

# 探究影响金属材料热处理变形的因素及减小措施

索亚宁

内蒙古自治区特种设备检验研究院 内蒙古呼和浩特 010000

**摘要:** 热处理是金属材料加工中常用的工艺, 通过改变材料的内部结构来改善其性能。然而, 在热处理过程中, 金属材料往往会发生不同程度的变形, 这对材料的质量和使用性能产生不利影响。理解并控制这些变形是材料科学与工程领域的重要课题之一。本文旨在深入探讨影响金属材料热处理变形的主要因素, 并提出有效的减小变形的措施。

**关键词:** 金属材料; 热处理变形; 因素; 措施

## 前言

热处理是金属材料加工过程中至关重要的一环, 通过控制温度和时间来改变材料的显微组织, 从而改善其机械性能、硬度、强度和耐磨性。然而, 热处理过程中常常伴随着金属材料的变形, 这种变形不仅影响材料的尺寸和形状精度, 还可能对其后续的加工和使用性能造成不利影响。因此, 研究影响金属材料热处理变形的因素, 并寻求有效的减小变形的措施, 成为材料科学和工程领域的一个重要课题。

## 1 金属材料热处理变形综述

### 1.1 热处理变形原理分析

金属材料在热处理过程中发生变形的原因主要归因于热应力和相变应力的综合作用。热应力产生于金属材料在加热和冷却过程中的温度梯度, 由于材料内部温度分布不均匀, 各部分膨胀或收缩不同步, 从而形成内部应力。这种应力在冷却过程中尤为显著, 快速冷却导致的温度骤变使材料内部产生较大的热应力, 容易引起变形和开裂。相变应力则是由于金属在热处理过程中发生相变所引起的体积变化所导致的。在加热和冷却过程中, 金属材料的显微组织发生变化, 例如从奥氏体转变为马氏体或珠光体, 这些相变过程伴随着体积的膨胀或收缩, 导致材料内部产生相变应力。尤其是马氏体相变, 因其剧烈的体积膨胀, 容易导致显著的变形。

### 1.2 温度场机理分析

金属材料在热处理过程中, 温度场的分布及其变化对材料的变形具有决定性影响。温度场指的是材料内部各点在不同时间的温度分布情况。由于热处理过程中加

热和冷却速率不同, 材料内部会形成温度梯度, 这种不均匀的温度分布是引起热应力和变形的主要原因之一。在加热阶段, 材料表面首先升温, 随后热量逐渐传递到内部。如果加热速度过快, 表面和内部温度差异显著, 导致表层膨胀而内部相对收缩, 从而产生热应力。当这种应力超过材料的屈服强度时, 就会发生塑性变形或开裂。

## 2 影响金属材料热处理变形的因素分析

### 2.1 冷却影响

冷却速度决定了材料内部温度梯度和相变速率, 直接影响到变形的程度和类型。快速冷却会导致表面和内部温度差异增大, 引起热应力和相变应力, 从而造成塑性变形或者开裂。此外, 冷却速度的不均匀性也会导致材料内部的应力分布不均, 进一步加剧变形的复杂性。冷却过程中的温度变化率直接影响到材料内部的相变过程和晶粒结构的形成, 因此对于不同类型的金属材料 and 热处理工艺, 需要精确控制冷却速度以减少变形的发生。淬火过程中特别需要注意, 由于快速冷却会引起显著的相变和体积变化, 容易导致材料的非均匀收缩, 进而产生内部应力, 影响材料的形状和尺寸精度。

### 2.2 淬火影响

淬火作为金属热处理中的重要工艺过程, 对材料的微观组织和机械性能具有显著影响, 同时也是引发材料变形的重要因素之一。在淬火过程中, 材料经历了从高温快速冷却到室温的变化。快速冷却导致表层与内部温度差异巨大, 使得材料表面形成马氏体而内部保留奥氏体或珠光体。这种不均匀的相变过程引起了内部应力, 因为马氏体相变时体积膨胀大, 会在材料中引入大量的

残余应力。此外，淬火速度的快慢直接决定了相变的程度和形成的组织结构，过快的淬火速度容易导致马氏体形成过多，造成过硬和脆性，增加材料的变形倾向。而过慢的淬火速度则可能导致材料性能不达标或者无法实现预期的强化效果。

