

提升刀具效能，增加竞争优势

□ 本文由亚洲科汇有限公司供稿

根 据中国机床工具工业协会工具分会的调查及分析测算，我国进口刀具之消费规模从 2017 年 139 亿人民币，增加至 2018 年 148 亿人民币，同比增长 6.5%；而我国在国内生产之刀具（含内销 + 出口），其消费规模由 2017 年 345 亿，上升至 2018 年 374 亿，同比增长 8.4%。从数字上看到，在国内生产刀具之消费规模虽然比进口的超出两倍多，但进口刀具仍然在中高端市场占有相当大的份额（估计约有 70%），我国刀具制造商需要在不同方面的改进，方可在性能及利润上与进口刀具争一日之长。

进口刀具在高端市场一直拥有领导地位，但国产刀具经过几十年的磨练及演变，其质量已逐渐与进口刀具拉近距离，着实有赖整个供应链的努力，包括材料、刀具设计、生产工艺、涂层等。而涂层是刀具在切削加工之最前线，其性能往往影响刀具的寿命及加工效果，所以涂层在整个供应链中占有一个非常关键的位置。

涂层的发展

按涂层的发展过程，已往刀具市场所使用的涂层主要为氮化钛 (TiN)、氮碳化钛 (TiCN)、氮化铝钛 (TiAlN) 等，但随着科技不断革新，加工条件、状况、被加工材料之性能等不断演变，致使已往所发展的涂层已满足不了生产需求。有见及此，各涂层供货商因着不同的要求，更改或添加不同化学元素、调整涂层结构等方式，发展出不同种类的涂层，如加入硅之纳米结构涂层、以铝铬为基础的新型耐高温涂层等，务求将刀具的性能带进另一层次。

在涂层开发方面，国外供货商特别是欧洲因着长久的历史，一直有着领导性的优势，在设备（硬件）及研发（软件）方面具前瞻性，但开发对象主要是国外客户，他们有着先进及稳定的机床、规范性的加工条件，涂层之发挥往往是事半功倍。但随着国内市场之迅速发展，很多应用的领域及需求都是因着国内刀具应用者（如手机零件制造商、模具加工商）的特殊情况（如不同的加工状况、不同加工机种、不同材料、工人欠缺规范性），而未能达到预期效果。

以下会从两方面探讨如何为刀具制造商提供具竞争力之策略：

- ◆ 高性价比
- ◆ 专业化 / 客制化

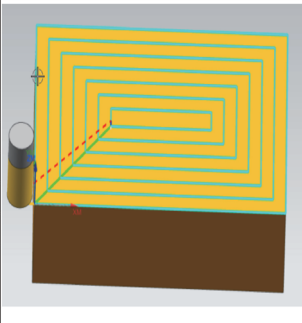
瑞士新技术，价格不变，性能提升

已往 TiAlN 被广泛应用在刀具上，其中一个主要市场是加工中低硬度模具钢，亚洲科汇的同类涂层为 MDTL，通过劈裂电弧技术，其耐磨性相比于市场上的 TiAlN 已有所提升。而据客户反映，为了增加生产效益，终端用户希望在价格不变的情况下，其刀具寿命需要进一步增加。为了达到此目的，亚洲科汇技术团队重新针对涂层的结构与制程技术进行优化改良，进而发展新型涂层 MDTL，相较于原 MDTL 涂层性能提升 33%。为进一步了解 MDTL 对市场的同等类型涂层的性能比较，将针对市场通用 TiAlN 系的

涂层进行切削测试比对。图 1 为市场 TiAlN 与 MDTL 涂层于 R5 圆形刀片并进行加工测试，并量测刀刃磨损的结果。图 2 为刀片经过切削完毕后的形貌，可以发现涂 MDTL 刀片在经过 120 分钟切削后，刀刃并没有任何崩缺情况产生仅有轻微磨损；而另一方面，涂 TiAlN 刀片经过测试已产生崩缺情形产生，由此结果可以得知 MDTL 涂层优于市场的 TiAlN 涂层。

测试条件

刀具名称	R5 圆刀片
刀具规格	D30R5
加工材料	718H (AISI P20 改良版)
材料硬度	HRC38-40
转速/S	2,066 rpm
切削速度/Ve	150 m/min
进给速度/F	1,274 mm/min
切深 Ap/切宽 Ae	0.25 mm/15 mm
加工时间	120 分钟
铣削方式	端铣跟随周边切削，顺铣
冷却方式	风冷



