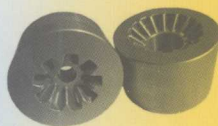
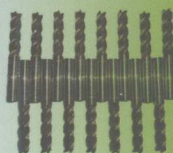


现代PVD表面工程 技术及应用

张而耕 吴 雁 编著



科学出版社

013066601

TG174. 42
04

现代 PVD 表面工程技术及应用

张而耕 吴雁 编著

航空航大

科学出版社

北京



北航

C1673420

内 容 简 介

本书系统全面地阐述了 PVD (物理气相沉积) 涂层的发展历史、技术原理、工艺流程及工程应用。全书共 7 章, 内容包括: PVD 涂层的研究进展、PVD 技术原理、PVD 涂层技术工艺、PVD 涂层的结构与性能、PVD 涂层的化学成分控制、PVD 涂层的质量控制, 以及 PVD 涂层在现代工业上的应用。本书叙述深入浅出, 内容丰富而精炼, 工程实践性强, 在强化理论的同时, 重点突出了工程应用。

本书作为国内为数不多的介绍现代 PVD 技术原理与工程应用方面的著作, 可用作高等工科院校机械工程类、工程材料类、表面工程类及相关制造类专业的本科生和研究生教材, 也是工程技术人员和相关学科的科研工作者及大中专学生、研究生的重要参考资料, 特别是对于从事实际生产工作的工程技术人员具有重要的指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

现代 PVD 表面工程技术及应用/张而耕, 吴雁编著. —北京: 科学出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-03-037714-2

I. ①现… II. ①张…②吴… III. ①气相沉积涂层 IV. ①TG174.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 121014 号

责任编辑: 李岚峰 张丽花/责任校对: 鲁 素

责任印制: 闫 磊/封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2013 年 6 月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 232 000

定价: 46.00 元

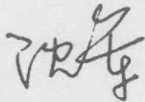
(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

物理气相沉积 (Physical Vapor Deposition, PVD) 是一种在真空条件下采用物理方法, 将固体或液体材料表面气化成气态原子、分子或部分电离成离子, 并通过低压气体 (或等离子体) 过程, 在基体表面沉积具有某种特殊功能薄膜的技术。物理气相沉积的主要方法包括真空蒸镀、溅射镀膜、电弧等离子体镀、离子镀、电子束蒸镀及分子束外延等。物理气相沉积技术不仅可以沉积金属膜、合金膜, 还可以沉积化合物、陶瓷、半导体、聚合物膜等, 是具有广泛应用前景的新材料制造技术。采用此技术制备的超硬薄膜不仅具有超高硬度, 且超薄、耐高温、无污染、几乎零排放, 适合于工具、零件和摩擦磨损件表面的耐磨损、抗氧化、防腐蚀、自润滑等特殊性能要求, 是现代表面工程技术中最有发展前途和应用价值的一种技术。物理气相沉积技术在国内外虽有大量研究和应用, 但是系统地阐述其原理、工艺和应用案例方面的著作少之又少。张而耕等研究人员结合长期对物理气相沉积技术的认识和实践, 编写了这本《现代 PVD 表面工程技术及应用》。该书从理论及应用实践角度出发, 系统地论述了物理气相沉积的原理基础、工艺过程、检测方法、应用案例和发展前景, 是工程技术人员和相关学科的科研工作者及大中专学生、研究生的重要参考资料, 对于普及、传播和应用物理气相沉积技术具有重要的推动作用。

该书在编写过程中力求简化抽象的理论, 言简意赅, 深入浅出, 采用了大量的实物图片来说明问题, 将理论和实践生动、紧密地结合起来。更为可贵的是, 该书重点突出了工程应用这一主题, 所以对于指导生产实际具有重要的参考价值。

