

# 航空金属材料锻造与热处理过程中的质量控制体系构建

李会芳

陕西宏远航空锻造有限责任公司 陕西 西安 713801

**摘要:** 航空领域对材料性能要求严苛,航空金属材料在其中至关重要。本文先概述航空金属材料,以及锻造、热处理工艺;接着分别阐述锻造与热处理过程的质量控制,涵盖前、中、后各阶段;最后探讨质量控制体系构建,包括基本原则、结构要素以及实施运行。旨在为航空金属材料锻造与热处理提供全面质量控制指导,保障航空产品质量,推动航空工业发展。

**关键词:** 航空金属材料锻造;热处理;质量控制体系

## 1 航空金属材料锻造与热处理概述

### 1.1 航空金属材料简介

航空领域对材料性能要求极为严苛,航空金属材料在其中占据核心地位。常见的航空金属材料包括铝合金、钛合金、镁合金以及高强度钢等。铝合金凭借其低密度、高比强度、良好的耐腐蚀性和加工性能,广泛应用于飞机机身、机翼等结构部件,有效减轻飞机重量,提升燃油经济性。钛合金具有高强度、低密度、耐高温和耐腐蚀等优异特性,常用于制造发动机叶片、盘件以及飞机起落架等关键部位,能在高温、高应力等恶劣环境下保持稳定性能。镁合金作为最轻的金属结构材料,在航空航天领域也有一定应用,主要用于制造一些对重量要求极高的非承力或次承力部件<sup>[1]</sup>。高强度钢则以其高强度和良好的韧性,用于制造飞机起落架、紧固件等承受较大载荷的部件。这些航空金属材料各自独特的性能特点,决定了它们在航空制造中不可替代的作用,为航空器的安全、高效运行提供了坚实的物质基础。

### 1.2 锻造工艺简介

锻造是一种通过施加外力使金属材料产生塑性变形,从而获得所需形状、尺寸和性能的加工方法。在航空领域,锻造工艺至关重要。常见的航空金属材料锻造方法有自由锻、模锻和等温锻等。自由锻是将加热好的金属坯料放在上、下砧铁之间,通过锤击或压力使坯料产生变形,获得所需形状和尺寸的锻件。其优点是工具简单、通用性强,但生产效率低、加工余量大、精度较低,适用于单件、小批量生产以及大型锻件的制造。模锻则是将金属坯料放在具有一定形状的锻模型腔内,在压力作用下使坯料充满模腔,从而获得与模腔形状一致的锻件。模锻能获得形状复杂、精度较高的锻件,生产效率高、材料利用率高,广泛应用于航空工业中大量中小型锻件的生产。等温锻是在接近金属材料再结晶温度

的恒定温度下进行的模锻工艺,能有效降低变形抗力,提高材料的塑性,适用于制造形状复杂、精度要求高且性能优异的航空锻件,如钛合金叶片等。

### 1.3 热处理工艺简介

热处理是通过加热、保温和冷却等操作,改变金属材料的内部组织结构,从而获得所需性能的一种工艺方法。航空金属材料的热处理工艺主要包括退火、正火、淬火和回火等。退火是将金属材料加热到适当温度并保温一定时间,然后缓慢冷却,目的是消除内应力、降低硬度、改善切削加工性能、细化晶粒等。正火是将金属材料加热到临界温度以上,保温一定时间在空气中冷却,其作用与退火相似,但冷却速度较快,能获得比退火更细的组织 and 更高的硬度、强度。淬火是将金属材料加热到临界温度以上,保温一定时间后迅速冷却,使材料获得高硬度和高耐磨性,但同时会产生较大的内应力,导致材料变脆。回火则是将淬火后的金属材料加热到低于临界温度的某一温度,保温一定时间后冷却,通过回火可以消除淬火应力、提高材料的韧性和塑性,同时调整材料的硬度和强度,使其达到所需的综合性能。此外,对于一些特殊的航空金属材料,如钛合金,还有固溶处理和时效处理等热处理工艺,以充分发挥材料的性能潜力。

## 2 航空金属材料锻造过程中的质量控制

### 2.1 锻造前准备的质量控制

锻造前的准备工作是确保锻件质量的关键环节。首先是原材料的选择,必须严格按照设计要求选用质量合格、成分均匀的航空金属材料,对原材料的化学成分、力学性能、内部缺陷等进行严格检验,确保其符合相关标准。其次是坯料的制备,要根据锻件的形状、尺寸和工艺要求,合理下料,保证坯料的尺寸精度和表面质量。对于一些高精度锻件,还需对坯料进行预处理,如

去除氧化皮、进行表面打磨等,以减少锻造过程中的缺陷产生。另外,模具的质量也直接影响锻件的质量,在锻造前要对模具进行仔细检查和调试,确保模具的尺寸精度、表面光洁度以及型腔的完整性,同时要对模具进行预热处理,防止因模具温度过低导致坯料冷却过快而产生裂纹等缺陷<sup>[2]</sup>。

