

影响金属热处理变形的因素及对策分析

陈华继 曹燕菊

(广西玉柴机器股份有限公司 广西 玉林 537000)

摘要: 为了避免金属热处理变形问题造成的影响,要全面分析对其产生影响的要素,优化落实合理的控制机制,从而提升金属的整体使用效率并延长其使用寿命。本文从内应力塑性变形、比容变形等方面分析了影响金属热处理变形的因素,并提出了相关改善对策。

关键词: 金属热处理; 变形; 影响因素; 对策

0 引言

伴随着市场经济的不断发展,工业化进程也在加快,企业对于金属质量的要求在逐步提高,为了有效避免金属受热不均产生的热处理变形问题,要落实对应的处理机制,强化使用性能。

1 影响金属热处理变形的因素

金属被广泛应用在各行各业中,金属部件的加工和使用也受到了广泛关注,但是,金属在热处理过程中会存在较为严重的变形问题,不仅会对其整体使用效率产生制约作用,也会缩短其使用寿命,需要落实相应的技术方案予以处理。究其原因,主要包括以下几点:

1.1 内应力塑性变形

金属热处理时会存在加热区域不均匀的现象,此时,金属内部产生不对称的内应力,加之金属本身就具有塑性特性,就会出现相应的金属变形问题。

首先,金属处于加热或者冷却的环境,金属零件内部和外部会存在变化不一致的现象,各个位置温度也不尽相同,就会造成区域性热胀冷缩的不均衡,这种情况就会造成塑性变形。

其次,金属加热或者冷却时,零件内部组织也会出现不同程度的转变,不同形态的拉伸、紧缩就造成金属的变形。因此,塑性变形就是组织内力差异性造成的变形问题。

1.2 比容变形

金属处于加热状态时,金属背部组织的比容会存在较大的差异,在热处理状态下,金属外形或者是体积变化使得比容变形较为突出。

1.3 原始组织应力状态

对于金属热处理变形问题的研究,为了保证后续控制机制和改善措施的合理性,也要从工件自身情况和性质出发,确保分析的全面性和科学性。

一方面,一些原始组织会在淬火操作工艺开始前,本身就会对工件接下来开展的热处理过程产生影响,造成热处理变形。例如,碳化物自身的形态、数量以及内部碳原子的分布状态,包括合金元素的偏析问题、锻造变形纤维方向问题等,不同的结构参数会对其整体效果产生影响。合理性的调质处理是优化工件应用质量的重要手段之一,能减少工件变形量的绝对值,并且能为淬火变形规律化处理提供支持,

从而将金属变形问题控制在合理范围内。

另一方面,化学热处理工件变形也是较为常见的现象,之所以采取化学热处理方式,就是为了有效提升金属工件表面的耐磨性,并且改善工件自身抗氧化性不良的问题。然而,在化学热处理工序中,其实际的应用深度和广度优先,要想维持渗透层应用质量,化学热处理后会进行磨削加工,此时,必然会对金属热处理状态产生影响,制约化学热处理工件的变形校正结果。

除此之外,工艺温度降低也会造成抗塑性、热应力、组织应力等参数出现相应的变化,使得金属热处理变形情况加剧。

2 金属热处理变形的改善对策

为了避免金属热处理变形对其应用效果造成的影响,就要结合实际情况落实相应的处理措施,提升控制效果,维持金属应用效率,延长金属的使用寿命。

2.1 优化预处理过程

在金属处理工序中,要保证预处理操作的规范性,构建完整的处理控制方案,提升应用操作的实际水平。预热处理中,正火的温度较高,因此,对应的混晶、索氏体组织会出现内控变形增大的情况,此时,要合理控温正火,或是采取退火处理。也就是说,要在淬火之前完成正火、退火的调制工序,保证能减少金属变形量。一般而言,在正火操作结束后利用等温淬火的处理机制,就能更好地提升金属组织结构的均匀性和稳定性,减少变形量。

2.2 优化淬火介质

对于淬火工序而言,淬火冷却处理工作非常关键,但是,不同的介质会产生不同的状态,若是介质不合理甚至会造成较大的内应力,影响其综合应用质量,出现工件变形或者开裂的问题。基于此,冷速要控制在合理科学的范围内。目前,较为常见的冷却介质是水和油。

(1) 水的温度要控制在 $650^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ 之间,其冷却速度较为合理,而在 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 区间内,具有较快的冷却速度,会出现马氏体转变过程,是淬火钢变形和开裂的主要原因。

(2) 在水中添加 10% 的 NaCl 或者 NaOH,就能有效提升 $650^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ 之间的冷却速度,提高到 1100°C/s ,而在 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 区间内,冷却速度保持不变。基于此,部分

操作人员会将盐水、碱水作为碳钢等物质的淬火冷却介质，避免开裂和变形问题产生的影响。

(3) 油的温度在 200℃ ~ 300℃ 区间内，冷却速度较慢，一般会在 20℃ /s 左右，能有效减少开裂和变形，但是，在 650℃ ~ 550℃ 之间冷却速度也较慢，碳钢淬火不易形成马氏体，所以，一般在合金淬火处理时采取 10# 或者是 20# 机油。

