

文章编号: 1001-4934(2007)05-0058-05

# 表面处理技术在模具中的应用和发展

王 平<sup>1</sup>, 魏晓伟<sup>2</sup>, 杨 军<sup>1</sup>

(1. 西南石油大学 材料科学与工程学院, 四川 南充 637001)

(2. 西华大学 材料科学与工程学院, 四川 成都 610039)

**摘要:** 简要地概述了表面处理技术在提高模具质量中的作用, 按物理表面处理法、化学表面处理法和表面覆层处理法对模具表面处理技术进行了综述。最后指出了表面处理技术在模具发展中的重要作用。

**关键词:** 模具; 表面处理; 发展

**中图分类号:** TG156

**文献标识码:** B

**Abstract:** Effect of surface treating technology in improving the quality of mould was introduced in brief. The mould surface treating technology was introduced by classification of physics surface treating, chemical surface treating and clad surface treating. Finally, it was pointed out that surface treating technology acted as an important role in mould development.

**Keywords:** mould; surface treating; development

## 0 引言

模具在现代生产中是生产各种工业产品的重要工艺装备。随着社会经济的发展, 特别是汽车、家电工业、航空航天迅猛发展, 对模具工业提出了更高的要求。如何提高模具的质量、使用寿命和降低生产成本成为当前迫切需要解决的问题。表面处理在模具中的应用是提高模具质量和使用寿命, 降低成本的最有效途径。通过采用不同的表面处理技术, 只改变模具表层的成分、组织、性能, 从而大幅度地改善和提高模具的表面性能, 如硬度、耐磨性、摩擦性能、脱模性能、隔热性能、耐腐蚀和高温抗氧化性能、提高型腔表面抗擦伤能力、脱模能力、抗咬合等特殊性能, 数倍、几十倍地

提高模具使用寿命。这对于提高模具质量, 大幅度降低生产成本, 提高生产效率和充分发挥模具材料的潜能都具有重要意义<sup>[1]</sup>。

在模具上使用的表面技术方法多达几十种, 主要可以归纳为物理表面处理法、化学表面处理法和表面覆层处理法。本文综述了模具表面处理中常用的部分表面处理技术。

## 1 物理表面处理法

### 1.1 高频表面淬火<sup>[2]</sup>

高频淬火是把模具置于一个交变磁场中, 模具产生感应电流而被加热。电流频率越高, 电流加热层愈薄。淬火以后, 由于奥氏体化是在较大的过热度下进行的, 因此晶核多, 不

收稿日期: 2007-03-29

作者简介: 王 平 (1981-), 男, 硕士研究生。

易长大, 淬火后组织为细隐晶马氏体。表面硬度高, 比一般淬火提高HRC2-3, 而且脆性较低。显著提高模具的疲劳强度, 小尺寸模具可以提高1-2倍, 大件也可以提高20%-30%。加热温度和淬硬层厚度易控制, 便于实现机械化和自动化, 得到了广泛的应用。但对于形状复杂的模具处理比较困难。

### 1.2 火焰表面淬火

火焰表面淬火是用乙炔-氧或煤气-氧等火焰加热模具表面。火焰温度很高(3 000 °C以上), 能将工件表面迅速加热到淬火温度。然后空冷或立即用水喷射冷却。调节加热时间和冷却速度可以调节淬硬层厚度和硬度。和高频表面淬火相比, 具有设备简单, 成本低等优点, 但是生产率低, 模具表面存在不同程度的过热, 质量控制比较困难。因此主要适用于单件、小批量和质量要求不高的模具的表面处理。

### 1.3 激光表面淬火<sup>[3]</sup>

激光用于模具表面的处理方法包括激光相变硬化(LTH)、激光表面涂覆及合金化(LCS/LSA)、激光表面融化处理(LSM)、激光冲击(LSH)和激光非晶化等。目前激光相变硬化和激光表面涂覆及合金化已被研究应用于提高模具寿命。其中激光相变硬化应用较为广泛。激光相变硬化(激光淬火)是利用激光辐照到金属表面, 使其表面迅速升温达到相变温度而形成奥氏体, 当激光束离开后, 利用金属本身的热传导而发生“自淬火”, 使金属表面发生马氏体转变。与传统的淬火方法相比, 激光淬火是在较高的温度梯度下进行的, 在表面形成了一层硬度极高的特殊淬火组织。淬火层的硬度比普通淬火的硬度还高15%-20%, 淬硬层深度可达0.1-2.5 mm。因此可以大幅度地提高模具的耐磨性和使用寿命。如对T8A钢制冲头和Cr12Mo钢制的凹模进行激光硬化处理后, 由冲压2.5万件提高到10万件。