### 2.2 锻造过程中的质量控制

在锻造过程中,要严格控制各项工艺参数。加热温度是影响锻件质量的重要因素之一,不同的航空金属材料有其适宜的锻造温度范围,必须严格控制加热温度,避免过热或过烧。过热会使金属晶粒粗大,降低材料的力学性能;过烧则会导致金属内部晶界氧化和熔化,使材料报废。同时,要控制加热速度和保温时间,确保坯料受热均匀,内部组织充分转变。在锻造变形过程中,要根据锻件的形状和尺寸,合理选择锻造设备和工艺方法,控制变形程度和变形速度。变形程度过小,无法获得所需的形状和性能;变形程度过大,则可能导致材料开裂。变形速度过快,会使材料的塑性降低,增加产生裂纹的风险,还要注意锻造过程中的润滑和冷却,合理的润滑能减少模具与坯料之间的摩擦,降低能耗,提高模具使用寿命;适当的冷却能控制锻件的温度,防止因温度过高导致晶粒粗大。

### 2.3 锻造后的质量检验与评估

锻造完成后,要对锻件进行全面的质量检验与评估。外观检验是最基本的检验项目,主要检查锻件的表面质量,如是否有裂纹、折叠、划伤等缺陷,以及锻件的尺寸精度是否符合设计要求。对于一些内部质量要求较高的锻件,还需进行无损检测,如超声波检测、射线检测、磁粉检测等,以发现锻件内部的裂纹、气孔、夹杂等缺陷。力学性能检验是评估锻件质量的重要指标,通过对锻件进行拉伸试验、冲击试验、硬度试验等,测定其强度、塑性、韧性等力学性能是否满足设计要求。另外,还可通过金相检验观察锻件的组织结构,判断其是否符合热处理前的组织要求。根据质量检验与评估的结果,对合格的锻件进行后续加工或热处理,对不合格的锻件进行分类处理,分析原因并采取相应的改进措施,以提高锻件的整体质量。

## 3 航空金属材料热处理过程中的质量控制

### 3.1 热处理前的质量控制

热处理前的质量控制主要包括锻件的检查和预处理。首先要对锻件的外观质量进行仔细检查,确保锻件表面无裂纹、折叠等缺陷,同时检查锻件的尺寸精度是否符合热处理工艺要求。对于一些存在表面缺陷的锻

件,要进行修复处理,如打磨、补焊等,但修复后需重新进行检验,确保修复质量符合要求。其次,要对锻件进行清洁处理,去除表面的油污、锈迹、氧化皮等杂质,以保证热处理过程中加热均匀,防止因杂质的存在导致局部过热或产生其他缺陷。此外,还需根据锻件的材质、形状和尺寸,合理选择热处理设备和装炉方式,确保锻件在热处理过程中能均匀受热,避免因装炉不当导致温度不均匀而影响热处理质量。

### 3.2 热处理过程中的质量控制

热处理过程中的质量控制是确保锻件获得所需性能的关键。要严格控制加热温度、保温时间和冷却速度等工艺参数。加热温度的准确性直接影响材料的组织转变和性能,必须使用高精度的温度控制设备,确保加热温度在规定的范围内波动。保温时间要根据锻件的材质、尺寸和热处理工艺要求进行精确控制,以保证材料内部组织充分转变<sup>[3]</sup>。冷却速度的控制更为关键,不同的热处理工艺对冷却速度有不同的要求,如淬火时需要快速冷却以获得马氏体组织,而回火时则需要缓慢冷却以消除内应力。在冷却过程中,要选择合适的冷却介质,如水、油、空气等,并根据锻件的形状和尺寸调整冷却方式,如喷雾冷却、浸液冷却等,以确保冷却速度均匀。同时,要密切关注热处理过程中的设备运行状况,确保加热设备、冷却设备等正常运行,避免因设备故障导致热处理工艺参数失控。

### 3.3 热处理后的质量检验与评估

热处理完成后,要对锻件进行全面的质量检验与评估。外观检验主要检查锻件表面是否有氧化、脱碳、裂纹等缺陷,以及锻件的颜色是否正常。力学性能检验是评估热处理效果的重要指标,通过拉伸试验、冲击试验、硬度试验等,测定锻件的强度、塑性、韧性等力学性能是否达到设计要求。金相检验可以观察锻件的组织结构,判断热处理工艺是否合理,如是否获得了所需的组织形态、晶粒度是否均匀等。此外,还可进行一些特殊性能检验,如疲劳性能检验、耐腐蚀性能检验等,对于一些对特殊性能有要求的航空锻件,这些检验项目尤为重要。根据质量检验与评估的结果,对合格的锻件进行后续加工或入库,对不合格的锻件进行分析,找出热处理过程中存在的问题,采取相应的改进措施,以提高热处理质量。

