

刀具涂层技术发展及在飞机制造领域的应用

Development of Cutting Tool Coating Technology and Its Application in Aircraft Manufacturing Industry

陕西地金成表面工程有限公司 党建坤
西安交通大学材料学院 宋忠孝
西飞国际刀具设计室 刘春生



党建坤
高级工程师，从事薄膜气相沉积研究工作多年。

随着数控机床成为制造装备的主流设备，为满足数控机床对刀具高精度、高可靠性、高加工效率、长寿命及环保等性能的要求，开发综合性能优良的刀具就显得尤为迫切，而新型刀具材料的开发速度尚不能满足刀具的要求，对刀具进行表面改性不仅可以满足不同机床设备的要求，而且也减少了开发新型刀具材料的压力，因而刀具表面改性工程技术在近年

为满足数控机床对刀具高精度、高可靠性、高加工效率、长寿命及环保等性能的要求，开发综合性能优良的刀具就显得尤为迫切，而新型刀具材料的开发速度尚不能满足刀具的要求，对刀具进行表面改性不仅可以满足不同机床设备的要求，而且也减少了开发新型刀具材料的压力。

来得到了迅速发展。

目前，国外工业发达国家和机械加工行业已普遍采用刀具涂层技术，刀具使用寿命显著提高，生产效率和产品质量也相应大幅改进。我国进口的刀具，如肯纳、山特维克、瓦尔特、三菱等世界著名刀具供应商，其生产刀具几乎全部带有涂层，因此，刀具涂层技术的应用是未来刀具发展的趋势，而高性能刀具涂层的开发和应用则更为重要。

刀具涂层的发展历史及现状

1 刀具涂层的发展历史

刀具涂层的研发和应用已经有近半个世纪的历史，20世纪60年代初期，瑞典 Sandvik 公司和德国 Krupp 公司研发了化学气相沉积 (CVD) 涂层技术，1969 年向市场提

供了第一代 CVD 涂层硬质合金刀片。此后，美国、日本和其他国家也相继推出 CVD 涂层硬质合金刀具。随着 CVD 技术的不断发展和设备的更新完善，CVD 涂层的种类向多元、多层、复合方向发展，这使硬质合金刀具的性能得到很大提升。由于 CVD 涂层工艺温度约为 1000℃，虽有可靠的膜基结合强度，但其自身也有一些缺陷，如刀具的切削刃需经钝化预处理，刀具涂层内部有较高的残余拉应力，此外更不能用于高速钢类刀具的表面涂层，这使其应用领域受到极大的限制。

20 世纪 70 年代初期，美国 R. Bunshan 和 A. Raghuran 开发了物理气相沉积 (PVD) 涂层技术，其沉积工艺温度在 500℃ 以下，主要用于高速钢类刀具表面涂层。多年

来,随着PVD工艺技术的不断发展和PVD设备的日趋完善,其应用领域也越来越广泛。

2 刀具涂层技术近况

(1) CVD 涂层技术及发展趋势。

CVD技术广泛应用于硬质合金刀片的表面处理,可实现单层涂层,单成份及多层,多成份复合涂层的沉积。涂层厚度可达到 $7 \sim 9 \mu\text{m}$,不仅具备很好的耐磨性,同时与基体的结合强度较高。但由于其沉积工艺温度高,易造成基体的抗弯强度下降;涂层内部有较高的拉应力,易导致使用过程中产生微裂纹。同时CVD工艺过程中排放的废气,废液易造成环境污染。

目前CVD涂层技术方法主要有以下2种:

- 第一种方法是中温CVD技术,以含C、N的有机物乙腈(CH_3CN)为主要反应气体和 TiCl_4 、 H_2 、 N_2 在 $700^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 下产生分解、化学反应,生成TiCN的一种新方法,可获得致密纤维状结晶形态的涂层,涂层厚度可达 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 。这种涂层结构具有极高的耐磨损性、抗热震性及韧性,并可通过HT-CVD(高温化学气相沉积)工艺技术在表层沉积上 Al_2O_3 、TiN等抗高温氧化性能好,与被加工材料亲和力小,自润滑性能好的材料。MT-CVD涂层刀片适合于高速、高温、大负荷、干式切削条件下使用,其寿命比普通涂层刀片提高1倍左右。

