

# 金属材料热处理问题及开裂问题的解决措施

李加革<sup>1</sup> 李国海<sup>2</sup> 王占学<sup>3\*</sup>

1. 天津华源线材制品有限公司 天津 301600

2. 天津华源线材制品有限公司 天津 301600

3. 天津市静海县华源福利线材厂 天津 301600

**摘要:**金属材料热处理是优化材料性能、保障零部件质量的关键工序,主要通过加热、保温、冷却三环节调控材料内部组织。但在实际生产中,加热不均、保温不当、冷却不合理等问题频发,易导致材料开裂、性能不达标等缺陷,严重影响产品使用寿命和生产效益。本文阐述了金属材料热处理的基本概念与重要性,分析了加热、保温、冷却各阶段的常见问题,重点针对热处理开裂问题,从工艺优化、材料预处理、设备维护、操作规范四个方面提出解决措施,并补充质量监控与检测方法,为实际生产中规避热处理缺陷、提升产品质量提供理论参考与实践指导。

**关键词:**金属材料;热处理;开裂问题;解决措施

引言:在机械制造、航空航天等诸多领域,金属零部件的性能直接决定设备的可靠性与使用寿命,而热处理作为改善金属材料性能的核心工艺,其技术水平与操作规范性至关重要。因此深入分析金属材料热处理的常见问题,探究开裂问题的产生机理与解决路径,优化热处理工艺、强化质量控制,对提升金属材料利用率、保障产品质量、推动相关行业高质量发展具有重要的现实意义与应用价值。

## 1 金属材料热处理概述

### 1.1 热处理的基本概念

金属材料热处理是指将金属材料在固态下通过加热、保温、冷却三个基本工艺环节,改变材料内部的组织结构,从而获得所需性能的一种材料加工技术。它不改变金属材料的外形尺寸,仅通过调控原子排列方式和相结构,优化材料的力学性能、物理性能和化学性能。热处理的核心原理是利用金属材料在不同温度下的相转变规律,通过合理控制加热速度、保温时间和冷却方式,使材料内部形成理想的组织形态,如奥氏体、铁素体、珠光体等<sup>[1]</sup>。不同的金属材料具有不同的相转变温度和特性,因此需针对性制定热处理工艺参数。热处理是机械制造业中不可或缺的关键工序,广泛应用于各类金属零部件的生产加工,是提升产品质量和使用寿命的重要手段。

### 1.2 热处理的作用与重要性

金属材料热处理的核心作用是改善材料性能,满足

不同零部件的使用需求,其重要性体现在机械制造、航空航天、汽车工业等多个领域。通过热处理,可显著提高金属材料的硬度、强度和耐磨性,使零部件能够承受更大的载荷和磨损,如齿轮、刀具等经热处理后使用寿命可大幅提升。同时,热处理还能改善材料的韧性和塑性,避免零部件在使用过程中发生脆断,保障设备运行安全。另外,热处理可消除金属材料在铸造、锻造过程中产生的内应力,细化晶粒,提升材料的均匀性和稳定性,减少零部件在后续加工和使用中的变形。对于特殊用途的金属材料,热处理还能赋予其特殊性能,如耐腐蚀性、耐高温性等,拓展材料的应用范围。

## 2 金属材料热处理过程中的常见问题

### 2.1 加热阶段的问题

加热阶段是热处理的首要环节,常见问题主要集中在加热速度、加热温度和加热均匀性三个方面,直接影响后续热处理效果。加热速度过快时,金属材料内外温差过大,内部热应力急剧增加,易导致材料产生裂纹、变形等缺陷,尤其对于厚壁零部件和淬透性较差的材料,这种问题更为突出。加热温度过高会导致金属材料出现过热现象,晶粒急剧长大,使材料韧性下降、脆性增加,严重时还会出现氧化、脱碳等问题,降低材料表面质量和力学性能。加热不均匀则会使材料各部位的组织转变不同步,冷却后出现性能不均、变形量过大等问题,影响零部件的尺寸精度和使用性能。加热过程中若炉内气氛控制不当,还会导致金属材料表面氧化、脱碳或增碳,进一步恶化材料性能,增加后续加工成本。

### 2.2 保温阶段的问题

保温阶段的核心目的是使金属材料内外温度均匀,

**通讯作者:**王占学,男,1979年4月出生,汉族,籍贯:天津,职位:制造部长,职称:中级工程师,学历:本科,研究方向:金属材料热处理。

确保内部组织充分转变,常见问题主要包括保温时间不足、保温时间过长和保温温度不稳定。保温时间不足时,金属材料内部组织未能充分转变,无法形成理想的相结构,导致材料性能达不到设计要求,如硬度不足、韧性较差等,影响零部件的使用可靠性。保温时间过长则会造成晶粒过度长大,出现过热甚至过烧现象,使材料脆性增加、强度下降,同时还会增加能源消耗和生产周期,提高生产成本。保温温度不稳定,忽高忽低,会导致材料各部位的组织转变程度不一致,冷却后出现性能波动、尺寸偏差等问题,尤其对于精密零部件,这种偏差会直接影响其装配精度和使用效果。另外,保温过程中炉内气氛不稳定,也会导致材料表面发生氧化、脱碳,影响材料表面质量。

