

文章编号:1003-7837(2006)03-0197-05

模具的表面强化技术

张 志 彬

(广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510643)

摘 要:介绍了模具制造业中常用的模具表面强化方法及其特点. 主要有改变模具工件表面成分的渗碳、渗氮、渗硼、多元共渗等方法, 被覆法如电镀、化学沉积、物理气相沉积、等离子体化学气相沉积、碳化物被覆、放电表面处理等方法, 不改变模具工作零件表面成分的火焰表面淬火、激光强化处理、表面喷丸强化等方法.

关键词:表面强化; 模具; 寿命

中图分类号: TG174.44

文献标识码: A

随着模具制造业的发展, 对模具性能的要求越来越高, 模具寿命问题日益突出. 常规热处理只能使模具基体获得良好的强韧性, 而表面强化技术能使模具表面具有强度高、硬度高、耐磨、耐蚀、耐热及抗咬合等超强性能, 模具寿命可延长数倍至数十倍.

模具表面强化是指运用表面技术对模具表面进行改性或涂覆镀层. 表面强化技术主要包括离子渗氮、离子注入、高能束表面改性、物理气相沉积、化学气相沉积、热喷涂、电刷镀及化学镀等, 该技术已得到广泛应用. 新兴的稀土、纳米表面工程技术可赋予模具表面具有一些独特的性能, 将促进模具表面技术的进一步发展.

1 改变表面化学成分的强化方法

1.1 渗碳^[1]

渗碳法是为了增加钢件表层的含碳量, 将钢件在渗碳介质中加热并保温, 使碳原子渗入表层的化学热处理方法. 碳原子渗入模具工件表面使模具工件表面的硬度、抗疲劳强度及耐磨性提高. 渗碳后的模具工件表面将获得共析或过共析成分的碳, 再经一定的热处理后可得到马氏体+碳化物组织. 碳

层深度一般为 0.5~2.5mm.

1.2 渗氮

渗氮法是在一定温度下将活性氮原子渗入模具工件表层的化学热处理方法. 渗氮后的工件, 其形变小, 与渗碳法相比具有硬度、抗疲劳强度、耐磨性和抗蚀性高的特点, 其硬度可高达 1000~1200HV. 通常渗氮是在氨气分解气中进行的, 氨气分解可以产生大量活性氮原子.

1.3 渗硼

渗硼法是将金属材料放在含硼的介质中, 经过加热与保温, 使硼元素渗入其表层, 形成硼化物的工艺过程. 渗硼分固体渗硼和液体渗硼. 固体渗硼不需要专用的设备, 操作方便, 但固体渗硼的劳动强度大, 工作条件差及成本高. 液体渗硼的特点是设备简单、用盐资源丰富、成本低及无公害. 在模具渗硼处理中, 广泛使用盐浴液体渗硼. 经渗硼处理后得到的硼化物, 一般由 $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ 双相或 Fe_2B 单相组织组成, 硼化层具有硬度高、高温抗氧化性、红硬性及耐腐蚀、耐磨的特点, 但其脆性大. 渗硼深度一般为 0.03~0.10mm.

1.4 多元共渗

钢的化学热处理不仅可以渗碳、氮、硼等非金属

收稿日期: 2005-08-30

作者简介: 张志彬(1980-), 男, 广东清远人, 硕士.

元素,还可以渗铬、铝、锌等金属元素。当钢件的表面渗入金属元素后,钢的表面形成所渗入金属的合金层,从而可提高抗氧化及抗腐蚀等性能。将工件表层渗入多于一种元素的热处理工艺称为多元共渗法。

当渗入单一元素而不能满足模具寿命的要求时,可考虑多元共渗的方法。多元共渗法对提高模具寿命具有显著的效果。

1.5 离子注入

离子注入法是利用小型的低能离子加速器,先将需注入元素的原子在加速器的离子源中电离成离子,然后通过离子加速器的高压电场将其加速成为高速离子流,再经磁分析器提纯后,离子束强行打入置于靶室中的模具工件表面,引起模具工件表面注入层中的微观结构和宏观性能的变化。整个注入系统处于 $1.33 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 的真空中,以保证离子束在规定的路线前进时不与其它元素的原子发生碰撞。