- 第二种方法是通过对CVD Al_2O_3 成核过程更精确的控制,可使涂层获得所希望的 α 或 κ 晶相。在CVD所能沉积的几 Al_2O_3 晶相中 α - Al_2O_3 最稳定,其耐高温性和耐磨性也最好。

(2) PVD 涂层技术及近况。

PVD涂层技术在工艺上主要有2种方式。

- 真空阴极弧物理蒸发(ARC)。真空阴极弧物理蒸发过程包括将高

电流,低电压的电弧激发于靶材之上,并产生持续的金属离子。被离化的金属离子以 $60 \sim 100\text{eV}$ 平均能量蒸发出来形成高度激发的离子束,在含有惰性气体或反应气体的真空环境下沉积在被镀工件表面。真空阴极弧物理蒸发靶材的离化率在90%左右,所以与真空磁控离子溅射相比,沉积薄膜具有更高的硬度和更好的结合力。但由于金属离化过程非常激烈,会产生较多的有害杂质颗粒,涂层表面较为粗糙。

- 真空磁控离子溅射(SPUTTERING)。真空磁控离子溅射过程中,氩离子被加速打在加有负电压的阴极(靶材)上,离子与阴极的碰撞使得靶材被溅射出带有平均能量 $4 \sim 6\text{eV}$ 的金属离子,这些金属离子沉积在放于靶前方的被镀工件上,形成涂层薄膜。由于金属离子能量比较低,涂层的结合力与硬度也相应较真空阴极弧物理蒸发方式差一些,但由于其表面质量优异被广泛应用于有表面功能性和装饰性的涂层领域中。

(3) 刀具涂层的发展方向。

- 涂层技术的发展已从当初的TiC、TiN单元涂层发展为TiC- Al_2O_3 -TiN、TiCN、TiAlN等多元复合涂层,涂层性能有了很大的改善,应用范围相应扩大。

- 由单层向多层梯度涂层发展。对不同的涂层材料进行组合,降低应力以提高涂层与基体的结合,从而提高刀具的综合性能。

- 单成份涂层的厚度趋向于越来越薄,并逐步趋于纳米级。

越薄,并逐步趋于纳米级。

- 涂层工艺的温度趋向于越来越低,刀具涂层向更合理的发展方向。

- 可涂层刀具的基体材料越来越广,已不仅限于硬质合金和高速钢类刀具。

刀具涂层关键技术

(1) 涂层应有良好的力学性能、良好的抗磨损性、抗高温氧化性。

(2) 涂层与刀具基体应有良好的结合强度。

(3) 涂层的物理性能与刀具基体要有良好的匹配。

(4) 涂层与被加工材料不能相互产生亲和力。

(5) 涂层与被加工材料的摩擦系数要尽可能小。

(6) 要有涂层前的预处理工艺和涂层后的清洁钝化处理。

(7) 要有先进、可靠、稳定的涂层设备和针对性成熟工艺。

国内外涂层技术及涂层设备状况

自20世纪80年代初,Balzers公司将其PVD涂层工具投入市场以来,欧洲该项技术的应用与发展在全世界范围内起了非常重要的作用。随着现代装备制造业高速加工时代的到来,世界各国更加注重刀具涂层技术的应用与发展。欧洲刀具涂层,近几十年来得到了出乎意料的广泛发展,尤其是PVD涂层技术和设备的日益完善,可以说代表了当前世界最高水平。目前,欧洲PVD涂层设

表1 涂层种类及性能指标

涂层	TiN	TiCN	TiC	TiAlN
厚度/ μm	1.5 ~ 3	1.5 ~ 3	1.5 ~ 2	2 ~ 3.5
显微硬度($\text{HV}_{20\text{g}}$)	2200 ~ 2800	2600 ~ 3000	3000 ~ 3500	2800 ~ 3500
结合强度/ N	70	70	65	65
抗高温氧化温度/ $^\circ\text{C}$	600	500	480	800
摩擦系数	0.41	0.38	0.35	0.30

备制造厂家有 10 余家,相应的涂层加工服务中心有 60 多家,在机械加工业较发达的国家和地区已形成了完整的服务体系。

目前欧洲在刀具涂层领域较有影响的涂层设备制造及服务的公司有瑞士的 Balzers 公司、Platit 公司以及德国的 Cemcom 公司、PVT 公司等,这几家公司主要采用阴极电弧和磁控溅射技术。