### 2.3 冷却阶段的问题

冷却阶段是决定金属材料最终组织和性能的关键环节,常见问题主要有冷却速度过快、冷却速度过慢和冷却不均匀。冷却速度过快时,金属材料内部奥氏体来不及转变为珠光体或贝氏体,易形成马氏体组织,导致材料硬度和强度提高,但韧性急剧下降,同时产生较大的内应力,易引发裂纹、变形等缺陷,尤其对于大件、复杂形状的零部件,这种风险更高<sup>[2]</sup>。冷却速度过慢则会导致奥氏体转变不充分,形成过多的珠光体组织,使材料硬度、强度不足,无法满足零部件的使用要求,同时还可能出现组织粗大、性能不均等问题。冷却不均匀会使材料各部位的冷却速度差异较大,内应力分布不均,导致零部件出现变形、开裂等缺陷,同时还会造成材料性能不均,影响产品质量的稳定性。冷却介质选择不当,也会加剧冷却阶段的问题,影响热处理效果。

## 3 金属材料热处理开裂问题的解决措施

### 3.1 工艺优化措施

针对热处理开裂这一棘手问题,工艺优化无疑是最直接且行之有效的解决途径。其核心在于合理调整加热、保温、冷却三个关键环节的工艺参数,以此减少内应力的产生。在加热阶段,必须依据材料类型和零部件尺寸精准把控加热速度。对于厚壁、结构复杂的零部件,采用分段加热方式至关重要,逐步提升温度能有效缩小材料内外温差,进而减少热应力。要严格控制加热温度,防止出现过热、过烧现象,依据材料的相转变温度,精确确定合适的加热温度范围。保温阶段,要确保保温时间充足且合理。需根据零部件尺寸和材料特性,通过科学计算得出最优保温时间,让组织充分转变,同时避免保温时间过长致使晶粒长大,影响材料性能。冷却阶段,优化冷却速度是关键,可采用分级冷却、等温冷却等方式,避免冷却速度过快产生过大内应力。依据材料和零

部件要求,挑选合适的冷却介质,保证冷却均匀,降低开裂风险。此外,预冷处理、中间退火等辅助工艺也能进一步消除内应力,为热处理质量保驾护航。

### 3.2 材料选择与预处理措施

材料选择与预处理是预防热处理开裂的基础性工作,能从源头上有效规避开裂风险。在材料选择方面,要紧密结合零部件的使用要求,挑选淬透性适中、韧性良好的金属材料,坚决避免选用淬透性过强、脆性较大的材料。对于那些容易开裂的零部件,可选用合金元素含量合理的材料,以此提升材料的抗裂性能。在预处理环节,首先要对原材料进行严格检验,仔细剔除存在夹杂、气孔、裂纹等缺陷的材料,防止这些缺陷在热处理过程中扩大,进而引发开裂。对于铸造、锻造后的零部件,需先进行退火、正火等预处理工艺,消除加工过程中产生的内应力,细化晶粒,改善材料组织的均匀性,为后续热处理奠定坚实基础。此外,在热处理前,要对零部件进行全面的表面清理,去除表面的油污、氧化皮等杂质,避免杂质影响热处理效果,同时减少表面应力集中,降低开裂发生的概率。

### 3.3 设备改进与维护措施

设备的性能和运行状态对热处理效果有着直接影响,通过改进设备并加强维护,可有效减少开裂问题的出现。在设备改进方面,优化加热炉结构是首要任务,采用均匀加热装置能确保炉内温度分布均匀,有效解决材料加热不均的问题。安装先进的温度控制系统,可实现对加热、保温、冷却阶段温度的精准控制,避免温度波动对热处理质量造成影响。对于冷却设备,要改进冷却方式,增加冷却介质的循环速度,保证冷却均匀<sup>[3]</sup>。根据实际需要配备分级冷却、等温冷却设备,满足不同工艺要求。在设备维护方面,要定期对加热炉、冷却设备进行全面检修,仔细检查加热元件、温度传感器、冷却管路等部件的运行状态,及时更换损坏部件,确保设备正常运行。定期清理炉内氧化皮、杂物,保持炉内清洁,避免杂质影响加热均匀性和材料表面质量。定期校准温度控制系统,确保温度测量和控制的准确性,从设备层面全方位规避开裂风险,保障热处理工艺的稳定性和可靠性。

