

高线轧制用硬质合金辊环材料的组织与性能

唐小俭

江阴兴澄特种钢铁有限公司, 江苏 江阴 214400

[摘要] 伴随着现代轧制技术的飞速发展, 硬质合金辊环材料, 凭借其优越的物理和化学性能, 已在高线轧制中占据了至关重要的地位。尤其在高温、高压与严苛的磨损条件下, 辊环材料的性能, 直接决定了生产效率和产品质量的稳定性。它所展现出的高硬度、耐磨损性和抗腐蚀能力, 使硬质合金材料成为这一领域中不可或缺的关键组成部分。高线轧制工艺对材料的要求日益严苛, 而硬质合金辊环凭借其性能优势, 大幅提升了生产效能。文章着眼于硬质合金辊环材料的组成及其特性, 分析其在高线轧制中的应用效果。结合新型合金技术的不断进展, 进一步探讨硬质合金在复杂工况下的表现, 以期对未来相关研究提供理论支撑。

[关键词] 高线轧制; 硬质合金; 辊环材料; 组织结构; 性能分析

DOI: 10.33142/ec.v7i11.14236

中图分类号: TG135.5

文献标识码: A

Microstructure and Properties of Hard Alloy Roll Ring Materials for High Speed Wire Rolling

TANG Xiaojian

Jiangyin Xingcheng Special Steel Works Co., Ltd., Jiangyin, Jiangsu, 214400, China

Abstract: With the rapid development of modern rolling technology, hard alloy roll ring materials have played a crucial role in high-speed rolling due to their superior physical and chemical properties. Especially under high temperature, high pressure, and harsh wear conditions, the performance of roller ring materials directly determines the stability of production efficiency and product quality. The high hardness, wear resistance, and corrosion resistance exhibited by it make hard alloy materials an indispensable key component in this field. The high wire rolling process has increasingly stringent requirements for materials, and hard alloy roller rings have greatly improved production efficiency due to their performance advantages. The article focuses on the composition and characteristics of hard alloy roller ring materials, and analyzes their application effects in high-speed rolling. Combining the continuous progress of new alloy technology, further explore the performance of hard alloys under complex working conditions, in order to provide theoretical support for future related research.

Keywords: high wire rolling; hard alloy; roller ring material; organizational structure; performance analysis

作为制造细径钢丝的核心工艺, 高线轧制广泛应用于建筑、机械等多个工业领域。随着工业技术不断提升, 生产效率和产品质量的保障变得更加关键。而在这一过程中, 辊环的性能显得尤为重要。传统钢制辊环在长期高压使用中, 极易发生磨损与变形, 导致生产效率降低, 质量不稳定。正是在此背景下, 硬质合金材料凭借其卓越的耐磨损性和抗腐蚀能力, 逐步取代了传统材料, 成为理想的选择。

1 高线轧制工艺概述

1.1 高线轧制的定义与应用

高线轧制是将粗钢坯通过多道次轧制加工成细径钢丝的工艺, 过程不仅涉及材料的塑性变形, 还显著提升了其力学性能。广泛应用于建筑、机械及电气等多个行业, 此工艺有效满足了市场对高强度与高韧性材料的需求。由于生产效率高、成材率高, 高线轧制已成为现代钢铁生产的重要环节。在建筑领域, 细径钢丝通常用于混凝土构件的加固, 结构的稳定性与耐久性由此得以增强。在机械行业, 细钢丝被广泛应用于传动装置及弹簧等关键部件, 其重要性同样不可小觑。在电气行业中, 细钢丝则被广泛用于电缆与导线的制造, 以确保良好的导电性与柔韧性。高线轧制在材料加工

中占据着关键位置, 经济发展中其作用也显得尤为重要。

1.2 高线轧制的工艺流程

高线轧制的工艺流程包括预热、粗轧、精轧及冷却四个环节。预热阶段的目的是提升钢坯的温度, 以降低其硬度, 从而为后续轧制创造良好的条件。一般情况下, 钢坯在加热炉内被加热至 800℃ 以上, 以确保其具有足够的塑性, 从而减少轧制过程中的能耗与磨损。在粗轧阶段, 经过预处理的钢坯被送入粗轧机组, 通过辊缝的压缩, 逐步调整其截面尺寸。该环节的主要目标为初步降低钢坯的截面, 同时改善材料的均匀性与致密性。温度与轧制速度是影响最终产品质量的重要因素, 合理设置这些参数显得尤为重要。精轧阶段为高线轧制的核心环节, 通过多道次轧制, 进一步细化钢丝的直径, 以确保符合设计标准。在此阶段, 轧制速度与温度的严格控制, 有助于维持材料在塑性变形过程中的稳定性与均匀性。辊道设计、轧辊选择以及冷却介质的使用, 均会直接影响最终产品的力学性能与表面质量^[1]。最后, 冷却阶段负责将轧制完成的钢丝快速冷却, 以锁定其组织结构, 从而提升材料的力学性能。通常采用水冷或空气冷却的方法, 以确保产品在冷却过程中不发

