

新型耐腐蚀材料在化工设备制造中的应用与性能研究

王 俊

国家能源集团宁夏煤业有限公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750409

摘 要: 本文聚焦于新型耐腐蚀材料在化工设备制造中的应用与性能研究。首先阐述了化工设备面临的腐蚀问题及其重要性,接着详细介绍了多种新型耐腐蚀材料的特性,包括不锈钢合金、高分子聚合物材料、陶瓷基复合材料等。深入分析了这些新型材料在化工设备不同部件制造中的应用,如反应釜、管道、阀门等。同时,也指出了新型耐腐蚀材料在应用过程中面临的成本、加工难度等挑战,并提出了相应的解决策略,旨在为化工设备制造行业合理选用和应用新型耐腐蚀材料提供理论依据和实践指导。

关键词: 新型耐腐蚀材料; 化工设备制造; 应用; 性能研究

1 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱产业,在能源、材料、医药等众多领域发挥着关键作用。然而,化工生产过程中涉及大量的腐蚀性介质,如强酸、强碱、盐溶液以及各种有机溶剂等,这些介质对化工设备造成了严重的腐蚀威胁。设备腐蚀不仅会导致设备性能下降、使用寿命缩短,增加设备维修和更换成本,还可能引发泄漏、爆炸等安全事故,对生产安全、环境保护和人员生命财产安全构成严重危害。传统的化工设备材料,如普通碳钢、铸铁等,在面对日益严苛的腐蚀环境时,往往难以满足生产需求。因此,研发和应用新型耐腐蚀材料成为化工设备制造领域亟待解决的重要课题。新型耐腐蚀材料具有优异的耐腐蚀性能、良好的机械性能和加工性能,能够有效抵抗各种腐蚀性介质的侵蚀,保障化工设备的长期稳定运行。深入研究新型耐腐蚀材料在化工设备制造中的应用与性能,对于提高化工生产的安全性和可靠性、降低生产成本、推动化工行业的可持续发展具有重要意义。

2 化工设备面临的腐蚀问题及重要性

2.1 化工设备面临的腐蚀问题

化工生产过程中,腐蚀现象无处不在。腐蚀的机理主要包括化学腐蚀和电化学腐蚀。化学腐蚀是指金属与非电解质直接发生化学反应而引起的破坏,例如金属在干燥气体或非电解质溶液中的腐蚀。电化学腐蚀则是金属与电解质溶液接触时,由于电极电位的不同形成原电池,从而产生电流,导致金属的溶解和破坏。在化工生产中,电化学腐蚀是最为常见和严重的腐蚀形式^[1]。化工设备常见的腐蚀类型有点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀开裂、晶间腐蚀等。点蚀通常发生在金属表面局部区域,形成小而深的蚀坑,虽然蚀坑体积小,但深度较大,可

能导致设备、管线穿孔泄漏。缝隙腐蚀发生在金属与金属或金属与非金属之间的缝隙处,由于缝隙内介质流动不畅,氧浓度降低,形成氧浓差电池,加速腐蚀。应力腐蚀开裂是在拉应力和特定腐蚀介质共同作用下,金属材料发生的脆性断裂,往往在无明显预兆的情况下突然发生,危害极大。晶间腐蚀则是沿着金属晶粒边界发生的腐蚀,使晶粒间的结合力减弱,导致材料强度和韧性显著下降。

2.2 腐蚀问题的重要性

腐蚀问题对化工行业的影响是多方面的。从经济层面来看,设备腐蚀导致的维修、更换费用以及因设备停机造成的生产损失十分巨大。据统计,全球每年因金属腐蚀造成的经济损失高达数千亿美元,其中化工行业的损失占有相当大的比例。在安全方面,设备腐蚀引发的泄漏、爆炸等事故不仅会造成人员伤亡和财产损失,还会对周边环境造成严重污染,影响生态平衡和社会稳定。此外,腐蚀还会影响化工产品的质量和产量,降低生产效率,制约化工行业的可持续发展。因此,解决化工设备的腐蚀问题,提高设备的耐腐蚀性能,是化工行业亟待解决的关键问题之一。

3 新型耐腐蚀材料的特性

3.1 不锈钢合金

不锈钢合金是一种广泛应用的新型耐腐蚀材料,其主要成分是铁、铬、镍等元素。铬元素在不锈钢表面形成一层致密的氧化铬保护膜,能够有效阻止氧气和水等腐蚀介质与基体金属的接触,从而提高材料的耐腐蚀性。根据组织结构的不同,不锈钢可分为奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和双相不锈钢等。奥氏体不锈钢具有良好的耐腐蚀性、塑性和韧性,在常温 and 低温下均能保持良好的力学性能,广泛应用于化工设

备的制造,如反应釜、换热器等。铁素体不锈钢具有较高的耐氯化物应力腐蚀开裂性能,但塑性和韧性相对较差。马氏体不锈钢具有较高的强度和硬度,但耐腐蚀性相对较低,通常通过淬火和回火处理来提高其综合性能。双相不锈钢结合了奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的优点,具有优异的耐腐蚀性、高强度和良好的焊接性能,在海洋化工、石油化工等领域得到了广泛应用。

