

## 经验交流

## 模具 PVD 涂层值得关注的几个问题

张而耕, 孔令超

(上海应用技术学院 机械与自动化工程学院, 上海 200233)

**[摘要]** PVD 涂层近年来在模具行业的应用越来越多, 涂层时必须考虑使用条件、模具材料、热处理工艺等因素。根据多年涂层行业的工作经验, 认为保证模具涂层后基体仍具有高的硬度至关重要, 归纳了拉伸模具、剪切模具、铝合金压铸模具和汽车冷锻模具等涂层时应该注意的关键技术问题。

**[关键词]** PVD 涂层; 模具; 表面处理; 表面强化; 热处理

**[中图分类号]** TG174.444

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1001-3660(2010)04-0110-03

## Several Notable Problems from Mould with PVD Coating

ZHANG Er-geng, KONG Ling-chao

(School of Mechanical and Automation Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200233, China)

**[Abstract]** Recently PVD coating is more and more used at mould trade, and it is noted that selection of coating must be combined to operation procedure, mould material and heat treatment process etc. After many years' work experience, author considers that it is important to ensure the plated mould has high hardness and states the problems from making coating on tensile mould, shearing mould, aluminium alloy die-casting mould and car chill mould.

**[Key words]** PVD coating; mould; surface treatment; surface intensification; heat treatment

随着现代化工业的发展,越来越多的产品需要模具加工,模具工业已成为工业发展的基础<sup>[1]</sup>。近几年,我国模具工业一直以每年增长 15%左右的速度快速发展,在世界模具产值中所占的比例显著提高<sup>[2]</sup>。模具 80%以上的失效是因为表面损伤,由于模具在承受外力时表面受力最复杂,零件结构及服役条件等因素引起的应力大多集中在表面,使表面比心部处于更严酷的工作条件下,从而导致模具表面早期破坏。此外,模具表面和心部的性能要求是不同的,很难通过材料本身或模具的整体热处理来实现<sup>[3]</sup>。采用表面 PVD (Physical Vapor Deposition) 涂层能大幅度地改善和提高模具的表面性能,如硬度、耐磨性、抗摩擦性、耐腐蚀性等,提高模具型腔表面抗擦伤、抗咬合等特殊性能<sup>[4-5]</sup>。PVD 涂层(见图 1)已经成为绝大多数模具提高寿命和效率不可缺少的手段,并广泛应用于拉伸模具、剪切模具、铝合金压铸模具和汽车冷锻模具几个方

面,应用效果良好。受模具材料的复杂性、工业生产的多样性和生产工况的不同性等因素的影响,进行涂层时必须考虑模具材料、热处理、被加工材料、成型方式等不同情况,否则经常会出现模具涂层后性能不好,甚至比不涂层时更差的情况,不仅造成资源浪费,还可能限制这一技术的发展。笔者在该行业工作多年,将各种模具进行 PVD 涂层时需注意的关键技术问题进行了总结。

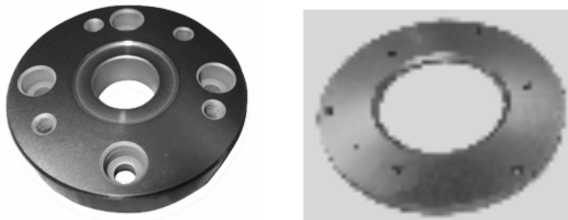


图 1 部分涂层模具

Fig. 1 Part of mould with coating

**[收稿日期]** 2010-03-22; **[修回日期]** 2010-04-11

**[作者简介]** 张而耕(1973—),男,博士,讲师,主要研究方向为表面处理和材料失效分析。

1 PVD 涂层时需注意的问题

1.1 拉伸模具

在成型类模具中,拉伸模具由于存在 R 角,材料的塑性变形相对来说比较容易,模具本身受力也比较

表 1 模具材料常用回火温度及回火后的硬度 HRC

Tab.1 Hardness at and after temper temperature for mould materials

回火温度	Cr12	SKD11, Cr12MoV	DC53, 一胜百 88	SKH-9, SKH-51, M2	SKH-55, M35	SKH-59, M42
200 ℃	60~61	60~61				
500~520 ℃	56	57~58	62			
560 ℃ 以上				63	64~65	66~67

一般情况下,模具经淬火并回火后,基体的硬度就已经确定,但如果还要进行 PVD 涂层,情况就大不一样了。PVD 涂层时的加热温度为 450~480 ℃,由表 1 可知,某些材料会采用低温(200 ℃)回火,若再在 450~480 ℃ 进行 PVD 涂层,则基体被退火,硬度降低,还有可能导致基体变形。模具基体硬度降低带来的后果是相当严重的,因为即使涂层再硬,表面润滑性再好,也只是基体表面薄薄的一层,如果没有强有力的基体支撑,在受到较大的力后,基体首先破坏,涂层也就开裂剥落,起不到耐磨、润滑作用,宏观表现就是涂层后效果不好,甚至比不涂层更差。

