

高铬铸铁耐磨性能优化及铸造工艺改进分析

刘全存

安徽芜湖久弘重工股份有限公司 安徽芜湖

【摘要】高铬铸铁因其优异的耐磨性能广泛应用于矿山、冶金等行业的关键零部件。传统高铬铸铁在实际使用中仍存在耐磨性能不稳定和铸造缺陷的问题。本文系统分析了高铬铸铁的显微组织特征与耐磨性能的关系，重点探讨了合金成分调整及热处理工艺对其耐磨性能的优化路径。结合先进铸造工艺改进措施，提出了提升高铬铸铁耐磨性能和铸造质量的有效方法，为相关产业的材料选择和工艺设计提供理论支持和技术参考。

【关键词】高铬铸铁；耐磨性能；合金成分；铸造工艺；热处理

【收稿日期】2024 年 5 月 10 日

【出刊日期】2024 年 12 月 20 日

【DOI】10.12208/j.ijme.20240014

Analysis of wear resistance optimization and casting process improvement for high-chromium cast iron

Quancun Liu

Wuhu Jiuhong Heavy Industry Co., Ltd, Wuhu, Anhui

【Abstract】High-chromium cast iron is widely used in key components of industries such as mining and metallurgy due to its excellent wear resistance. However, traditional high-chromium cast iron still faces issues of unstable wear resistance and casting defects in practical applications. This paper systematically analyzes the relationship between the microstructural characteristics and wear resistance of high-chromium cast iron, with a focus on discussing the optimization paths for its wear resistance through alloy composition adjustment and heat treatment processes. Combined with improvements in advanced casting techniques, effective methods for enhancing the wear resistance and casting quality of high-chromium cast iron are proposed, providing theoretical support and technical references for material selection and process design in related industries.

【Keywords】High-chromium cast iron; Wear resistance; Alloy composition; Casting process; Heat treatment

引言

高铬铸铁作为一种典型的耐磨材料，在工业生产中扮演着重要角色。其高硬度和优异的耐磨性使其广泛应用于矿山破碎机、磨煤机等设备的耐磨部件中。在实际应用过程中，高铬铸铁材料常常面临耐磨性能波动大、组织不均匀及铸造缺陷等问题，严重影响其使用寿命和设备稳定性。如何系统提升其耐磨性能并优化铸造工艺，成为材料科学和铸造工程领域的重要研究方向。本文将围绕高铬铸铁的耐磨机理及铸造工艺现状，深入分析其存在的关键问题，探索成分调控与工艺改进的有效途径，旨在为高铬铸铁材料的性能提升提供科学依据和技术支撑。

1 高铬铸铁耐磨性能现状及存在问题分析

高铬铸铁作为一种重要的耐磨材料，因其硬度

高、耐腐蚀性强而在矿山、冶金、机械制造等行业得到广泛应用。其耐磨性能主要来源于高铬含量形成的硬质碳化物网络，这种显微组织结构赋予材料优异的抗磨损能力。在实际生产和应用过程中，高铬铸铁仍面临诸多挑战。耐磨性能的稳定性受到合金元素分布不均匀、碳化物形态与分布差异以及基体组织结构影响显著，这些因素导致材料在不同工况下表现出差异较大的耐磨行为。铸造过程中因温度控制不当、冷却速率变化等原因，常产生气孔、夹渣和裂纹等缺陷，直接影响材料的力学性能和使用寿命。

材料的显微组织对高铬铸铁的耐磨性能具有关键影响。高铬铸铁中主要含有 M₇C₃ 型碳化物，这种碳化物硬度极高且分布较为密集，是决定材料耐磨性的核心因素。碳化物的形态和尺寸控制较为复

杂,若碳化物颗粒过大或分布不均匀,容易导致局部应力集中,从而引发材料的早期损伤甚至断裂^[1]。基体组织主要为马氏体或贝氏体,这两种组织在硬度与韧性之间存在一定的权衡。过硬的基体虽然能提升耐磨性能,但韧性不足会使材料更易发生脆性断裂,而基体过软则会降低整体耐磨效果。实现碳化物与基体组织之间的合理匹配,是提升高铬铸铁耐磨性能的关键所在。

铸造工艺的改进同样对高铬铸铁性能起着重要作用。传统铸造工艺受限于温度控制和浇注技术,难以避免内部缺陷的产生,影响材料的致密度和组织均匀性。随着先进铸造技术的发展,如精密铸造和真空铸造,能够有效减少夹杂和气孔,改善组织致密性,从而提升整体耐磨性能。合理设计冷却速率和热处理工艺,可以促进碳化物细化 and 均匀分布,优化基体组织,提高材料综合机械性能。综上,深入分析高铬铸铁耐磨性能现状及其存在的铸造缺陷,对于后续材料优化和工艺改进具有重要指导意义。