3.2 高分子聚合物材料

高分子聚合物材料具有优异的耐腐蚀性能,能够抵抗大多数酸、碱、盐溶液和有机溶剂的侵蚀。常见的高分子耐腐蚀材料包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚四氟乙烯(PTFE)等。聚乙烯具有良好的化学稳定性、耐低温性能和电绝缘性能,但耐热性较差。聚丙烯具有较高的耐热性、机械强度和化学稳定性,价格相对较低,在化工管道、阀门等领域应用广泛^[2]。聚氯乙烯具有良好的耐腐蚀性、阻燃性和电绝缘性,但热稳定性较差,加工过程中需要添加稳定剂。聚四氟乙烯被誉为“塑料王”,具有极低的摩擦系数、优异的耐腐蚀性和耐高低温性能,能够在-180℃-260℃的温度范围内长期使用,广泛应用于化工设备的密封件、衬里等部位。

3.3 陶瓷基复合材料

陶瓷基复合材料是以陶瓷为基体,加入增强纤维或颗粒制成的复合材料。陶瓷材料本身具有优异的耐高温、耐腐蚀性能,但脆性较大。通过加入增强相,陶瓷基复合材料的韧性和强度得到了显著提高。常见的陶瓷基复合材料有碳化硅陶瓷基复合材料、氧化铝陶瓷基复合材料等。碳化硅陶瓷基复合材料具有高强度、高硬度、良好的耐磨性和耐腐蚀性,能够在高温、强腐蚀环境下使用,适用于制造化工设备中的耐磨部件,如泵的叶轮、轴套等。氧化铝陶瓷基复合材料具有优异的耐腐蚀性、绝缘性和高温稳定性,常用于制造化工设备的耐腐蚀内衬、阀门密封面等。

3.4 其他新型耐腐蚀材料

除了上述材料外,还有一些其他新型耐腐蚀材料在化工设备制造中得到了应用。例如,玻璃钢(FRP)是一种以玻璃纤维为增强材料,合成树脂为基体材料的复合材料,具有重量轻、强度高、耐腐蚀性好等优点,广泛应用于化工储罐、管道等领域。镍基合金具有优异的耐高温、耐腐蚀性能,在高温、高压、强腐蚀的化工环境中表现出色,常用于制造高温反应器、换热器等关键设备。

4 新型耐腐蚀材料在化工设备制造中的应用

4.1 反应釜

反应釜是化工生产中常用的设备之一,用于进行各种化学反应。由于反应过程中会接触到各种腐蚀性介质,如强酸、强碱、有机溶剂等,因此反应釜的耐腐蚀性能至关重要。在反应釜的制造中,不锈钢合金是常用的材料之一。例如,316L不锈钢具有良好的耐腐蚀性,能够抵抗多种有机酸和无机酸的腐蚀,常用于制造一般化工反应釜。对于一些要求更高的反应釜,如用于高温、高压、强腐蚀环境的反应釜,可采用双相不锈钢或镍基合金。双相不锈钢结合了奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的优点,具有优异的耐腐蚀性和高强度,能够有效抵抗氯离子引起的应力腐蚀开裂。镍基合金如哈氏合金(Hastelloy)具有极高的耐腐蚀性,能够在各种极端腐蚀环境下使用,但成本较高。高分子聚合物材料也可用于反应釜的衬里或内胆^[3]。例如,聚四氟乙烯衬里反应釜能够抵抗几乎所有化学物质的腐蚀,适用于高纯度化学品、强腐蚀性介质的反应。玻璃钢反应釜则具有重量轻、耐腐蚀性好、可设计性强等优点,在一些对设备重量有要求的场合得到了应用。

4.2 管道

化工管道是输送各种腐蚀性介质的重要通道,其耐腐蚀性能直接影响到生产的安全和稳定。不同的新型耐腐蚀材料在管道制造中有着各自的应用。不锈钢管道在化工领域应用广泛,特别是304、316等不锈钢材质,具有良好的耐腐蚀性和机械性能,适用于输送一般腐蚀性介质。对于一些高温、高压的腐蚀性介质输送,可采用双相不锈钢或镍基合金管道。高分子聚合物管道如聚乙烯管道、聚丙烯管道具有重量轻、耐腐蚀性好、安装方便等优点,常用于输送一些中低浓度的酸、碱、盐溶液。聚四氟乙烯管道具有优异的耐腐蚀性和耐高低温性能,适用于输送高纯度化学品、强腐蚀性介质,但价格相对较高。陶瓷基复合材料管道在一些特殊场合也有应用。例如,碳化硅陶瓷管道具有高强度、高硬度、良好的耐磨性和耐腐蚀性,适用于输送含有固体颗粒的腐蚀性介质,如矿浆、煤浆等。

