

探索新型铜加工工艺对材料性能的提升作用

余铁均¹, 阮哲锋²

¹浙江海亮股份有限公司 浙江绍兴

²浙江铜加工研究院有限公司 浙江绍兴

【摘要】在材料科学蓬勃发展的当下,铜材料因广泛应用而备受关注。本研究聚焦新型铜加工工艺,深入剖析其对材料性能的提升作用,解析工艺原理,梳理传统工艺局限,探寻性能优化路径,洞察应用挑战与趋势,全方位呈现新工艺如何挖掘铜材料潜力,拓展其应用领域。

【关键词】新型铜加工工艺;材料性能;工艺优化;应用拓展

【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.20250016

Exploring the enhancement effect of new copper processing technology on material properties

Tiejun Yu¹, Zhefeng Ruan²

¹Zhe Jiang Hai Liang Co.,Ltd., Shaoxing, Zhejiang

²Zhejiang Copper Processing Research Institute Co.,Ltd., Shaoxing, Zhejiang

【Abstract】In the current context of the vigorous development of materials science, copper materials have received much attention due to their extensive applications. This study focuses on new copper processing technologies, deeply analyzes their enhancement effects on material properties, interprets the principles of these processes, sorts out the limitations of traditional processing techniques, explores the paths for property optimization, and understands the challenges and trends in application. It comprehensively demonstrates how the new processes can tap the potential of copper materials and expand their application fields.

【Keywords】New Copper Processing Technology; Material Properties; Process Optimization; Application Expansion

引言

铜材料凭借其出色的导电性、导热性以及良好的加工性能,在电气、电子、建筑等诸多领域发挥着不可或缺的作用。然而,随着科技的飞速进步,各行业对铜材料性能的要求日益严苛,传统加工工艺在满足这些需求时逐渐显得力不从心。新型铜加工工艺凭借创新的理念与先进技术,为提升铜材料性能带来了新的希望,有望重塑铜材加工与应用的新格局。

1 铜材料特性与加工工艺基础

1.1 铜材料的物理与化学特性解析

铜具有卓越的物理特性,其导电性在金属中名列前茅,是制造电线电缆的理想材料,能有效降低电

能传输损耗。优良的导热性使其在散热领域大显身手,如电子设备的散热片常选用铜材^[1]。铜还具备一定的耐腐蚀性,在一般环境中不易生锈。从化学特性看,铜化学性质相对稳定,在常温下不易与常见化学物质发生剧烈反应,这保障了其在多种场景下的长期使用性能。

1.2 传统铜加工工艺的类型、流程与特点介绍

传统铜加工工艺包含铸造、锻造、轧制等。铸造是将铜液倒入特定模具,冷却凝固成型,流程为熔炼铜料、浇铸、脱模,特点是能制造形状复杂的零件,但内部易产生气孔等缺陷。锻造通过锻压设备对铜坯施加压力使其成型,先加热铜坯,再锻打塑形,其制品组织致密、强度较高,不过对形状复杂度有一定

限制。轧制则是让铜坯通过轧辊受压变形,依次经过粗轧、精轧等工序,适合生产板材、管材等,生产效率高,但对设备要求较高^[2]。

1.3 新型铜加工工艺的概念、分类与发展背景分析

新型铜加工工艺突破传统束缚,利用创新技术手段提升加工效果。半固态加工是使铜处于固液混合态进行成型,能改善材料微观组织,提高性能。增材制造则是通过逐层堆积材料构建铜制物件,可实现复杂形状制造。随着科技发展,各行业对铜材料性能要求攀升,传统工艺难以满足,加之先进制造技术涌现,为新型铜加工工艺的发展提供契机,促使其不断创新与完善。

