

电镀工艺在现代制造业中应用的现状与发展趋势

钟 伟¹ 胡素荣² 刘 磊³ 李 超³ 白建军³

1. 四川省表面工程行业协会 四川成都 611730

2. 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所 四川绵阳 621900

3. 成都凯天电子股份有限公司 四川成都 611730

摘 要：随着技术的不断进步和工业需求的日益增长，电镀工艺在现代制造业中扮演着越来越重要的角色。电镀不仅提高了部件的性能，如耐磨性和防腐性，也增强了产品的外观和市场竞争力。然而，传统的电镀方法因其环境影响而逐渐被先进的环保电镀技术所替代。自动化、智能化的发展，环保技术的引入以及纳米技术的应用正在改变电镀工艺的面貌。本文综述了电镀工艺在现代制造业中的应用现状，并探讨了其未来的发展趋势，旨在为电镀行业提供创新方向和可持续发展的建议。

关键词：电镀工艺；现代制造业；应用；现状；发展趋势

电镀工艺是现代制造业不可或缺的一环，它通过在材料表面沉积金属或合金层来增强产品的耐用性、功能性能及外观特性。从电子行业的微电路制造到汽车行业的装饰和防护镀层，再到航空航天所需的高性能涂层，电镀技术无处不在。但伴随其广泛应用，如何减少电镀过程中对环境的影响成为亟待解决的问题。近年来，随着环保法规的日益严格和技术的快速进步，电镀行业正经历一系列的变革，包括自动化控制、环保电镀技术的发展以及纳米技术的应用，这些创新不仅提升了生产效率和产品质量，还响应了可持续发展的要求。

一、电镀的工作原理

电镀是一种电化学过程，用于在一个物体的表面沉积一层薄金属或其他材料，以提供保护、增强美观或改变表面的性能。这个过程涉及几个关键步骤，并在含有被镀材料离子的电解液中进行。首先，需要将待镀物体（作为阴极）和另一金属材料（作为阳极，通常是要沉积的金属）连接到直流电源的对应极上。当电流通过电解液时，阳极上的金属原子会溶解成离子，这些离子在电解液中游离。同时，在阴极，即待镀物体表面，这些游离的金属离子会接受电子，从而还原成金属原子并沉积在物体表面上。随着电镀时间的延长，沉积层逐渐增厚，直至达到所需的厚度。电镀过程中的电压、电流密度、电解液成分、温度和电镀时间等都需要精确控制，以确保镀层的质量和厚度符合要求。此

二、电镀工艺在现代制造业中的应用现状

1. 电子行业的应用

电镀不仅用于增强电子产品的导电性和防腐性，还用于改善其外观和增加耐磨性。例如，在印刷电路板制造中，通过电镀铜来形成微小的导电路径，这些路径是连接各种电子组件的关键。此外，随着无铅焊料的推广，电子行业对镀锡和镀银的需求也显著增加^[1]。镀金被广泛应用于微电子行业，尤其是在连接件和芯片制造中，因为它提供极高的电导率和优异的抗氧化性。近年来，为了应对更严格的环保法规，电子行业开始探索更加环保的电镀材料和工艺，如无氰电镀和有机酸电镀，这些技术旨在减少有害化学物质的排放。

2. 汽车制造的应用

在汽车制造业中，电镀是提高汽车零部件性能和外观的重要手段。电镀不仅赋予汽车部件如镀铬的亮丽外观，还能显著提高其耐腐蚀性和耐磨性。在汽车制造过程中，常见的电镀应用包括镀铬和镀锌。镀铬通常用于增加一些装饰性或部分可见的零部件的美观，而镀锌则广泛应用于提高车身和底盘等铁质材料的防腐蚀能力。随着汽车行业对环保和安全标准的要求不断提高，电镀工艺也在不断优化，例如采用无六价铬的电镀工艺来降低环境和健康风险。此外，电镀工艺的自动化和精确控制也成为制造业转型升级的关键点。

