

# 劈裂电弧—将刀具性能带进另一层次

□ 本文由亚洲科汇有限公司投稿

随着科技的进步与时代的变迁，工业界开始致力于高产量、低成本与高速化方面之发展，而刀具在工业发展过程中具有举足轻重的角色。在二十世纪七十年代初期硬质涂层刀具正式面世，表面处理技术如物理气相沉积 (Physical Vapor Deposition, 简称 PVD) 技术相继得到高速发展，为刀具性能带来前所未有的提升。

在刀具涂层的领域，PVD 分别以磁控溅射与阴极电弧技术最为广泛使用。磁控溅射技术可在不同的金属、合金、氧化物进行混合，涂层的选择性较多元化，但沉积率较低，等离子体相对不稳定；而阴极电弧技术具有高离化率、沉积速率快，可镀制出高硬度、高韧性、且附着性佳的涂层。然而，传统的阴极电弧技术其靶材的使用率低，并且在沉积过程中伴随着高能量等离子体所释出的电弧所形成的微粒，易致使表面形成缺陷而造成粗糙度提升。

## 劈裂电弧：颠覆传统技术

因应市场的需求，swiss-PVD 于 2010 年开发劈裂电弧技术，相较于传统的电弧技术，劈裂电弧使用更高的电流，提高靶材的蒸发速度；而另一方面通过磁场对电流的控制，使电流在整个靶材表面运动 (请参考图 1)，减少平均电流，从而减少液滴，降低摩擦系数，改善涂层质量。

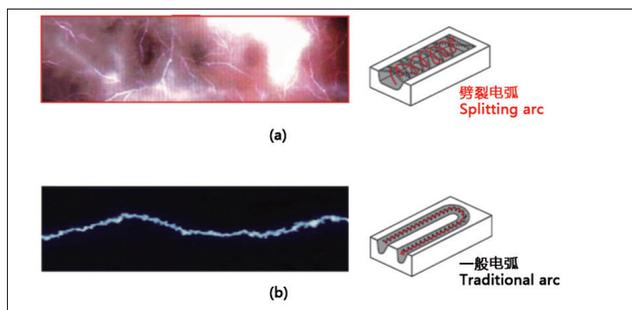


图 1 (a) 传统阴极电弧技术；(b) 劈裂电弧技术。

通过以传统电弧及劈裂电弧所沉积的 AlTiN 涂层测试及对比 (1)，从图 2 可以观察得到，以传统电弧所沉积的 AlTiN 表面质量 (往后以 c-AlTiN 表示)，液滴大，表面较粗糙 (见图 2(a))，从涂层断面可以看到其涂层结构是柱晶状 (见图 2(c))；而以劈裂电弧所产生的 AlTiN 表面质量 (往后以 s-AlTiN 表示)，液滴细而少，表面光滑 (见图 2(b))，而涂层结构相比于传统电弧更致密 (见图 2(d))。

在机械性能方面，从表 1 看到，s-AlTiN 之纳米硬度不但比 c-AlTiN 高，其摩擦系数也比 c-AlTiN 为低。

为了验证劈裂电弧所沉积的涂层之性能及表现，进行了一项切削测试，刀具分别使用原身钨钢刀 (无涂层)、以传统电

弧沉积之 c-AlTiN 及劈裂电弧沉积之 s-AlTiN。从图 3 之结果显示，无涂层之切削长度为 15 m，c-AlTiN 之切削长度为 50 m，而 s-AlTiN 之切削长度为 90 m，s-AlTiN 之表现比 c-AlTiN 提升 80%。在切削力方面，经 s-AlTiN 涂层之刀具可使用更低的切削

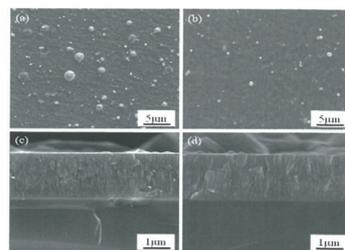


图 2 传统电弧及劈裂电弧所沉积的 AlTiN 涂层对比

- 2 (a) c-AlTiN 涂层表面质量
- 2 (b) s-AlTiN 涂层表面质量
- 2 (c) c-AlTiN 涂层之结构
- 2 (d) s-AlTiN 涂层之结构

