

提高冲压模具使用寿命的方法探讨

张桂侠

(安徽国防科技职业学院 机械工程系, 安徽 六安 237011)

摘要: 在现代工业生产中, 冲压模具的使用非常普遍。冲压模具寿命的高低是影响冲压产品成本的重要因素。提高模具寿命、降低产品成本是模具生产、制造和使用企业不断追求的目标。影响冲压模具寿命的因素很多, 本文从模具设计、选材、制造加工工艺以及模具零件的表面处理等方面, 对提高冲压模具使用寿命的方法进行探讨, 供同行参考。

关键词: 冲压模具; 模具寿命; 表面处理

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3940.2011.06.024

中图分类号: TG76

文献标识码: A

文章编号: 1000-3940 (2011) 06-0090-05

Service life improvement method of stamping die

ZHANG Gui-xia

(Department of Mechanical Engineering, Anhui National Defense Science and Technology Occupation Academy, Liuan 237011, China)

Abstract: Stamping die is used very common in the modern industrial production. The life of stamping die is the most important factor for stamping products. Improving the die service life and lowering the production cost are always the pursuit by the enterprises on the aspects of die production, manufacture and application. Many factors affect the stamping die life. The methods to improve the service life of the stamping die in consideration of the die design, material selection, manufacturing process, die part surface treatment and etc. were investigated, which provide reference for the persons of the same trade.

Keywords: stamping die; die life; surface treatment

在现代工业生产中, 模具的应用越来越广泛。但目前我国企业生产的模具在使用寿命、加工精度等方面都较低, 模具寿命仅相当于发达国家的 $1/3 \sim 1/5$ ^[1]。这不仅会影响产品质量, 降低生产效率, 还会导致产品的生产成本的升高, 严重影响产品的竞争力。

1 冲压模具的失效形式

模具从开始使用到不可修复而报废所加工的合格产品的总件数, 称为模具的使用寿命。模具寿命

的终结称为模具失效。模具的失效形式很多, 不同种类的模具, 其失效形式也有差别。对冲压模具来说, 失效形式一般有: 磨损、变形、折断、崩刃、胀裂等形式。

1.1 冲压模具的磨损失效

冲压模具磨损失效是模具失效的主要形式。其表现形式为刃口钝化、棱角变圆、平面下陷、表面沟痕、剥落、粘模等。磨损失效的原因是摩擦。在冲压成形过程中, 材料和冲模工作零件之间会产生很大的摩擦力; 同时, 在冲压成形过程会有金属屑脱落粘附在工作零件的表面上, 或在挤压力的作用下划伤或被挤进工作零件的表面, 这会加剧模具的磨损; 有时, 模具工作表面上粘附了一些坯料金属使得模具的几何形状发生变化而影响产品的尺寸,

收稿日期: 2011-07-18; 修订日期: 2011-09-18

作者简介: 张桂侠 (1971—), 女, 硕士, 讲师

电子信箱: zhang54941@163.com

- [5] 曾霞文, 徐政坤. 冷冲压工艺及模具设计 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2008.
- [6] 黄兴, 庄新村, 赵震. 中厚板挤压成形力影响因素研究 [J]. 锻压技术, 2009, 34 (2): 117-120.
- [7] 肖华, 石磊, 全广, 等. 冲压成形凸耳不均匀的产生及影响

- 因素 [J]. 锻压技术, 2009, 34 (3): 53-56.
- [8] 苏雅玲, 张曙红. 球形凹模缩口力模型研究与参数优化 [J]. 锻压技术, 2009, 34 (2): 157-160.
- [9] 刘飞飞, 包国建. 异种金属管复合塑性流动连接的流动分析 [J]. 锻压技术, 2010, 35 (4): 112-115.

