

铜加工过程中温度与压力控制的优化对产品质量的影响

阮哲锋¹, 余铁均²

¹浙江铜加工研究院有限公司 浙江绍兴

²浙江海亮股份有限公司 浙江绍兴

【摘要】在制造业迈向高质量发展的浪潮中，铜加工产品质量关乎企业兴衰。本研究锚定温度与压力控制，深度解析其优化对铜产品质量的变革性影响。从工艺根基梳理，到传统困境剖析，再到创新路径探寻与未来趋势洞察，全方位展现精准控制如何重塑铜加工质量版图，助力行业突破发展瓶颈。

【关键词】铜加工；温度控制；压力控制；产品质量

【收稿日期】2025 年 1 月 10 日

【出刊日期】2025 年 2 月 14 日

【DOI】10.12208/j.ijme.20250012

The influence of the optimization of temperature and pressure control during copper processing on product quality

Zhefeng Ruan¹, Tiejun Yu²

¹Zhejiang Copper Processing Research Institute Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang

²Zhejiang Hailiang Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang

【Abstract】In the wave of the manufacturing industry moving towards high-quality development, the quality of copper processing products is crucial to the rise and fall of enterprises. This study focuses on temperature and pressure control and deeply analyzes the transformative influence of their optimization on the quality of copper products. From sorting out the foundation of the processing technology, analyzing the traditional dilemmas, exploring the innovative paths to understanding the future trends, it comprehensively demonstrates how precise control reshapes the quality landscape of copper processing and helps the industry break through the development bottleneck.

【Keywords】Copper Processing; Temperature Control; Pressure Control; Product Quality

引言

铜，作为兼具优良导电性、导热性及加工性能的金属，在电气、电子、建筑等领域举足轻重。在铜加工环节，温度与压力宛如把控产品质量的“命门”，深刻影响产品微观结构与宏观性能。但传统控制手段精度与稳定性的短板，已难以契合当下对铜产品高品质的严苛要求^[1]。优化温度与压力控制，为铜加工行业解锁质量提升新密码，开启高质量发展新征程，有望改写行业质量管控格局。

1 铜加工工艺基础与温度、压力作用

1.1 常见铜加工工艺类型与流程介绍

常见铜加工工艺涵盖铸造、锻造与轧制。铸造时，先将铜料投入熔炉，经高温熔炼、精炼除杂，得到纯

净铜液，再精准浇铸至预热模具，冷却凝固成型，适用于制造复杂形状零件，如艺术铜雕，但易产生气孔、缩松等缺陷^[2]。锻造流程为将铜坯加热至特定温度区间，置于锻压设备下，通过锻锤或压力机反复锻打，使其塑形，能改善内部组织，提升力学性能，不过对设备吨位要求高，不适用于超复杂形状加工。轧制则是让加热或常温铜坯在轧辊间受压，逐步延展成板材、管材，生产效率高、产品精度好，常用于大规模生产建筑用铜板、电子用铜箔，但对设备精度和工艺控制极为严苛^[3]。

1.2 温度在铜加工各阶段的影响机制解析

在熔炼阶段，温度是关键。适宜高温使铜料充分熔化，杂质上浮分离，若温度过高，铜液易吸气，降

低纯度; 过低则熔化不充分, 影响后续工序。铸造时, 模具温度与冷却速度主导铜液凝固进程。快速冷却形成粗大晶粒, 削弱材料强度与韧性; 缓慢冷却虽可细化晶粒, 却可能引发缩孔^[4]。锻造中, 坯料加热温度决定塑性, 过热会使铜材晶粒粗大、性能劣化; 温度不足则变形抗力剧增, 加工困难。

1.3 压力在铜加工过程中的功能与作用探讨

压力在铜加工中肩负塑形与成型重任。铸造环节, 恰当压力助力铜液填充模具细微处, 减少气孔、缩松, 提升铸件致密度。锻造时, 压力驱使铜坯塑性变形, 通过巧妙调控压力大小、方向与作用时长, 能改变晶粒取向与形态, 细化晶粒, 显著增强材料强度、韧性。轧制工艺里, 轧辊压力让铜坯延展变薄, 实现板材、管材成型。精准控制压力对保证产品尺寸精度、表面平整度及内部组织均匀性意义重大, 压力失衡会导致产品表面划伤、厚度不均或变形不足, 严重影响质量。

