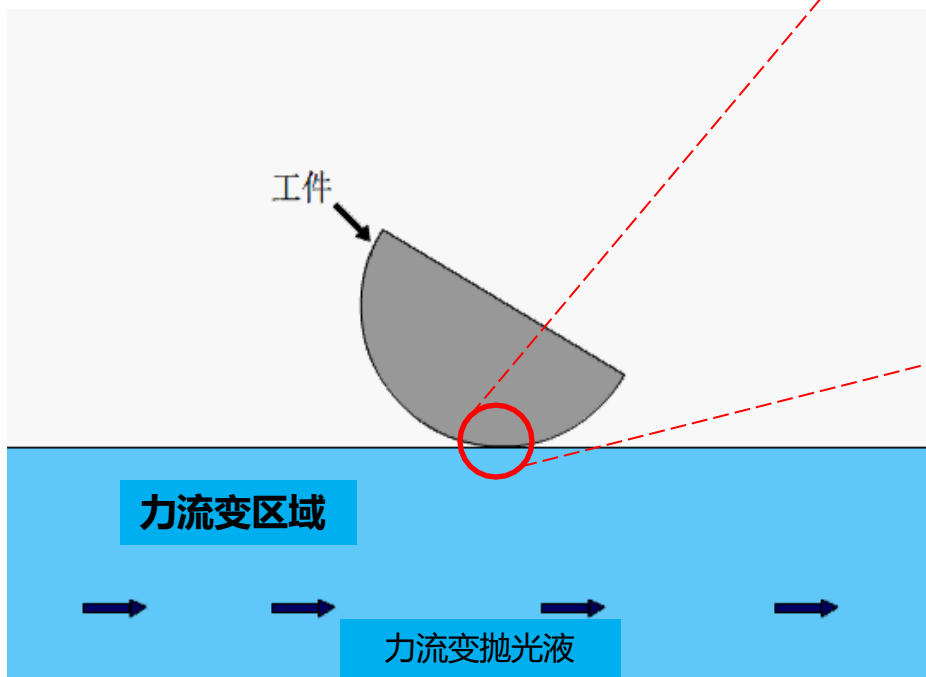
流体分类:

1. 线性宾汉流体
2. 非线性宾汉流体
3. 剪切变稀流体
4. 牛顿流体
5. 剪切增稠流体



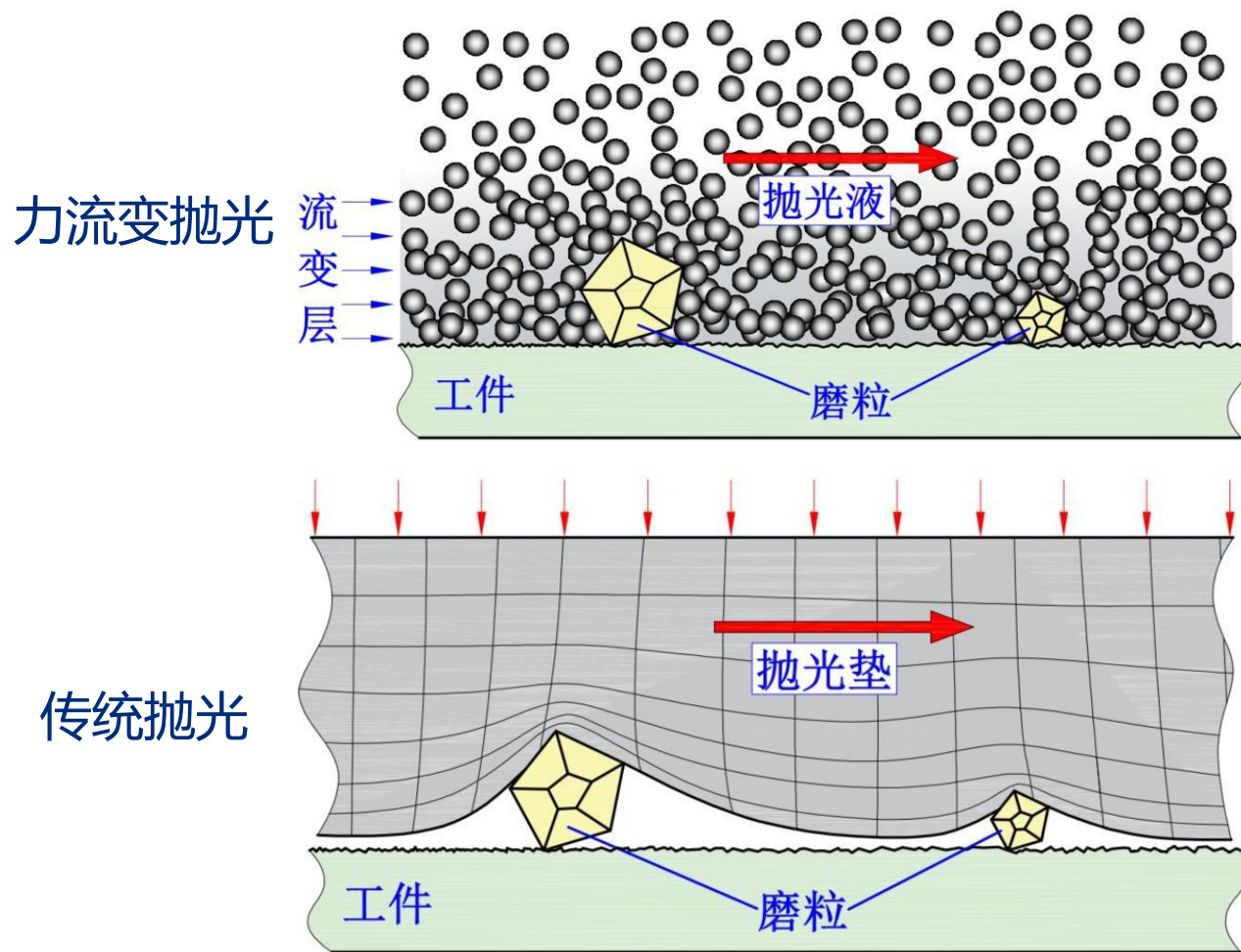
## 3.2 力流变抛光材料去除机理

**控制**抛光液流变特性、流场参数  
**调节**抛光液与被抛光表面的界面剪切应力  
**形成**柔性把持磨粒的流变层  
**实现**材料高效、均匀去除



### 3.3 力流变抛光特点

#### 力流变抛光表面材料去除微观模型对比

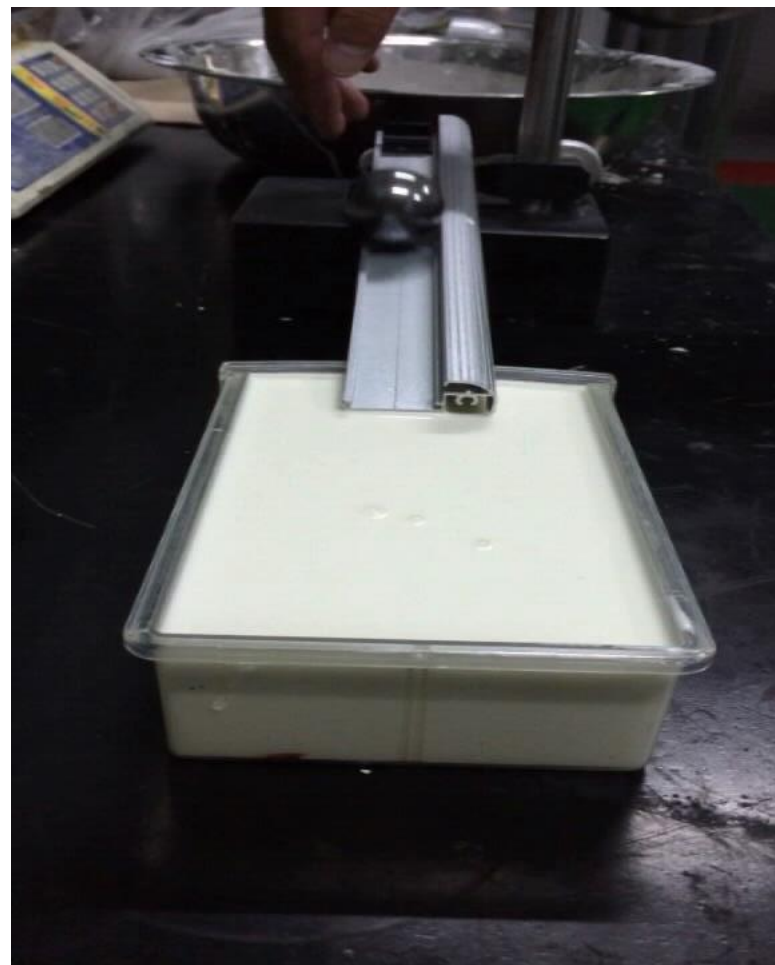
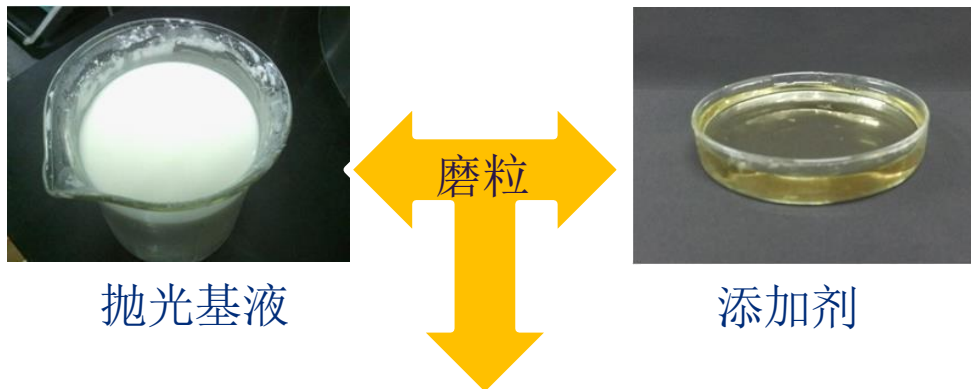


力流变抛光液在剪切应力作用下具有**类刚性**，基液具有**延弹性**；

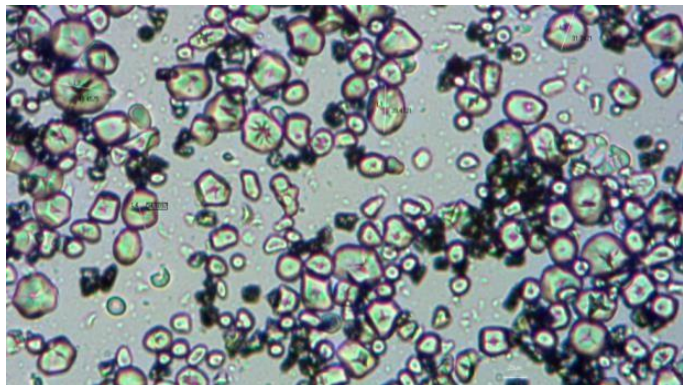
抛光区域里的磨粒露出**高度基本一致**，且参与加工的各磨粒的**法向力近乎一致**。



# 4.1 力流变抛光液



# 4.1 力流变抛光液

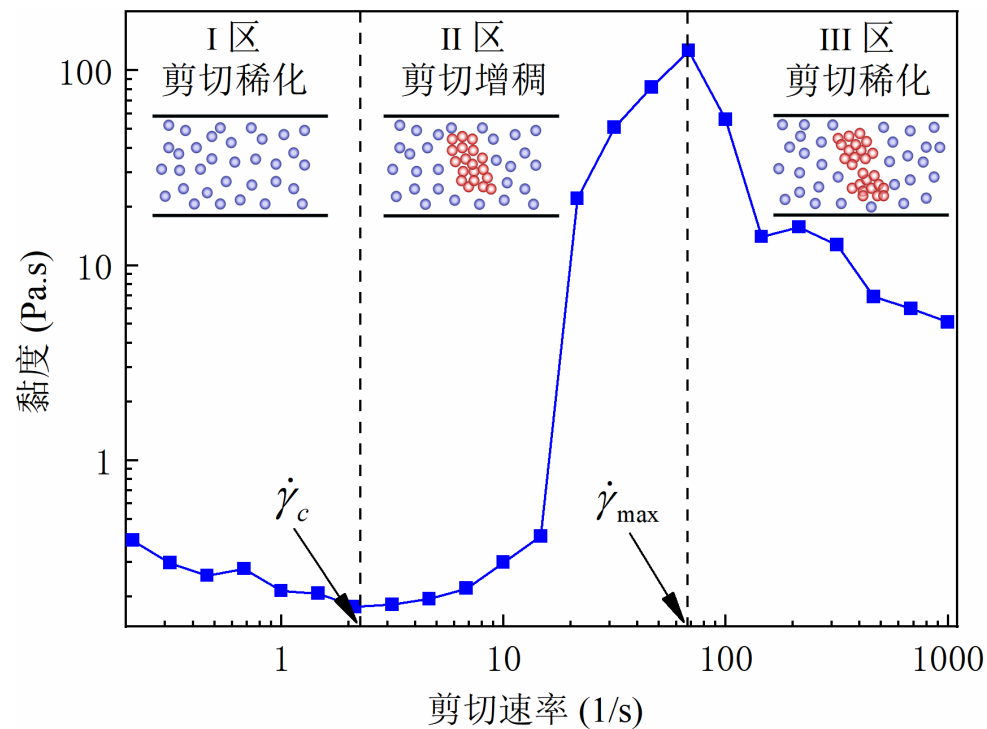


(a) 4000#  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 磨粒 (200 $\times$ )