也视为磨损失效。

冲压模具磨损的具体形式与模具结构、模具间隙、模具材料、模具工作零件和坯料的表面粗糙度、冲压速度等诸多因素有关。如冲裁模的磨损主要受模具间隙的影响;拉深模主要受模具和坯料的表面粗糙度、模具间隙、模具工作零件的圆角半径等因素的影响。

1.2 冲压模具的开裂失效

在实际生产中,如果锻压不充分,在加工制造或热处理时产生微裂纹,它们分布在模具的某些部位,经过一段时间的使用,这些微裂纹逐渐向纵深扩展,当裂纹扩展到一定尺寸后,将严重削弱模具的承载能力而引起开裂。开裂失效原因主要是模具强度设计、模具材质的预检和加工时损伤方面的检测以及热处理和表面处理不当等。

1.3 冲压模具的变形、崩刃失效

变形失效就是模具在使用中出现凸模弯曲、变形甚至折断;凹模因壁厚较小,周边受力不均匀而产生形状变化的现象。主要是由于模具结构设计不合理、模具材料强度不够或模具材料虽选择正确,但热处理工艺不当等原因造成的。在冲压过程中,当凸模出现弯曲、变形,则会引起模具的间隙不均匀,很容易引起模具的崩刃。当然,冲压模具的间隙过小、间隙不均匀、操作不当也会引起模具崩刃的发生。

2 影响冲压模具寿命的原因

研究表明:冲压模具使用寿命的大小与模具设计、选材、加工方法、热处理方法、表面处理方式、模具的使用条件、配套设备等诸多因素有关。根据对大量失效模具的分析统计,在引起模具失效的各种因素中,热处理不当约占45%,选材不当、模具结构设计不合理约占25%,加工工艺因素约占10%,使用条件等因素约占20%^[2]。因此,合理设计模具结构,恰当的选用材料,妥善安排模具各零件的加工工艺,正确使用和维护模具,对模具使用寿命的提高都是有益的。

2.1 冲压模具的设计

冲压模具设计是影响模具使用寿命的重要因素。模具间隙大小、冲压工序安排、冲压工位布置、定位方式、卸料与出件方式、模具导向方式、以及模具检测与保护方法等对模具寿命都会造成影响。以冲裁为例,介绍冲模间隙对模具寿命的影响。

如图1所示,冲模间隙 z 的计算公式为:

$$Z = D_A - d_T$$

式中: d_T 为凸模的尺寸; D_A 为凹模的尺寸。

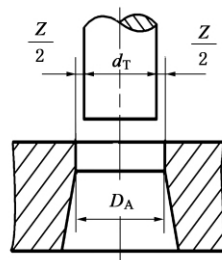


图1 冲裁间隙

Fig 1 Blanking clearance

由于间隙的存在,使得冲件的断面出现了4个区——塌角、光亮带、断裂带和毛刺,如图2所示。由图3可知,落料件的尺寸主要由凹模决定,而冲孔件的尺寸主要由凸模决定。实践证明,正常冲裁情况下,冲孔件的尺寸有缩小的趋势,而且随间隙的减小缩小越明显;落料件的尺寸有增大的趋势,而且间隙越小其增大越明显。这样凸模和凹模随冲裁间隙的缩小而使磨损加剧。同时,当间隙小到一定值,还会产生二次剪切,产生过多的金属碎屑,刮伤或被挤进凸、凹模的表面,加剧模具的磨损,甚至会造成凹模涨裂、模具变形,进而引起间隙不均匀、导致模具崩刃等现象的发生。总之,冲裁模具的间隙越小,模具的寿命就越小,对其它冲压模也如此。

