

杂质元素及加工工艺对无氧铜接触线性能的影响

徐恒雷 朱明彪 杨卫良

江西康成特导新材股份有限公司 江西鹰潭 335000

摘要：随着现代电子技术和电力系统的飞速发展，无氧铜作为一种关键的电导材料，在电气和电子领域中扮演着至关重要的角色。其高导电性、低电阻率以及优越的机械性能，使其成为制造导线、电缆、电子器件以及发电设备的首选材料之一。因此，本文就杂质元素及加工工艺对无氧铜接触线性能的影响展开论述，旨在进一步优化无氧铜接触线性能，提升工作效率，为无氧铜在不同应用场景中的优化提供理论和实践的支持。

关键词：杂质元素；加工工艺；无氧铜接触线性能

引言：

随着我国对于电力传输和电子领域对高性能材料的需求日益增加，无氧铜作为一种重要的电导铜材料，因其卓越的导电性能在工业应用中得到广泛关注。为了满足现代电子技术和电力系统对材料性能的不断提升需求，对无氧铜的性能进行优化成为一项关键任务。将揭示如何在微观和宏观两个层面对无氧铜的导电性能进行有效提升，从而为推动电子技术和电力系统的进一步发展提供坚实的材料基础。

1. 杂质元素对无氧铜接触线性能的影响

在无氧铜作为电气导体的关键应用过程当中，杂质元素的存在常常对其性能产生显著的影响。其中，氧元素是无氧铜中最为主要的杂质之一，高氧含量不仅影响了无氧铜自身的电导率，还降低了其导电性能。氧元素以氧化铜（ Cu_2O ）的形式存在于无氧铜中，形成晶体缺陷和界面，阻碍了电子的自由传导。这样的影响导致了电流在接触线中的传输效率下降，从而在一定程度上影响了整个电气系统的性能，再加上其他杂质元素，如硫、氮和磷等也在一定程度上影响了无氧铜接触线的性能。这些元素的存在可能导致晶体结构的不均匀性，增加了无氧铜在电导过程中的电阻，从而影响了接触线的整体导电性能。同时，这些杂质元素还可能在接触线表面形成腐蚀产物，降低了接触线的耐腐蚀性能，从而影响了其在恶劣环境下的使用寿命。因此，在无氧铜接触线的设计和制造过程中，必须对杂质元素的含量进行有效控制，以确保无氧铜能够发挥其

优越的电导率和导电性能。通过精密的制造工艺和严格的杂质控制，能够在最大程度地提高无氧铜接触线的性能，确保其在电力传输中的可靠性和稳定性。

2. 不同加工工艺对接触线性能的影响

接触线作为电力传输系统中的重要组成部分，其性能直接影响到整个系统的可靠性和效率，在接触线的制造过程中，采用不同的加工工艺对其性能具有显著的影响。两种常见的加工工艺，即冷加工和热加工，以及淬火和退火处理，对无氧铜接触线的性能均有着十分独特的影响。首先，冷加工是通过机械方式对金属进行塑性变形，使其形成细小的晶体结构，提高了硬度和强度。但是冷加工在一定程度上也可能导致无氧铜的晶格结构不均匀，从而降低其导电性能，因此，在追求高强度的同时，必须权衡导电性能的损失。相反，热加工通过升高材料的温度来改变其晶体结构，从而提高其导电性能，再者热加工通常包括热轧和热挤压等工艺，使得无氧铜的晶格结构得以重组，提

高了电子的迁移率，进而提升了整体的导电性能。然而，需要注意的是，高温处理也可能引起氧元素的扩散，进而影响导电性能。另外，淬火和退火处理是两种对无氧铜进行热处理的绝佳方法，一来淬火能够提高材料的硬度和强度，但可能降低导电性能，退火处理则有助于消除冷加工引起的应力和晶体缺陷，提高导电性能。因此，对于接触线制造而言，必须根据具体的应用场景和性能要求选择合适的加工工艺，在追求强度的同时，也必须注重导电性能的维持，以确保接触线在电力传输系统中发挥最佳的性能。

3. 无氧铜的基本性能及特点

无氧铜作为一种高度纯净的电导铜材料，以其出色的性能在电气和电子领域取得广泛应用，其卓越的电导率得益于高纯度和特殊制备工艺，有效降低了晶体缺陷和氧元素含量，使电子在晶格中的传导更加畅顺。在一定程度上使得无氧铜在常温下具有极高的电导性能，还在低温环境下保持较低的电阻率，使其快速成为超导领域和低温电子学应用中备受青睐的材料。同时，优越的加工性能使得无氧铜可通过多种方式如轧制、拉拔、锻造等进行制造，用于生产多种电气导体和电子器件，而在其中抗腐蚀性能也是其独特之处，表面氧化膜较薄，有助于在各种环境中维持稳定性，在高温环境下，无氧铜仍能维持卓越的导电性能，可以更好的适用于高温电子设备和电力传输系统。总之，无氧铜可以广泛应用于导线、电缆、电子器件、发电设备等领域，成为电子和电力工业中不可或缺的材料之一。其性能的卓越和稳定性推动了现代电子技术和电力系统的发展，使其在各种挑战性应用中都能脱颖而出。