(b) 4000#  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 磨粒动态“粒子簇”(200 $\times$ )

抛光液中磨粒的显微观测照片



典型的剪切流变特性



# 5.1 石英半球谐振子力流变抛光



抛光前 $R_a$ 150nm



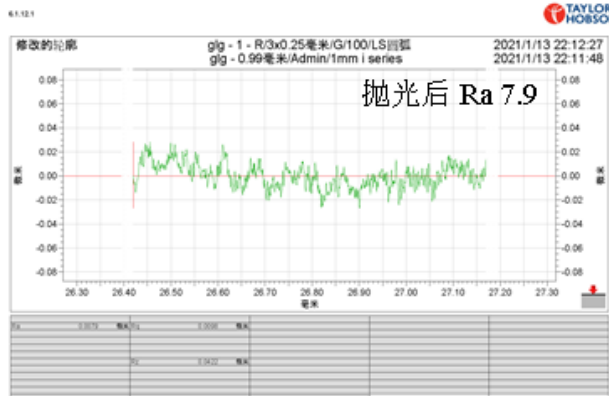
外表面抛光 $R_a$ 7.9nm



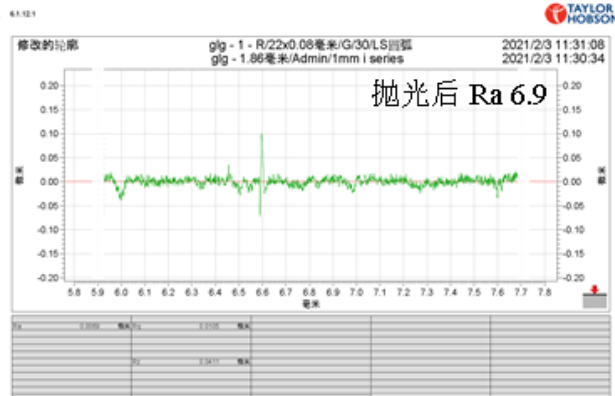
内外表面抛光后 $R_a$ 6.9nm

## 抛光前后的几何精度

检测阶段	抛光前	抛光后
外球面直径	30.5414	30.5094
外球度	0.0095	0.0061
内球面直径	27.9883	27.9958
内球度	0.0064	0.0051
柱体直径	7.1607	7.1676
内柱体圆度	0.0052	0.0042
内球内柱体同心度	0.0063	0.0002
内、外球体同心度	0.0042 ~ 0.0380	0.0065 ~ 0.0139



