

高性能润滑策略在减少热连轧磨损中的作用

杨玲玲

安阳钢铁股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i6.8062

[摘要] 本文探讨了高性能润滑策略在减轻热连轧过程中金属材料磨损的重要作用。通过分析热连轧工艺特点、磨损类型及其机制,阐述了采用高性能润滑材料与先进技术对降低设备磨损、提高生产效率和产品品质的积极影响。文章进一步通过实际案例分析,验证了这些策略的有效性,并对比评估了不同润滑技术的性能,为热连轧行业提供了减少磨损的实践指导。

[关键词] 磨损机制; 高性能润滑材料; 润滑技术; 磨损减少

The role of high-performance lubrication strategies in reducing wear during hot rolling

Yang Lingling

Anyang Iron and Steel Co., Ltd

[Abstract] This article explores the important role of high-performance lubrication strategies in reducing metal material wear during hot rolling processes. By analyzing the characteristics, wear types, and mechanisms of hot rolling process, this paper elaborates on the positive impact of using high-performance lubricating materials and advanced technology on reducing equipment wear, improving production efficiency, and product quality. The article further verifies the effectiveness of these strategies through practical case analysis, and compares and evaluates the performance of different lubrication technologies, providing practical guidance for reducing wear in the hot rolling industry.

[Keywords] wear mechanism; High performance lubricating materials; Lubrication technology; Reduced wear and tear

一、引言

热连轧工序,作为钢铁制造业的中枢环节,发挥着举足轻重的作用,它不仅促进了材料性能的显著提升,还保障了大规模连续生产的高效实施,其地位无可比拟。然而,这一过程在高温高压的严苛条件下展开,不可避免地引发了设备与加工材料间的剧烈交互作用,导致了严重的磨损问题。此类磨损不仅大幅度缩减了生产设备的使用寿命,还对成品质量造成了负面影响,拖累了整体生产效率,成为了制约行业发展的瓶颈。

鉴于此,研发并实施高性能的润滑策略,以期有效缓解热连轧作业中的磨损现象,显得尤为迫切和重要。这不仅关乎经济效益的最大化,更是推动产业实践进步的关键。本研究致力于透过现象深入本质,全方位剖析热连轧工艺内部的磨损问题,细究其背后的机理。同时,我们将对多种前沿的高性能润滑材料与技术进行科学评估,聚焦其在磨损减缓方面的实际效能,力求为业界提供坚实的理论支撑与优化路径,助力热连轧领域实现更加高效、可持续的发展策略。

二、热连轧工艺与磨损机制分析

2.1 热连轧工艺简介

热连轧是一种连续进行的热加工工艺,主要用于将加热至高温的钢坯通过一系列旋转的轧辊逐步压延成所需厚度的板材或带材。该过程始于钢坯的加热炉,经过精确控制的温度加热至塑性较好的状态,然后通过入口导板送入粗轧机组进行初步减薄,再依次通过多个精轧机架逐步细化,直至达到目标尺寸。整个过程中,材料需承受极高的温度和压力,这不仅要求设备具有极高的耐热性和强度,同时也使得材料与设备接触面处于极端的工作环境之中。高温条件促使材料软化,易于变形,但也加剧了摩擦和磨损,对设备维护和材料质量控制提出了严峻挑战。

2.2 磨损类型分析

在热连轧这一高度复杂的钢铁制造环节中,磨损问题成为了一个不容忽视的挑战,它不仅限制了生产效率的提升,还直接影响到最终产品的质量。磨损问题主要表现为三大类别:粘着磨损、磨粒磨损及腐蚀磨损,每种类型均需细致分析以制定相应的防控策略(见表1)。

(1)粘着磨损是一种在极端作业环境下尤为突出的磨损

形式,特别是在高温降低了轧辊和带材接触面硬度的情况下。伴随高强度的接触压力,两表面间的微观结构易于产生粘附。材料流动期间,这些微小的粘着点因受力集中而断裂,造成材料片状脱落,有时甚至会破坏轧辊的表面完整性。高温与高速作业环境加剧了粘着磨损的程度,使得设备维护和产品表面质量控制难度增大。