国家杰出青年科学基金获得者, 同济大学教授



2013 年 5 月于上海

前 言

PVD(物理气相沉积)技术出现于20世纪70年代末,该技术制备的薄膜具有硬度高、摩擦系数低、耐磨性和化学稳定性好等优点。其最初在高速钢刀具领域的成功应用引起了世界各国制造业的高度重视,人们在开发高性能、高可靠性涂层设备的同时,也在硬质合金、陶瓷类刀具中进行了更加深入的涂层应用研究。与CVD(化学气相沉积)工艺相比,PVD工艺处理温度低,在600℃以下时对刀具材料的抗弯强度无影响;薄膜内部应力状态为压应力,更适于对硬质合金精密复杂刀具的涂层处理;PVD工艺对环境无不利影响,符合现代绿色制造的发展方向,是典型的无污染、零排放技术。随着现代工业发展与环境保护之间的矛盾越来越突出,人们对产品的质量和服役寿命提出了更高的要求,PVD表面工程技术正是在这一背景下应运而生的。它具有传统表面处理(如电镀、化学镀、热浸镀、热喷涂等)无可比拟的优点——超硬、超薄、自润滑、耐高温、无污染等,这些特点决定了PVD技术是现在和未来表面加工处理的主要技术之一。

PVD表面工程处理技术不仅可用于刀具、模具和摩擦磨损件表面的加硬、润滑和耐磨处理,未来还可用于汽车零部件、机械零件及航空航天等零件的表面处理,并且对零部件的表面耐磨损、抗腐蚀、自润滑产生无可替代的作用,是减少汽车污染、降低能耗的主要环保技术。

国外对这一技术的应用已经比较多,而国内相比于国外,在这一技术方面的差距至少为10年。同时迄今还没有一本系统介绍这一技术的著作,也没有相关的参考标准,很多涂层制造和检测标准都来自欧洲。由于作者从事该行业多年,参与了多项有关PVD表面工程技术的应用和研发工作,所以对这一技术的价值及应用前景具有深刻的理解,并由此产生了编著本书的想法。希望本书对指导工程技术人员开发和应用PVD技术、并对拓展大中专学生及研究生对先进制造技术的理解和运用能够发挥一定的作用。

全书共7章。第1章总体介绍PVD技术的现状、发展及研究情况;第2章主要介绍PVD技术的原理、各类PVD技术的组成、分类及其应用领域;第3章主要介绍PVD技术的工艺过程,包括前处理、涂层及后处理工序,也阐述了制备品质优良的表面涂层的方法;第4章主要从微观领域介绍PVD涂层作为一种新材料的结构特点、组成及影响其性能的因素;第5章介绍生产过程中如何制备性能各异和不同应用范围的涂层;第6章介绍PVD涂层的各种检

测手段,确保生产出合格涂层产品;第7章介绍PVD涂层的工程应用,阐述这一技术的应用价值,其中很多案例来自作者的亲身经历。

本书力求反映当前新材料和制造领域的先进技术、先进理念及其应用,在编写上具有如下特点。

(1) 理论与应用实践紧密结合。本书注重阐述PVD先进技术理念,结合科学理论与工程实践,提供大量的案例以及实物图片,使读者易于理解和领会。

(2) 生产实际和工程技术相结合。本书所阐述的内容基本上都是在生产实践的基础上进行概括和浓缩的结果,并把抽象的科学理论与工程技术相结合,便于读者在实践中掌握和应用。

(3) 系统性和前瞻性相结合。PVD先进技术与其他科学技术一样是不断发展的,作者在本书中阐述了现代PVD表面技术的应用,也展望了其在未来的应用领域,对于读者开阔视野、不局限于一本书的范畴具有重要的意义,同时也鼓励读者勇于创新、开拓具有美好前景及重要价值的PVD工程应用领域。

(4) 通俗易懂。本书既考虑了对这一技术非常了解的工程技术人员的技能需求,同时也通过大量的现场照片展示了生产的实际过程,对于不懂这一技术的初学者也具有循序渐进的引导作用。

本书第1~3章、第6、7章由上海应用技术学院张而耕博士编写;第4、5章由马来西亚Stev Chuah先生编写;上海名古屋精密工具股份有限公司技术开发担当孙思叡协助编写第4~7章并提供了大量的实物图片;上海高罗输送装备有限公司的任英广总经理审阅了本书,并提出了宝贵的修改意见;全书由上海应用技术学院吴雁博士统稿。

本书在编著过程中得到了上海应用技术学院张锁怀教授的大力支持和帮助,华东理工大学王志文教授和上海应用技术学院的张东民教授、付泽民博士也提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!同时也感谢研究生张体波、周铿为本书出版所付出的努力!