### 2.3 预处理影响

预处理是金属材料热处理过程中影响变形的重要因素之一，它涵盖了材料在进入主要热处理前所接受的处理步骤和状态调整。首先，材料的表面状态直接影响热处理过程中的温度分布和应力形成。例如，在清洗和除去氧化层的过程中，如果处理不彻底或不恰当，表面残留的污垢和氧化物会影响加热均匀性，导致热应力增加或不均匀的相变，从而引发不必要的变形。其次，预处理还包括预热步骤。预热的目的是为了材料整体达到均匀的温度分布，减少加热过程中的温度梯度。如果预热温度不足或者时间过短，内外部温度差异将导致加热过程中的热应力增加，进而影响后续热处理的效果和材料的尺寸稳定性。

## 3 金属材料热处理变形控制策略分析

### 3.1 提升金属材料热处理的淬火工艺水平

优化淬火介质的选择和应用，是提高淬火工艺水平的关键。常用的淬火介质包括水、油和聚合物溶液，不同材料和工件的形状需要选择适宜的介质，以确保冷却速率的均匀性，减少热应力的产生。通过对淬火介质的成分和温度进行精确控制，可以显著提升淬火工艺的稳定性 and 一致性。淬火温度和时间的精确控制对热处理效果具有决定性影响。通过热处理设备的自动化控制系统，实现对温度曲线的精确调节，确保金属材料在淬火过程中处于最佳状态，减少内部应力和变形。同时，采用分级淬火和等温淬火技术，可以有效降低材料的热应力和组织应力，进一步提升淬火质量。淬火过程中的冷却速度是影响材料性能和变形的重要因素。合理设计工件的冷却路径和冷却速度，避免快速冷却引起的内应力集中，是提升淬火工艺水平的有效途径。

### 3.2 甄选科学合理的冷却方式

不同的冷却方式对材料内部的组织结构和性能有着直接影响，因此选择合适的冷却方式能够有效减少变形，提高材料的使用性能。采用分级冷却方式是实现合理冷却的有效方法。分级冷却通过控制不同阶段的冷却速度，

使材料在较缓和的温度梯度下冷却，减少热应力和变形。比如，采用预冷和缓冷相结合的方式，使材料在初期快速冷却以形成所需的组织，然后缓慢冷却以释放应力。这种方法特别适用于形状复杂和尺寸较大的工件。应用高性能冷却设备能够精确控制冷却过程。现代冷却设备配备了先进的温度控制系统和自动化调节功能，能够根据设定的冷却曲线精确控制冷却速度和时间。例如，淬火槽的温度控制和搅拌系统，可以保证工件在淬火过程中均匀冷却，避免局部过冷或过热导致的变形。计算机模拟技术的应用为冷却方式的优化提供了科学依据。

### 3.3 提升预处理水平以及零件结构配置水平

预处理是热处理的前期准备工作，通过合理的预处理工艺，可以有效降低材料的内应力，提高后续热处理的稳定性。首先，热处理前的去应力退火是关键步骤之一。通过在较低温度下对材料进行长时间加热，然后缓慢冷却，可以有效消除材料内部的残余应力。这种方法特别适用于大尺寸和复杂形状的工件，能够显著减少热处理过程中变形的风险。其次，表面清洁处理也是提升预处理水平的重要环节。工件表面的油污、氧化皮和其他杂质会影响热处理的均匀性和效果，通过彻底的清洗和去污，可以保证热处理过程的顺利进行。采用机械清理、化学清洗或电解抛光等方法，确保工件表面洁净无杂质，是提高预处理质量的有效手段。

## 结语

通过对金属材料热处理变形影响因素的研究，我们认识到材料成分、热处理工艺参数、冷却速度和应力分布等都是关键因素。在未来的研究中，有必要进一步探索更加精细和高效的控制方法，以更好地提升金属材料的性能和使用寿命。希望本文的研究成果能为相关领域的研究和实际应用提供有益的借鉴和指导。

## 参考文献

- [1] 李晋. 金属材料热处理变形的影响因素及控制策略[J]. 现代盐化工, 2022, 49(01): 56-57.
- [2] 桂韶辉. 金属材料热处理变形的影响因素与控制策略[J]. 冶金管理, 2021, (23): 9-10.
- [3] 李健龙. 金属材料热处理变形的影响因素和策略研究[J]. 中国金属通报, 2021, (10): 86-87.