高能离子束穿透模具工件基体表面后与表面内的原子发生碰撞,在多次交联碰撞、激发电子和离子的过程中,注入的离子失去了原有的能量,最后静止在模具工件基体表面内。在这个过程中将引起模具工件基体表面晶格缺陷或基体表面点阵原子的化学结合,使基体表面发生物理、化学及力学性能的变化,从而有效地提高模具工件表面的硬度、抗疲劳强度及耐磨性、耐腐蚀性等性能。离子注入的深度较浅,约为 $10 \sim 100$ 个原子层,但对基体影响的深度可

达 1 mm 。

2 不改变表面化学成分的强化方法

2.1 火焰表面淬火

火焰表面淬火工艺是利用可燃气体与氧气混合燃烧的火焰所产生的高温,将工件表面加热到淬火温度,随后用水和其它冷却介质急速进行冷却的工艺过程。通过表面淬火处理的工件表面具有很高的硬度和耐磨性,提高了工件的力学性能。火焰表面淬火的优点是模具韧性好、加工工序少、热处理费用低及模具容易焊接修补。火焰表面淬火的缺点:(1)由于火焰表面淬火是手工操作,需目测加工钢材的颜色来确定钢材的温度,因此要求操作者的技术熟练;(2)火焰表面淬火工艺的前提条件是选用合适的模具材料,所选用的材料经火焰表面淬火后要满足模具的力学性能,并保证使用寿命。对结构复杂、寿命要求很高的模具不适宜采用火焰表面淬火工艺。

2.2 激光强化处理

激光表面强化是指一定功率密度的激光束,以一定的扫描速度照射待处理的模具工件的表面,在很短的时间内使被处理表面由于吸收激光的能量而产生高温,当激光束移开时,被处理表面通过自身向基体传导的散热方式而迅速冷却,从而形成表面强化层,以提高模具的寿命。

表 1 激光强化处理的模具使用寿命^[2]

Table 1 Service life of die treated by laser hardening

模具名称	模具材质	对比工艺	寿命提高倍数
山字型硅钢片冲模	Cr12	淬火+低温回火	0.33
裁纸刀落料模	T10	调质	50 倍(达 300 万冲次)
铝饭盒盖拉深模	45	火焰淬火	6~9 倍
拉深凸模	T8A	调质	4~6 倍(达 14 万件)

当激光照射金属表面时,在瞬间($105 \sim 106^\circ \text{C/s}$)即可把金属表面层加热到很高的温度,使其发生相变或熔化。由于加热时间极短,致使工件表面熔化层或相变层厚度很薄,而基体材料的受热温度又特别低,所以金属表面层的冷却速率很高(约 106°C/s),约为一般淬火冷却速率的 1000 倍。激光强化处理包括激光相变硬化、激光熔化—凝固处理(熔凝处理)及激光表面合金化。

激光表面强化处理可以明显地提高模具工件的耐磨性和抗疲劳强度,从而延长模具寿命(表 1)。由于加热面积小、时间短,因此工件变形很小。

2.3 表面喷丸强化^[3]

模具在使用过程中,经常因表面抗疲劳强度降低而损坏。造成模具表面疲劳的原因有原始缺陷、应力疲劳及疲劳磨损等。研究证明,99.9%的疲劳发生在工件表面。对模具表面进行喷丸处理,能够大

幅度提高模具表面的抗疲劳强度。

喷丸强化的机理是将大量高速运动的弹丸喷射到模具表面,使表面产生极为强烈的塑性变形。这种形变使模具表面产生了一个应力状态及组织结构与基体完全不同的加工硬化层和残余压应力层。由于在压力层上有相当高的表面压应力,能够推迟疲劳破坏,即使在很高的外部应力作用下,也不会产生表面失效。所以,强化层能够显著地提高模具在室温及高温工作环境下的抗疲劳强度,达到提高模具寿命的目的。

3 被覆法

3.1 电镀

电镀法是使用电化学的方法,在金属或非金属制品表面沉积金属或合金层,该法可以镀各种金属镀层。在进行电镀时,将被镀的模具工件与直流电流的负极相连作为镀槽的阴极,要镀覆的金属(镀铬除外)与直流电源的正极相连作为镀槽的阳极,镀槽中含有欲镀覆金属离子的溶液及添加剂。当接通电源时,在镀槽阴极上析出欲镀的金属层。

电刷镀技术是在电镀技术的基础上发展起来的,被镀工件不需放入镀槽中,只需表面与包裹棉套的阳极接触,以形成局部“槽”,并有相对运动,因阳极的面积通常小于被镀工件的表面。