由于时间仓促,再加上作者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2013年3月

目 录

序

前言

第1章 PVD 涂层的研究进展	1
1.1 PVD 涂层技术概述	6
1.1.1 真空涂层技术的发展	6
1.1.2 PVD 涂层的基本概念及其特点	7
1.1.3 现代涂层设备	8
1.2 PVD 涂层技术的研究概述	11
1.2.1 硬质合金涂层的特点	12
1.2.2 硬质合金的涂层方法	12
1.2.3 高温化学气相沉积涂层	12
1.2.4 物理气相沉积涂层	13
1.2.5 等离子化学气相沉积涂层	13
1.2.6 中温化学气相沉积涂层	14
1.2.7 离子辅助物理气相沉积涂层	14
1.2.8 涂层硬质合金的种类	15
第2章 PVD 技术原理	19
2.1 PVD 涉及的真空基础与概论	19
2.1.1 真空概念	19
2.1.2 真空区域的划分	19
2.1.3 与 PVD 相关的低温等离子体概述	20
2.1.4 真空获得与抽气概念	21
2.1.5 PVD 与水电镀的比较	23
2.2 蒸镀技术	23
2.2.1 真空蒸发的原理	23
2.2.2 真空蒸发的优缺点	24
2.2.3 真空蒸发镀膜过程	24
2.2.4 饱和蒸汽压相关理论	25
2.2.5 蒸发所需热量和蒸发离子的能量	28
2.2.6 蒸镀的分类	30
2.3 磁控溅射技术	34

2.3.1	溅射镀膜原理	34
2.3.2	直流溅射	38
2.3.3	直流磁控溅射	38
2.3.4	射频溅射	41
2.3.5	脉冲溅射	49
2.4	阴极电弧技术	53
2.4.1	真空阴极弧的发展历程	53
2.4.2	脉冲偏压阴极弧镀膜	57
2.4.3	阴极电弧制备薄膜的应用	59
2.4.4	阴极电弧等离子体沉积技术的优点及特性	60
2.4.5	阴极电弧等离子体沉积技术	63
2.5	不同涂层技术之间的比较	64
第 3 章	PVD 涂层工艺技术	65
3.1	PVD 涂层的前处理工艺	66
3.1.1	清洗	66
3.1.2	去毛刺	71
3.1.3	喷砂	72
3.1.4	抛光	79
3.2	PVD 涂层的制造工艺	82
3.3	PVD 涂层的后处理工艺	84
3.4	PVD 涂层的退涂层工艺	86
第 4 章	PVD 涂层的结构与性能	88
4.1	气相沉积技术概述	88
4.1.1	气相沉积技术及其分类	88
4.1.2	PVD 和 CVD 的技术特性比较	89
4.1.3	PVD 涂层的发展趋势	89
4.2	PVD 涂层的组织结构	91
4.2.1	涂层的组织形貌	91
4.2.2	涂层的晶体结构	92
4.3	PVD 涂层的物理性能	95
4.3.1	涂层的硬度	95
4.3.2	涂层的结合力	95
4.3.3	涂层的内应力	96
4.3.4	涂层的抗弯强度	96
4.3.5	涂层的断裂韧性	97
4.3.6	涂层的摩擦磨损性能	98

4.4	PVD 涂层的化学性能	99
4.4.1	不同涂层试样的氧化动力学分析	99
4.4.2	不同涂层试样氧化后的组织形貌分析	101
第 5 章	PVD 涂层的化学成分控制	103
5.1	PVD 涂层的靶材选择	103
5.1.1	靶材的分类和形状	103
5.1.2	靶材的性能与要求	106
5.1.3	靶材的制造工艺	106
5.1.4	靶材的利用率	107
5.1.5	靶材的选择注意事项	110
5.1.6	钛铝靶材制造及应用	110
5.1.7	新靶材应用: 铬硅、钛硅、钛铝硅靶	111
5.2	PVD 涂层的主要设备	111
5.2.1	真空蒸发镀膜原理	111
5.2.2	PVD 电弧离子镀膜原理	112
5.2.3	PVD 磁控溅射原理	112
5.2.4	PVD 镀膜设备组成	114
5.3	PVD 的微纳化	117
5.3.1	纳米涂层的优点	117
5.3.2	PVD 制备纳米涂层	118
5.3.3	纳米涂层未来需要解决的问题	119
第 6 章	PVD 涂层的质量控制	120
6.1	PVD 涂层的外观检验	120
6.1.1	剥落	120
6.1.2	色差	120
6.2	涂层厚度与检测	121
6.2.1	涂层厚度的定义	121
6.2.2	PVD 涂层的厚度检验	121
6.3	PVD 涂层的结合力检验	124
6.3.1	划痕测试法	125
6.3.2	压痕测试法	125
6.3.3	球痕测试法	128
6.4	PVD 涂层的硬度检验	128
6.4.1	维氏硬度	128
6.4.2	努氏硬度	129
6.4.3	维氏硬度与努氏硬度比较	130