外表面抛光后



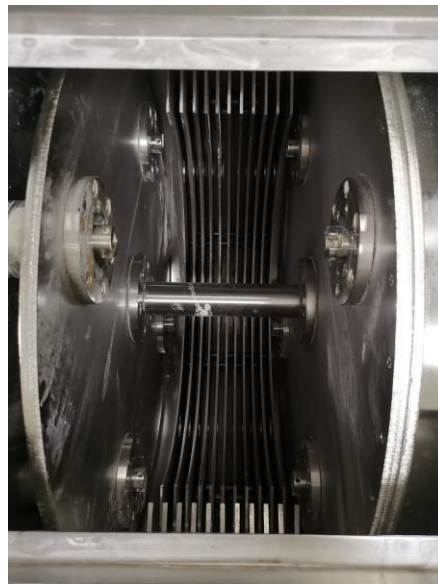
内表面抛光后



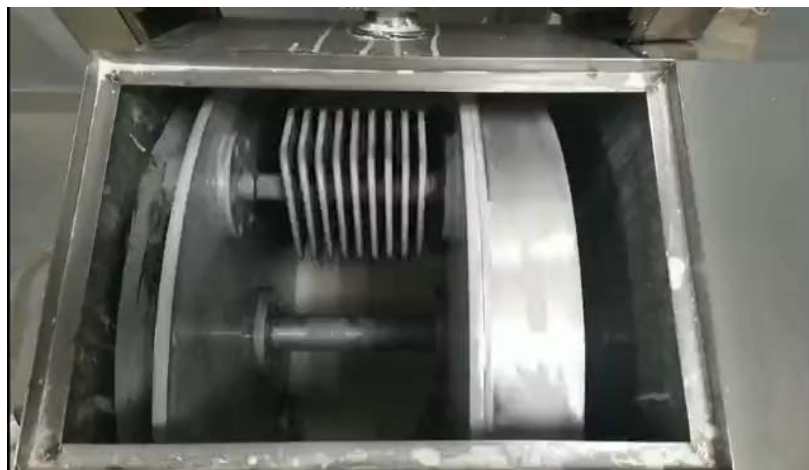


## 5.2 手机中框力流变抛光

### 研发的手机中框抛光设备



4轴×10件/轴



## 5.3 回转类刀具力流变抛光

### 1. 丝锥精化----机用丝锥M6 H2 (上海刀具厂提供)



攻丝测试

未处理		力流变精化	
切削速度: 250 转/分		切削速度: 355转/分	
攻孔数	停试原因	攻孔数	停试原因
197	断裂	306	崩刃

经过3min 精化, 丝锥钝圆半径从5  $\mu\text{m}$ 左右提高到13 $\mu\text{m}$ 左右。



# 5.3 回转类刀具力流变抛光

## 2. PCB板用钻削微钻精化 (深圳市金洲精工科技股份有限公司提供)

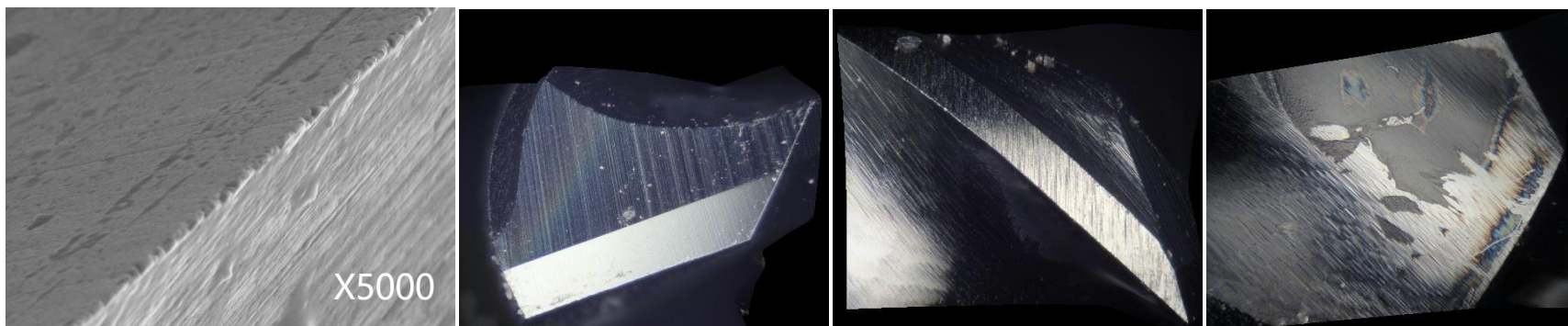
主切削刃

主切削刃

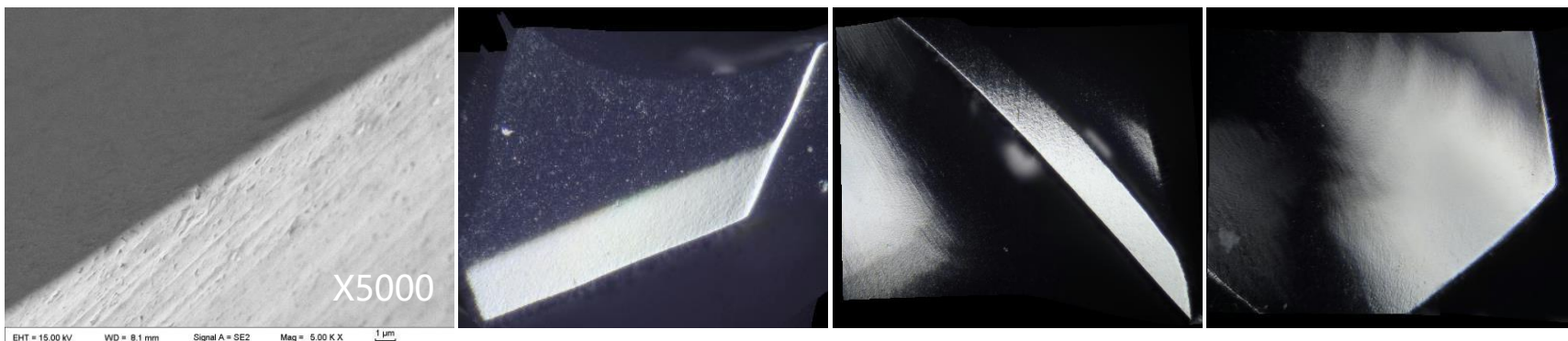
侧刃

排屑槽

精化前



精化后



精化前微钻存在明显磨削纹路, 5min 精化后表面粗糙度改善, 磨削纹路消除

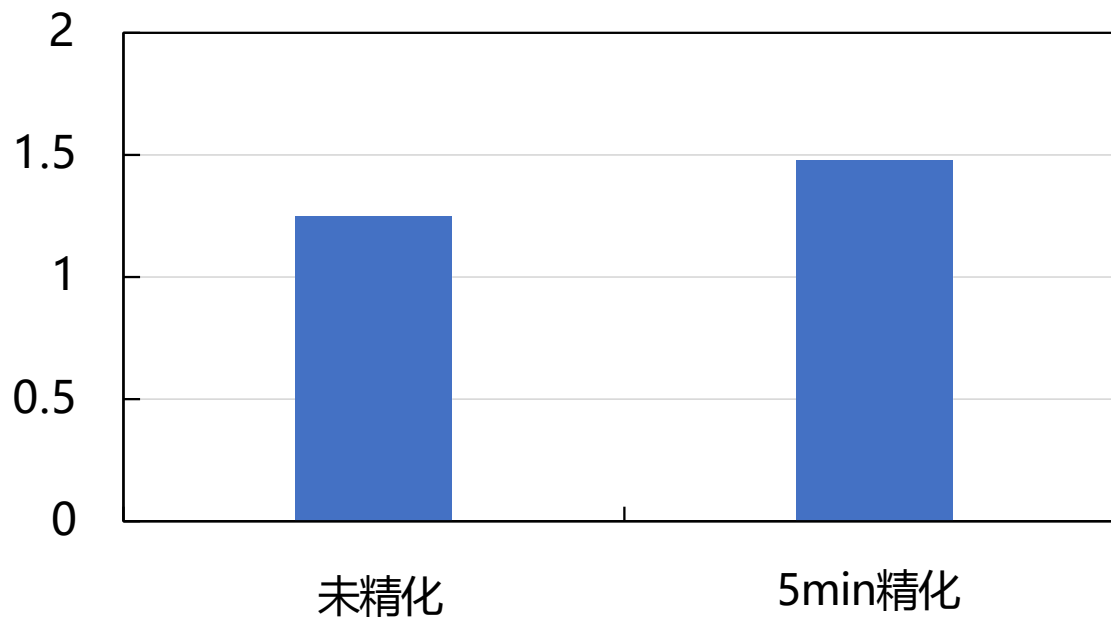


## 5.3 回转类刀具力流变抛光

### 2. PCB板用钻削微钻精化----硬质合金 $\varphi$ 0.4mm

微钻钻削测试 (加工时间: 2000孔)