(2)磨粒磨损源于生产环境中难以彻底排除的外来污染物,如灰尘、铁屑等硬质颗粒,它们在轧制过程中进入接触区域,增加了摩擦力,对轧辊及带材表面造成刮痕和材料脱

落,不仅损害了产品的外观质量,还大幅缩减了设备的使用寿命。控制生产环境清洁度和采用有效的过滤系统是减少磨粒磨损的关键。

(3)腐蚀磨损是热处理期间,金属表面与高温环境中的氧气反应生成氧化膜,而膜层的不均匀剥离进一步加速了材料的损耗。此外,冷却水和润滑剂中潜在的腐蚀性成分能与金属发生化学互动,改变材料属性,促进磨损进程。因此,选择抗腐蚀性材料、优化润滑剂配方及严格控制冷却系统水质,对遏制腐蚀磨损至关重要。

表1 热连轧工艺磨损类型分析与防控策略概览

磨损类型	主要原因	防控措施	磨损类型
粘着磨损	高温降低硬度&高压接触	优化温度压力控制	粘着磨损
磨粒磨损	外来硬质颗粒介入	提高清洁度&过滤效果	磨粒磨损
腐蚀磨损	氧化反应&化学腐蚀	选抗腐蚀材料&控制水质润滑剂	腐蚀磨损

2.3 磨损机制探讨

在深入探索热连轧过程中磨损现象的背后,我们不得不细究每种磨损类型的物理与化学机制,以及它们如何受到多方面因素的影响,从而为减缓磨损提供科学依据。

粘着磨损的核心在于材料特性与作业环境的相互作用。提高材料表面硬度能有效抵抗微观粘连的发生,因为较硬的表面不易变形,减少了接触点的“焊接”可能性。此外,优化表面处理工艺,保证高光洁度,可以减少初始接触面积,降低粘附趋势。在操作层面,精准调控轧制温度与压力至适宜范围,可以避免过高的热量软化材料和过大的压力促使粘连。采用具有低剪切强度的润滑剂,可以在两接触面间形成有效的隔离层,减少直接接触,从而显著抑制粘着磨损。

磨粒磨损的严重程度直接受外来杂质特性及润滑条件的制约。硬质磨粒的存在是磨损加剧的主要原因,因此,构建高效过滤系统以清除工作区域内的粉尘和铁屑等异物,是从源头上减少磨粒磨损的关键。同时,选用耐磨性能优异的材料来制造易受磨损的部件,可以增加其抵御磨粒侵袭的能力。实施全面且持续的润滑计划,确保接触面间有足够的油膜厚度,可以有效减轻磨粒对表面的划伤和剥蚀。

腐蚀磨损的防治重点在于材料选择、润滑剂的化学兼容性和作业环境管理。耐腐蚀材料的使用是基础,能从根本上提升部件的抗腐蚀能力。润滑剂的选择不仅要考虑其润滑效果,还必须确保其化学稳定性,避免与金属材料发生不良反应。对冷却水系统的严格监控,特别是维持适宜的pH值和控制氯离子含量,可以防止冷却液成为腐蚀介质,从而有效减缓腐蚀速率。

透彻理解并综合运用上述磨损机制的知识,对于制定合理的润滑与维护策略至关重要。通过精密的材料匹配、生产工艺的不断优化,以及融合先进润滑技术,不仅能够确保产品达到高标准的质量要求,还能极大增强设备的耐用性和生产效率。在热连轧这个竞争激烈的行业中,这种全方位的磨损管理策略是企业保持竞争优势、实现可持续发展的核心要素。

三、高性能润滑材料与技术

3.1 润滑材料特性

在热连轧工艺的高强度作业背景下,高性能润滑材料扮演着确保设备高效运作与减少磨损的至关重要的角色。理想的润滑材料需具备一系列特质,以适应极端工况并发挥最大效能,这些特性主要包括:

(1)高温稳定性:在持续高温的作业条件下,润滑材料需展现出卓越的物理与化学稳定性,确保不挥发、不分解,从而能够长时间保持有效的润滑状态,这对于减少高温作业下的设备磨损尤为关键。

(2)高承载能力:面对巨大的机械压力,润滑材料应能形成稳固的润滑膜层,有效隔绝金属间的直接接触,显著降低磨损。这一特性有助于提升设备的耐久性,减少因重载磨损导致的维护需求。

(3)低摩擦系数:通过减少接触面间的摩擦阻力,不仅能够降低能源消耗,还有效提升设备运行效率,同时进一步减少因摩擦产生的磨损,延长设备使用寿命。

良好的抗氧化性:在高温及富含氧气的环境中,优秀的抗氧化能力能够防止润滑材料快速氧化,延长其有效使用周期,并为设备提供额外的腐蚀防护屏障,维护设备表面的完好。

(4)兼容性与相容性:理想的润滑材料还需与被润滑的部件材质高度兼容,确保不会诱发化学反应或造成腐蚀,同时与系统中可能存在的其他润滑添加剂相容,以维持整个润滑体系的稳定性和效能,避免因不兼容导致的意外损坏或效率损失。

3.2 高性能润滑剂种类

在热连轧工艺中,选用合适的高性能润滑剂是减少磨损、提高效率的关键。

固体润滑剂以二硫化钼(MoS_2)和石墨为代表,专为应对极端条件设计。在极高温度或极高压力的环境下,它们展现出了卓越的润滑保护能力,通过在金属表面形成一层坚韧的转移膜,有效隔绝直接接触,减少摩擦,保护组件免受磨损。特别适用于那些传统液体润滑剂难以企及的严苛工况。

半固体润滑剂(Grease)作为润滑剂家族中的“全能选

手”，是由基础油、增稠剂及各种功能性添加剂混合而成，其稠密的质地确保了长期稳定的润滑效果，不易流失，能有效防止灰尘侵入和水分侵蚀。这种形态的润滑剂非常适合用于滚动轴承、齿轮等需要长期稳定润滑且难以频繁维护的部件，有助于延长维护周期，减少停机时间。

根据不同的作业环境和需求，油基润滑剂凭借其出色的润滑性和耐高温性能，在高温重载的工况下发挥重要作用。而水基润滑剂则以其高效的冷却性能和环境友好性受到青睐，尤其适用于需要良好散热或对环保有严格要求的场景。选择时，应综合考虑实际操作条件和环境保护标准，以达到最佳的润滑效果。

3.3 先进润滑技术

随着材料科学与信息技术的不断进步，一系列革新的润滑技术正深刻改变着热连轧行业的维护标准与生产效率，引领着一场技术革新：

纳米润滑技术通过将纳米级材料，例如纳米铜、纳米二氧化硅，整合进润滑剂之中，巧妙利用纳米粒子的小尺寸效应和高比表面积特性，极大增强了润滑膜的承重与稳固性，有效抑制了摩擦与磨损，展现了润滑效能的革命性飞跃。

生物基润滑剂的出现是对可持续发展理念的积极响应，利用可再生植物油资源制作，不仅在性能上达到了润滑需求，更在生态环保上迈出重要一步，大幅减轻了环境压力。其优异的生物降解性能简化废物处理流程，成为绿色工业发展的首选方案。

自适应润滑系统则是传感器技术和智能算法的完美融合，能够实时监控设备运行状态，准确判断润滑需求，并智能调控润滑剂的用量与种类，确保任何工况下都保持最优化润滑，大大增强了系统的可靠性和运行效率，同时大幅削减维护成本。

这些前沿润滑技术的应用，不仅极大地提升了热连轧的生产效率并减轻了环境影响，更重要的是，它们象征着向智能化、精细化管理的转型，为工业 4.0 时代提供了强有力的技术支柱，推动生产模式的转型升级。