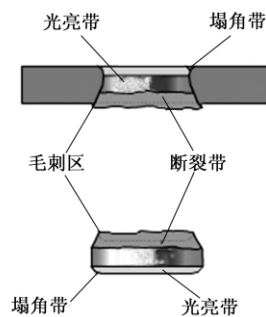


图2 冲裁的断面

Fig 2 Blanking section

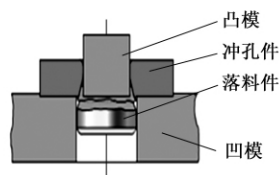


图3 冲件与凸、凹模的关系

Fig 3 Relation of stamping punch and die

2.2 冲压模具的选材

冲压模具在工作过程中, 承受冲击、震动、摩擦、高压、拉伸、弯扭等负荷, 甚至在较高的温度下工作, 工作条件复杂、恶劣, 因此, 对模具材料的性能要求很高。制造模具的材料应具有良好的抗疲劳性、耐磨性、足够的韧性以及热稳定性等。目前, 制造冲压模具的材料绝大部分以钢为主, 常用的冲模主要零件材料种类有: 碳素工具钢 (如 T10A)、低合金工具钢 (如 CrWMn)、高碳高铬工具钢 (如 Cr12、Cr12MoV) 或高碳中铬工具钢 (如 Cr4W2MoV)、高速钢 (如 W18Cr4V) 以及硬质合金等。冲压模具材料的选材是一个很复杂的问题, 涉及面很广。一般是根据不同的产品要求, 不同的加工材料要求, 选择适合的模具材料。在冲压模具的选材中, 不仅要考虑模具的寿命, 还要考虑到模具的生产成本^[3-5]。

在选用冲压模具材料时, 通常应根据不同的生产批量、工艺方法和加工对象进行选择。在大批量生产中, 应选用长寿命的模具材料, 如硬质合金; 对于易变形、易断裂失效的模具, 需要选用高强度、高韧性的材料; 此外, 凸、凹模选用不同硬度的材料, 也可提高模具寿命。如: 凸模用工具钢 (如 T10A), 凹模用高碳高铬钢 (如 Cr12MoV), 模具寿命可提高 5~6 倍^[2]。

2.3 冲压模具的加工工艺

冲压模具的凸、凹模形状是多种多样的, 根据制品的结构而确定。各企业的生产条件不同, 因此, 对不同的凸模和凹模, 各企业一般有自己的做法, 但总的工艺过程还是类似的。

对整体式凹模的做法是: 下料→锻造→热处理 (退火)→机加工外形、非凹模刃口孔及穿丝孔→热处理 (淬火、回火)→磨上下表面→慢丝切割凹模刃口孔→精铣 (镜面放电)。

对整体式凸模的做法是: 下料→锻造→热处理 (退火)→机加工外形 (粗加工、精加工)、固定孔等→热处理 (淬火、回火)→磨上下端面→精修工作面。

对小凸模和镶拼式凹模的加工工艺是: 取一块经过锻造和热处理后的原料板→机加工固定凸、凹模 (镶块) 的螺纹孔→以螺纹孔为中心慢丝割出各零件轮廓→磨去氧化层。

2.3.1 锻造对模具寿命的影响

锻造的作用是细化金属晶粒、致密组织、消除

金属内部缺陷从而改善金属的力学性能。但是, 如果锻造工艺不合理, 就会造成锻造缺陷, 形成导致模具早期失效的隐患。例如, 锻造时锻击力过大, 变形量过大, 易产生裂纹; 加热不均, 温度过高会产生材料晶粒粗大的过热现象或导致晶界熔化和氧化的过烧现象; 停锻后冷却速度过快则容易开裂, 特别是高碳高合金钢, 锻造温度范围较窄, 操作不当极易开裂; 锻造不充分会产生组织应力, 热处理时也易发生变形开裂等。

2.3.2 热处理对模具寿命的影响

模具淬火加热时温度过高, 容易造成模具的过热、过烧, 冲击韧性下降, 导致早期断裂。如果淬火温度过低, 会降低模具的硬度、耐磨性及疲劳抗力, 容易造成模具的塑性变形、磨损失效。淬火加热时不注意采取保护措施, 会使模具表面氧化和脱碳, 脱碳将造成淬火软点或软区, 降低模具的耐磨性、疲劳强度和抗咬合能力, 影响其使用寿命。淬火冷却速度过快或油温过低, 模具容易产生淬火裂纹。如果回火温度太低, 而且不够充分, 将无法消除淬火过程中的残余应力而使模具的韧性降低, 容易发生早期断裂。