孔位精度



5min刃口精化后: 孔位精度提高了25.42%

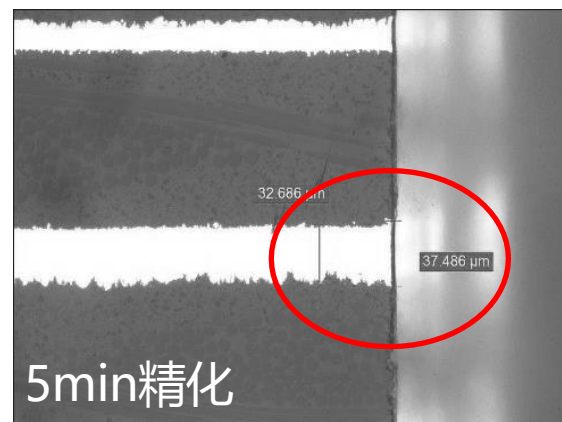
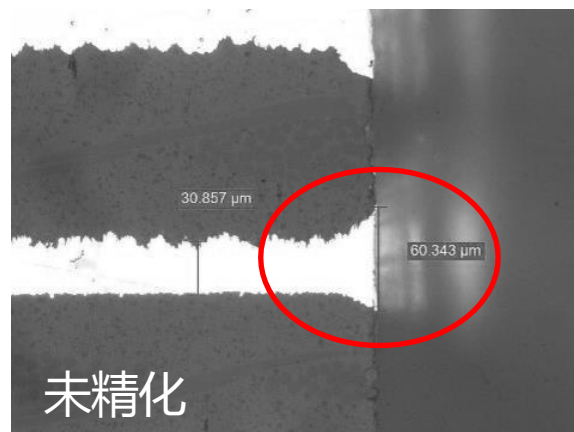
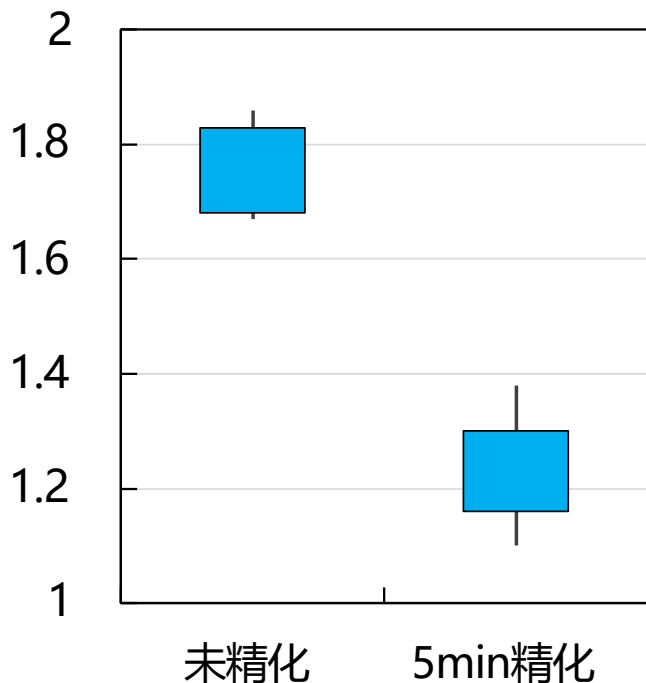


# 5.3 回转类刀具力流变抛光

## 2. PCB板用钻削微钻精化----硬质合金 $\phi$ 0.4mm

微钻钻削测试 (加工时间: 2000孔)

钉头值



钉头几乎消除

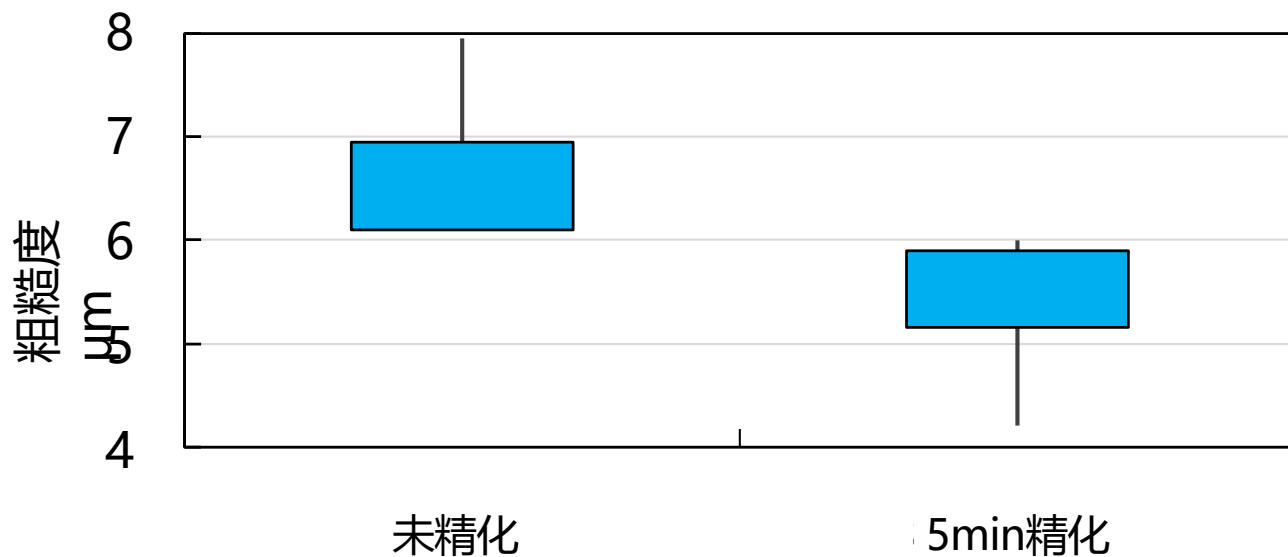


## 5.3 回转类刀具力流变抛光

### 2. PCB板用钻削微钻精化----硬质合金 $\varphi$ 0.4mm

微钻钻削测试 (加工时间: 2000孔)

孔壁粗糙度



孔壁粗糙度从 $6\mu\text{m}$ 以上降低到 $6\mu\text{m}$ 以下



## 5.3 回转类刀具力流变抛光

### 4. 石墨专用8刃圆鼻铣刀----

R0.2 □ 2.8L1 □ 10L2 □ 45L □ Ø4 m

(浙江浪潮精密机械有限公司提供)