测试结果

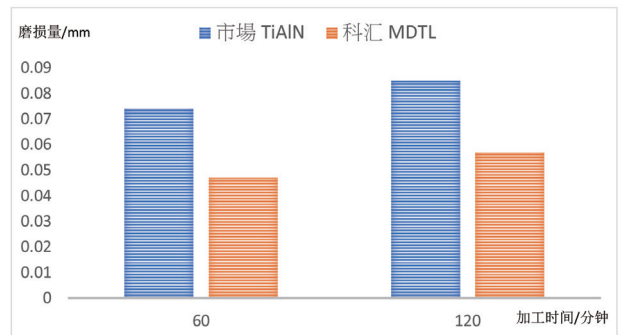


图 1：市场 TiAlN 与科汇 MDL 经加工测试后之磨损量对比

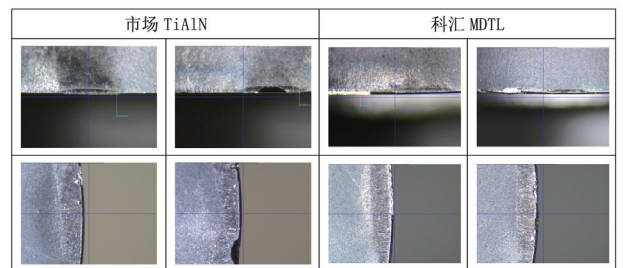


图 2：市场 TiAlN 与科汇 MDL 之磨损量状况

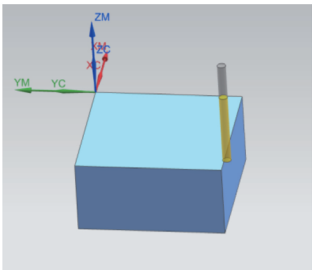
而在加工中高硬度模具钢之领域，市场上多以 AlTiN 为主要涂层考虑，因其硬度、耐磨性及耐高温性均比 TiAlN 有所提升。近年来涂层商之研发人员加入硅元素，并利用纳米结构，开发出一款 TiAlSiN 之纳米涂层，其硬度、耐磨性及耐高温性将进一步提升，以下是这三款涂层的性能对比：

涂层	表面硬度(维氏硬度 HV)	最高工作温度(°C)
TiAlN	3,300	800
AlTiN	4,100	1,100
TiAlSiN	4,300	1,200

表格 1: TiAlN、AlTiN 及 TiAlSiN 之性能对比

基于 TiAlSiN，亚洲科汇开发了一款 ALL 涂层，目标是应用于加工 38-55 HRC 硬度范围之模具材料，在市场上已广受客户接受。虽然如此，亚洲科汇通过调整涂层工艺及结构之经成，开发了新一代 ALLX 涂层。为进一步了解 ALLX 对市场同等类型涂层的性能，将进行切削测试。其切削参数分别如下所示，图 3 为 ALLX 涂层与市场同等类型涂层于铣刀上切削测试后之刀刃磨损值比较，由图中可以发现涂 ALLX 铣刀之刀刃磨损值较低于其它涂层的刀刃磨损值，由此结果意味着 ALLX 涂层较其它涂层具有更佳的耐磨性。图 4 为各个涂层铣刀经过切削测试后的刀刃形貌，可以发现 ALLX 涂层铣刀在经过 120 分钟切削后，其侧刃并没有任何崩缺情况产生，仅有轻微磨损；而另一方面，其余铣刀经过切削测试后可以明显观察到侧刃有崩缺情形产生，由此显示刀具经已受损。综合切削测试结果 ALLX 涂层的性能经过改良优化后再次推上另一层次，并且与市场同等系列涂层相比，其 ALLX 涂层有着 40% 的性能提升。

测试条件

刀具名称	4 刃平面铣刀	
刀具规格	D6*50L*4F	
加工材料	S136 (AISI 420 改良版)	
材料硬度	HRC48	
转速/S	7962 rpm	
切削速度/Ve	150 m/min	
进给速度/F	1600 mm/min	
每齿进给量/Fz	0.05mm/tooth	
切深 Ap/切宽 Ae	0.25 mm/15 mm	
加工时间	120 分钟	
铣削方式	跟随周边切削，顺铣	
冷却方式	油冷	

