

镍铜 + 电泳复合防护涂层的研究

邓志伟¹, 张友亮², 张守华¹, 王祺岩²

¹安泰科技股份有限公司, 北京

²安泰爱科科技有限公司, 山东 淄博

收稿日期: 2023年3月9日; 录用日期: 2023年4月21日; 发布日期: 2023年4月28日

摘要

介绍了稀土永磁材料镍铜电泳后烘烤温度对涂层结合力的影响, 并通过对电泳后不同烘烤温度下的涂层进行结合力对比分析, 得出永磁材料表面镍铜电泳后的烘烤温度为190℃~210℃较为适宜。在此烘烤温度下, 稀土永磁材料防护涂层结合力完好, 对其进行百格实验, 无任何脱落现象。

关键词

稀土永磁, 结合力, 镍铜电泳, 烘烤

Study on Compound Protective Coating of Nickel Copper and Electrophoresis

Zhiwei Deng¹, Youliang Zhang², Shouhua Zhang¹, Qiyan Wang²

¹Advanced Technology & Materials Co., Ltd., Beijing

²AT & M Magco Technology Co., Ltd., Zibo Shandong

Received: Mar. 9th, 2023; accepted: Apr. 21st, 2023; published: Apr. 28th, 2023

Abstract

This paper introduces the effect of baking temperature of rare earth permanent magnet nickel copper after electrophoresis on coating adhesion, and through the comparative analysis of coating adhesion at different baking temperatures after electrophoresis, it is concluded that the baking temperature of permanent magnet nickel copper after electrophoresis is 190°C~210°C. At this baking temperature, the bonding force of the protective coating of rare earth permanent magnet material is intact, and the hundred-cell experiment is carried out on it, without any shedding phenomenon.

Keywords

Rare Earth Permanent Magnet, Adhesion, Nickel Copper after Electrophoresis, Baking

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钕铁硼稀土永磁材料是 20 世纪 80 年代发展起来的第三代[1]新型功能材料，它具有能量转换功能，是一种高效的能量转换介质，在微波通讯、音像、仪器仪表、电机工程、计算机磁分离、磁疗等领域得到广泛应用，成为新技术应用的重要物质基础。但钕铁硼的化学性质极其活泼，在潮湿空气中极易氧化，遇酸则发生强烈的反应而腐蚀，从而导致磁性能的严重恶化。电镀作为提高稀土永磁材料耐蚀性的一个有效解决途径，已被广泛应用于钕铁硼表面处理工艺[2] [3] [4]。

提高稀土永磁材料的耐蚀性，是扩大稀土永磁体应用的关键。目前国内外科学家为解决这一难题，研究了各种防护措施，如环氧浸渍、喷涂、电镀、电泳和气相沉积等。在恶劣的腐蚀环境下，有机涂层比金属涂层具有更好的耐腐蚀性，并且对磁性能影响不大。而在有机涂层中，阴极电泳又以其防腐性能好、膜层均匀、密着性强、表面流平性及泳透力好、涂料利用率高、环境污染小及生产安全性高等优点，成为稀土永磁材料表面处理的主力军[5] [6]。

热是促进有机涂层老化的一个重要因素，多位研究者[7] [8]对比了不同老化温度对环氧树脂涂层、PVAC 涂层、环氧涂层老化性能变化的影响，表明老化温度越高，涂层性能变化越明显。并且研究了长期性热对有机涂层物理老化的影响，认为当温度从高于玻璃化温度下降到低于玻璃化温度时，有机涂层体积处于非平衡态值，最后涂层的性能如机械性能、热性能和绝缘性能发生变化，即发生了物理老化。本文研究了先在稀土永磁材料表面附着两层金属镀层(镍层 + 铜层)，然后在铜层上进行阴极电泳，金属镀层与有机涂层的有效组合，大大提高了稀土永磁材料的可靠性能。笔者主要从优化烘烤温度着手，考察了稀土永磁材料表面镍铜金属镀层与电泳有机涂层之间的结合力情况，同时研究了复合涂层的相关可靠性能。

2. 实验

2.1. 试验样品

50 mm × 8 mm × 5 mm 的稀土永磁材料样品件若干，已完成镍铜镀层的电镀。

2.2. 试验仪器与工具

电泳烘箱(非标; 加热功率: 60 KW; 温度范围: 室温~300℃);

百格实验整套工具(百格尺、百格刀及专用胶带等)。

2.3. 试验方案

试验选定同一电泳条件和烘烤时间、不同的烘烤温度，对样品防护涂层进行固化，然后对样品涂层进行百格实验，观察镀层脱落情况。其中烘烤温度分别设定为 180℃、190℃、200℃、210℃、220℃、230℃和 240℃，烘烤温度统一设定为 60 min。样品组按照表 1 进行编号。

Table 1. Sample group numbering sequence**表 1.** 样件组编号顺序

编号	样件数量/pcs	温度/°C	烘烤时间/min	备注
1#	20	180	60	
2#	20	190	60	
3#	20	200	60	
4#	20	210	60	
5#	20	220	60	
6#	20	230	60	
7#	20	240	60	
8#	20	250	60	

2.4. 防护涂层结合力测试

现有的几十种涂镀层结合力测试方法可归纳为定性和定量两大类。定性法以经验判断和相对比较为主，一般难以给出力学参量，但简单快速，一般不需专门设备。定量的方法采用临界载荷指标来表征和评价涂镀层和基体界面结合的力学性能[9]。