四、高性能润滑策略在减少磨损中的应用案例

4.1 成功案例分析

某大型钢铁企业，面对热连轧生产线中频繁出现的设备磨损问题，特别是轧机轧辊的过早损耗，严重影响了生产效率和产品质量。为解决这一难题，该企业引入了一项综合性的高性能润滑策略，重点采用了固体润滑剂（二硫化钼涂层）和自适应润滑系统相结合的方法。

首先，对轧机的关键接触部件，尤其是轧辊表面，施加了二硫化钼涂层处理。二硫化钼的独特性能确保了即使在极端高温条件下也能保持高效的润滑效果，有效抑制了轧辊与带材间的粘着磨损和磨粒磨损，同时增强了表面硬度和耐磨属性。其次，集成了一套自适应润滑系统，该系统配备智能监测装置，能够动态跟踪轧机的工作状态和实时润滑需求，据此自动调节润滑剂的供给量与频率，确保在任何工况下均

能达到最优化的润滑效果，避免了润滑不足或过度导致的资源浪费。

成效评估显示，这些高性能润滑策略的实施带来了显著的正面效应。轧辊的平均使用寿命显著延长了 30%，大幅度削减了因磨损引发的维护停机时间；设备可靠性增强，生产线连续运转时间增加，整体生产效率因此提高了约 20%；尽管初期在升级润滑材料与技术上的投资较大，但从长远视角审视，由于维护成本的减少和生产效率的提升，企业的整体运营成本在两年内实现了积极的经济效益，投资回报明显，充分证明了高性能润滑策略的有效性和经济可行性。

4.2 技术对比与评估

为了全面评判所提出的高性能润滑策略的实际效益，我们进行了详尽的技术对比与评估，将之与若干现行流行的润滑方法相对照，诸如传统的矿物油润滑、半固体润滑剂（grease）应用，以及未采取任何特殊润滑优化的常规作业流程。传统矿物油润滑因成本低廉而被广泛应用，但其在高温环境中易挥发失效，润滑效能迅速衰减，加剧磨损并缩短了设备的使用寿命。半固体润滑剂在一定程度上改善了润滑持久性，却在极端高温下存在软化流失的问题，且防护性能不如固体润滑剂。相比之下，未经优化的常规工艺中，磨损问题尤为突出，导致维护成本高昂，生产效率低下。

从经济性角度分析，尽管高性能润滑策略的初始投资偏高，但其通过大幅度减少设备停机时间、显著提升生产效率及延长设备使用寿命，最终在总体拥有成本（TCO）上实现了显著节约。就实用性而言，自适应润滑系统与固体润滑剂的组合策略不仅有效应对了热连轧过程中的磨损挑战，还极大地增强了在多样化工况下的适应性和运维灵活性，展现出极高的推广价值。

结束语

高性能润滑策略在缓解热连轧工艺中的磨损问题上扮演着至关重要的角色。通过选用合适的润滑材料与技术，不仅能有效降低设备磨损，还能提升整体生产效率 and 经济效益，推动热连轧行业的可持续发展。未来，随着材料科学与润滑技术的不断进步，更高效、环保的润滑解决方案将被不断探索和应用。

【参考文献】

- [1]汪净. 常规热连轧粗轧工作辊磨损分析与应用[J]. 中国冶金, 2018, 28 (05): 54-57.
- [2]武晨华. 支持辊全服役周期轧辊磨损对板形控制影响分析[D]. 内蒙古科技大学, 2021.
- [3]颜满斌. 高性能金属基润滑耐磨损材料制备有了新思路[N]. 科技日报, 2023-08-01 (006).
- [4]新型. 兰州化物所固液复合新型润滑涂层研究获进展[J]. 化工新型材料, 2021, 49 (11): 300-301.
- [5]李金辉, 彭丹, 牟秋红, 等. 无油压缩机用高性能固体润滑材料研究进展[J]. 化工新型材料, 2021, 49 (05): 257-261.