2.3.3 线切割对模具寿命的影响

线切割在模具零件加工中被广泛使用, 它提高了加工效率和加工精度, 但也带来了一些特殊问题, 如经线切割加工的模具, 如不进行回火和相应的去氧化层处理而直接使用, 易产生掉渣、剥落等现象, 从而降低模具的使用寿命。因此, 对线切割后的模具进行充分回火能改善表面拉应力状态, 降低残余应力, 提高模具使用寿命。

3 提高模具寿命的方法

3.1 合理设计模具结构

冲压模具设计的合理得当, 是延长其使用寿命的重要环节。正确设计模具结构, 应保证在正常的使用条件下没有产生冲击破裂和应力集中的可能, 因此, 在设计模具时应尽量使各部分受力均匀, 注意避免尖角、内凹角、壁厚悬殊、扁宽薄壁截面等结构, 以免产生过大的应力集中, 引起热处理变形、开裂和使用过程中脆性破裂或早期热裂。同时, 选择合理的模具间隙, 也是冲件质量和冲压模具使用寿命的重要保障。

为延长模具寿命, 在进行模具设计时, 应着重考虑以下方面。

(1) 设计凸模时必须留意导向支撑和保护。特别是设计冲孔凸模或尺寸较小的凸模时必须采用自身导向和保护结构。

(2) 对夹角、窄槽等薄弱部位,为了减少应力集中,要以圆弧过渡,圆弧半径 R 可取 $3\sim 5\text{ mm}$ 。

(3) 对于结构复杂的凹模采用镶拼结构,可减少应力集中。

(4) 冲压成形模具的凸模、凹模的圆角半径的选择要合理。该处的圆角半径对成形过程中坯料的流动和成形力会产生很大的影响,选择不恰当,就会影响模具的寿命。

(5) 合理增大模具间隙,可以改善凸、凹模工作部分的受力状态,使冲裁力、卸件力和出件力下降,可以有效降低凸、凹模刃口的磨损速度。

(6) 在多工位级进模的结构设计中,要做好粗、精两级定位;做好防跳料、带料、工艺接口(接刀口)形式的设计等。

3.2 模具的热处理工艺

从模具失效分析得知,45%的模具失效是由于热处理不当造成的。模具的磨损、粘结均发生在表面,疲劳断裂也往往从表面开始。因此,模具表面的加工质量对提高模具寿命是非常重要的。但实际上由于加工痕迹的存在,热处理时表面氧化脱碳在所难免。因而,模具的表面性能反而比基体差。采用热处理新技术是提高模具性能的经济而有效的措施。模具热处理工艺包括基体强韧化和表面强化处理^[6-10]。

3.2.1 模具零件基体的强韧化处理

基体的强韧化在于增强基体的强度和韧性,减少断裂和变形。对普通冷作模具钢,采用低温淬火与低温回火处理,可收到增强韧性、减少脆性与折断的良好效果。基体的强韧化,还可采用形变热处理。形变热处理是把钢的强化与相变强化结合起来的一种强韧化工艺。形变热处理的强韧化本质在于获得细小的奥氏体晶粒、细化马氏体增加了马氏体中的位错密度并形成胞状亚结构,同时促进碳化物的弥散硬化作用。

