



超高温淬火和喷丸在提高 热锻模寿命中的应用

青岛飞华齿轮制造有限公司 (山东平度 266700) 孙义娟 郝丰林 袁伟顺

热锻模是在高温下冲击加压, 强迫炽热金属变形的成形模具。在工作过程中, 模具除承受较大的冲击载荷外, 还受到反复加热、冷却而引起体积反复变化的交变应力等多种应力的作用, 极易导致模具热疲劳龟裂的产生, 造成模具翻修频率高, 影响生产效率。因此, 如何提高热锻模具的耐热疲劳性能, 提高热锻模使用寿命是制定工艺的关键。在多年的热处理工作实践中, 我们总结出两种可行的增强热锻模耐热疲劳性能、提高其寿命的热处理工艺, 现具体介绍如下。

一、超高温淬火工艺

1. 热锻模的常规淬火、回火工艺

以常用的模具材料 5CrMnMo 为例, 其加工工艺流程为: 坯料锻造→退火→粗加工→淬火、回火→精加工。根据工作条件, 要求热锻模具有良好的综合力学性能, 常规工艺为淬火加中温回火, 工艺曲线如图 1 所示。为了减小热锻模在加热过程中产生的热应力, 淬火过程中采用分段加热, 图中 t_1 、 t_2 与所淬模具的厚度成正比, 即模具的有效厚度每增加 1mm, 淬火时间 t_1 增加 1.5min, 回火时间 t_2 增加 2min。经此工艺处理后, 热锻模的硬度为 42~47HRC。热锻模投入使用后, 每套仅锻打 1000 件左右就发生热疲劳龟裂。

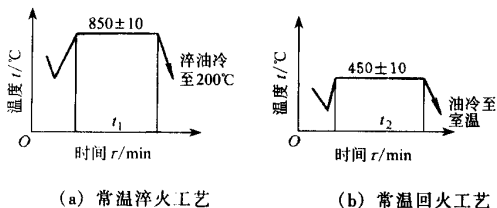


图 1

2. 热锻模的超高温淬火、回火工艺

为提高热锻模的使用寿命, 我们采用超高温淬火、回火工艺处理, 其工艺如图 2 所示, 淬火温度比常规高出 40℃, 再分别经 460℃、180℃二次中、低温回火。经此工艺处理后的热锻模, 其硬度为 45~47HRC, 在模具投入使用后, 能一次性加工毛坯 3000 件以上, 其抗热疲劳性能明显提高。其中 t_1' 、 t_2' 与模具有效厚度的关系分别与 t_1 、 t_2 等同。

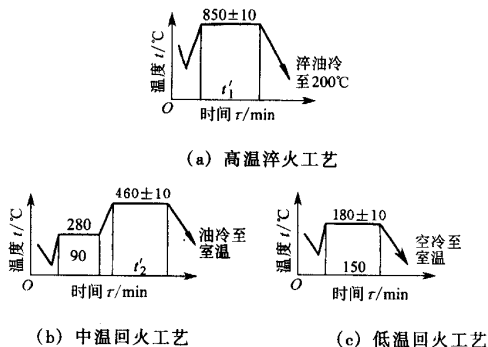


图 2

3. 两种工艺的组织分析及对比

5CrMnMo 属于中碳合金钢, 在 $(850 \pm 10)^\circ\text{C}$ 加热淬火, 金相组织为板条马氏体和针状马氏体的混合物。其中板条马氏体具有较好的综合力学性能, 而针状马氏体中有显微裂纹, 塑性韧性差, 硬度高于板条马氏体, 中温回火后, 针状马氏体的形态、数量不能根本消除, 因而导致热锻模的耐热疲劳性能差, 使用寿命短。而把 5CrMnMo 加热到 $(890 \pm 10)^\circ\text{C}$ 淬火, 将对其组织转变产生如下影响:

- (1) 温度提高, 促使奥氏体晶粒长大, 使奥氏体的屈服强度变小, 易于板条马氏体的形成。
- (2) 加热温度提高, 奥氏体晶粒长大, 促使 5CrMnMo 淬透性提高。
- (3) 超高温奥氏体化处理使合金碳化物的溶解



量增多,能减少未溶碳化物作为针状马氏体形核核心的可能性,减少显微裂纹存在的数量。

(4) 模具在中温回火前,先在 280~320℃保温 90min,是为了使残余奥氏体转变成韧性及耐磨性较佳的下贝氏体。而普通淬火工艺没有在这一温度保温,而是马上升温至回火温度,使残余奥氏体转变为韧性较差的上贝氏体,易产生疲劳裂纹。