生变形与裂纹。通过合理安排与优化上述工艺步骤，可以实现高线轧制产品的高质量生产，以满足市场的多样化需求。

2 硬质合金辊环材料的基本特性

2.1 硬质合金的组成

硬质合金，作为一种高性能的复合材料，主要由金属碳化物（如碳化钨及碳化钛）与金属结合相（如钴或镍）所构成。关键成分碳化钨的硬度，能够达到 1500 至 2000 HV，在高强度磨损环境中展现出优异的性能。结合相金属的存在，增强了材料的韧性与抗冲击性，有效降低了脆性断裂的风险。材料中不同成分的配比对硬质合金的整体性能产生显著影响，合理设计材料的成分与结构，可使其更好地满足多样化的应用需求。近年来，新型合金元素如铌与钛的引入，显著提升了硬质合金的综合性能，特别是在高线轧制辊环的应用中，表现出更强的适应能力。精准的成分设计与结构优化，硬质合金在多种工作环境中展现出卓越的性能，延长了使用寿命并提高了效率。

2.2 硬质合金的物理与化学性质

硬质合金所具备的卓越物理与化学性质，促使其在高线轧制领域的应用极为广泛。其极高的硬度与耐磨性，使得该材料能够有效抵御轧制过程中产生的摩擦与磨损，从而维持辊环在长期使用中的稳定性。其抗压强度超过 3000 MPa，能够承受高负荷的轧制压力而不发生形变。此外，良好的耐腐蚀性确保了其在高温、高湿及酸碱环境中的稳定性能，有效避免了材料的快速降解。值得注意的是，硬质合金同样具备良好的导热性与低热膨胀系数，这些特性使其在温度变化的环境中能够有效保持形状稳定，减少不必要的变形。这些特性保证了硬质合金辊环在复杂工况下的高效运行。随着技术的不断进步，硬质合金的性能通过改性与合金化等手段不断被优化，以应对不同工作条件的挑战。新型纳米材料的逐步应用，进一步提升了硬质合金的硬度、耐磨性、韧性与强度，为高线轧制行业提供了更多的选择。

3 硬质合金辊环材料的组织结构

3.1 材料的显微组织

硬质合金辊环的显微组织在其性能中起着至关重要的作用，主要由金属碳化物相与金属结合相组成。常见的碳化物包括碳化钨与碳化钛，这些相的形态、分布及颗粒尺寸对材料的力学性能有直接影响。通常，较细的碳化物颗粒能够显著提高材料的硬度与耐磨性，而均匀的颗粒分布则有助于增强韧性，降低脆性断裂的风险。结合相的性质也同样重要，其在显微组织中的分布及形态影响着抗冲击性能与耐磨性^[2]。显微组织的分析通常依赖于扫描电子显微镜（SEM）与透射电子显微镜（TEM）等先进技术，以确保对材料内部结构的全面理解。调整烧结温度、压力及时间等工艺参数，显微组织可以被优化，从而提升硬质合金辊环的性能。例如，较高的烧结温度有助于促进碳化物的结合，形成致密的微观结构，而适当的压力则有效消除材料内部的孔隙，从而提高整体强度。显微组织不仅与硬度与韧性相关，还与抗氧化及耐腐蚀性能密切相关。

3.2 组织对性能的影响

显微组织中的碳化物相提供了高硬度，从而增强了材料的耐磨性，而金属结合相则提升了韧性，使材料能够有效抵抗冲击载荷。材料的硬度与耐磨性主要源于碳化物相的含量及分布。研究表明，增加碳化物颗粒的细度，通常能够有效提高材料的硬度，进而增强耐磨性。同时，适当的结合相比比例有助于提高韧性，降低脆性断裂的风险。在高温或高压环境中，辊环需要展现良好的耐磨性与抗变形能力。碳化物的类型及含量对耐磨性起着关键作用。研究显示，富含碳化钨的硬质合金在高温条件下的抗磨损性能优于其他类型的合金。此外，纳米级碳化物的引入，已成为提升材料微观结构及整体性能的重要手段。显微组织的优化设计，对提升硬质合金辊环的性能具有深远的意义。