## 4 航空金属材料锻造与热处理质量控制体系的构建

### 4.1 质量控制体系的基本原则

构建航空金属材料锻造与热处理质量控制体系应遵循科学性、系统性、预防性和持续改进等基本原则。科

学性原则要求质量控制体系的建立要基于科学的理论和方法,结合航空金属材料锻造与热处理的工艺特点和质量要求,确保各项质量控制措施具有科学依据。系统性原则强调质量控制体系是一个有机的整体,要涵盖锻造与热处理的各个环节,从原材料采购到最终产品交付,各个环节之间相互关联、相互影响,要统筹考虑,形成一个完整的质量控制链条。预防性原则注重在生产过程中提前采取措施,预防质量问题的发生,而不是事后进行补救。通过对工艺参数的严格控制、设备的定期维护保养、人员的培训等措施,将质量问题消灭在萌芽状态。持续改进原则要求质量控制体系要不断适应航空工业的发展和科技进步,根据生产过程中出现的新问题、新情况,及时对质量控制体系进行修订和完善,不断提高质量控制水平。

#### 4.2 质量控制体系的结构与要素

航空金属材料锻造与热处理质量控制体系的结构应包括质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等四个主要部分。质量策划是质量控制体系的基础,要根据航空产品的质量要求和锻造与热处理工艺特点,制定详细的质量计划和质量目标,明确各环节的质量控制要点和责任人。质量控制是质量控制体系的核心,包括对原材料、锻造过程、热处理过程以及最终产品的质量控制,通过制定严格的检验标准和检验方法,对各个环节进行实时监控和检验,确保产品质量符合要求。质量保证是为使质量策划和质量控制能够有效实施而提供信任的活动,包括建立质量管理体系、开展质量培训、进行质量审核等,通过这些活动确保质量控制体系的正常运行。质量改进是质量控制体系的动力,通过对质量数据的分析和评估,找出存在的问题和不足,采取针对性的改进措施,不断提高产品质量和生产效率。质量控制体系的要素主要包括人员、设备、材料、工艺方法和环境等<sup>[4]</sup>。人员是质量控制的关键,要加强对生产人员的培训和管理,提高其质量意识和操作技能;设备是保证产品质量的重要手段,要定期对设备进行维护保养和校准,确保设备正常运行;材料是产品质量的基础,要严格控制原材料的质量,确保其符合要求;工艺方法是保证产品质量的核心,要制定科学合理的工艺文件,并严格执行;环境因素也会对产品质量产生影响,要控制好生产环境

的温度、湿度、清洁度等条件。

#### 4.3 质量控制体系的实施与运行

质量控制体系的实施与运行需要全体员工的积极参与和配合。首先要加强对员工的质量培训,使员工了解质量控制体系的重要性和相关要求,掌握质量控制的方法和技能,提高员工的质量意识和责任感。其次,要建立健全质量管理体系,明确各部门和各岗位的质量职责和 workflows,确保质量控制工作有章可循。在生产过程中,要严格按照质量控制体系的要求进行操作,加强对原材料、锻造过程、热处理过程以及最终产品的检验和监控,及时记录质量数据,对发现的质量问题要及时进行分析和处理。同时,要定期对质量控制体系进行内部审核和管理评审,检查质量控制体系的运行情况,发现问题及时采取纠正措施和预防措施,不断完善质量控制体系。另外,还要加强与供应商和客户的沟通与合作,及时了解市场需求和质量反馈信息,不断优化质量控制体系,提高产品质量和市场竞争能力。通过以上措施,确保航空金属材料锻造与热处理质量控制体系的有效实施与运行,为航空工业的发展提供高质量的产品保障。

#### 结束语

航空金属材料锻造与热处理的质量控制,是保障航空产品安全与性能的关键。通过构建科学、系统、预防且持续改进的质量控制体系,从原材料到成品各环节严格把关,强化人员、设备等多要素管理,确保质量控制体系有效运行。未来,随着航空工业发展,需不断优化该体系,以适应新技术需求,为航空事业提供更可靠的材料与工艺支持,助力航空领域迈向新高度。

#### 参考文献

- [1]温保鹏,陈民涛,豆瑞锋,等.金属材料锻造和热处理行业的节能研究进展[J].金属加工(热加工),2025,(04):1-10+19.
- [2]谢帅.高速工具钢的锻造和热处理研究[J].现代工业经济和信息化,2020,10(10):111-112.
- [3]董国平.金属材料热处理技术的应用及其发展趋势[J].河南科技,2024,51(18):86-89.
- [4]白阳,李松,宗伟.金属材料热处理工艺与技术分析[J].化工管理,2024,(25):151-154.