喷丸强化和加工硬化也是模具表面处理常用的表面处理方法。

## 2 化学表面处理法

化学表面处理法是将模具置于一定温度的活性介质中保温, 使一种或几种元素渗入模具表面, 改变模具表面的化学成分和组织, 达到改进表面性能和满足技术要求。按照表面渗入的元素不同, 化学表面处理法可分为渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗硼、渗铝、钒等金属。化学表面处理能有效提高模具表面的耐磨性、疲劳强度、耐蚀性和抗氧化性能。

### 2.1 渗碳

渗碳是使模具表面形成一层1-2 mm的含碳量为0.8%-1.05%渗层。经过适当淬火与回火处理, 可提高模具表面的硬度、耐磨性及疲劳强度, 使模具芯部仍保持良好的韧性和塑性。因此渗碳主要用于同时受严重磨损和较大冲击载荷的模具。由于渗碳温度较高, 渗后还需热处理, 模具变形较大, 因此精度要求较高的模具不宜采用。模具的渗碳工艺有固体渗碳、气体渗碳、真空渗碳和离子渗碳。与传统渗碳相比, 离子渗碳具有渗碳效率高、碳浓度梯度平缓、工件变形小、环境污染小以及狭缝和小孔都能处理的优点。

### 2.2 渗氮

模具经过渗氮处理后, 表面的耐磨性、抗疲劳作用、抗热、抗蚀、硬度和抗咬合性能都比渗碳处理后优越。与渗碳相比, 渗氮的温度较低(500 °C-600 °C), 模具渗氮后变形小。渗氮工艺复杂、时间长、成本高, 一般用于耐磨性和精度或抗热都要求较高的模具。随着软氮化、离子氮化等新工艺的发展, 逐渐解决了普通渗氮时间长、功效低的缺点。可通过调节气体组分来调节控制氮化组织、降低渗氮层的脆性, 不易产生剥落和热疲劳。W6Mo5Cr4V2

钢制冷挤凸模经过离子渗氮后,使用寿命可提高2-3倍:5CrMnMo钢热锻模离子氮化后,磨损量减到原来的1/4。离子渗氮<sup>[4]</sup>在所有的模具处理中都有应用,但是对于形状复杂的模具,难以获得均匀的加热和渗层,同时渗层较浅。

### 2.3 碳氮共渗

碳氮共渗就是同时向零件表面渗入碳和氮的化学处理工艺,也称氰化。主要有液体和气体碳氮共渗两种。液体碳氮共渗有毒,污染环境,劳动条件差,已很少应用。共渗处理速度快,模具变形小,较高的耐磨性、抗粘着性,模具寿命可提高2-5倍。

### 2.4 渗硼、渗金属

渗硼方法有固体渗硼、气体渗硼、盐浴渗硼等。国内外应用较多的是盐浴渗硼和固体渗硼。苏联将该法用于冷热加工模具上,对溶盐电解法研究的很多;日本发展了以硼砂溶盐为主的液体渗硼及其它元素的TD法,提高模具寿命4-20倍;德国、美国<sup>[5]</sup>也都搞了很多硼与其它元素的共渗工艺。通过渗铬后可显著提高模具使用寿命,尤其是对在热态工作或承受强烈磨损的模具。适用于锤锻模、压铸模、塑料模、拉深模等冷热作模具,渗铬后使用寿命可提高几到数十倍。

## 3 表面覆层处理法

### 3.1 电镀、刷镀、化学镀

电镀硬铬、硬镍是模具表面处理技术中的传统技术,通过利用电化学的方法在模具工作面上沉积薄层金属或合金的一种湿式镀覆。电镀操作温度低,模具发生变形较小,模具本身的性能几乎不受影响,镀层的摩擦系数低,显微硬度可达800 HV,可以大大提高模具的耐磨性。但是,镀层的孔隙较大,耐腐蚀性能不高,不适用于耐腐蚀性要求高的模具。同时,由于电镀具有尖端效应,对于多孔、形状复杂

的模具也不适用。

刷镀工艺简单,沉积速度快,操作方便,镀层质量和性能较好。易于现场操作,不受模具大小和形状的限制,用在报废模具和大模具的修复上经济效益明显。刷镀应用于热作模具,可提高模具寿命50%-200%,主要原因是刷镀层有良好的红硬性、耐磨性和抗氧化能力。刘元义<sup>[6]</sup>研究表明材料为3Cr2W8V的热冲模刷镀处理后表面硬度达750 HV,模具寿命提高1-3倍。刷镀也可以大幅度提高冷作模具的寿命,这是因为刷镀层有高的硬度和良好的抗粘着性能。北京内燃机总厂的连杆盖模3Cr2W8V经刷镀处理后提高寿命54.5%。