4 硬质合金辊环的性能分析

4.1 硬度与耐磨性

硬度是评估硬质合金辊环材料性能的重要指标，通常通过维氏硬度（HV）或洛氏硬度（HRA）进行测定。辊环的硬度受到其组成成分及显微组织的显著影响，尤其是碳化物相的种类、含量与颗粒大小。耐磨性则指材料抵抗摩擦磨损的能力，与硬度、显微组织及表面处理等因素密切相关。硬质合金辊环在高线轧制过程中与金属材料直接接触，承受强烈摩擦，因此，耐磨性能的优劣直接影响生产效率及产品质量。为提高硬质合金辊环的耐磨性，近年来采用了改性技术，如表面涂层与热处理，这些技术已成为提升材料性能的重要途径。表面涂层技术不仅改善了辊环的硬度，同时也增强了其耐磨性，从而延长了使用寿命，减少了生产过程中的停机时间。综合分析表明，硬度与耐磨性密切相关，通过调节显微组织特征，可以有效提升这两项性能，为轧制行业的发展提供新的技术路径。

4.2 抗压强度与韧性

辊环在高压环境中需承受巨大的压应力，材料的抗压强度受到显微组织及组成的显著影响，特别是结合相的含量与分布特征。适当的结合相比比例能够有效提高抗压强度，避免高压下的塑性变形或断裂现象。辊环在轧制过程中经历复杂的应力状态，良好的韧性有助于避免脆性断裂，确保设备的稳定运行^[3]。为提升抗压强度与韧性，许多研究者采用复合材料技术，通过结合不同类型的硬质合金来优化材料的整体性能。引入新型合金元素，显示出提升硬质合金韧性的潜力，为高性能辊环的开发提供了新的可能性。

4.3 耐腐蚀性能

在某些特定工况下，硬质合金辊环可能面临腐蚀性介质的侵蚀，因此耐腐蚀性能成为评估其适用性的重要指标。耐腐蚀性能主要取决于材料的化学成分与组织结构。通过添加镍、钴等元素，可以显著提高材料的抗腐蚀能力。优化材料的热处理工艺，能够改善其表面状态，形成致密的保护层，从而有效抵御腐蚀性介质的侵害。在高温或酸性环境中，辊环的耐腐蚀性显得尤为重要，直接影响轧制产品的质量及生产效率。研究显示，应用表面涂层技术，可以大幅提升硬

质合金辊环的耐腐蚀性能,延长其使用寿命。此外,开发新型合金材料及添加特定元素展现出提高耐腐蚀性的潜力。

5 高线轧制辊环材料的失效机制

5.1 磨损机制

在高线轧制过程中,由辊环在高负荷与高摩擦环境下的工作条件引发硬质合金辊环经常遭遇磨损失效。磨损可以被划分为粘着磨损、磨粒磨损以及疲劳磨损。粘着磨损通常发生在金属接触界面,当摩擦力超出材料的抗剪强度时,微观的塑性变形导致颗粒粘附,进而造成材料的损耗。磨粒磨损则是由于外部硬质颗粒的侵入,这些颗粒在摩擦过程中对辊环表面产生切削效应,显著加快材料的消耗。随着时间的推移,微裂纹逐渐在长期使用的辊环中形成并扩展,最终可能导致大面积剥离,这一过程加速了磨损现象。为了应对磨损问题,研究者们正积极探索多种表面改性技术,例如氮化处理与激光熔覆,这些技术能够有效提高辊环表面的硬度与耐磨性,从而降低磨损速率。

5.2 疲劳失效分析

在硬质合金辊环的长期使用中,疲劳失效是一种常见的失效模式,特别是在材料经历重复载荷的情况下,可能导致设备的意外停机,从而造成经济损失。疲劳过程一般包括三个阶段:初始裂纹形成、裂纹扩展及最终断裂。材料的微观结构、应力状态与工作环境在疲劳寿命中起着重要作用。在疲劳失效的早期阶段,微裂纹通常在应力集中区域出现,这些区域可能是由加工缺陷或微观组织的不均匀性引起的^[4]。随着时间的推移,裂纹逐渐扩展,最终达到临界尺寸导致断裂。提升硬质合金辊环的疲劳强度通常需要优化材料的微观结构与工艺参数。通过细化碳化物颗粒的尺寸与增强结合相的强度,材料的抗疲劳能力可以显著提高。