抛光前



抛光5 min后

刃口精化半径17 $\mu$ m, 刃口完整, 均匀一致

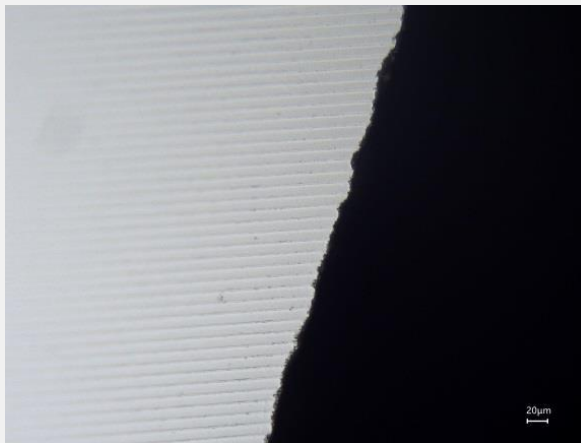
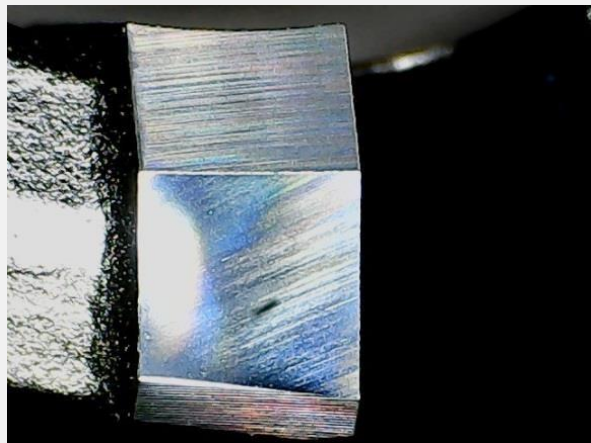
抛光后



## 5.3 回转类刀具力流变抛光

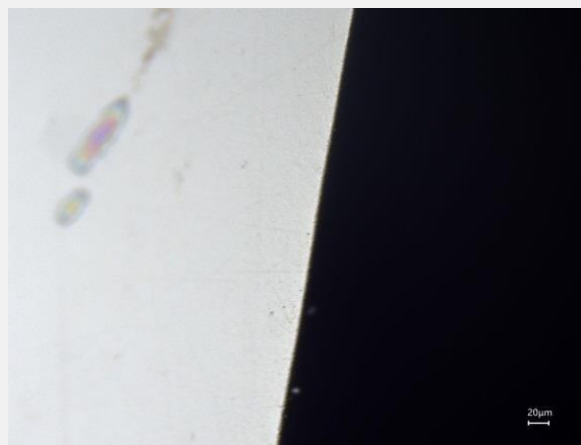
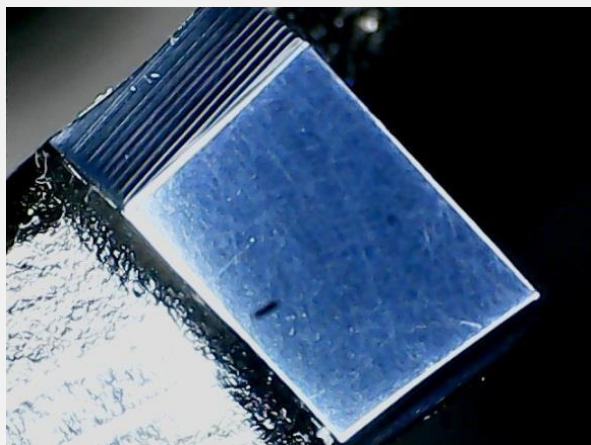
### 5. 钢板钻----22□ 35mm (恒锋工具股份有限公司提供)

抛光前



抛光前刃口有  
缺口，刀面有磨削  
痕迹

抛光后



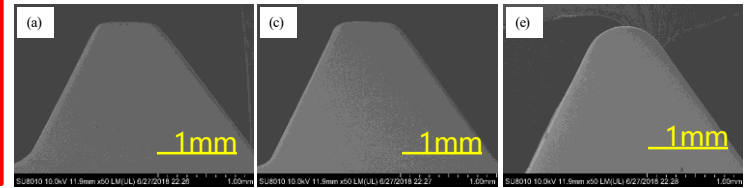
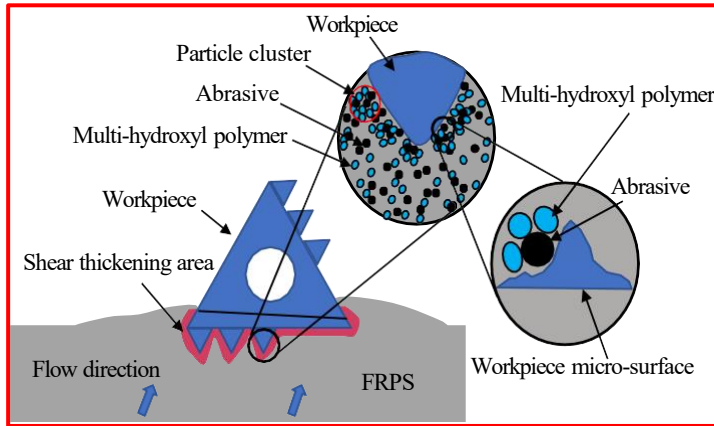
抛光 5min 后形  
成20µm精化带，  
刃口平直，刀面光  
滑，磨削痕迹消除



# 5.4 硬质合金螺纹梳刀力流变抛光



传统方法易造成崩刃



力流变抛光后无崩刃，粗糙度 $R_a$  8 nm



# 5.5 轴承钢圆柱滚子抛光



传统珩磨



力流变抛光

Surface Statistics:

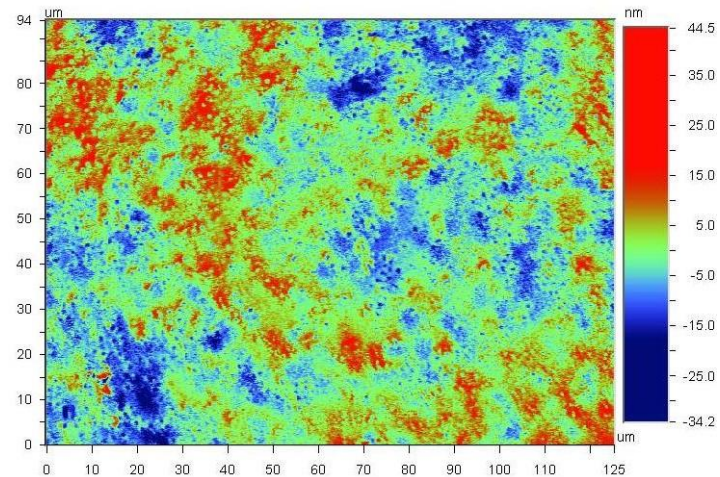
Ra: 5.10 nm  
Rq: 6.49 nm  
Rz: 59.05 nm  
Rt: 78.67 nm

Set-up Parameters:

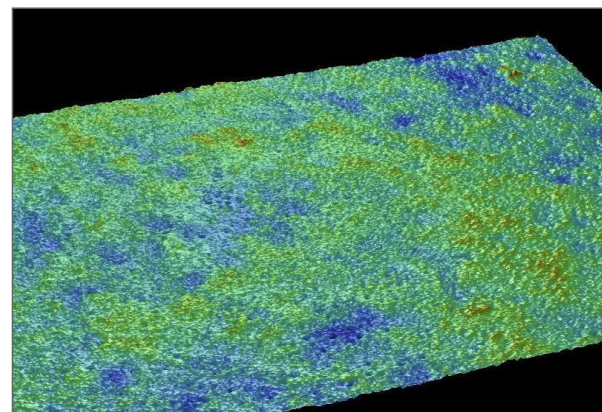
Size: 640 X 480  
Sampling: 196.16 nm

Processed Options:

Terms Removed:  
Sphere & Tilt  
Filtering  
None



抛光后表面形貌

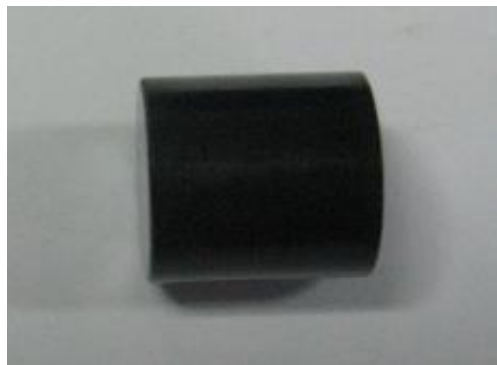


展开后的3D形貌

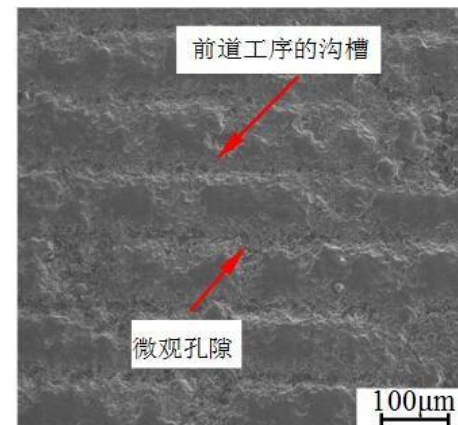
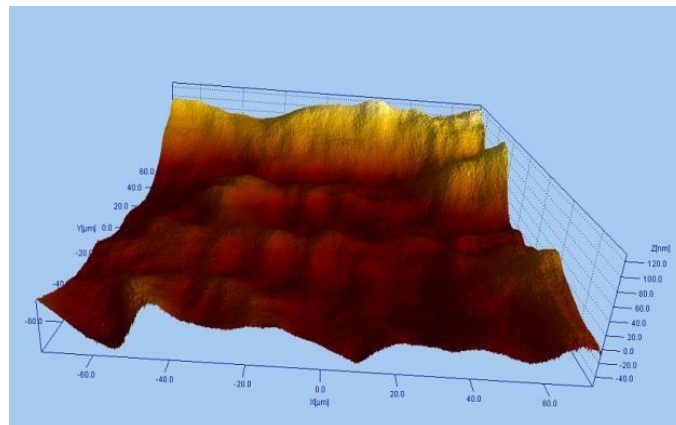
3000#Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 抛光后工件表面R<sub>a</sub> 5.1 nm



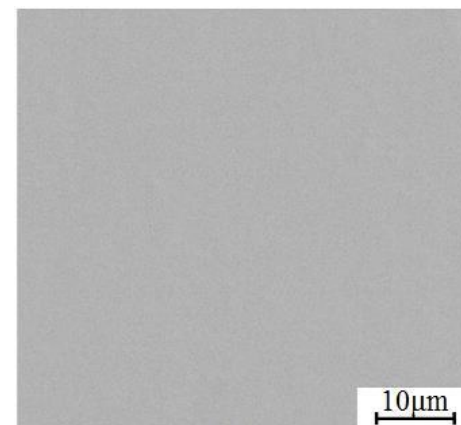
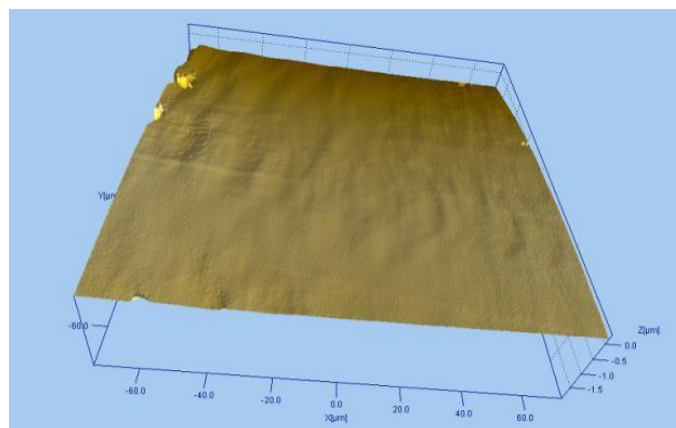
## 5.6 氮化硅圆柱滚子力流变抛光