2 传统铜加工工艺在材料性能提升方面的局限

2.1 对材料微观结构优化的不足及影响

传统铜加工工艺在优化材料微观结构上存在短板。铸造过程中,铜液快速冷却,原子扩散不充分,极易形成粗大晶粒,这些粗大晶粒会削弱晶界强化作用,极大降低材料强度与韧性。锻造虽能改善部分微观结构,但对于一些复杂形状零件,由于各部位受力不均,变形不均匀,导致微观组织均匀性欠佳,影响材料性能一致性。轧制过程中,板材内部原子在轧制力作用下定向排列,易产生织构,使得材料在不同方向上的性能出现差异,严重影响材料各向异性性能。微观结构不理想,致使材料在承受复杂应力时,晶界处应力集中,易出现裂纹扩展,大幅降低使用寿命,严重限制其在航空航天、电子芯片制造等高端领域的应用。

2.2 材料力学性能提升的瓶颈与问题探讨

传统工艺在提升铜材料力学性能方面面临瓶颈。铸造工艺因内部存在气孔、缩松等缺陷,难以大幅提高强度,且受缺陷影响,韧性提升有限。锻造需较大设备吨位与能耗,对于一些高强度铜合金,因其变形抗力大,锻造极为困难,且加工过程中零件与模具剧烈摩擦,易产生表面缺陷,影响零件质量^[3]。轧制板材时,随着厚度减薄,位错大量增殖且相互缠结,加工硬化严重,进一步提升强度时,材料内部位错运动受阻加剧,易导致材料变脆,在保证强度与韧性平衡上存在难以调和的难题,难以满足航空航天、高端机械装备等对材料高性能的严苛需求^[4]。

2.3 复杂形状与高精度加工的难题及制约

传统铜加工工艺在复杂形状与高精度加工方面困难重重。铸造依靠模具成型,受铜液充型能力、模具表面粗糙度等因素影响,难以精确控制尺寸精度,复杂形状的细节部分如薄壁、深孔等易出现偏差。锻造对于复杂形状零件,模具需贴合零件形状设计,设计与制造难度大,成本高昂,且锻造过程中零件变形规律复杂,变形控制不易,难以保证精度。轧制通过轧辊对板材施加压力使其变形,仅适合生产规则形状产品,对于复杂异形件,无法实现成型加工。这些难题制约了铜材料在精密仪器、高端装备如光刻机零部件、卫星精密结构件等对形状与精度要求苛刻领域的应用。

3 新型铜加工工艺提升材料性能的作用机制

3.1 改变材料微观结构以优化性能的原理

新型铜加工工艺能有效改变材料微观结构。半固态加工时,固液混合态的铜在剪切力作用下,初生固相颗粒被不断破碎并细化,且在液相中均匀分布,最终形成细小等轴晶组织,这种细小均匀的组织极大增加了晶界面积,晶界强化效果显著,大幅提升材料强度与韧性^[5]。增材制造通过精确控制材料堆积过程,利用不同能量源如激光、电子束等逐层熔化堆积材料,可灵活调控微观组织形态,如制造出具有梯度结构的铜材料,从零件表面到内部,组织和性能呈梯度变化,在不同部位呈现不同性能,精准满足特定工况需求。

3.2 提高材料力学性能的工艺手段与途径

半固态加工通过优化工艺参数,如精准控制温度在固液两相区的范围、调节剪切速率大小等,使铜材料内部原子排列更加紧密有序,组织更加致密,位错密度显著增加,位错强化作用增强,从而有效提高强度。增材制造可采用不同的能量输入方式,如高能量密度的激光快速熔化材料,使材料快速凝固,晶粒来不及长大,细化晶粒,增强材料综合力学性能。一些新型热加工工艺,通过精确控制加热与冷却速率,在铜材料内部引入有益的残余应力,这些残余应力可抵消部分服役时的外部应力,提升疲劳性能,延长材料使用寿命^[6]。

3.3 实现复杂形状与高精度加工对性能的积极影响

新型工艺实现复杂形状与高精度加工,对材料性能有积极影响。增材制造能制造出内部具有复杂

流道、点阵结构的铜制零件,这种独特结构在减轻重量的同时,因结构的优化设计,如点阵结构的力学支撑特性,提高了材料的比强度,使其在轻量化的同时保持较高强度。高精度加工确保零件尺寸精准,公差控制在极小范围,减少装配间隙,使材料在服役时受力更均匀,避免应力集中现象,从而大幅提高材料的可靠性与使用寿命,有力拓展铜材料在高端制造业如医疗器械、高端汽车零部件制造等领域的应用范围。