6.5	PVD 涂层的内应力与测量	131
6.5.1	应力简介	131
6.5.2	应力测试方法	131
6.6	PVD 涂层的微观特性评价与检测	132
6.6.1	涂层成分	133
6.6.2	晶体结构	133
6.6.3	组织形貌	134
6.7	涂层的耐磨性测试	135
6.8	涂层的耐蚀性测试	136
6.9	涂层的热耐疲劳测试	138
第 7 章	PVD 涂层在现代工业上的应用	139
7.1	PVD 涂层在冲压/成型模具上的应用	141
7.1.1	冲压模具	142
7.1.2	成型模具	143
7.1.3	案例	144
7.2	PVD 涂层在铝合金压铸模具上的应用	144
7.2.1	铝合金压铸模的失效模式及分析	144
7.2.2	铝合金压铸模具表面 PVD 涂层处理	147
7.2.3	案例	148
7.3	PVD 涂层在注塑模具上的应用	148
7.3.1	注塑模具遇到的问题	148
7.3.2	注塑模具的分类处理	150
7.3.3	注塑模具应该具备的性能	151
7.3.4	案例	152
7.4	PVD 涂层在现代切削刀具上的应用	153
7.4.1	现代金属切削对刀具的要求	153
7.4.2	刀具硬质涂层新材料	155
7.4.3	提高涂层刀具使用效果的方法	159
7.4.4	案例	160
7.5	PVD 涂层在摩擦磨损件上的应用	160
7.5.1	机械零部件的摩擦和磨损	160
7.5.2	类金刚石涂层在机械零部件上的应用	163
7.6	PVD 涂层应用展望	167
参考文献		168

第 1 章 PVD 涂层的研究进展

PVD 是英文 Physical Vapor Deposition 的缩写形式，意思是物理气相沉积。现在一般把真空蒸镀、溅射镀膜、离子镀等都称为物理气相沉积，它是现代表面工程一种重要而又实用的先进技术。表面工程是将机械制造和新材料结合的绿色应用技术，是先进制造技术和纳米材料的一个分支。表面工程中的 PVD 涂层技术是目前应用最广同时也是最有价值的一类表面技术，涉及新材料、制造、模具成形、注塑、汽车零部件、控制等应用领域。

物理气相沉积（PVD）是一种表面处理的标准化称谓。从高精密加工刀具（见图 1-1）、装饰件、高要求机械零部件（见图 1-2）到各类模具（见图 1-3）等都具有很广泛的用途，它是一种真正能够获得微米级涂层且无污染的环保型表面处理方法，且在不影响工件原来尺寸的情况下，PVD 膜可用来改善表面的外观，提高表面的强度，增强耐磨性，而且具有很好的导热、防腐蚀、自润滑及抗刮擦的能力。