2 合金成分调控对耐磨性能的影响研究

合金成分是决定高铬铸铁耐磨性能的核心因素之一,不同元素的添加不仅影响碳化物的类型和分布,还对基体组织的形成及其力学性能产生显著影响。铬元素含量的高低直接影响 M7C3 碳化物的数量和稳定性,适量的铬可以促进硬质碳化物的形成,提高材料的耐磨性。过高的铬含量可能导致碳化物过于粗大,降低材料的韧性和抗冲击性能。碳元素作为碳化物的重要组成部分,其含量需严格控制,以保证碳化物形态的均匀细化,防止出现脆性断裂区域。硅和锰等合金元素则通过调节基体组织和提高脱氧能力,对材料的整体性能发挥辅助作用。

钼、镍、铜等合金元素的加入对高铬铸铁的耐磨性能及韧性具有显著改善效果。钼能够提高碳化物的硬度和热稳定性,促进基体形成更为致密的马氏体或贝氏体结构,从而提升耐磨损能力和抗热疲劳性能^[2]。镍的加入则改善了材料的韧性,提高抗冲击性,降低碳化物与基体界面的应力集中现象。铜元素在适当浓度范围内有助于强化基体,提高耐腐蚀性能,同时对耐磨性能也有一定的正向影响。合金元素的协同作用使得材料在保持高硬度的也兼顾了一定的韧性和抗疲劳性能,满足复杂工况下的使用需求。

合理调控合金成分的配比和含量,结合热处理工艺优化,是提升高铬铸铁耐磨性能的重要途径。通

过精准控制元素含量,可以实现碳化物细化、分布均匀和基体组织优化,从而显著提高材料的耐磨性和综合机械性能。实验研究表明,不同工况下对合金成分的需求存在差异,应根据具体应用环境选择合适的合金设计方案。未来对合金设计的深入研究,将进一步推动高铬铸铁耐磨材料向高性能、多功能方向发展,提升其在工业领域的应用价值。

3 铸造工艺改进技术及其对性能提升的作用

铸造工艺是影响高铬铸铁性能的关键环节,直接关系到材料的组织结构和力学性能的形成。传统铸造过程中,由于浇注温度控制不稳定及冷却速率不均匀,易导致内部缺陷如气孔、夹杂和裂纹的产生,这些缺陷不仅降低了材料的致密性,还对耐磨性能造成负面影响。改进铸造工艺,特别是在温度控制和浇注工艺方面的优化,能够有效减少缺陷发生,提高铸件的内部质量。采用自动化温控系统和精确的浇注工艺设计,可以保证熔体温度的均匀性和稳定性,从而促进碳化物的均匀析出和基体组织的细化,进而提升耐磨性能和整体机械强度。

现代铸造技术的不断进步推动了高铬铸铁生产工艺的革新,真空铸造和离心铸造等先进工艺逐渐成为行业关注的重点。真空铸造技术通过在低压环境下进行浇注,显著减少了熔体中的气体含量,从而有效降低了气孔和夹杂物的数量,提高了铸件的致密度和整体力学性能。这种技术不仅优化了材料的显微组织,使碳化物分布更加均匀,还增强了材料的耐磨性和抗疲劳能力,提升了其在严苛工况下的表现。另一方面,离心铸造利用离心力加速熔体凝固过程,促进碳化物细化并均匀分布在基体中,形成结构更加致密且均匀的显微组织。这种显著改善的组织结构使高铬铸铁在硬度和韧性之间达到了更理想的平衡,既保证了耐磨性能,又提升了抗冲击性,从而极大地延长了材料的使用寿命和应用范围。这些先进铸造工艺的应用,为高铬铸铁在矿山、冶金及机械制造等高负荷领域提供了坚实的技术保障。

热处理工艺作为铸造工艺的重要补充手段,对高铬铸铁耐磨性能的提升起到关键作用。合理的淬火和回火工艺不仅能够细化碳化物,提高基体的硬度,还能优化马氏体和贝氏体组织的比例,增强材料的韧性和耐冲击性能。温度和保温时间的精准控制对于组织演变尤为重要,过高或过低的温度都会导致碳化物团聚或基体软化,降低耐磨效果^[3-7]。结合

现代热处理技术,如高温回火和多级热处理,可以实现组织的稳定均匀,从而提高铸铁的耐磨寿命和机械性能。总体来看,铸造工艺的改进不仅解决了传统工艺中存在的铸造缺陷问题,更通过组织调控和热处理优化,显著提升了高铬铸铁的综合性能,满足了工业领域对高性能耐磨材料的迫切需求。