4 新型铜加工工艺的应用领域与前景展望

4.1 在电气电子领域的应用案例与优势分析

在电气电子领域,新型铜加工工艺优势显著。例如,采用增材制造技术制造的铜制电子散热器,能根据散热需求设计出复杂高效的散热结构,大幅提升散热效率,保障电子设备稳定运行。半固态加工的铜制电子连接器,微观组织优良,接触电阻小,导电性能更稳定,减少信号传输损耗,广泛应用于手机、电脑等电子产品,提升产品性能与质量。

4.2 在航空航天领域的潜在应用与性能需求契合点

航空航天领域对材料性能要求极高,新型铜加工工艺与之高度契合。增材制造可制造出满足航空发动机轻量化需求的铜合金零件,如复杂的燃油喷嘴,在减轻重量的同时保证高强度与耐高温性能。半固态加工的铜基复合材料,可用于制造飞机的电气线路连接部件,因其良好的导电性与力学性能,能适应航空航天严苛的工作环境,为航空航天技术发展提供有力材料支撑^[7]。

4.3 在其他领域的拓展应用可能性探讨

在建筑领域,新型铜加工工艺可制造出造型独特、性能优异的铜质装饰材料与结构件。如通过增材制造打造复杂铜雕装饰,提升建筑艺术美感;半固态加工的高强度铜合金用于建筑门窗框架,提高其耐用性与安全性。在汽车领域,新型工艺制造的铜制零部件可应用于新能源汽车的电池连接系统与散热系统,提升汽车性能,拓展铜材料在多领域的应用边界。

5 新型铜加工工艺推广面临的挑战与应对策略

5.1 技术实现中的难题与解决方案探讨

技术实现上,新型铜加工工艺面临诸多难题。半固态加工时,设备对温度与剪切力的精准控制要求

近乎严苛,导致设备造价极高。解决方案除研发专用设备、优化控制算法外,还需探索更稳定的工艺介质,提升控制稳定性。增材制造中,铜材料因快速凝固特性,极易在成型时产生裂纹。需深入研究不同预热温度、后处理工艺组合,以及开发适配的铜合金粉末配方,以提升材料成型质量,突破技术瓶颈。

5.2 成本控制与经济效益平衡的策略研究

新型工艺成本较高,制约其推广。一方面,规模化生产时可引入智能化管理系统,精准调控生产流程,进一步降低设备分摊成本,提高材料利用率,减少浪费。另一方面,持续优化工艺流程,借助先进模拟技术缩短加工周期,降低能耗。例如,对半固态加工流程深度改进,运用自动化衔接减少工序间等待时间;对增材制造参数进行多维度优化,在保证材料性能提升的同时,实现成本控制与经济效益的平衡^[8]。

5.3 行业标准与规范制定的必要性及推进措施

制定行业标准与规范十分必要,目前新型铜加工工艺缺乏统一标准,导致产品质量参差不齐。推进措施不仅要组织行业专家、企业代表共同参与标准制定,参考国际先进经验,结合国内实际情况,制定涵盖工艺参数、产品质量检测等方面的标准,还需建立标准动态更新机制,定期根据技术发展与市场反馈修订标准。加强标准宣贯与培训,利用线上线下结合方式,促使企业严格执行,保障新型铜加工工艺健康发展。

6 结论

本研究全面展示了新型铜加工工艺对提升铜材料性能的显著成效。从深入解析铜材料特性与工艺基础,到突破传统工艺局限,再到揭示新型工艺提升性能的机制、拓展应用领域,以及应对推广挑战,彰显了新型工艺在挖掘铜材料潜力方面的巨大价值。尽管面临技术、成本等挑战,但随着持续创新与行业协同,新型铜加工工艺必将推动铜加工行业迈向新高度,为多领域发展提供优质材料支撑,拓展铜材料的应用边界。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 田林金,铜加工污水环保处理装置.安徽省,安徽永杰铜业有限公司,2021-07-16.
- [5] 张小红.大变局下铜加工产业机遇在哪[J].中国有色金属,2020,(19):42-43.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] 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.

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