### 3.4 操作规范与人员培训措施

规范的操作流程和专业的人员素养是避免热处理开裂的重要保障,二者相辅相成,缺一不可。为此,必须建立完善的操作规范并加强人员培训,从制度与人员能力两方面筑牢热处理质量防线。在操作规范制定上,要制定详细且严谨的热处理操作流程。明确加热、保温、冷却各环节的具体操作要求,精确规定工艺参数,如加

热温度范围、保温时间长短、冷却速度区间等,同时详细列出注意事项,像加热过程中的升温速率限制、冷却介质的选择标准等。要求操作人员必须严格按照规范操作,严禁随意调整关键参数;严禁零部件在加热、冷却过程中发生碰撞、挤压,避免产生机械损伤引发裂纹。加强人员培训同样至关重要,通过系统培训,让操作人员深入掌握金属材料热处理的基本原理、工艺特点以及设备操作方法,了解不同材料的热处理特性和常见开裂原因,做到心中有数、操作有方。同时,着重提升操作人员的应急处理能力,使其能够在热处理过程中及时发现异常情况,如温度异常波动、零部件变形等,并迅速采取有效措施进行处理,避免问题扩大。建立岗位责任制和质量检验制度。对操作人员的操作过程进行全程监督,确保规范执行到位;对热处理后的零部件进行严格质量检测,及时排查开裂等质量问题,防止不合格产品流入下一道工序。定期开展技能考核,激励操作人员不断提升专业水平,为热处理质量提供坚实保障。

#### 4 热处理过程的质量控制与检测

##### 4.1 热处理过程的监控

热处理过程的监控是保障热处理质量的关键,需对加热、保温、冷却三个核心环节进行全程监控,及时发现并纠正异常情况。在加热阶段,通过温度传感器实时监测炉内温度和零部件表面温度,采用温度记录仪记录温度变化曲线,确保加热温度符合工艺要求,避免温度过高、过低或波动过大。监控加热速度,根据零部件尺寸和材料特性,调整加热功率,确保加热速度均匀合理,减少热应力产生。在保温阶段,持续监控炉内温度,确保保温温度稳定,同时记录保温时间,避免保温时间不足或过长,定期检查零部件的温度均匀性,及时调整炉内加热装置,确保组织充分转变。在冷却阶段,监控冷却介质的温度、流量和浓度,确保冷却速度符合工艺要求,采用测温设备监测零部件的冷却过程,避免冷却不均匀或冷却速度异常,同时监控冷却过程中零部件的状态,防止出现变形、开裂等缺陷。

##### 4.2 热处理质量的检测方法

热处理质量的检测方法主要包括外观检测、力学性能检测和组织结构检测,通过多维度检测,确保零部件符合设计要求。外观检测是最基础的检测方法,通过肉眼或放大镜观察零部件的表面状态,检查是否存在裂纹、变形、氧化、脱碳等缺陷,若发现缺陷,及时进行处理或报废<sup>[4]</sup>。力学性能检测是核心检测内容,主要包括硬度检测、强度检测、韧性检测等,通过硬度计测量零部件的硬度,判断是否符合工艺要求;通过拉伸试验、冲击试验等,检测材料的强度、韧性等性能,确保零部件能够承受使用过程中的载荷。组织结构检测主要采用金相分析方法,通过金相显微镜观察零部件的内部组织形态,检查晶粒大小、相结构是否符合要求,判断热处理工艺是否合理,及时发现组织粗大、过热、未充分转变等问题。还可根据需要进行无损检测,如超声波检测、磁粉检测等,排查零部件内部的隐蔽缺陷,确保热处理质量。

#### 结束语

金属材料热处理是一项系统性工程,加热、保温、冷却各环节相互关联,任一环节出现偏差都可能导致问题产生,其中开裂问题更是制约热处理质量的关键瓶颈。本文通过梳理热处理各阶段常见问题,针对性提出工艺、材料、设备、操作层面的解决措施,并明确质量监控与检测方法,形成了一套较为完善的解决方案。实际生产中,需结合材料特性与零部件需求,灵活运用各类措施,强化全程管控,不断优化工艺参数。未来还需深入研究新型热处理技术,进一步提升抗裂能力,为金属材料热处理行业的升级发展提供更有力的支撑。

#### 参考文献

- [1]江先海.金属材料热处理问题及开裂问题的解决措施[J].山西冶金,2025,48(3):236-237,240.
- [2]张桐.金属材料热处理问题及开裂问题的解决措施研究[J].中国金属通报,2023(13):22-24.
- [3]王芳.金属材料热处理变形及开裂问题的解决措施研究[J].中国高新科技,2022(9):117-118.
- [4]高耀,周坚.浅析金属材料热处理变形及开裂问题[J].冶金与材料,2025,45(5):64-66.