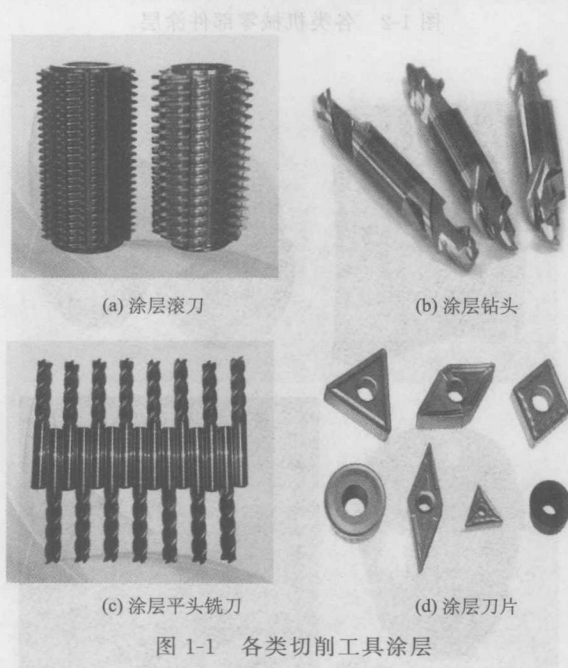


图 1-1 各类切削工具涂层

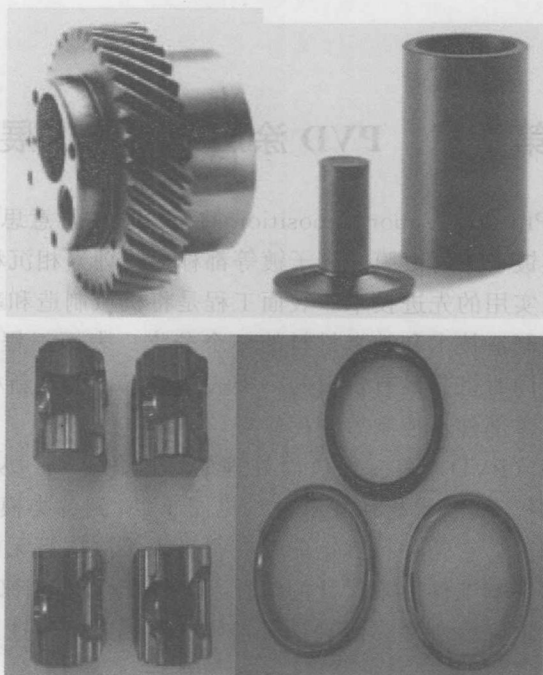


图 1-2 各类机械零部件涂层

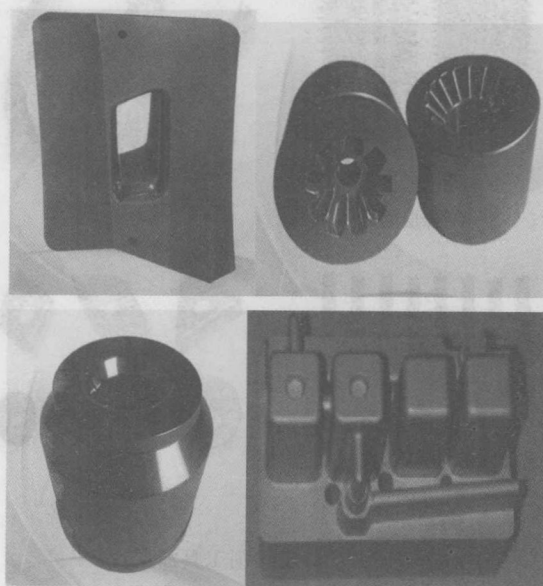


图 1-3 各类模具涂层

PVD 技术出现于 20 世纪 70 年代末,其工艺处理温度可控制在 500°C 以下,因此可作为最终处理工艺用于各类机加工刀具(包括齿轮滚刀、拉刀、钻头、铣刀、铰刀、焊接刀具、丝锥等)、各类成型模具(包括汽车零部件成型模具、塑胶模具、铝合金压铸模具等)和摩擦磨损件(包括各种需要配合的摩擦副如电喷装置中的柱塞、无油轴承等)。由于采用 PVD 工艺可大幅度提高刀具、模具和摩擦磨损件的性能,所以该技术自 80 年代以来得到了迅速推广。

PVD 技术中,真空蒸镀技术出现较早,但由于其膜与基体的结合力不高,多用于装饰和半导体元件,而难于用于工具。1963 年,美国 Sandia 公司的 D. M. Matton 首先提出离子镀 (ion plating) 技术,并于 1976 年获得美国专利。两年后,美国 IBM 公司研制出射频溅射法,这样离子镀、溅射镀与蒸镀构成了 PVD 的 3 大系列。目前发展最为迅速的是前两种技术。PVD 涂层技术分类方法比较多,图 1-4 所示为一种分类方法。