化学镀是利用还原剂把电解质溶液中的金属离子化学还原在呈活性催化的工件表面沉积出能与基体表面牢固结合的涂镀层。化学镀没有电镀中因为电力分布不均而造成的深镀和分散能力差的问题。它对于形状复杂、多孔洞、有棱边夹角的模具的处理最为有效,克服了电镀的缺点与不足。在汽车用铸模、铝模具上化学镀镍,不仅可以提高脱模效果,还可提高模具50%的使用寿命,且零部件的光洁度高。如用45#钢加表面Ni-P化学镀代替不锈钢制作塑料型材挤出模,不但降低模具制造成本,而且可以提高模具寿命,由于镀层改善了脱模性能,塑料成形周期缩短,型材表面质量显著改善。

在生产应用中对模具表面性能要求是多元的,因此单金属的镀层往往不能满足质量要求,这些促使了复合镀技术的发展。现在复合镀技术的实施主要借助于电镀、刷镀、化学镀。复合镀后膜层质量和性能提高显著,模具寿命更长。在模具表面上复合电镀Ni-W-P、Ni-Fe-P、Co-W-P合金显著提高了汽车模具的耐磨性和使用寿命。如Ni-PTFE、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>镀层可提高抗蚀性能;Ni-WC、SiC、SiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>镀层可提高耐磨及抗蠕变性能;Ni-Mo<sub>2</sub>镀层可提高减磨自润性能;Ni-Cr镀层可提高高温强度。

### 3.2 热喷涂

热喷涂大致可分为火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、激光喷涂、电热热源喷涂以及“冷喷”。在生产中应用的主要是等离子喷涂(48%)和高速火焰喷涂(25%)。在模具上采用热喷涂金属陶瓷涂层对其表面进行强化,可提高其硬度、抗黏着、抗冲击、耐磨和抗冷热疲劳等。如不锈钢制品拉深模表面采用高速火焰喷涂工艺制备30-50 μm厚的WC-Co涂层后,修模频率由原来的500件/次提高到7 000件/次,寿命也由原来的拉制3万件提高3-8倍,而且制品质量也得到改善<sup>[7]</sup>。热喷涂也用于模具的制造,国外均采用火焰喷焊镍基自熔合金制造和修复玻璃模具,寿命成倍提高。

热喷涂技术在不断的发展之中,主要向以下几个方向发展<sup>[7]</sup>:(1)向在较低温度下具有高速飞行速度的喷涂方向发展;(2)向能在长时间大功率下稳定高效的工艺及设备发展;(3)向精密高效节能的工艺和设备发展;(4)采用喷涂法制备纳米结构涂层;(5)用热喷涂法部分替代电镀硬铬的工艺研究与应用;(6)新型热障涂层(TBC)的研制。

### 3.3 化学气相沉积(CVD)

化学气相沉积是利用气态物质在固体表面上进行化学反应,生成固态沉积物。按照沉积化学反应能量激活分,可分为热CVD技术、等离子化学气相沉积技术(PCVD)、激光辅助化学气相沉积技术(LCVD)和金属有机化合物沉积(MOCVD)等。

美国将CVD用于紧固件模具,提高寿命3-5倍,日本<sup>[5]</sup>用CVD技术来沉积TiC和TiN于拉深凹模,提高寿命8倍。目前模具表面处理中应用较多的是PACVD,铝型材挤压模具和精密叶片热锻模具经过处理后,有较好的耐磨性和抗疲劳性,使用寿命提高一倍,由原来2.5t的通料量提高到5t。现在CVD技术发展是以等离子体、电子束、激光束、离子束、微波等先进科

学技术的成就为基础,向着高效、节能、控制高度自动化、精确化的方向发展。

### 3.4 物理气相沉积(PVD)

PVD是在真空条件下利用物理方法产生的原子或分子沉积到基体上形成薄膜或涂层的过程。PVD的优点在于镀膜材料广泛,容易获得;沉积温度低;无污染。通过PVD处理后模具的变形小,适合于形状、尺寸精密的塑料模。在模具主要是沉积耐磨性薄膜(TiC、TiAlCN、ZrCN),减磨润滑膜(MoS<sub>2</sub>、DLC),耐热膜M-CoCrAlY等各种要求的膜层。在模具的强化方面阴极溅射法和多弧离子镀法应用较多,处理得到的TiN膜层有较高的硬度和耐磨性,较小的摩擦系数,较好的抗粘着性和抗咬合性,可使塑料模的使用寿命提高3-9倍。但是,PVD的绕镀性也很差,难以适用于多孔、有尖角、形状复杂的模具。