3. 航空航天的应用

电镀在航空航天领域主要用于处理部件的表面，以

增强其抗蚀性、耐磨性及抗疲劳强度。在极端的环境下,例如高温差和高强度压力,电镀层能提供必要的保护,确保飞机和宇宙飞船的安全运行。例如,镀镉和镀银常用于飞机的动态部件以防止腐蚀和磨损。然而,考虑到环境因素,航空航天工业正逐步淘汰传统的镀镉工艺,转而使用更环保的锌镍合金电镀^[2]。此外,对于航空发动机中的高性能合金材料,采用专门的电镀工艺来提高其表面性能已成为一个重要研究方向。通过电镀施加特种涂层,如陶瓷涂层和纳米复合材料涂层,可以显著提升材料的耐高温和抗磨损性能。

4. 其他行业的应用

电镀工艺在其他多个行业中同样扮演着重要角色。在医疗器械行业,电镀用于提高手术工具和植入设备的耐腐蚀性和生物相容性。例如,钛及其合金的植入物常通过电镀方法涂覆一层薄薄的氧化层,以提升其与人体的兼容性。在珠宝制造行业,电镀不仅用于赋予饰品独特的外观,还能增加其耐用性,常见的电镀材料包括黄金、铂和铑。此外,在纺织机械、精密工程等领域,电镀也是不可或缺的。例如,纺织机械的部分高速运动部件采用特殊电镀层以减少磨损和延长机器的使用寿命。电镀技术的发展和不断创新,如低温度电镀和高能率电镀技术,为这些多样化的行业需求提供了更多选择和可能性。

三、电镀工艺在现代制造业中的发展趋势与技术创新

1. 自动化与智能化的发展

随着工业4.0的推进和智能制造技术的不断发展,电镀行业也在逐步实现生产自动化和智能化。自动化电镀生产线能够通过编程自动完成电镀过程中的多个步骤,从而显著提高生产效率和产品一致性。智能化技术如传感器、数据分析和机器学习被集成到电镀系统中,用于实时监测电镀状态(例如,温度、电流、pH值等),并通过反馈调节确保电镀过程的稳定性和产品质量。此外,智能控制系统可以预测设备维护需求并预防潜在的生产故障,减少停机时间。自动化和智能化不仅提升了操作精确性,还有助于减少人为错误,降低对高技能劳动力的依赖,同时提高工作场所的安全性。

2. 环保电镀技术的进步

在全球范围内环保法规日益严格的背景下,电镀行业正面临着必须降低其环境足迹的压力。这一需求推动了多种环保电镀技术的发展,其中包括无氰电镀、无铬电镀和低毒性有机替代品的应用。这些技术旨在减少或消除传统电镀过程中使用的某些有毒化学物质,如氰化物和六价铬。无氰电镀技术使用其他化合物来取代氰化物,作为金属离子的稳定剂。同样,无铬电镀提供了对环境健康风险较小的替代方案,用于镀锌层上的后处理以提供腐蚀防护^[3]。此外,水耗和能耗更低的电镀技术也在不断研发中,例如使用脉冲反向电流和高频脉冲电镀技术,这些技术可以提升电镀效率并减少能源消耗。

结语

随着技术的发展,我们见证了电镀工艺从传统手工操作向自动化、智能化的转变,从环境污染问题向绿色环保解决方案的转型,以及从微米级精确度向纳米级精细控制的提升。这些变革不仅提高了生产效率和产品质量,更为电镀工艺的未来发展开辟了新的道路。面对日益严格的环保要求和不断升级的市场需求,电镀行业需要不断创新和改进,以实现可持续的生产和长远发展。未来,电镀工艺的进步将更加依赖于跨学科的研究,包括化学、物理、材料科学和电子工程的融合,以及在全球制造业趋势的同步。

参考文献

- [1] 石峰, 丁金友, 匡泓, 等. 智能环保自动化——电镀表面处理设备制造业的现状与展望[J]. 电镀与精饰, 2021, 43(12): 38-42.
- [2] 谷清平. 基于《汽车塑料件电镀工艺》看塑料电镀工艺在汽车制造业中的应用[J]. 电镀与精饰, 2021, 43(10): 65.
- [3] 作为制造业的基础性工业 电镀行业如何撑起“中国智造”的明天[J]. 表面工程与再制造, 2015, 15(06): 57-58.