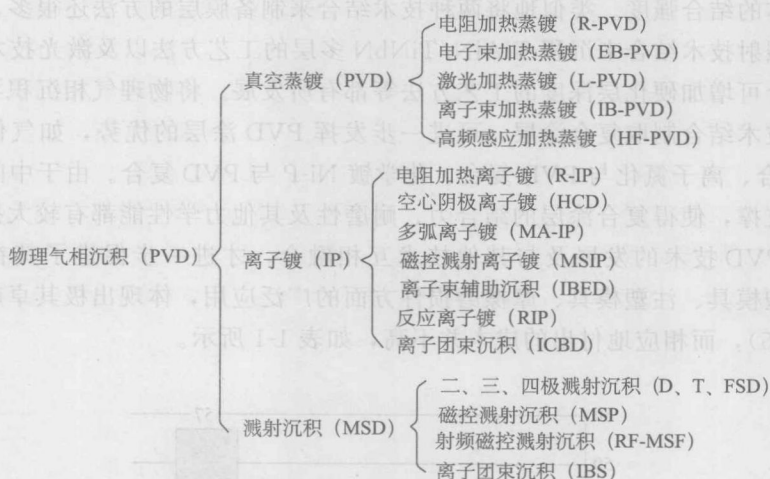
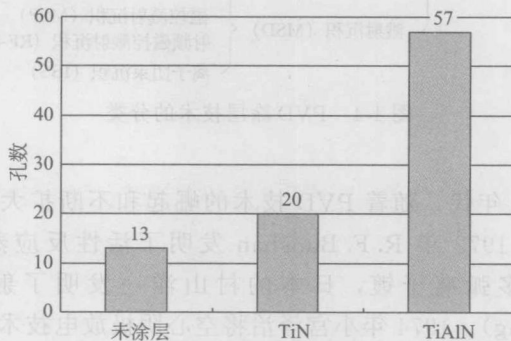


图 1-4 PVD 涂层技术的分类

20 世纪 70~80 年代,随着 PVD 技术的崛起和不断扩大应用,使得表面涂层技术全面繁荣。1972 年 R. F. Bunshan 发明了活性反应蒸镀技术 (ARE); 1973 年美国推出多弧离子镀,日本的村山洋一发明了射频离子镀 (radio frequency ion plating)。1974 年小宫泽治将空心阴极放电技术用于离子镀形成了目前广泛应用的空心阴极离子镀 (HCD)。随后又相继推出了磁控溅射离子镀、活性反应离子镀、集团束离子镀、冷电弧离子镀等。同一时期相应地溅射技术也得到迅速发展,先后出现了二极、三极、四极溅射,平面靶、同轴靶、对靶、磁控溅射和射频溅射等技术。80 年代还产生了将辉光放电与化学气相沉积相结合

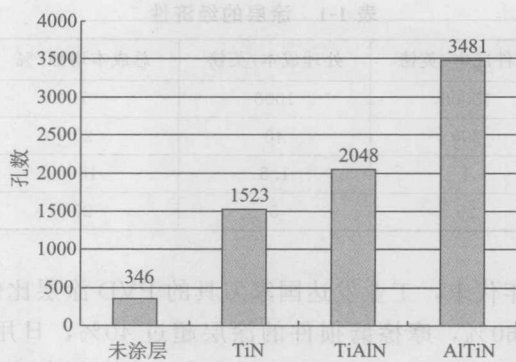
的等离子体化学气相沉积技术 (plasma-chemical vapor deposition, PCVD)。它具有 PVD 的低温性和 CVD 易于调整化学成分与结构的性能, 但存在的主要问题是真空度低, 涂层杂质含量 (主要是 Cl、O) 较高, 硬度低, 沉积速率过快, 涂层柱状晶严重并存在空洞等缺陷, 目前还处于发展阶段。

20 世纪 90 年代国际上对物理气相沉积 TiN 的基础研究日益重视和深入, 涂层由 TiN 二元单层向多元涂层如 Ti-B-N、(Ti, B)-(C, N) 和多层涂层如 TiC+TiCN+TiN 多层、Ti/TiN 多层和超点阵涂层以致复合涂层技术方向发展。利用各种涂层的优势互补, 大大提高了 PVD 涂层的性能。PVD 技术与其他表面强化技术融合可形成各种新的技术。比较有代表性的有将离子注入与气相沉积镀膜相结合的离子束辅助增强沉积 (ion beam assisted deposition), 兼有两种工艺的优点。由于在气相沉积的同时, 用具有一定能量的离子束轰击正在沉积生长的膜层物质, 使膜与基体材料的原子相混合, 界面原子相互渗透溶为一体, 大大改善了膜与基体的结合强度。类似地将两种技术结合起来制备膜层的方法还很多, 如将离子镀和溅射技术结合起来沉积 TiAlN/TiNbN 多层的工艺方法以及激光技术与气相沉积结合可增加硬化层深度的工艺方法等都有所发展。将物理气相沉积与其他表面强化技术结合制取复合涂层, 可进一步发挥 PVD 涂层的优势, 如气体氮化与 PVD 复合、离子氮化与 PVD 复合、化学镀 Ni-P 与 PVD 复合。由于中间过渡层的有力支撑, 使得复合涂层的结合力、耐磨性及其他力学性能都有较大提高。正是由于 PVD 技术的发展及与其他技术互相融合, 才进一步促进了其在切削工具、成型模具、注塑模具、摩擦磨损件方面的广泛应用, 体现出极其卓越的性能 (见图 1-5), 而相应地付出的成本并不高, 如表 1-1 所示。