4 高铬铸铁耐磨性能优化的综合策略探讨

高铬铸铁耐磨性能的优化需从合金成分设计、铸造工艺改进以及热处理工艺三方面综合施策,形成系统性的优化策略。合金成分的合理调控是基础,通过精准调整铬、碳、钼、镍等关键元素含量,实现碳化物的细化与均匀分布,并优化基体组织结构。高铬含量促使 M7C3 型硬质碳化物形成,提高材料的硬度和耐磨性,而适当控制碳含量则防止碳化物团聚,减少脆性断裂的风险。钼和镍的加入不仅提升碳化物的稳定性,还增强基体的韧性,保证材料在承受复杂载荷时具备良好的耐磨损性能和抗冲击能力。合金元素间的协同作用能够平衡硬度与韧性的关系,满足高性能耐磨材料的需求。

铸造工艺的优化在提升高铬铸铁性能方面具有至关重要的作用。通过引入先进的铸造技术,例如真空铸造、离心铸造以及精密铸造,可以显著减少气孔、夹杂物和裂纹等内部缺陷的生成,从而提升材料的致密度和显微组织的均匀性。精确的温度控制不仅保证了熔体的稳定性,还促进了铸件的均匀冷却,有利于碳化物的细化和均匀分布,增强了材料的硬度和耐磨性。合理设计浇注系统和科学调整冷却曲线,有效减轻了铸造过程中产生的热应力和缩孔缺陷,提高了铸件的整体结构完整性和力学性能。通过对工艺参数的持续优化,高铬铸铁中硬质碳化物网络得以连续且均匀地形成,从而显著提升了材料的耐磨性能和抗疲劳寿命,为高强度负荷工况下的稳定应用提供了坚实保障。

热处理工艺的科学应用为高铬铸铁的性能优化提供了有力支撑。合理的淬火和回火处理能够细化基体组织,改善马氏体和贝氏体的比例,使基体既具备高硬度,又保持足够韧性,避免脆性断裂^[8]。热处理过程控制碳化物的形态和分布,实现碳化物的稳定细化,进一步提升耐磨性能。采用多级热处理或梯度热处理工艺,能够实现材料内部组织的梯度优化,

提高表层硬度和内部韧性,实现耐磨与抗冲击性能的良好结合。综合运用成分设计、铸造工艺及热处理技术,可以从根本上解决传统高铬铸铁耐磨性能不稳定及铸造缺陷多发的问题,为高性能高铬铸铁材料的工业应用奠定坚实基础。

5 结语

高铬铸铁的耐磨性能优化是提升其工业应用价值的关键。通过科学调控合金成分,优化铸造工艺及热处理流程,可以有效改善材料的显微组织和内部缺陷,显著提升其耐磨性和机械性能。综合策略的实施不仅解决了传统工艺中的不足,也推动了高铬铸铁向高性能、多功能方向发展。未来,随着材料科学和制造技术的不断进步,高铬铸铁的性能优化将更加精准和高效,为相关行业提供更加可靠的耐磨解决方案。

参考文献

- [1] 李嗣洋,成小乐,张京兵,等.合金化提高高铬铸铁耐磨性研究进展[J].中国铸造装备与技术,2024,59(06):11-19.
- [2] 袁志钟,刘海明,鞠玉琳,等.亚临界热处理对高铬铸铁组织及性能的影响[J].金属热处理,2024,49(10):1-7.
- [3] 徐家国,胡永乐,全永刚,等.Mn 和 B 元素对电弧熔覆高铬铸铁熔覆层显微组织和耐磨性能的影响[J].材料保护,2024,57(07):199-206.
- [4] 韩跃.钕对渣浆泵高铬铸铁组织和性能影响[J].铸造,2024,73(05):650-652.
- [5] 刘富平.稀土变质剂对炉篦条耐热耐磨性能的影响[J].冶金与材料,2023,43(09):159-161.
- [6] 桂劲松,姚永茂,陈全心,等.不同铸型对高铬铸铁磨球组织与性能的影响[J].铸造工程,2023,47(05):55-58.
- [7] 关帅,曲洛剑,闫岫,等.高硬度过共晶高铬铸铁的合金化与热处理工艺研究[J].阀门,2023,(04):432-435.
- [8] 马金荣,马剑飞,王峰,等.钼对高铬铸铁组织和高温性能的影响[J].兵器材料科学与工程,2022,45(05):115-119.

版权声明: ©2024 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