### 3.5 离子注入

离子注入是把气体或金属元素蒸气,通入电离室电离形成正离子,经高压电场加速,使离子获得很高速度后打入固体中的物理过程。利用离子注入的方法,可获得高度的饱和固溶体、压稳相、非晶态和平衡态合金等不同组织的结构。离子注入改善了模具工作零件的表面力学性能,包括提高表面硬度,降低表面摩擦因素,提高抗磨损能力和增强抗疲劳强度。极大改变了工件的使用性能,已在模具的表面处理上取得了突出效果。张蓉<sup>[8]</sup>研究得出在YG2拉丝模N<sup>+</sup>离子注入后模具寿命提高了2-3倍。

## 4 模具表面处理技术发展展望

表面处理技术<sup>[1,7]</sup>已经大量的应用于模具的表面处理上,在提高模具寿命和制品质量上已有了显著的进步和巨大的经济效益,但是先进表面技术的应用和发展与国外相比还有一定的差距。复合表面技术和纳米表面技术在模具

上的应用还有待进一步的研究和提高。对于传统的表面技术应该进一步的改进和提高处理效果,降低能源消耗和环境污染。扩展传统的表面技术和现代的表面处理技术之间的复合形式,把纳米技术和模具表面技术结合起来。中国工程院院士徐滨士<sup>[9]</sup>在纳米表面工程中作了大量的研究,在纳米热喷涂技术、纳米复合镀技术、金属材料表面自身纳米化等方面作了大量的研究工作和取得了较好的效果。研究开发出适用于精密、大型模具的表面处理技术是发展模具表面技术的重点和难点。

充分应用表面处理技术是提高模具寿命的一种重要的经济和高效的手段,也是发展现代模具的必经之路。

### 参考文献:

- [1] 黄毅宏,李明辉. 模具制造工艺[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 郑明新. 工程材料[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [3] 周建忠,杨超君等. 激光强化技术提高模具使用寿命[J]. 电加工与模具,2000,(1):42-44.
- [4] 徐耀坤. 模具表面强化新技术[J]. 锻压技术,2000,(1):58-60.
- [5] 杨裕雄. 模具表面处理技术发展概况[J]. 模具工业,1991,(1):11-13.
- [6] 刘元义. 模具表面强化与修复技术的研究[J]. 锻压技术,1996,(2):35-37.
- [7] 戴达煌,周克菘等. 现代材料表面技术科学[M]. 北京:冶金工业出版社,2004:126-191.
- [8] 张蓉,伍利群. 离子注入技术在模具表面强化上的应用[J]. 轻工机械,2003,(4):62-64.
- [9] 徐滨士. 纳米表面工程[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

.....

(上接第41页)

(0.1-0.15 mm) 排出,进入螺栓 $\phi 1.2$  mm小孔(A-A剖视),然后通过螺栓 $\phi 3$  mm中心小孔排出。

(2) 将出丝模与模筒内孔由过盈配合(H7/m6)改为间隙配合(H9/f8),并在出丝模配合平面上均匀刻出深不超过0.1 mm宽为5 mm、间隔10 mm的排油槽(图6)。挤压时,部分润滑油和气体可沿着配合间隔从排气排油槽排出模具,排油效果可明显观察到,其排气功能受条件限制无法明显观察到。

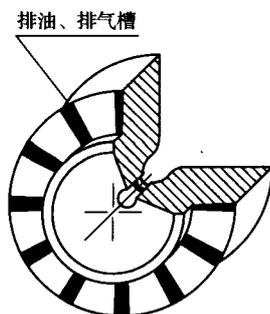


图6 出丝模

为了保证改进后模具的排气、排油效果,对其正常维护至关重要,排气排油螺栓每工作

24 h,须拆下清理一次,以防小孔堵塞,拆下时应先将物料再向下(或向前)挤压10 mm,使其低于螺栓位置,螺栓材质为38CrMoAl,经氮化处理,每周清理一次出丝模挤出的油污,以及随油污一同挤出的少量物料。

### 3 结论

本文所述的挤压模具改进措施,特别适用于熔点在300℃以下、坯料加热温度不超过80℃的软钎焊料挤压工序。经多次试验和使用,只要维护得当,可以明显减少产品缺陷,延长模具的使用寿命。对于坯料浇铸时形成的内部气孔,本改进措施无效。

### 参考文献:

- [1] 谢建新,刘静安. 金属挤压理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [2] 刘静安. 铝型材挤压模具设计、制造、使用及维修[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.