对于成型板材是厚度小于 3 mm 的冷轧板(或热轧板)的情况,建议模具材料选用 SKD11,Cr12MoV,DC53 和一胜百 88 或高速钢类材料,且 SKD11 和 Cr12MoV 类材料应在 500 ℃ 以上进行回火。涂层后,模具基体硬度约在 57HRC 以上,涂层模具的使用效果比较理想。

对于厚度大于 3 mm 的板材,要求模具涂层后至少要保证基体硬度在 60HRC 以上,对照表 1,只能选择 DC53 和一胜百 88 或高速钢类材料。

对于拉伸深度超过 50 mm 的模具,由于凹凸模相互运动行程加长,板材变形阻力加大,导致模具磨损加剧。这种情况下,必须保证涂层之后基体硬度在 60HRC 以上,因此只能选择 DC53 和一胜百 88 或高速钢类材料。

对于拉伸不锈钢类材料的模具,无论不锈钢板材的厚度是多少,必须保证模具涂层后基体硬度仍然在 60HRC 以上。这是因为不锈钢的强韧性非常好,要使其产生塑性变形并成型,凹凸模具的配合间隙要非常小,模具受到的摩擦磨损也相应增强,所以需要更强有力的基体来支撑涂层,才能起到很好的效果。

拉伸类模具涂层选择的范围比较宽,根据不同的工艺条件可以选择 TiN,TiCN,TiAlN+DLC 等涂层。

小,R 角的大小、模具本身的硬度、拉伸深度、被加工材料的类型和板厚是影响成型效果和模具寿命的主要因素。模具涂层时,必须考虑零件材料类型、板厚、模具材料硬度、热处理工艺以及模具涂层后的硬度。表 1 是目前工厂常用模具材料通常采用的回火温度及回火后的硬度。

1.2 剪切类模具

剪切类模具主要利用锋利的刃口来切断金属。根据经验,对于较薄的冷轧板(或热轧板),刃口涂层后的硬度应在 60HRC 以上,所以应选择 DC53、一胜百 88 或高速钢类材料。

对于板厚大于 5 mm 的冷轧板或热轧板以及任意厚度的不锈钢,由于剪切力非常大,模具刃口受到的磨损加剧,且模具刃口工作时还会受到冲击载荷的作用,这就需要刃口的耐磨性和强韧性都非常好。建议采用 M42(SKH-59)类的高速钢,经热处理并涂层后,硬度为 66~67HRC,可以保证刃口的锋利度,同时韧性也很好,能够承受冲击载荷的作用,不至于发生崩刃。

对于冲裁小孔类的冲子,直径较小时,建议采用粉末冶金类高速钢,如瑞典一胜百生产的 ASP30,热处理并涂层后,基体硬度能够达到 68HRC,强韧性非常好,可保证冲孔时不会发生断裂。

剪切类模具可以选择 TiN 和 TiCN 等涂层。

1.3 冷镦类模具

冷镦类模具是所有成型类模具中受力环境最为苛刻的一种,这类成型模具生产的零件精度非常高,废料也少。模具工作时受到的挤压力、冲击力都非常大,特别对于变形阻力比较大的不锈钢,还需要加热,因此要求模具具有一定的红硬性。如果模具材料选择不当,涂层之后不仅效果差,甚至还使模具在工作过程中容易开裂。建议这类模具选用 M35(SKH-55),M42(SKH-59)或粉末冶金类高速钢,涂层之后基体硬度为 66~67HRC。

冷镦类模具可以选择 TiN,TiCN,TiAlN+DLC 等涂层。

1.4 铝合金压铸类模具

铝合金压铸模具易出现的最典型问题就是,铝合金对模具材料产生熔融腐蚀,进而造成模具表面龟裂。其次,铝合金的熔化温度约为 680 ℃,在此温度下,Al

原子的活性很高,会逐渐渗透到模具表层,在模具表层形成一个富含 Al 元素的过渡层,这个富含 Al 的过渡层在化学、物理性能方面很接近铝合金,从而使模具容易同铝合金发生粘连,宏观表现就是粘模。Al 元素的渗入还会使模具钢中的合金元素含量发生很大的变化,使得钢的耐热疲劳性能大大下降。此外,在铝合金反复充填、冷却产生的温差应力的作用下,易造成过渡层裂纹,宏观表现就是模具表面发生龟裂。为了防止铝合金对模具造成损害,最好的方法是采用涂层保护。