涂层方法	涂层厚度 [μm]	纳米硬度 [GPa]	杨氏模量 modulus [GPa]	摩擦系数 coefficient	附着力测试
传统电弧	2	31±3	249±10	0.5	HF1
劈裂电弧	2	36±2	335±11	0.4	HF1

表 1 c-AlTiN 与 s-AlTiN 机械性能对比

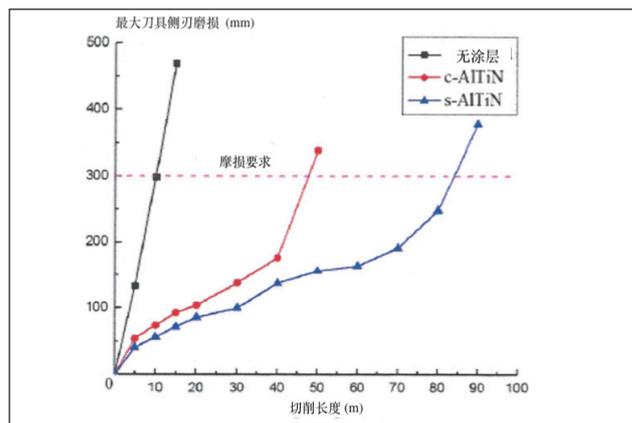


图 3 切削测试 - 磨损量对比

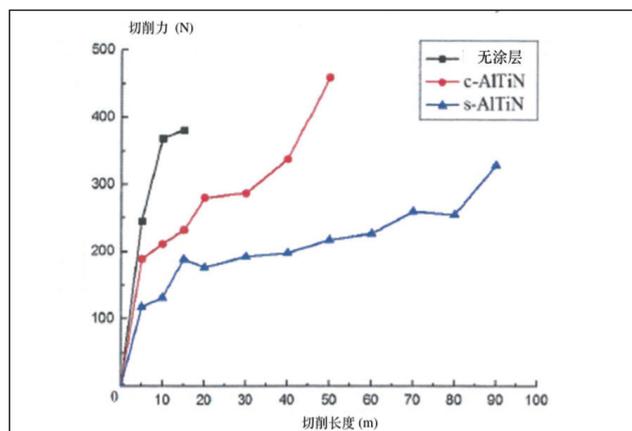


图 4 切削测试 - 切削力对比

力, 也可获得比 c-AlTiN 更佳的表现 (见图 4)。

在切削测试后, 通过 EDX 在刀具刃口磨损位置进行成份检测 (见表 2), 及以 SEM 观察各刀具之刃口状况 (见图 5), 分析如下:

- ◆ 图 5(d) 位置 1 显示被加工材料附着在刀具上
- ◆ 图 5(e) 位置 2 显示为刀具底材之成份 (钨钢), 表示此位置之涂层已磨损
- ◆ 图 5(e) 位置 3 显示为被加工材料附着在刀具上
- ◆ 图 5(f) 位置 4 及位置 5 显示主要为 AlTiN 涂层, 在切削测试后仍然存在, 没有被明显的磨损

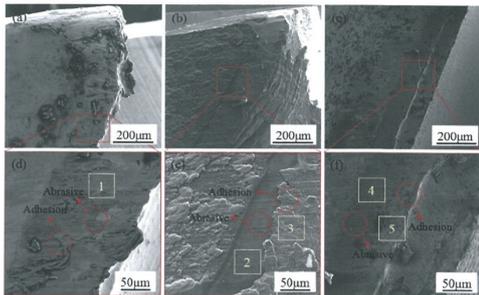


图 5 切削测试后之刀刃情况

5 (a) 无涂层之刃口情况; 5 (b) c-AlTiN 之刃口情况;  
5 (c) s-AlTiN 之刃口情况; 5 (d) 无涂层之刃口成份分析;  
5 (e) c-AlTiN 之刃口成份分析; 5 (f) s-AlTiN 之刃口成份分析