除此之外，为了保证整体处理工序的合理性和质量水平，在硬度相同的状态下会采取油性介质作为淬火介质，主要是因为油性介质的冷却速度缓慢且稳定，热处理条件相同状态下，相较于水环境，油性介质淬火后的变形状态更加微小。

2.3 冷却处理

为了提升金属应用效率，减少热处理变形问题造成的质量影响，可以采取单液淬火处理、双液淬火处理等。

2.3.1 单液淬火处理

这种技术最大的优势是更加适用于工业化处理模式，能构建机械化和自动化控制机制，大型处理现场更加适合。但是，因为其本身的淬火处理效果距离理想淬火冷却速度要求还有一定距离，因此，会出现变形和裂纹等现象，而对应的油淬处理会出现硬度参数不足或者硬度处理效果不均匀等问题。

2.3.2 双液淬火处理

这种技术主要是针对加热工件开展相应的控制处理工作，要先进行快速冷却处理，将介质的温度冷却到 300℃，然后切换为缓慢冷却介质环境，一直到金属元件恢复到室温状态，这种处理方式工序非单一化，因此，常应用在形状较为复杂的碳钢工件淬火处理中。一般是先在水中进行淬火处理，然后转为油中。若是要应用在合金钢，则先在油中进行冷却处理，然后放置在空气中逐渐冷却。例如，结合每 1mm 有效厚度冷却 2s ~ 3s 的经验数值分析，依据现场试验和试棒冷却效果可知，试样在水冷却 270s 时出水，就能保证表面温度达到 300℃ ~ 330℃，并进行对应的取样测试，评估拉伸和冲击试样轴线的具体位置，整体工艺曲线，如图所示。

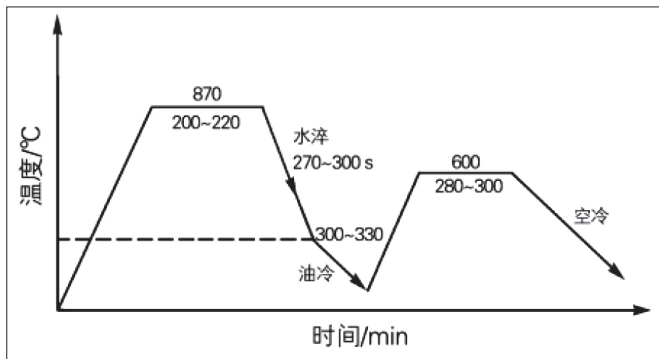


图 钢结构双液淬火处理调质工艺曲线示意图

2.3.3 分级淬火处理

这种技术要将加热的工件放入温度较高的硝盐浴或者是碱浴环境中，保持温度在 2min ~ 5min 之间，确保零件的内外温度较为均匀，然后取出放置在空气中冷却处理。需

要注意的是，在处理过程中，因为硝盐浴或者是碱浴环境的冷却效果有限，所以，这种淬火处理的方式一般都应用在尺寸较小的零件上，变形程度小且尺寸精度较高。例如，模具处理、刀具处理等方面，能在提升精细度的同时维持金属热处理工序的规范性。再例如，渗碳淬火齿轮轴的处理，利用非金属粘合剂 HLCBN 刀具对其进行淬硬处理，有效实现大余量一次走刀加工处理，替代传统技术中大余量粗磨加工工艺，不仅能节约加工费用，还能维持工序成本管理工作的实时性，优化相关处理工作的生产效率。目前，瑞典 SSAB 钢铁集团就利用拓达钢作为硬工具钢，匹配 CSR 冶炼工艺技术和分级淬火处理机制，提升实时性生产效率，减少热处理风险问题，保证了超高的精准度和残留应力最小化。

2.4 零件结构处理

为了保证金属材料热处理变形问题在可控范围内，也要对零部件结构予以关注，结合具体情况落实相应的控制机制，从而减少热处理变形问题对金属应用质量产生的影响。一般而言，金属结构中薄的地方冷却速度较快、厚的地方冷却速度较慢，为了满足实际应用标准，要尽量提升工件处理的精密度，将厚薄问题控制在规范范围内。

另外，为了减少过渡区应力集中造成的变形问题和开裂问题，就要提升零件截面位置的均匀程度，应用精细化加工处理减少截面不均等现象。并且要确保零件结构和材料成分、组织结构的对称性。

除此之外，零件设计过程中，要减少尖锐棱角或者沟槽结构，尤其是在零件的厚薄交界位置、台阶位置等利用圆角完成过渡，配合使用预留加工量的方式维持零件规格的合理性和规范性，减少热冷不均现象，避免热处理变形问题。

2.5 机械加工

在金属材料处理工序中，机械加工工艺操作流程的质量也非常关键，尤其是热处理中间工序，加工余量就视为机械加工和热处理变形量的总和，此时，要对机械加工予以充足的加工余量管理，确保能结合工件的变形规律，有效匹配反变形、收缩端预胀孔等处理机制，提升金属元件淬火后变形控制效果。