4. 优化无氧铜接触线性能的策略

4.1 杂质控制与精炼处理

在无氧铜的导电应用过程中，氧、硫、氮等杂质元素直接影响其导电性能，有效的杂质控制和精炼处理是提高无氧铜电导率的关键策略。第一，氧元素的高含量会形成氧化铜，导致晶体结构的不均匀性，阻碍电子传导，从而降低电导率，通过先进的冶炼技术可以利用高温气体保护冶炼和真空冶炼，可以降低氧含量，减轻其负面影响，从而提高铜的电导率。第二，硫、氮等杂质元素可能导致晶体结构不均匀，进而增加了电阻，降低了导电性能，通过精炼处理，尤其是采用热处理和淬火等工艺，可以最大程

度上改善晶体结构，减少晶界和缺陷的形成，进一步提高导电性能。综合采用这些策略，通过杂质控制降低有害元素的含量，特别是氧元素，以及通过精炼处理优化晶体结构，能够短时间内快速提高无氧铜的导电性能。这一综合性的优化手段不仅有助于提高电导率，还能使无氧铜更适用于高要求的电力传输和电子设备应用，为工程领域提供更为可靠的导电材料。

4.2 优化加工工艺

在制造无氧铜接触线的过程中，能否选用合适的加工工艺对性能起到至关重要的作用，通过一系列优化加工工艺，可以在提高材料强度的同时，最大限度地维持导电性能。首先，在一定程度上来说，冷加工和热加工的巧妙结合是实现这一目标的关键，冷加工通过机械变形，提高了无氧铜的硬度和强度，但也可能导致晶格结构不均匀，影响导电性能。而热加工则是通过升高材料的温度来改变晶体结构，提高导电性能，在制定加工方案时，必须要合理控制温度和变形程度，以确保达到既提高强度又不过度牺牲导电性能的平衡。其次，淬火和退火处理在热加工阶段具有关键作用，淬火可以提高材料的硬度和强度，但最终可能会降低导电性能。毕竟通过精确控制淬火和退火的条件，可以实现对晶体结构的合理化调控，当然，合理的退火处理有助于消除由冷加工引起的应力和晶体缺陷，提高导电性能。通过对加工工艺的细致调控，既可以获得适度的材料强度，又能在运行过程中保持无氧铜卓越的导电性能，这一优化策略有助于确保接触线在电力传输系统中表现出色，提高无氧铜的可靠性和持久性。

4.3 进行表面处理和保护层

在无氧铜接触线制造中，为了提高其强度与耐腐蚀性能，采用表面处理和添加保护层的策略是十分重要，这样的措施可以有效延长接触线的使用寿命，确保其在不同环境条件下表现良好。一种常见的方法是通过电镀或涂覆一层耐腐蚀材料来形成保护层，这一层保护层可以在一定程度上有效防止杂质元素在表面形成腐蚀产物，从而阻止腐蚀过程的发生，再加上电镀通常使用金属材料或合金，涂覆则可以选择具有良好抗腐蚀性能的聚合物或其他涂层材料，这样的保护层既能保护接触线表面免受腐蚀的侵害，又有助于维持无氧铜的导电性能。除此之外，选择合适的表面处理方法也是重要的一环。采用化学处理或机械抛光

等一系列方法，可以有效去除表面的氧化物和杂质，提高表面的整体质量，进一步减缓腐蚀的过程与速率。通过表面处理 and 添加保护层的策略，可以在提高无氧铜接触线的耐腐蚀性能的同时，最大程度上保持其优越的导电性能，确保在各种恶劣环境中稳定可靠地运行，这种综合且高效的防护手段为无氧铜在电力传输系统中的长期使用提供了有力的支持。

4.4 优化设计和工程结构

在考虑无氧铜接触线在实际工程应用当中的场景时，通过优化设计和结构能够最大化提升性能，这一策略的开发旨在最大程度地减小电流集中和热量集中的区域，进一步降低电阻和热损失，在整体上提升导电性能和稳定性。首先，对接触线的截面形状进行合理设计是至关重要的。通过精心选择不同的截面形状，可以实现电流在接触线中的均匀分布，减小电流集中的问题进一步降低电阻。同时，合适的截面设计还能有助于减小热量集中区域，从而最大化降低热损失。其次，优化工程结构是另一个关键方面，通过合理化的布局导线和附件，减小导线之间的相互影响，降低电流集中的风险。良好的结构设计还能够有效降低导线的热阻，有助于维持接触线在高负载情况下的稳定性。通过以上这些设计和别样的结构优化策略，可以在提高导电性能的基础上确保接触线在高负载和恶劣环境下的可靠性。这对于电力传输系统中的无氧铜接触线来说，意味着更为高效和可持续的运行，为工程应用提供了稳健且高效的解决方案。