位置	成份%									
	Al	Ti	N	C	Co	W	Cr	Fe	O	
1	--	--	--	28.25	1.4	2.33	3.96	28.57	34.5	
2	--	--	--	33.95	6.45	21.97	1.35	4.15	32.14	
3	--	--	--	54.29	--	--	5.59	40.12	--	
4	38.53	33.95	27.52	--	--	--	--	--	--	
5	21.75	15.35	39.96	19.01	1.94	1.74	0.75	0.44	--	

表 2 以 EDX 分析刀具侧刃的成份

而 swiss-PVD 最新开发的 SP708X 机型 (见图 6), 除了搭载劈裂电弧技术, 更进一步将电流输出提高至 800A, 使等离子密度提高, 让靶材使用率提升 100%, 相较于传统电弧技术其生产速度提升 3



图 6 最新开发之劈裂电弧涂层机 SP708X

倍。也由于等离子密度的稳定输出, 使涂层于沉积过程中微粒减少使涂层表面粗糙度下降, 并且进一步有效提升涂层的致密性, 使涂层之性能能够得到充分发挥。

### ACO 涂层: 加工高硬度模具钢之最佳伙伴

由科汇与 swiss-PVD 共同研究, 为加工高硬度模具钢而开发的新世代涂层 ACO, 采用新开发的劈裂电弧技术涂层设备 SP708X, 将刀具的性能带进另一个层次。

### 测试条件:

从两批以 ACO 涂层的刀具各取样本, 与市场上同类产品作切削测试

切削条件	
刀具名称	2刃钨钢球头刀
刀具规格	Φ6*2F
加工材料	DC53
材料硬度	HRC 62-63
转速/S	10,600 rpm
切削速度/Vc	200 m/min
进给速度/F	2,120 mm/min
切深 Ap/切宽 Ae	0.1 mm/0.1 mm
冷却方式	风冷

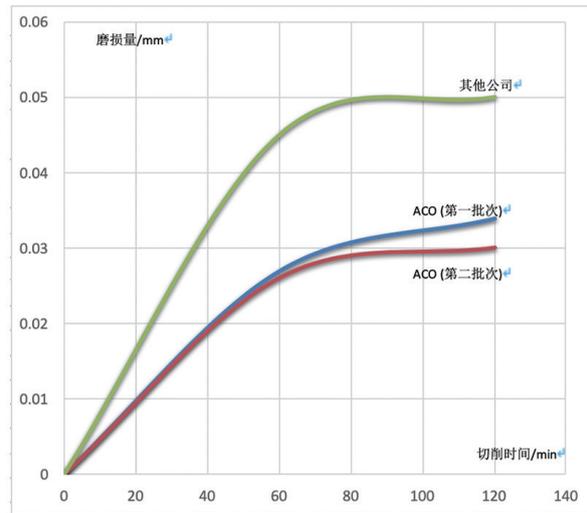


图 7 ACO 与市场上同类产品作切削性能对比

从图 7 所示, 可获得以下两个结果:

- 1) 两批以 ACO 涂层的刀具经切削测试后之磨损量非常接近, 表示质量稳定可靠。
- 2) 相对市场上的同类产品, 两批 ACO 涂层刀具之磨损量均明显较低, 耐磨性有着 35-40% 提升。

作为新世代的电弧技术, 劈裂电弧提供高等离子密度、高沉积率、少液滴、更致密的涂层结构, 与及更佳的耐磨性, 为传统 PVD 涂层注入新动力。

### 后记

科汇拥有接近二十年之 PVD 涂层服务经验, 是中国第一家使用瑞士涂层技术的专业涂层服务公司。科汇目前在全中国有七间涂层中心, 分布在香港、华南、华东及华北地区, 现有员工二百多名, 集合中、港、台三地的精英为核心管理骨干, 拥有世界排名前 100 大学的博士及硕士学历的精英团队作技术支持, 提供高质稳定之涂层服务。

### 注释:

(1) Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 17(2007), s814-s817.