抛光前 $R_a$  107.2 nm



抛光后 $R_a$  6.5 nm



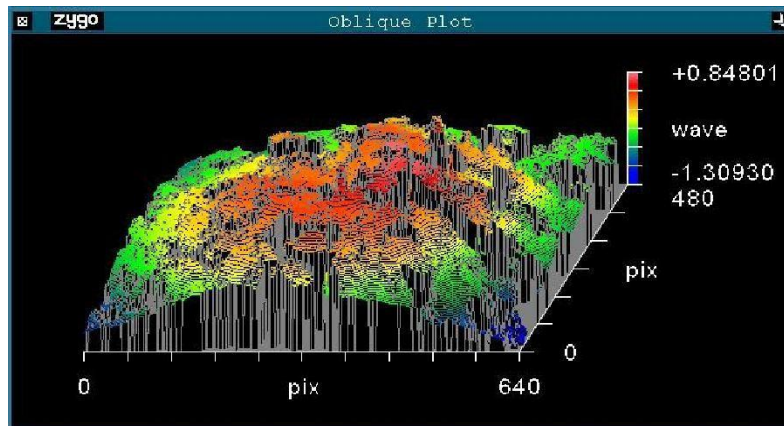
精工极致 琢磨完美



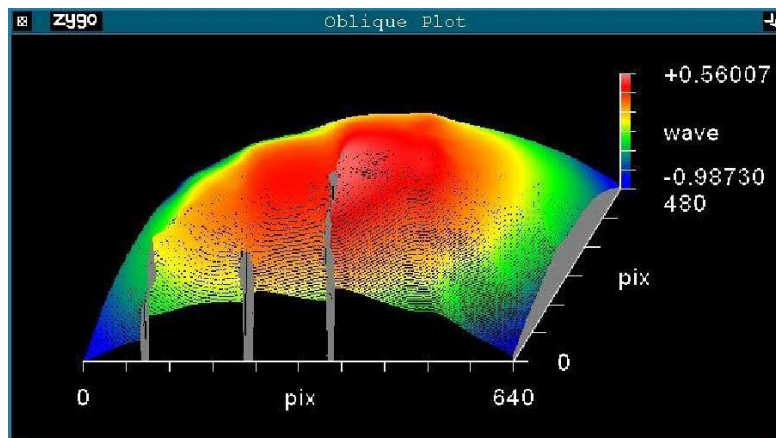
# 5.7 不锈钢球面力流变抛光



抛光前  $R_a$  349 nm

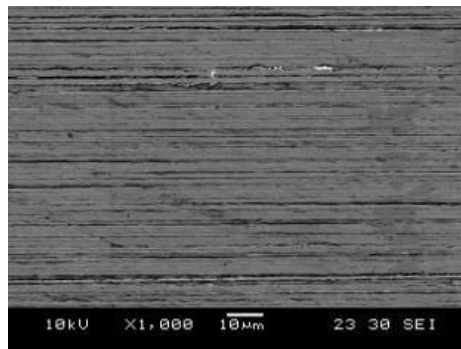


抛光后  $R_a$  8.7 nm

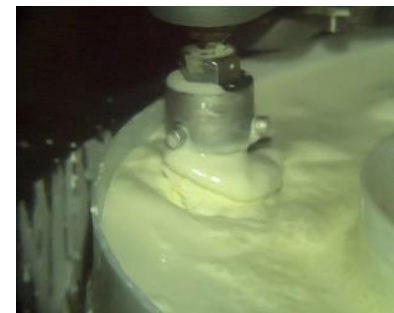


# 5.8 轴承套圈滚道抛光

传统珩磨加工表面损伤层深、表面质量差



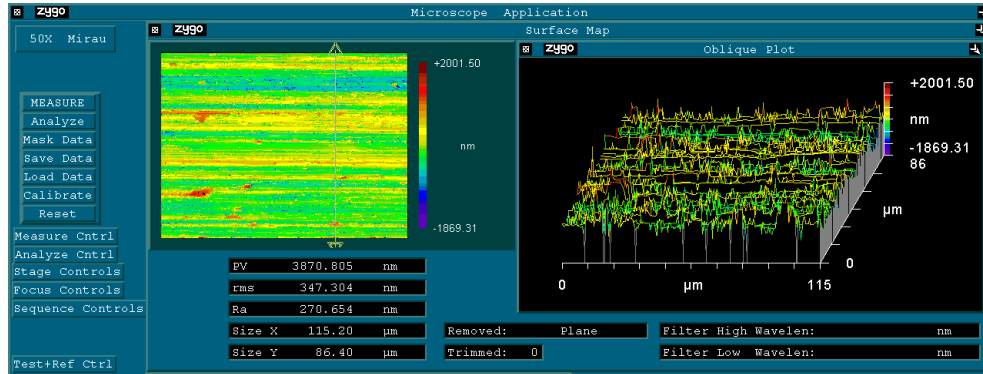
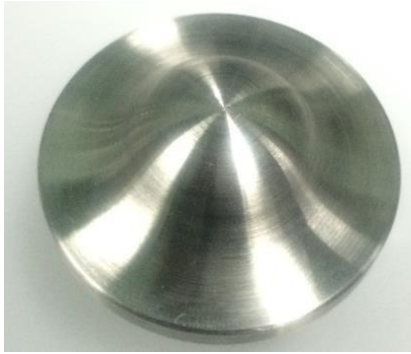
力流变抛光  $R_a < 10\text{nm}$



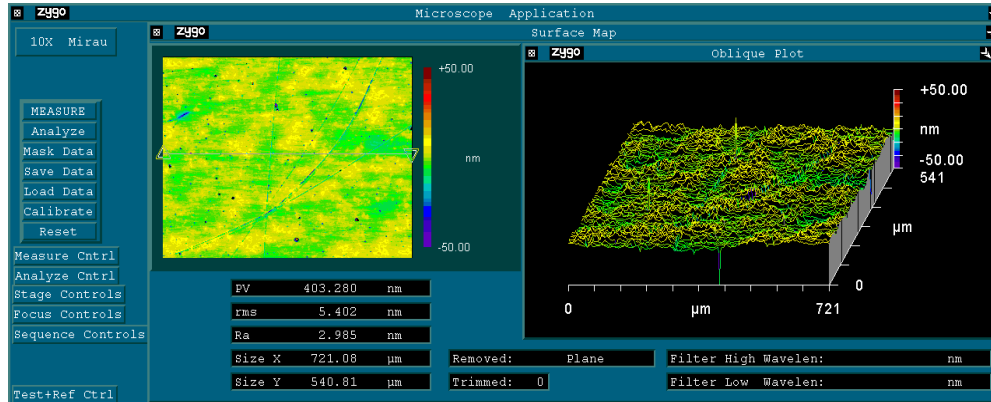
套圈滚道抛光



# 5.9 不锈钢复杂曲面抛光



抛光前 $R_a$  270.6 nm



抛光20分钟后 $R_a$  2.9 nm

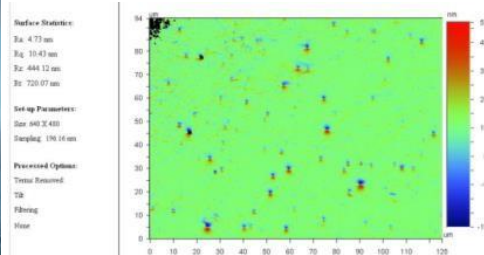


# 5.10 风力发电机偏桨球顶挡块抛光

南高齿提供



抛光前 $R_a$  110 nm



抛光后 $R_a$  4.73 nm



抛光时间15分钟



# 5.11 高档不锈钢表壳抛光



抛光前 $R_a$ 100nm以上, 有毛刺、刀纹



抛光后 $R_a$ 20nm, 每条生产线8小时的产量为700个, 可替代10个人工



苏州九韧新材料科技有限公司  
袁巨龙教授  
联合出品

地 址： 苏州市吴中区金枫路东创科技园A幢  
电 话： 18913740035  
联 系 人： 王普奇

[www.jorinn.com](http://www.jorinn.com)