(5) 增加一次低温回火,是为了稳定组织,减少应力,提高模具疲劳强度。这就意味着模具经过超高温淬火后,易于获得大量板条马氏体组织,减少针状马氏体组织,从而减弱针状马氏体中显微裂纹的影响,而板条马氏体却具有优良的综合力学性能,使热锻模的耐热疲劳性能明显提高。

(6) 超高温淬火易造成晶粒粗大,韧性降低,为此提高回火温度,可降低由于组织粗大而不造成的不利影响。

二、喷丸处理工艺

由于热作模具失效,主要是因为其抗冷热疲劳性能差,只要提高了热锻模的冷热疲劳性能,就提高了热锻模的使用寿命。提高热锻模热疲劳性能的方法有多种,喷丸是其中的一种,因它在工艺和经济上简单易行,生产效率与经济效益高,所以我们决定采用喷丸来提高模具的寿命。

(1) 喷丸作为提高金属材料疲劳强度的强化手段已得到广泛应用,但是人们只重视喷丸强化后所产生的残余压应力的作用,认为喷丸强化处理后的工件后处理温度或服役条件不得超过 350℃,否则将失去强化效果。

经过查找资料后我们分析认为:喷丸强化产生的残余应力是伴随金属表层和亚表层发生的晶格畸变、位错密度增高、晶粒细化而产生的,而上述效应的消除,与材料的回火稳定性和再结晶温度有关。5CrMnMo 钢有较高的回火稳定性和较高的再结晶温度,在模具正常工作温度下喷丸效果不会完全消失。为了证实这一分析,我们用喷丸和未喷丸的模具(采用相同的热处理工艺)各 10 件,都按正常的锻打工艺锻打工件。结果未喷丸的 10 件模具共锻打 16000(模具第一次锻打工件,出现热疲劳裂纹就停止锻打,不包括模具返修后再锻打的工件),而喷丸后的模具共锻打 32000 件。可见在相同试验条件下,喷丸的模具比未喷丸的多锻打


16000 件,因此喷丸能显著提高模具的寿命,明显地减缓疲劳裂纹的萌生期或抑制其扩展速度。我们认为这一结果是由于喷丸在金属表面产生的残余压应力、晶格畸变而引起的。

(2) 喷丸能诱发马氏体相变。模具钢大多是高合金钢,热处理后残留奥氏体较高。在喷丸过程中,金属表面的塑性变形和残余应力状态变化及重新分布,给残留奥氏体的转变提供了有利条件。这种条件体现在,一方面马氏体是无扩散的切变过程,喷丸产生的变形只要满足晶体学条件残留奥氏体就可以转变为马氏体;另一方面,喷丸产生的强烈塑性变形,可部分消除残留奥氏体周围由于马氏体转变而产生的应力,使残留奥氏体在力学上也处于不平衡状态(即不稳定态),使残留奥氏体自发转变。残留奥氏体转变成马氏体无疑会提高模具的表面硬度和模具钢的抗冲击磨损能力,进而提高模具表层的屈服强度,可延缓疲劳裂纹的萌生期,提高模具的疲劳强度。

(3) 喷丸能改善模具表面的形貌和粗糙度。模具经热处理后,再通过精加工,表面形成变质层或留下了锋利的刀痕,它们无疑是应力集中区,特别是在有台阶的地方,尺寸变化明显,应力集中就更加突出,这对于缺口敏感性很强的高合金模具钢来说十分有害,会降低模具寿命。刀痕留下的应力集中处往往是疲劳裂纹的发源地,因此模具的疲劳裂纹总是从表面开始。模具喷丸以后,由于圆形弹丸的高速冲击,削平了刀痕留下的峰谷,改变了模具表面的形貌,降低模具表面的粗糙度。由此可见,喷丸可在一定程度上消除模具的表面缺陷,改善表面的形貌,提高疲劳强度。

疲劳断口分析证明,未喷丸的模具,其疲劳源均在最表面的缺陷处。经喷丸模具的疲劳源几乎没有在受力面上,而是处于未喷丸的侧面上。因此,利用喷丸处理消除其表面上容易造成应力集中的缺陷,是提高可靠性的一种重要途径。

三、结语

经过超高温淬火、回火后的热锻模,再经过喷丸可获得较为优良的组织,具有较高的耐热疲劳性能,从而提高热锻模的使用寿命,降低生产成本,并且提高了生产效率,经济效益良好。

(20040328)