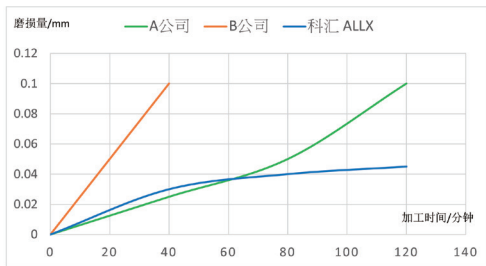


图 3: 市场上不同公司之 TiAlSiN 与科汇 ALLX 经加工测试后之磨损量对比

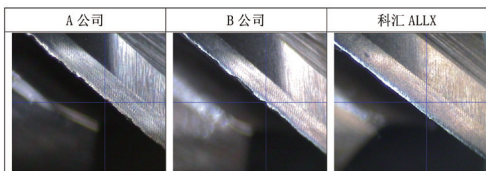


图 4: 市场上不同公司之 TiAlSiN 与科汇 ALLX 之磨损量状况

针对不同应用，涂层之设计作出客制化

金刚石普遍称为钻石，是世界上最坚硬的化学结构。由于现代

纳米科学的进步，科学家已可利用化学气相沉积法 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 快速而有效地沉积金刚石薄膜，让刀具拥有像钻石般坚硬之表面，可切削一些非常难加工的材料，例如：PCB 板、石墨、陶瓷、硬质合金及碳纤维板。

以上的材料均有一个共同点是硬度高，对于刀具之磨损非常大，以往的 PVD 涂层已不能满足要求，而金刚石涂层是一个有效的解决方案。

由于不同材料之特性，例如石墨电极需要很高的刀具强度及耐用性、PCB 具有粘聚合物及一些坚硬填充物，刀具需具有强度要求及表面抗粘粘层等，所以在发展金刚石涂层时必须按不同情况加以考虑。

在现时的金刚石涂层发展，主要提供以下两款结构：

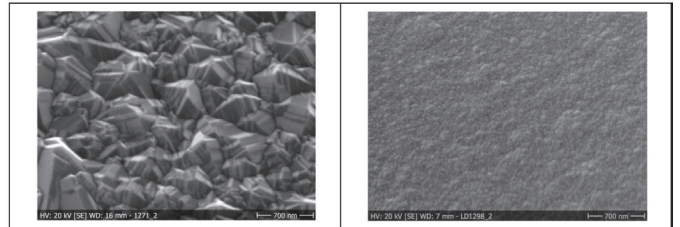


图 5: 微米晶 MCD 结构

图 6: 纳米晶 NCD 结构

性能	微米晶 MCD	纳米晶 NCD
金刚石纯度 (%)	> 99%	> 90%
晶粒尺寸	40 nm (涂层厚度为 100 nm) 500 nm (涂层厚度为 3 μm)	30-50 nm (与涂层厚度无关)
粗糙度 (Ra)	20 nm (涂层厚度为 100 nm) 80 nm (涂层厚度为 3 μm)	10-30 nm (与涂层厚度无关)
纳米硬度 (GPa)	100-110	80-85
双轴杨氏模量 (GPa)	1250	600-800
涂层在 Si 基材上之残留应力 (MPa)	~300	~100
密度 (g/cm³)	3.45	3.30

表格 2: MCD 及 NCD 结构之性能

如表格 2 显示，MCD 结构具有高硬度 (纳米硬度为 100-110 GPa)，但表面之粗糙度相对较高，适用于加工高磨损的材料如石墨电极；而 NCD 结构之硬度比 MCD 略低 (纳米硬度为 80-85 GPa)，但晶粒幼细，韧性高，适用于加工碳纤维这类具备断续性及长纤维的材料。

而针对压制玻璃的石墨模具，除了石墨本身的磨损性外，加工后需要一定程度之表面光洁度，所以如直接使用 MCD 结构之金刚石涂层，其光洁度未能达到要求。

经亚洲科汇的技术团队及瑞士 NeoCoat 科研人员研发后，开发出一款以 MCD 为基础，将晶体以渐进方式将其纳米化之特殊复合结构，既拥有耐磨性，而表面之光洁度也能满足生产需要，此研究将会申请成为专利。

结论

现时市场竞争激烈，刀具商需要在当中脱颖而出，必须在各细节上注意、改进，并加以严格管控。而涂层作为刀具之最前线，其性能将会最直接影响使用效果。通过开发客制化及专业化的涂层，可让刀具的性能得到提升，增加竞争优势。