4.3 阀门

阀门是化工设备中控制介质流动的关键部件,其耐腐蚀性能对于保证化工生产的正常运行至关重要。不锈钢阀门是化工领域常用的阀门类型之一。不同类型的阀门可根据介质的腐蚀性和使用条件进行选择。例如,304不锈钢阀门适用于一般腐蚀性介质,316L不锈钢阀门则具有更好的耐氯离子腐蚀性能,常用于海水、盐水等介质。对于一些高温、高压、强腐蚀的工况,可采用双相不锈钢或镍基合金阀门。高分子聚合物阀门如聚

四氟乙烯阀门具有优异的耐腐蚀性，能够抵抗各种化学物质的侵蚀，适用于高纯度化学品、强腐蚀性介质的控制^[4]。陶瓷阀门具有高硬度、耐磨、耐腐蚀等优点，在一些磨损严重、腐蚀性强的场合得到了应用，如矿山、冶金等行业的选矿、冶炼过程中的介质控制。

5 新型耐腐蚀材料应用面临的挑战及解决策略

5.1 面临的挑战

尽管新型耐腐蚀材料在化工设备制造中具有诸多优势，但在实际应用过程中也面临一些挑战。成本问题是制约新型耐腐蚀材料广泛应用的主要因素之一。一些高性能的新型耐腐蚀材料，如镍基合金、聚四氟乙烯等，原材料价格较高，加工工艺复杂，导致产品成本大幅增加。这使得许多化工企业在设备选型时，出于成本考虑，仍然倾向于使用传统材料，从而限制了新型耐腐蚀材料的推广应用。加工难度也是新型耐腐蚀材料应用过程中需要解决的问题。不锈钢合金、陶瓷基复合材料等新型材料具有较高的硬度和强度，加工过程中容易出现刀具磨损快、加工精度难以保证等问题。高分子聚合物材料在加工过程中对温度、压力等工艺参数较为敏感，容易出现变形、气泡等缺陷，影响产品质量。此外，新型耐腐蚀材料的标准和规范还不够完善。目前，市场上新型耐腐蚀材料的种类繁多，质量参差不齐，缺乏统一的质量标准和检测方法。这给化工企业在材料选型和质量控制方面带来了一定的困难，也影响了新型耐腐蚀材料的健康发展。

5.2 解决策略

针对成本问题，可以从以下几个方面入手解决。一方面，加强新型耐腐蚀材料的研发，降低原材料成本。通过优化材料配方、开发新型制备工艺等方法，提高材料的性价比。另一方面，推广新型耐腐蚀材料的应用规模，实现规模经济。随着应用量的增加，生产成本将逐渐降低，从而增强新型耐腐蚀材料的市场竞争力。此外，政府和行业协会可以出台相关政策，对使用新型耐腐蚀材料的化工企业给予一定的补贴和扶持，鼓励企业积极采用新型材料。为解决加工难度问题，需要加强加工工艺的研究和开发。针对不同类型的新型耐腐蚀材料，研究制定相应的加工工艺规范，优化加工参数，提

高加工效率和质量。同时，加强对加工设备的技术改造和升级，提高设备的精度和稳定性，满足新型材料的加工要求。此外，还可以开展加工技术培训，提高操作人员的技术水平，减少加工过程中的质量问题。完善新型耐腐蚀材料的标准和规范是保障其健康发展的重要举措。相关部门应加快制定和完善新型耐腐蚀材料的质量标准、检测方法和应用规范，加强对市场的监管，规范市场秩序。同时，建立新型耐腐蚀材料的质量认证体系，对符合标准的产品进行认证，为化工企业提供可靠的选材依据。

结语

新型耐腐蚀材料在化工设备制造中的应用具有重要的现实意义。不锈钢合金、高分子聚合物材料、陶瓷基复合材料等多种新型耐腐蚀材料凭借其优异的耐腐蚀性能和良好的机械性能，在化工设备的反应釜、管道、阀门等部件制造中得到了广泛应用。通过实验研究和实际生产数据对比，证实了新型耐腐蚀材料在提高设备耐腐蚀性、延长使用寿命、提升生产效率等方面具有显著优势。然而，新型耐腐蚀材料在应用过程中也面临着成本高、加工难度大、标准规范不完善等挑战。为解决这些问题，需要采取降低成本、优化加工工艺、完善标准规范等措施。同时，新型耐腐蚀材料将朝着高性能化、绿色环保化、智能化和多功能化方向发展，以满足化工行业不断发展的需求。化工设备制造行业应积极关注新型耐腐蚀材料的发展动态，加强与科研机构的合作，加大研发投入，合理选用和应用新型耐腐蚀材料，不断提高化工设备的性能和质量，推动化工行业的安全、高效、可持续发展。

参考文献

- [1]杨廷全.化工设备的腐蚀问题与防腐措施[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(08):16-18.
- [2]左跃,林振华.煤化工设备国产化制造发展现状[J].一重技术,2021,(05):39-40+23.
- [3]邓连逢.化工设备金属材料腐蚀原因及防护策略思考[J].世界有色金属,2024,(19):28-30.
- [4]牛环宁,滕万凤,童路,等.化工设备腐蚀及防护措施研究[J].造纸装备及材料,2024,53(07):53-55.