4.5 持续监测与质量控制：

为了确保无氧铜接触线的性能在生产过程中保持一致性和稳定性，实施持续的监测和严格的质量控制是最为关键的策略之一。建立全面的检测体系作为关键的一步，通过在生产线上引入高效、精准的检测设备和技术，可以对相关关键工艺参数、材料性质以及最终产品的质量进行全方位监测。这包括对杂质元素当中的含量、晶体的结构、表面的质量等多个方面的检测，以确保每个生产环节都能够符合设计和性能要求。另外，及时发现并纠正生产中可能存在的问题是保障产品质量的重中之重。定期进行质量抽检和实时监测，能够在问题发生时快速介入，减少次品的诞生率，提高生产效率。对于出现的偏差或相对异常情

况，需要在第一时间迅速采取纠正措施，确保整个生产过程的一致性。综合而言，持续监测与质量控制是保障无氧铜接触线性能稳定性的基石。通过严格执行质量控制标准和不断改进相关监测手段，可以在最大程度上确保每一根接触线都符合高标准的质量和性能要求，从而在真正意义上提升整个电力传输系统的可靠性和稳定性。

4.6 进行热处理与淬火工艺

热处理与淬火作为关键工艺，对无氧铜的性能优化起到决定性的作用。这些工艺不仅仅是简单的加热和冷却产品的过程，更是一种精密的晶格结构调控手段，通过更为精细的温度控制和处理时间，实现对无氧铜材料的微观结构的精确调整。第一步，热处理阶段涉及将无氧铜材料加热至特定温度，使其达到临界晶格结构状态。这个过程中，晶格内的原子将会重新排列，变得更加有序化，从而降低晶体缺陷的形成，通过控制温度和处理时间，可调控晶体结构的均匀性，进而提高无氧铜自身的导电性能。接着，淬火是将热处理后的材料迅速冷却，使其晶体结构经历一次急剧的变化。这个过程可以在一定程度上有效减小晶界的形成，进一步改善晶格结构方式。通过淬火，晶格内的原子将会更加紧密地排列，有助于电子在晶格中的顺畅传导，提高整体导电性能。总而言之，热处理与淬火的优化不仅仅改善了无氧铜的导电性能，同时对晶格结构的调控还有助于提高材料的机械性能和相对稳定性。这些工艺的综合应用使得无氧铜更适用于高性能电子器件和要求极高导电性能的电力传输系统。对相关生产来说至关重要。

4.7 精密冶炼与制备

进行精密冶炼与制备是无氧铜性能优化的关键步骤，通过采用先进的冶炼技术和精密的制备工艺，可以在微观层面对无氧铜的物质结构进行全方位精细调控，为其性能的优化奠定坚实的基础。再加上冶炼技术的先进性直接影响到无氧铜自身的纯度。采用高效的冶炼设备和工艺，能够确保在冶炼过程中尽可能减少外源杂质的混入，从而实现并提炼出高纯度的铜材料，这对于提高电导率至关重要，因为杂质的存在可能会导致电子在晶格中的阻碍，影响其导电性能。

结束语

总体而言, 本篇论文提供的一些策略, 旨在为无氧铜的性能优化提供科学依据, 这些策略将有助于无氧铜在电力传输、电子器件等领域发挥更大的潜力, 推动电子技术和电力系统的不断发展。期待这些研究成果能够为相关领域的从业者提供一些有益的参考, 从而促进材料科学和电力工程的共同进步, 在未来的研究中, 将继续探索更多创新性的策略, 以进一步提高无氧铜的全部性能, 最终满足不断增长的技术挑战。

参考文献

- [1]余洁冰, 谭彪, 康玲等. 无氧铜表面处理在束流准直器中的应用[J]. 强激光与粒子束, 2023, 35(10): 168-172.
- [2]侯杰. 无氧铜超导线材深孔振动钻削机理研究[D]. 西安石油大学, 2023.
- [3]袁孚胜. 电气化铁路用铜合金接触线生产方法及特点[J]. 有色冶金设计与研究, 2012, 33(03): 26-28.
- [4]刘强, 张翔, 崔建忠等. 无氧铜接触线加工工艺及产品性能研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2005, (05): 302-303+255.
- [5]刘强, 崔建忠, 许光明等. 杂质元素及加工工艺对无氧铜接触线性能的影响[J]. 东北大学学报, 2005, (03): 240-243.

作者简介

第一作者: 姓名徐恒雷1975年12月, 性别男, 籍贯山东临沂, 民族汉, 学历本科, 职称正高级工程师, 职务常务副总, 研究方向有色金属加工, 主要从事铜加工有关的工作。