3.2.2 模具的表面强化处理

表面强化的主要目的是增强模具表面的耐磨性、耐疲劳性和抗冲击性能。模具表面强化处理工艺一般有表面涂覆处理、化学热处理和表面加工处理3种方法。

(1) 表面涂覆处理提高冲压模具寿命。表面涂

覆处理是通过物理覆盖、沉积等,在工件表面覆盖一层与基体不同的金属化合物。可以提高模具的硬度、耐磨性和耐蚀性。应用广泛的主要有电镀技术、镀膜技术等。电镀技术常用的有电镀铬和复合电镀。电镀铬是在各种基体材料上镀较厚的铬层,镀层厚度一般在 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上。由于镀层较厚,能发挥镀铬层硬度高、耐磨的特点,没有穿透腐蚀的问题。该方法既可以提高模具表面的耐磨性同时也可以降低模具表面的粗糙度,对提高模具的寿命是很显著的。复合电镀中常用的是减摩复合电镀。如果冷挤压模具的工作表面、拉深凹模的表面有良好的润滑层,对制品的成形、表面质量的提高以及模具寿命的提高是不言而喻的。复合电镀一般以 Ni 、 Cu 、 Cr 、 Sn 及其合金等为基质,以 MoS_2 、石墨、云母等具有润滑特性的固体颗粒与金属共沉积。

(2) 化学热处理提高冲压模具寿命。化学热处理是将模具零件加热到一定温度与介质起化学作用,在零件表面按需要渗入一定量的其他元素,形成一层与基体不同的非金属或化合物层,从而改变表面的化学成分、组织和性能。目前,用于冲压模具的化学热处理方式主要有:渗C、渗N、CN共渗、渗B及渗金属等。

1) 渗C。渗C后淬火处理,工件表面硬度和耐磨性大大提高,硬化后的表面获得有利的残余压应力,有效提高渗C工件的疲劳强度。

2) 渗N。可以提高工件的表面硬度(比渗C高)、疲劳强度、耐磨性及耐蚀性。渗N前工件要进行调质处理。渗N温度一般不超过调质处理的回火温度。所以,工件通过渗N处理后,变形很小。

3) 碳氮共渗。有C、N共渗和N、C共渗之分,前者以渗C为主,后者以渗N为主。都可以提高工件的表面硬度、耐磨性和疲劳极限的作用,且共渗后可以直接淬火,模具零件的变形小。与单一渗C比,碳氮共渗后工件的表面硬度、耐磨性和疲劳极限更高,且由于N的存在,提高了渗层的淬透性。由于处理温度低,奥氏体晶粒比渗C细,提高了模具钢的心部韧性;与单一渗N比,共渗层深度深,表面脆性小。

4) 渗硼。渗硼后模具表面可以获得很高的表面硬度($1500\sim 2000\text{ HV}$)和耐磨性,从而显著提高模具的寿命。比如,用 Cr12MoV 制作的冲模工作零件,通过渗硼处理后寿命可以提高 $10\sim 12$ 倍^[5]。

5) 渗金属(Cr 、 V 、 W 、 Mo 等)。渗层硬度可

达 800~3200 HV, 耐磨性也极高, 且设备简单, 工艺简便易行。如用 9CrWMn 制作拉深模的工作零件, 渗 Cr 后, 寿命由原来的不到 1000 次提高到 10 万次^[6]。

(3) 表面加工处理提高冲压模具寿命。表面加工处理是通过改变金属的表层组织结构来强化表面, 从而提高冲压模具的使用寿命。表面加工处理由于时间短、效率高, 在使模具表面层组织发生变化、耐磨性提高、获得与心部不同组织和性能的同时, 表面氧化、脱碳极微。这对工件形状和表面粗糙度的维持是非常有利的。表面加工处理的方法很多, 最常用的方法有火焰表面加热淬火、喷丸表面强化和电火花表面强化等, 这些方法设备简单, 操作方便, 如下面所述。

1) 火焰表面加热淬火。通过喷嘴将火焰(通常用氧—乙炔)喷射到工件表面, 将工件迅速加热到淬火温度, 然后在规定的冷却介质中冷却到室温的热处理工艺。该方法设备简单、操作方便, 适合于大型模具零件和小批量、多品种模具零件的处理。在使用火焰表面加热淬火处理工件时应注意防止过热, 避免氧化和晶粒粗大化。往往在淬火后采用 180~200℃进行回火。大型零件采用火焰局部加热或自回火。