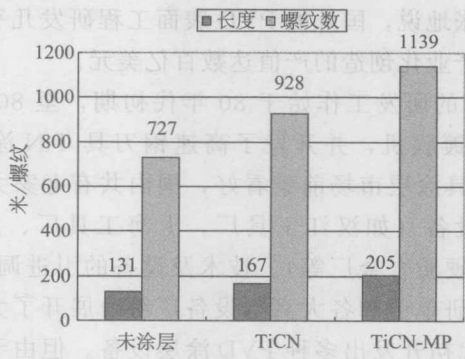


(a) 铰刀的使用寿命比较

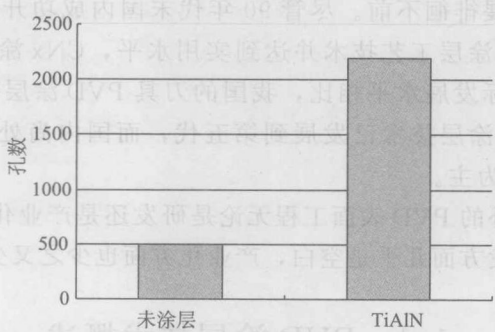
(工具: $d=6.2\text{mm}$ —高速钢— $v_c=70\text{m/min}$ — $f=0.35\text{mm/r}$ — $a_p=32\text{mm}$ —5%乳化液; 材料: 1.2379)



(b) 钻头干切削45号钢
(工具: 硬质合金钻头- $d=6.8\text{mm}$ - $v_c=80\text{m/min}$ - $f=0.15\text{mm/r}$ - $a_p=30\text{mm}$ -干式; 材料: 45)



(c) 攻丝涂层比较
(工具: $M12-a_p=18\text{mm}$ -6%乳化液; 材料: HT200)



(d) 钻头涂层的比较
(工具: 硬质合金- $d=8/24\text{mm}$ - $m=1$ - $a_c=10\text{mm}$ - $v_c=138\text{m/min}$ -5%乳化液; 材料: 20CrMnTi)

图 1-5 工具涂层后性能比较

表 1-1 涂层经济性

工件	零件成本/英镑	处理成本/英镑	总成本增加/%	工具寿命增加/%
塑料模具	15000	1000	7.000	50
滚刀 ($\phi 100$)	200	40	20.000	500
钻头 ($\phi 6$)	1	1.5	150.000	750
重磨钻头	25	5	20.000	750

至 20 世纪 90 年代末,工业发达国家刀具的 PVD 涂层比例已超过 80%,模具的涂层比例超过 60%,摩擦磨损件的涂层超过 40%,日用装饰件(如手表、餐具、水龙头等)涂层超过 70%。国外部分大企业如巴尔查斯、爱恩邦德等已经建立了大型的研发中心和以企业化运作的涂层中心。现在国外在先进 PVD 表面涂层研发方面已经涉及工具、摩擦磨损件、汽车零部件、防腐装饰件、光学元件等行业。可以毫不夸张地说,国外的 PVD 表面工程研发几乎包括了所有的工业生产部门,每年因为产业化创造的产值达数百亿美元。