选择的涂层应具备以下特点:1)能够耐高温;2)化学稳定性高,不会与铝合金发生化学反应;3)非常致密,能阻挡 Al 原子的扩散。在表面 PVD 涂层中,CrN 涂层是理想的选择,它不仅能耐 700 ℃ 的高温,而且化学惰性高,可在模具表面形成非常致密的保护层,从而很好地防止 Al 原子渗透到基体。

模具基体宜选择热作模具钢,如 SKD61, H13 和一胜百 8407 等。

### 1.5 注塑类模具

注塑类模具的情况相对而言比较复杂,因为很多塑料中加入了玻璃纤维,对模具基体的磨损非常厉害,同时有些塑料在熔化时产生的酸性气体对模具基体具有很强的腐蚀性。特别是镜面模具的要求就更高了,模具材料一定要选择镜面不锈钢,如 S136 等。

对于加工没有腐蚀性的塑料,模具表面可以选择

TiN 涂层,而加工有腐蚀性的塑料时只能选择 CrN 涂层。镜面模具进行涂层之前要先镜面抛光,涂层之后,镜面度一般会受到影响,所以还要再次镜面抛光。涂层后抛光时可以选择粒度 2 000 目以上的金刚石研磨膏,轻微抛光即可,力度不能太大,否则会将涂层抛掉。

## 2 结语

对模具进行涂层比较复杂,一定要将板材厚度、基体硬度、热处理工艺、成型方式、涂层类型等情况考虑周全,特殊场合还要考虑腐蚀、镜面度等因素的影响。无论何种情况,都必须掌握一个原则,即涂层之后模具的硬度尽量不要降低,如此才能发挥涂层的最佳效果。

### [参 考 文 献]

- [1] 余维民. 冷冲压模具加工工程中的问题与质量控制[J]. 应用能源技术, 2009, 139(9): 11-13.
- [2] 于影霞, 何柏林, 李力. 国内外模具材料的现状及发展趋势[J]. 材料热处理技术, 2000, 22(2): 45-48, 97.
- [3] 于琳华, 殷秋菊, 林东玲. 表面强化技术在模具中的应用与发展[J]. 热处理技术与装备, 2009, 30(2): 5-8, 17.
- [4] 张涛. 发展涂层技术提高模具寿命[J]. 模具工程, 2004, 43(10): 4-5.
- [5] 高玉魁. 模具的表面强化与涂层改性工艺技术[J]. 金属加工, 2009(9): 17-19.

(上接第 54 页)

序依次为冷轧、精整、平整和退火。这主要是在冷轧过程中冷轧板表面积聚了大量的铁粉、碳粉末和轧制油脂,其表面残留物总量和残铁量都要明显高于其它轧制过程。而在退火过程中,表面积聚的轧制油脂得到燃烧分解,其表面残留物总量要明显小于其它轧制过程<sup>[8]</sup>。在平整和精整过程中,冷轧板表面又要积聚一定量的轧制油脂、铁粉和碳粉末等,其残留物总量和残铁量都要高于退火过程。退火、平整、精整之后的冷轧板表面残铁量相差不大,但残留物总量相差较大,因此主要增加的残留物并非残铁,而是轧制油脂和残碳等。可见,轧制油脂对冷轧板表面清洁度影响较大。

## 3 结论

不同工序的表面形貌相差不大,平整和精整后的表面组织较冷轧和退火略为致密;不同工序的耐蚀性差别不显著,精整后的耐蚀性有所提高;不同工序间的表面清洁度有明显差别,其中冷轧后残留物总量最多。表面残留物构成主要是轧制油脂、残碳等,残铁所占比

例不大。同一工序的不同位置表面残留物含量也略有不同,中间部位的残留物含量略小于操作侧和驱动侧。

### [参 考 文 献]

- [1] 杨响云, 洪运涛, 万承胜, 等. 带钢表面清洁度的探讨[J]. 上海金属, 2007, 29(5): 168-170.
- [2] 邹美平, 钟庆东. 表面污染物对冷轧低碳钢板耐大气腐蚀性能的影响[J]. 腐蚀与防护, 2002, 23(5): 196-198.
- [3] 朱大俊, 邓茜. 冷轧带钢表面清洁度的研究[J]. 轧钢, 2002(1): 10-11.
- [4] 孙斌. 分光光度计主要技术指标及其检测方法[J]. 分析仪器, 2007(1): 53-56.
- [5] 单凯军, 关允. 冷轧轧制后板面残留物测试及讨论[J]. 轧钢, 2001(3): 8-11.
- [6] 夏春兰, 吴田, 刘海宁, 等. 铁极化曲线的测定及应用实验研究[J]. 大学化学, 2003(5): 38-41.
- [7] 曾为民, 赵俊宏, 马玉录. 化学镀 Ni-W-P 工艺及其应用[J]. 材料保护, 2007(7): 36-39.
- [8] 张力. 冷轧板表面清洁度探讨[J]. 天津冶金, 2003(5): 16-18.