2) 喷丸表面强化。利用大量钢丸(钢丸的直径一般为 0.3~1.7 mm)高速打击已经成形并热处理后的模具零件表面, 由于圆形钢丸的高速反复锤击, 使工件表面产生冷硬层和残余压应力, 同时削平了冲模零件的加工刀痕, 改善了磨削加工和电加工的表面粗糙度(约 0.5~1 级)。通过喷丸表面强化, 可以显著提高模具表层的疲劳强度、减少模具表面缺陷, 提高模具寿命。如用 Cr12 制作的洗衣机定转子落料冲裁模, 未经喷丸处理, 模具刃磨的寿命是 1.2~3.2 万次, 经喷丸处理后, 刃磨寿命可以超过 11 万次^[6]。

3) 电火花表面强化。利用工具电极与工件间在气体中产生的火花放电作用, 把作为电极的导电材料融进工件表层, 形成合金化的表面强化层。该方法因电极材料的沉积发生有规律的较小的长大, 除此之外, 模具没有其他变形, 其心部的组织和性能也不发生变化。电火花表面强化主要包括超高速淬火、渗碳、渗氮、电极材料的转移等。电火花超高速淬火时, 火花放电在模具表面的极小面积上产生高温, 使该处的金属熔化和部分汽化, 当火花放电

在极短的时间内停止后, 被加热了的金属会以很快的速度冷却下来。这相当于对模具表面层进行了超高速淬火, 但被加工零件的心部结构组织并没有发生变化。电极材料的转移中, 硬化层厚度 0.01~0.08 mm。电极材料采用铬锰、硬质合金, 强化 45 钢时, 表面硬度可达 70 HRC 以上, 耐磨性比原表层提高 2~2.5 倍; 用 WC、CrMn 作电极强化不锈钢时, 耐磨性比原表层提高 3~5 倍。

3.3 正确使用和维护提高冲压模具寿命

提高模具的寿命, 在模具使用时应做到: 严格控制凸模进入凹模的深度, 以减少磨损; 提前修模, 预防磨损沟痕导致的裂纹, 避免因磨损而导致凸、凹模间隙不均产生的附加弯矩; 模具使用后若表面粗糙度变差, 要及时修磨抛光; 模具存放时, 上、下模应保持一定空隙, 以保护刃口等。

4 结语

提高冲压模具寿命的方法很多, 不同的处理方法, 对模具寿命的提高也有较大的差异。在实际操作中, 应根据被加工零件的具体结构、尺寸、精度、生产量等情况, 根据生产企业的加工条件以及加工成本的限制等情况, 采用合理的方法来提高模具寿命。

参考文献:

- [1] 高殿奎, 刘艳色. Cr12MoV 钢凹模的热处理工艺改进 [J]. 金属热处理, 2002, 27 (2): 34-36.
- [2] 王智祥, 林立杰. 表面强化新技术在模具制造领域中的应用与进展 [J]. 模具工业, 2004, (7): 52-55.
- [3] 张正修, 李欠娃, 唐久. 冲模的刃磨、修理及寿命 [EB/OL], <http://www.1-68.com>, 2011-03-28.
- [4] 生意社. 模具制造领域中的表面工程技术应用综述及展望 [EB/OL], <http://china.toocle.com>, 2009-03-13.
- [5] 董允, 张廷森, 林晓娉. 现代表面工程技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 李奇. 模具材料及热处理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [7] 徐耀坤. 模具表面强化处理新技术 [J]. 锻压技术, 2000, 25 (1): 58-60.
- [8] 贾全义. 模具制造技术 [M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2010.
- [9] 模具实用技术丛书编委会. 模具材料与使用寿命 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [10] 隋秀凇. 现代制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.