6 提高硬质合金辊环性能的研究进展

6.1 材料改性技术

材料改性技术在提升硬质合金辊环性能中扮演着重要角色。主要的手段包括热处理、表面处理与成分优化,旨在通过改变材料的微观结构来增强耐磨性、抗疲劳性能及耐腐蚀能力。热处理过程通过有效细化材料的显微组织,显著提高了硬度与韧性。合理的淬火与回火工艺,使材料具备更高的强度与韧性,为高线轧制提供必要的支持。表面处理技术专注于改善材料表面的性能,常用的方法包括喷丸、激光熔覆及涂层技术。通过提高表面硬度与引入压应力,这些技术显著增强了耐磨性与抗疲劳性能。激光熔覆能够在辊环表面形成坚硬的合金层,以抵御磨损。此外,耐高温与耐腐蚀的新型涂层材料逐渐受到关注,这些涂层能够在极端条件下保持良好的性能。调整合金成分,研究者能够设计出性能优异的硬质合金。例如,添加钴、镍等元素可改善材料的韧性与耐磨性。合金化过程不仅提升了材料的抗腐蚀能力,也增强了其在高温条件下的稳定性。

6.2 新型合金的开发

新型合金的开发,已成为提高硬质合金辊环性能的重

要研究方向。通过对传统合金成分与组织结构的改进,科学家期望实现更高的性能与更广泛的应用。在新型合金研究中,纳米合金材料备受关注。由于其细小的颗粒结构,这类材料展现出优异的力学性能与耐磨性,成为高线轧制辊环的理想选择。近年来,针对不同工况需求,研究者们开发了多种新型合金。例如,碳化铬与碳化钛复合材料在耐磨性方面表现良好,适用于高负载与高温的轧制环境。通过调整合金元素的比例,材料的综合性能得以进一步优化,以满足特定应用需求。这些新型合金在耐磨性、抗疲劳性及耐腐蚀性等方面均有显著提升,逐渐成为硬质合金辊环的新趋势。随着材料科学的进步,合金功能化设计逐渐受到重视。将智能材料与复合材料的理念引入硬质合金设计,有可能实现材料的自适应特性^[5]。采用具有自愈能力的材料设计,微裂纹在形成后可实现自我修复,从而延长辊环的使用寿命。这一创新理念为高线轧制辊环性能的提升开辟了新的方向。

7 结束语

在高线轧制工艺中,硬质合金辊环材料对于提升生产效率与保障产品质量起到了关键作用。通过合金成分及微观结构的不断优化,硬质合金材料成功克服了传统钢制辊环在极端环境下的局限,展现了卓越的耐磨损和抗腐蚀性能。随着纳米技术与新型材料的持续发展,硬质合金的应用将进一步扩大,覆盖更多领域。未来的研究重点应放在硬质合金的微观结构设计以及合金化工艺的优化上,以进一步提升其综合性能。此外,针对材料使用寿命的改进及其在不同工业领域的广泛应用,值得更多关注。通过不断的技术创新,硬质合金材料将在推动高线轧制领域的高效与可持续发展中,发挥更加重要的作用。

[参考文献]

- [1]刘和平,李晶,周颖,等.低温轧制硬质合金辊环粘成分优化研究[J].稀有金属与硬质合金,2021,49(4):81-86.
- [2]张文科,顾金宝,时凯华,等.超粗晶 WC-Co 硬质合金制备技术及发展趋势[J].稀有金属与硬质合金,2023,51(1):97-101.
- [3]林伟伟,孙浩斌,张敬利,等.温度对 Ni/Nb/Ni 复合中间层连接 YG20 和 42CrMo 钢扩散层微观组织和抗拉强度的影响[J].湖南工业大学学报,2022,36(4):47-53.
- [4]张文科,顾金宝,时凯华,等.超粗晶 WC-Co 硬质合金制备技术及发展趋势[J].稀有金属与硬质合金,2023,51(1):97-101.
- [5]张健健,王振虎,于梦娜.基于 ANSYS 的双金属复合铸造工艺数值模拟及验证[J].特种铸造及有色合金,2024,44(5):679-682.

作者简介:唐小俭(1976.7—),男,毕业院校:南京农业机械化学校,学历:中专,所学专业:机械设计与制造,当前就职单位:江阴兴澄特种钢铁有限公司,职务:生产调度,所在职务的年限5年,职称级别:高级技师。