此外,化学镀镍-磷合金是将模具工件放入配制好的溶液中,并加热,使模具工件表面镀覆一层Ni-P合金层。该合金层具有较高的硬度、耐磨性及低的摩擦因数。

3.2 化学气相沉积(CVD)^[4]

CVD法是利用气态物质在固体表面上进行反应,生成固态沉积物的过程,是在高温下利用热能进行热分解和热化合的沉积技术。

CVD法是把一种或几种含有构成薄膜元素的化合物、单质气体通入置有工件的反应室中,借助气相在工件表面上沉积或发生化学反应生成薄膜。该法可以制备各种单质、化合物及不同组分多层薄膜或一些结构不同的薄膜。通过选择不同的气体组成及控制相应的温度、浓度、压力等参数,制备出不同性能的薄膜。

CVD法能够在模具表面沉积TiN, TiC, TiCN, Al₂O₃等硬质膜,提高了模具的耐磨和耐蚀性。该法与其他沉积方法相比,具有设备简单,操作、维护

方便;通过改变原料气及工艺参数可制备性能各异的沉积层;可涂覆有各种复杂形状的槽、沟、孔或盲孔的工件;涂层与基体间结合力强等特点。主要缺点是反应温度较高,沉积速率较低(一般每小时只有几微米到几百微米),局部沉积困难,参加沉积反应的气源和反应后的余气都有一定的毒性等。CVD法适合硬质合金,不适合高速钢。

3.3 物理气相沉积(PVD)

PVD法是在工具钢(高速钢、模具钢)的回火温度下,在金属表面沉积一层硬质膜的方法。该法由真空蒸镀、离子镀及溅射镀三种基本方法组成。PVD法与CVD法所形成涂层的成分相差不大。PVD法镀膜所需温度较低,工件形变不大,但其形成的涂层比CVD法薄,且与基体粘着牢度低。

PVD镀膜技术在国内外刀具产品制造业中已得到广泛的应用,在模具工件表面强化方面中的应用也越来越普遍。PVD法突出的特点是镀膜温度低,约500℃,而且温度还可以进一步降低。虽然镀膜厚度较薄,但能有效地提高模具寿命。其缺点是设备复杂、价格高。国内已有一些厂家采用PVD法强化模具工件表面,使模具寿命得以提高。如YG20硬质合金的录音机磁头外壳拉伸模经PVD法涂覆TiN层后,其寿命从原来的13万次提高到45万次以上,是原来的3倍多;Cr12MoV的油开关精冲模具工件,经常规热处理和PVD处理后,其寿命从原来的1~3万次提高到10万次以上,模具寿命提高了3倍以上^[1]。

3.4 等离子体化学气相沉积(PCVD)

PCVD法是将低气压气体放电的等离子体应用于化学气相沉积中的一项新技术。该法具有CVD法的良好绕镀性和PVD法低温沉积的特点,更适于模具工件的表面强化。

PCVD仍然采用CVD所用的气源,如沉积氮化钛,仍然采用TiCl₄, H₂, N₂。其激发等离子体的方法有直流辉光、射频辉光及微波场。

PCVD法应用在塑料制品的模具上,可使模具寿命提高1~4倍^[1]。

3.5 碳化物镀覆(TD)

TD法是由丰田中央研究所发明的,是用熔盐浸镀法、电解法及粉末法进行扩散表面硬化处理的总称。在实际应用中广泛采用熔盐浸镀法,它可在工件表面形成钒碳化物(VC)、铌碳化物(NbC)及铬

碳化物等超硬涂层。

TD法^[4](外热式硼砂盐浴渗金属技术)应用于模具表面强化方面效果显著。X射线衍射结果表明,经TD法处理获得的渗镀层几乎全由纯碳化物相组成,不受基体中金属元素的影响。渗镀层的硬度明显高于基体的淬火硬度及镀Cr或渗N层的硬度,如VC和TiC镀层的硬度为2900~3800HV,NbC镀层为2400HV,在800℃时,镀层硬度仍可达800HV;其耐磨性比渗N、渗B及镀Cr等高;具有良好的抗热粘结性和很强的抗剥落性。TD法的强化效果与CVD、PCVD等方法相近。但TD法设备简单、操作方便、成本低廉,是一种很有前途的表面