2 传统铜加工中温度与压力控制存在的问题

2.1 控制精度不足的表现与原因分析

传统铜加工在温度与压力控制精度上问题凸显。温度方面, 熔炼时炉温波动大, 难以精准维持设定温度, 致使铜液质量不稳定; 铸造时, 模具各部位温度不均, 零件不同位置凝固速度有别, 影响微观结构一致性。这源于温控设备老化、测温元件精度低及缺乏实时反馈调节机制^[5]。压力控制同样欠佳, 锻造时, 压力机压力输出偏差大, 难以保证每次锻打压力恒定; 轧制中, 轧辊压力调节滞后, 面对铜坯材质不均, 无法及时调整, 导致产品厚度偏差超标准。主要因压力传感器精度受限、控制系统响应慢, 无法适应复杂多变的加工工况。

2.2 控制稳定性差带来的质量波动问题

控制稳定性差致使铜产品质量波动频繁。在连续铸造过程中, 温度忽高忽低, 铜液凝固状态不稳定, 铸件内部晶粒大小不一, 出现缩孔、裂纹等缺陷, 严重影响产品强度与韧性。锻造时, 压力不稳定使铜坯变形程度不一致, 同一批次零件尺寸精度、力学性能差异大, 增加后续加工难度与废品率^[6]。轧制时, 压力波动导致板材厚度不均、表面粗糙度不稳定, 影响产品外观与使用性能。质量波动不仅浪费原材料与加工成本, 还降低企业信誉, 削弱市场竞争力。

2.3 缺乏实时调控能力的制约与影响

传统控制方式缺乏实时调控能力, 严重制约铜加工质量提升。加工过程中, 若铜坯材质突变或环境温度、湿度变化, 温度与压力无法及时调整。如铸造时, 模具局部过热, 因无实时温控措施, 铸件该部位易产生热裂缺陷。锻造时, 铜坯变形抗力意外增大, 压力却不能实时提升, 导致变形不充分。轧制时, 铜坯硬度变化, 轧辊压力不能实时适配, 造成板材厚度偏差、板形不良。缺乏实时调控使企业难以应对复杂加工场景, 限制产品质量提升空间, 阻碍行业向高端化发展。

3 优化温度与压力控制提升产品质量的途径

3.1 先进控制技术与设备的应用

引入先进控制技术与设备是提升温度、压力控制水平的关键。在温度控制上, 采用高精度智能温控仪, 搭配铂电阻等高精度测温元件, 能精确感知温度变化, 结合模糊控制、PID 控制算法, 实现炉温、模具温度精准调控。压力控制方面, 运用高精度压力传感器, 实时监测压力变化, 配合电液伺服控制系统, 可快速、精准调节压力机、轧辊压力。例如, 在锻造中, 压力传感器将压力信号实时反馈给电液伺服系统, 系统依此快速调整压力输出, 确保锻打压力恒定, 提升产品质量稳定性^[7]。

3.2 工艺参数优化与精准调控策略制定

优化工艺参数并制定精准调控策略至关重要。通过实验与模拟分析, 确定不同铜加工工艺、不同铜合金材质下的最佳温度、压力参数范围。如铸造特定铜合金时, 经多次试验, 得出模具预热温度、铜液浇铸温度及冷却速率的最优组合, 保证铸件晶粒细小、组织致密。锻造时, 依据铜坯尺寸、形状及目标性能, 制定压力加载曲线, 精确控制每次锻打压力与行程。轧制中, 结合铜坯材质与产品规格, 优化轧辊转速、压下量等参数, 实现板材厚度、板形精准控制, 提升产品质量与生产效率。

3.3 构建温度、压力协同控制体系的方法

构建温度与压力协同控制体系可进一步提升产品质量。建立多物理场耦合模型, 综合考虑温度、压力及铜材料特性间相互影响, 为协同控制提供理论依据。例如, 在热挤压铜材时, 依据模型预测不同温度、压力组合下材料流动状态, 提前优化控制参数。利用先进自动化控制系统, 将温度、压力控制回路关联, 实现协同调节。当温度变化影响铜材变形抗力

时,系统自动调整压力,维持加工过程稳定。通过协同控制,使温度、压力在加工各阶段相互适配,保障产品微观结构与性能一致性,显著提升产品质量^[8]。

4 优化控制在铜加工实际应用中的挑战与应对

4.1 技术实施难度与解决方案探讨

优化控制技术实施面临诸多难题。先进控制设备成本高昂,小型铜加工企业资金压力大,难以引入。同时,新技术对操作人员技能要求高,现有员工可能难以驾驭。解决方案为政府出台补贴政策,鼓励企业购置先进设备;企业与高校、科研机构合作,开展技术培训,提升员工技能。此外,针对复杂加工工艺,研发定制化控制方案,降低技术实施难度,确保先进控制技术在企业顺利落地,提升整体行业技术水平。