欧洲的 PVD 涂层技术对我国的刀具市场影响极大,目前这些高水平

具涂层技术研究开发则以大专院校和研究所为主,基础理论研究分析和新涂层的开发与国外先进水平相当,甚至有些概念还超前于欧洲各国,但在如何指导工业化生产及更进一步新理论的研究方面还有所欠缺,目前还未有相应的政策指导,这应引起重视与思考。

陕西地金成表面工程有限公司是从事刀具涂层技术研发和工业应用的专业化高新技术企业。技术依托北京航空航天大学、西安交通大

效益。

陕西地金成表面工程有限公司刀具涂层及性能

磁控溅射-多弧离子沉积设备是集磁控溅射技术沉积膜层的细腻、致密和多弧离子沉积的离子率高、沉积速率快的优点为一体的新型复合技术,具有梯度功能连续过渡、多层多元结构交替组合的功能,可以制备适用于各种工况需求的陶瓷涂层;整机的设计先进、合理,并且采用工控机和可编程逻辑控制器来控制整个镀膜流程,从而保证了工艺过程的稳定性、可重复性及膜层质量的精确控制。

轰电源的保护设计更有独到之处,兼有调压、整流、脉冲、过载保护、自动灭弧等功能,且该技术无公害、无污染、绿色环保。

DJC 系列涂层刀具的应用案例

由以上结果可以看出,航空制造业中难于进行机械加工的材料(如铝合金、钛合金、镁合金、高温合金、不锈钢等)用普通刀具难以加工,且加工效率很低,刀具使用寿命很短,而采用涂层刀具不仅延长了使用寿命,而且提高了加工效率,并使被加工零件的表面质量上了一个等级。

结束语

随着我国制造装备业的快速发展,我国的刀具涂层技术不久将步入一个快速发展期,必将有越来越多的高性能涂层刀具由国内涂层中心加工生产,不断提高我国的切削加工技术水平,并为发展我国现代装备制造业做出更大的贡献。

(责编 依然)

表2 西安航空发动机公司刀具涂层使用状况

刀具名称	刀具代号	刀具情况	数量	涂层前加工量	涂层后加工量	被加工材料
组合铣刀	5B158/A-0542	修磨刀	1 组	3 件	7 件	铝合金
叶片铣刀	5B154/A-0066	修磨刀	1 组	200 件	450 件	Tc10
插齿刀	5B174/A-0001	修磨刀	1 组	10 件	34 件	16CrMnTi
组合铣刀	5B158/A-0534	新刀	2 组	80 件	140 件	GH105A

表3 西安飞机国际航空制造股份有限公司刀具涂层使用状况

刀具名称	刀具代号	刀具情况	数量	涂层前加工量	涂层后加工量	被加工材料
立铣刀	4A150/JH7A-1089	新刀	3 组	4 件	13 件	LY12
滚铣刀	B1 6151/0462 B16151/0643	新刀	2 组	1 件	3 ~ 4 件	40CrNiMoA
滚铣刀	B1 6151/0462 B16151/0643	修磨刀	2 组	1 件	3 件	40CrNiMoA
立铣刀	XB150/700-0320	新刀	2 组	3 件	10 ~ 11 件	7075A

注:涂层刀具进给量增加 20% ~ 30%;涂层刀具使用转速提高 10% ~ 15%;涂层刀具使用过程中未用或少用切削液。

的涂层公司已经将最先进的技术,最好的服务模式引进到中国,并且有些公司还在中国沿海城市建立了涂层加工中心,专门从事 PVD 涂层的服务。

国内刀具涂层技术的发展几乎与欧洲各国同时起步。目前,欧洲刀具涂层的先进水平已发展到第五代水平,而国内基本上还停留在第二代的水平。其原因是欧洲的各涂层公司采取的方针是:建立多方联合开发体系,强强合作,并坚持自己的特色,紧随市场需求,不断开发新技术、新产品,逐步满足市场需要;国内刀

学、西北工业大学等研发实力雄厚的科研院所,联合国内涂层设备制造业著名的北京实力源科技开发公司,自主开发出全自动控制磁控溅射-多弧离子沉积成套设备,其性能指标接近于国际水平,同时开发出针对不同工况下的系列纳米级涂层工艺技术。

这些技术已经在西安航空发动机公司、西安飞机国际航空制造股份有限公司、陕西鼓风机动力股份公司、一拖(洛阳)汇德工装有限公司、包头第一机械制造厂等企业广泛应用,并产生了明显的经济效益和社会

效益。