强化技术。主要缺点是熔盐粘度大、流动性差、工件粘盐多、清洗残盐困难及坍塌腐蚀严重,热效率较低等。

TD法在我国模具制造业中的应用还不普遍。10多年前,日本在冲压模具领域中就普遍采用了电镀、CVD和TD处理法,收益很大,但在冷锻模方面普及TD和CVD法要晚2~3年。目前,日本在冷锻凸模、六角形切边凸模、螺钉冷锻模和挤压模等方面已经应用了TD及CVD处理法,然而热锻模还是以氮化和镀铬为主,少部分采用TD处理。采用TD法可使冷锻模具寿命提高数倍或数十倍,见表2。

表2 TD处理法在冷锻模具上的应用实例^[1]

Table 2 Applied example of TD method used in cold teading die

模具	尺寸 D×L/mm	模具材质	加工材料	对比工艺	寿命提高倍数
逆挤凸模	38×135	SKHg	SCM21	SKH9 油淬	20 倍以上
				SKH9 氮化	12 倍以上
顺挤凹模	142×29	SKD11	SCM4	SKD11 油淬	20~30 倍
顺挤凹模	49×45	SKD11	S15C	SKD9 油淬	3500 倍
切边凸模	32	SKD11	SUJ2	SKD11 油淬	3.7~7 倍

3.6 放电表面处理(EDC)^[5]

EDC是以放电加工技术为基础,利用脉冲放电的热作用,使部分电极材料产生移动并堆积(沉积)到所处理工件的表面上,形成硬质覆盖膜的技术。EDC处理法的电极结构为复合结构体,可有效地控制电极消耗,其电极消耗率为一般放电加工的几百倍以上。

CVD及PVD法需要预处理工序,目的是使处理表面活性化,这对表面特性有较大的影响,且对环境有污染。而EDC处理法不需要预处理,处理温度接近常温,可实现局部处理。对于涂覆处理精密冲压金属模及汽车的大型工件等,可大幅度降低成本。

对于某些不能用CVD或PVD法处理及为了降低成本而采用EDC法处理的工件,其使用寿命延长,提高了综合效益。如采用EDC法对材质为粉末高速钢(SKH51)的转塔式冲头、冲头的侧面和底面进行处理后,进行冲裁试验,冲裁的材料为1.2mm厚的钢板。结果表明,未经EDC法处理的冲头的工件平均冲裁为15000~20000次,而经EDC法处理过的冲头工件平均冲裁为85000次,寿命是未处理的4倍。

4 结 语

表面强化技术在模具表面中的应用,在相当程度上弥补了模具材料的性能缺陷。表面强化技术应用于模具表面,可达到如下目的:(1)提高模具表面硬度、耐磨性、耐蚀性和抗高温氧化性能,大幅度提高模具的使用寿命;(2)提高模具表面抗擦伤能力和脱模能力,提高生产率;(3)采用碳素工具钢或低合金钢材质生产的模具,经表面强化处理后,其表面性能可达到或超过高合金化模具材料,甚至达到硬质合金的性能指标。不仅大幅度降低材料成本,而且简化模具制造加工工艺和热处理工艺,降低生产成本;(4)可用于模具的修复。如电刷镀技术可在不拆卸模具的条件下,完成对模具表面的修复,且能保证修复后的模具表面质量。

参考文献:

- [1] 模具实用技术丛书编委会. 模具精饰加工及表面强化技术[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 李金桂. 表面强化技术与模具寿命[J]. 中国表面工程,

- 2001,54(1):2-7.
- [3] 徐滨士. 表面工程与维修[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
- [4] 余际星,华林. 模具表面强化技术的应用与模具寿命
- [J]. 锻压装备与制造技术,2004,(1):64-65.
- [5] 毛吕俊夫. 大幅度地提高金属模、刀具寿命的新技术
- [J]. 国外金属加工,2001,3:46-53.

Surface peening technology of die part

ZHANG Zhi-bin

(*Institute of Materials and Energy Sources, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China*)

Abstract: In this paper the methods for mould surface peening are mainly introduced such as: modifying the surface constituent of the mould work part, including carbonization, nitridation, boriding and multi-elements penetrating; washing cladding materials like electric plating, CVD, PVD, PCVD, TD; non-modifying the surface constituent of the mould work part like flame hardening, laser hardening, shot peening strengthening.

Key words: surface peening; die; life length