我国 PVD 涂层技术的研发工作始于 80 年代初期,至 80 年代中期研制成功中小型空心阴极离子镀膜机,并开发了高速钢刀具 TiN 涂层工艺技术。在此期间,由于对切削刀具涂层市场前景看好,国内共有七家大型工具厂从国外引进了大型 PVD 涂层设备(如汉江工具厂、上海工具厂、成都工具研究所、株洲刀具厂、陕西航空硬质合金厂等)。技术及设备的引进调动了国内 PVD 技术的开发热潮,许多科研单位和各大真空设备厂纷纷展开了大型离子镀膜机的研制工作,并于 90 年代初开发出多种 PVD 涂层设备。但由于多数设备性能指标不高,无法保证刀具涂层质量,同时预期的市场经济效益未能实现,因此大多数企业未对 PVD 刀具涂层技术作进一步深入研究,导致近 10 年国内 PVD 刀具涂层技术的发展徘徊不前。尽管 90 年代末国内成功开发出硬质合金 TiN-TiCN-TiN 多元复合涂层工艺技术并达到实用水平,CNx 涂层技术的研发也有重大突破,但与国际发展水平相比,我国的刀具 PVD 涂层技术仍落后至少 10 年。目前国际 PVD 涂层技术已发展到第五代,而国内尚处于第二代水平,且仍以单层 TiN 涂层为主。

总体上说,国外的 PVD 表面工程无论是研发还是产业化远远走在了我国的前面,而我国在研发方面几乎是空白,产业化方面也少之又少。

1.1 PVD 涂层技术概述

1.1.1 真空涂层技术的发展

真空涂层技术起步时间不长,国际上在 20 世纪 60 年代才出现将 CVD (化

学气相沉积)技术应用于硬质合金刀具上。由于该技术需在高温下进行(工艺温度高于 1000°C),涂层种类单一,局限性很大,所以其发展初期未免差强人意。直到20世纪70年代末,开始出现PVD(物理气相沉积)技术,为真空涂层开创了一个充满灿烂前景的新天地。之后在短短的二三十年间PVD涂层技术得到迅猛发展,其原因也比较多,首先是其在真空密封的腔体内成膜,几乎无任何环境污染问题,有利于环保;其次是其能得到光亮、华贵的表面,在颜色上,成熟的有七彩色、银色、透明色、金黄色、黑色以及由金黄色到黑色之间的任何一种颜色,可谓五彩缤纷,能够满足装饰性的各种需要;再次是PVD技术可以轻松得到其他方法难以获得的高硬度、高耐磨性的陶瓷涂层、复合涂层,应用在工装、模具上,可以使寿命成倍提高,较好地实现了低成本、高收益的效果;最后是PVD涂层技术具有低温、高能两个特点,几乎可以在任何基材上成膜。因此,应用范围十分广阔,所以其发展神速也就不足为奇。

真空涂层技术发展到了今天还出现了PCVD(物理化学气相沉积)、MT-CVD(中温化学气相沉积)等新技术,各种涂层设备、各种涂层工艺层出不穷。如今在这一领域中,已呈现出百花齐放,百家争鸣的喜人景象。与此同时,还应该清醒地看到,真空涂层技术的发展又是严重不平衡的。由于刀具、模具的工作环境极其恶劣,对薄膜附着力的要求远高于装饰涂层。因此,尽管装饰涂层的厂家已遍布各地,但能够生产工具、模具涂层的厂家并不多。再加上刀具、模具涂层售后服务的欠缺,到目前为止,国内大多数涂层设备厂家都不能提供完整的刀具涂层工艺技术(包括前处理工艺、涂层工艺、涂层后处理工艺、检测技术、涂层刀具和模具的应用技术等),而且它还要求工艺技术人员,除了精通涂层的专业知识,还应具有扎实的金属材料与热处理知识、工模涂层前表面预处理知识,刀具、模具涂层的合理选择以及实践应用的技术要求等。如果任一环节出现问题,都会给使用者产生使用效果不理想的结论。所有这些,都严重制约了该技术在刀具、模具以及现代工业上的应用。

另一方面,由于该技术是一门介于材料学、物理学、电子、化学等学科的新兴边缘学科,而国内将其应用于刀具、模具生产领域内的为数不多的几个骨干厂家,大多走的也是一条从国外引进先进设备和工艺技术的路子,尚需一个消化、吸收的过程。因此,国内目前在该技术领域的技术力量与其发展很不相称,急需奋起直追。

1.1.2 PVD涂层的基本概念及其特点

较为成熟的PVD方法主要有多弧镀与磁控溅射镀两种方式。多弧镀设备结构简单,容易操作。它的离子蒸发源靠电焊机电源供电即可工作,其引弧的过程也与电焊类似。具体地说,在一定工艺气压下,引弧针与蒸发离子源短暂接触、