本实验主要采用定性的方式：即首先在零件的表面用百格刀划好百格；然后将百格专用胶带贴于表面，并以手指压下将胶带紧密贴附；再者用手捏住专用胶带的一角，迅速向上撕下胶带；最后检查胶带撕下的格数。由涂层脱落的情况可以判断材料镍铜 + 电泳防护涂层结合力情况。

3. 实验结果与讨论

百格实验分析

如表 2、表 3 所示为样件在不同烘烤温度下表面涂层的百格实验状态：

Table 2. Hundred cell test of test samples at different temperatures (pre-viscose)**表 2.** 不同温度下试验样件的百格实验(粘胶前)

编号	温度/°C	百格后膜层状态	描述	备注
1#	180		镀层破损率 0.0%，铜为亮黄色	镀层较软，有划痕
2#	190		镀层破损率 0.0%，铜为亮黄色	无划痕
3#	200		镀层破损率 0.0%，铜为亮黄色	无划痕
4#	210		镀层破损率 0.0%，铜为亮黄色	无划痕

Continued

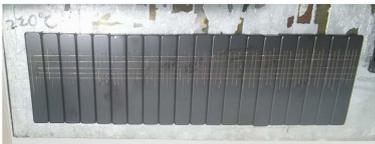
5#	220		镀层破损率 15%，铜为亮黄色	无划痕
6#	230		镀层破损率 25%，铜为暗红色	无划痕
7#	240		镀层破损率 50%，铜为暗红色	无划痕
8#	250		镀层破损率 80%，铜为暗红色	无划痕

Table 3. Bagel test of test samples at different temperatures (after viscose)
表 3. 不同温度下试验样件的百格实验(粘胶后)

编号	温度/℃	烘烤时间/min	百格后状态	备注
1#	180		0.0%镀层无脱落	
2#	190		0.0%镀层无脱落	
3#	200		0.0%镀层无脱落	
4#	210		0.0%镀层无脱落	
5#	220		10%镀层脱落	

Continued

6#	230		30%镀层脱落
7#	240		80%镀层脱落
8#	250		100%镀层脱落

由表 2、表 3 可以看出, 烘烤温度对稀土永磁材料表面镍铜金属镀层与电泳有机涂层之间的结合力影响明显: 烘烤温度在 210℃ 以下时, 百格测试均合格, 镀层脱落占比为 0.0%, 金属铜层的颜色均为亮黄色; 180℃ 时, 膜层较软, 表面有轻微划伤; 烘烤温度在 220℃~230℃ 时, 百格测试不合格, 镀层脱落占比高达 30%, 即膜层开始出现老化脆裂现象, 但金属铜层的颜色仍为亮黄色; 烘烤温度在 240℃~250℃ 时, 百格测试不合格, 镀层脱落占比达 80% 以上, 即膜层几乎全部被老化, 金属铜层颜色为暗红色。

4. 结论

本文通过在永磁材料基体上先附着两层金属镀层, 然后在金属镀层上进行阴极电泳, 对比了不同温度对金属镀层与有机涂层间结合力的影响, 得出以下结论:

- 1) 电泳后烘烤温度在 180℃ 及以下、烘烤时间为 60 min 时, 涂层较软, 易划伤;
- 2) 电泳后烘烤温度在 190℃~210℃、烘烤时间为 60 min 时, 涂层外观无划伤现象, 有机层与金属铜层结合力良好, 百格测试合格;
- 3) 电泳后烘烤温度在 220℃~230℃、烘烤时间为 60 min 时, 涂层外观无划伤现象, 有机层与金属铜层结合力稍差, 有机层出现老化、脆裂现象, 30% 以上的镀层脱落;
- 4) 电泳后烘烤温度在 240℃ 以上、烘烤时间为 60 min 时, 涂层外观无划伤现象, 有机层与金属铜层结合力很差, 有机层老化、脆裂严重, 80% 以上的镀层脱落。

参考文献

- [1] 邓文字, 王朋阳, 齐丽君, 等. 钕铁硼永磁材料腐蚀机理及防护研究进展[J]. 真空, 2020, 57(5): 45-51.
- [2] 陈继, 邹丹, 邓岳锋, 等. 一种从废稀土抛光粉中回收稀土氧化物的方法[P]. CN11260 907-6A. 2021.
- [3] 邓志伟, 张友亮, 张守华. 钕铁硼产品研磨倒角工艺优化[J]. 当代化工研究, 2022(15): 180-182.
- [4] 谢连刚, 孔令凯, 张健. 酸洗液酸洗能力控制方法的研究[J]. 广东化工, 2022, 49(13): 37-39.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-1865.2022.13.012>
- [5] 冯立明, 等. 涂装工艺与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 涂料工艺编委会. 涂料工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [7] 黄嵘, 徐国跃, 程传伟, 等. EPDM 基红外隐身涂层耐热性及使用寿命预测研究[J]. 红外技术, 2008, 30(12): 693-696.
- [8] Triki, E., Anieta, C., Boukehili, H., *et al.* (2012) Tear Behavior of Polyester-Based Coated Textiles after Ther-

mo-Oxidative Aging. *Polymer Composites*, **33**, 1007 -1017. <https://doi.org/10.1002/pc.22227>

- [9] 张宏杰, 温茂远, 侯振, 等. 测定结晶器涂镀层结合力的探讨[C]//中国金属学会. 2013年连铸新技术及关键耐材长寿化学术研讨会论文集. 青岛: 中国金属学会, 2013: 84-90.