除此之外，也要对装夹的方式和夹具的质量予以管控，不同的装夹方式和零件加热处理工序要选取适宜的应用方案，确保工件加热冷却的均匀性，并且减少热应力不均匀造成的问题，只有提升组织应力的均匀程度，才能避免变形问题。

3 结语

总而言之，为了减少金属材料热处理变形问题，要系统化分析造成变形情况的原因，然后从精细化处理的角度出发，提升对应工序管理的规范性，合理完成装夹操作，完善预处理工序，并结合工件加工情况选取适宜的冷却方式，从而提升金属材料的使用效率。

参考文献：

[1] 李明. 金属材料热处理变形的影响因素分析及控制措施

(下转第 53 页)

表 有限元模拟的相关参数

锻坯材料	SA508-3
坯料的始锻温度/℃	1200
坯料的终锻温度/℃	850
凸凹模预热温度/℃	350
环境温度/℃	25
摩擦系数/ μ	0.3
凸模压下速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	50
单周压下量/mm	100
与上下砧热传导系数 λ ($\text{J}/\text{mm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$)	11
与环境热传导系数($\text{J}/\text{mm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$)	0.02

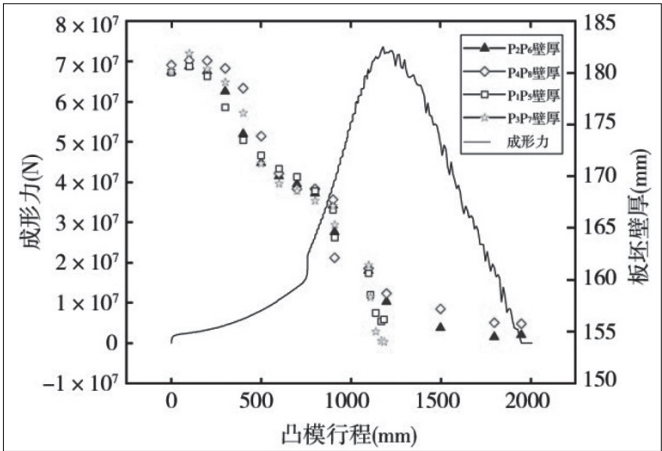


图 2 不同冲形阶段成形力及减薄量变化趋势

凸模行程达到 1500mm 时，锻件壁厚几乎不再继续减小，直至成形结束。

通过对以上模拟分析可知，对锻件结果影响的因素主要有圆角、冲形温度和模具间隙。其中，圆角影响锻件的等

效应力，进而影响锻件的壁厚的减薄；冲形温度则是影响锻件成型的时间以及板坯成型的效果；模具间隙则是影响锻件的精确度，因为当间隙小的时候，封头锻件边缘的增厚现象得不到修正，产品的精度较差。

6 结语

本次设计采用整体锻造的方式，利用物理模拟和数字模拟技术，针对整个大型封头锻造成型工艺进行研究，设计出了符合当前技术手段和现有设备性能的研究方案，但因为时间的原因，本次设计还存在以下需要完善和改进的地方：

(1) 本次只是模拟大型锻件的锻造，随让你已经无限接近真实情况，但是还是存在一些差异；

(2) 要想普遍运用到实际中还需要对于结果的分析上还需要进一步的分析和论证；

(3) 对于实际应用的大面积普及还存在很大的距离。

总的来说，本研究有效地优化了核电用大型封头锻造成型工艺，最后根据试验数据锻造出的封头成品满足工艺要求。经过对其参数的检测评定，该锻件的试验结果满足锻件评定大纲的要求。

参考文献：

[1] 刘攀. 特大型厚壁封头的锻造成型工艺研究 [D]. 重庆大学, 2011.

[2] 杨晓禹. 特大型封头锻造新工艺研究 [D]. 燕山大学, 2008.

[3] 王光明, 周岩, 刘凯泉. 核电整体封头锻造成形工艺研究 [J]. 一重技术, 2017, 000(001): 37-41.

[4] 王林红. 封头旋压成形技术 [J]. 模具制造, 2007, (11): 9-11

作者简介：宣禹澄（1991.11-），男，汉族，江苏盐城人，本科，助理工程师，研究方向：锻造。

(上接第 50 页)

探究 [J]. 世界有色金属, 2021(7): 125-126.

[2] 田景. 金属材料热处理变形的影响因素与控制措施初探 [J]. 当代化工研究, 2021(11): 19-20.

[3] 潘美玲. 金属材料热处理变形的影响因素和控制策略分析 [J]. 科技风, 2020(10): 168.

[4] 张均红. 浅析金属材料热处理过程变形及开裂问题 [J]. 中国金属通报, 2020(17): 172-173.

[5] 陈实. 金属材料热处理变形的影响因素与控制策略研究

[J]. 中国机械, 2020(14): 119, 121.

[6] 肖凯. 热处理过程中金属材料变形的影响与优化策略 [J]. 建材发展导向 (上), 2020, 18(4): 99.

作者简介：陈华继（1986.06-），男，汉族，广西玉林人，本科，助理工程师，研究方向：金属材料热处理；曹燕菊（1973.09-），女，汉族，广西玉林人，函授大专，助理工程师，研究方向：金属材料力学性能。