4.2 成本增加与效益平衡的策略研究

优化温度、压力控制初期成本增加显著,包括设备采购、技术研发、人员培训等费用。为平衡成本与效益,企业可从多方面着手。通过优化工艺,提高产品合格率,降低废品率,减少原材料浪费,间接降低成本。利用先进设备提高生产效率,增加产量,分摊固定成本。长远来看,高质量产品可提升企业品牌形象,拓展高端市场,提高产品附加值,从销售端增加收益,实现成本与效益的动态平衡,保障企业可持续发展。

4.3 人员适应与培训需求的分析与对策

员工适应新的温度、压力控制方式存在困难。习惯传统操作的员工对先进设备、复杂控制算法存在畏难情绪,且新控制方式工作流程、操作规范变化大,员工短期内难以适应。企业应制定系统培训计划,邀请设备厂家技术人员、行业专家授课,理论结合实操,让员工掌握新设备操作与控制技术。设立内部激励机制,对快速适应并熟练运用新控制方式的员工给予奖励,激发员工积极性,加快人员适应进程,保障优化控制措施顺利推行。

5 温度与压力控制优化的未来发展趋势

5.1 与新兴技术融合的发展方向展望

未来,温度与压力控制将与新兴技术深度融合。与人工智能结合,利用机器学习算法对大量加工数据进行分析,预测温度、压力变化趋势,实现智能预警与提前调控。如通过分析历史数据,预测熔炼炉温波动,提前调整加热功率。与物联网技术融合,实现

设备远程监控与控制,工作人员可随时随地查看温度、压力数据,远程调整控制参数。与大数据技术协同,整合生产各环节数据,优化生产流程,提升整体生产效率与产品质量,推动铜加工向智能化、无人化迈进。

5.2 对铜加工行业产品质量提升的深远影响预测

温度、压力控制优化将对铜加工行业产品质量产生深远影响。产品微观结构将更加均匀、致密,力学性能显著提升,可满足航空航天、电子芯片等高精尖领域对铜材的严苛要求。产品尺寸精度、表面质量大幅提高,减少后续加工工序,降低生产成本。质量提升促使企业拓展高端市场,增强国际竞争力,推动行业淘汰落后产能,实现产业升级,助力铜加工行业在全球产业链中迈向中高端位置,重塑行业发展格局。

5.3 行业标准与规范的演变趋势探讨

随着温度、压力控制优化技术发展,行业标准与规范将不断演变。对温度、压力控制精度、稳定性等指标要求将更严格,如铸造温度波动范围、锻造压力偏差标准将进一步缩小。新增关于先进控制技术应用、协同控制效果评估等标准内容,引导企业规范采用新技术。标准更新频率加快,以适应技术快速发展。行业协会、企业、科研机构将加强合作,共同制定符合行业发展趋势的标准,保障铜加工产品质量稳步提升,推动行业健康有序发展。

6 结论

本研究全方位揭示了优化温度与压力控制对铜加工产品质量提升的显著成效。从深入剖析工艺基础与传统控制弊端,到探索创新优化路径,再到应对实际应用挑战、展望未来发展趋势,充分彰显了精准控制在提升产品质量、推动行业升级中的核心价值。尽管当前面临技术实施、成本控制等难题,但伴随持续创新与行业协同,温度与压力控制优化必将深度重塑铜加工质量管控生态,助力企业在激烈市场竞争中脱颖而出,引领铜加工行业驶向高质量发展新航道。

参考文献

- [1] 刘永平.金属压力加工补偿温度自动控制系统[J].机械制造与自动化,2023,52(01):80-83.

- [2] 张洪雨.TU1 铜-304 不锈钢换热器真空扩散连接技术研究[D].哈尔滨工业大学,2020.
- [3] 李晨光.超细晶铜的微结构设计、制备及性能研究[D].上海交通大学,2020.
- [4] 罗毓.TiB₂/BN 陶瓷与铜的钎焊工艺试验与残余应力分析[D].长江大学,2019.
- [5] 李龙江,黄宋魏,成奖国.矿物加工测试技术[M].化学工业出版社:201803.240.
- [6] 刘启阳.连续挤压技术在铜加工中的应用[J].中国金属通报,2024,(11):111-113.
- [7] 吴琼.中国铜加工产业沿着高质量发展之路赓续前行[J].中国有色金属,2022,(21):27-33.
- [8] 田林金.铜加工轧机废油收集净化处理装置.安徽省,安徽永杰铜业有限公司,2021-10-08.
- 版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**OPEN ACCESS**