

Development of Teaching Cases on Surface Treatment Technologies for Key Components of New Energy Vehicles

Yingchang Jiang Xueting Chang

College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai, 201306, China

Abstract

This study focuses on the development and practical implementation of teaching cases centered on surface treatment technologies for key components in new energy vehicles. Against the backdrop of the global growth in the new energy vehicle industry, surface treatment technologies play a critical role in enhancing the performance of key components. However, current teaching methods often suffer from a disconnection between theoretical knowledge and industrial practices. This research aims to bridge the gap among "industry demands, technical principles, and practical skills" by introducing the theoretical framework, application status, and standards of surface treatment technologies. It analyzes the shortcomings of existing teaching cases and designs two specific teaching cases: anodic oxidation of battery aluminum casings and insulating coatings for motor silicon steel sheets. The implementation of these cases and the corresponding evaluation system are elaborated. Teaching outcomes demonstrate that the cases significantly improve students' cognitive and practical abilities. Finally, the study concludes by summarizing the findings, acknowledging limitations, and proposing directions for future optimization.

Keywords

Surface treatment technology; Teaching case development; Key components of new energy vehicles; Industry-education integration; Engineering practical ability

新能源汽车关键部件的表面处理技术教学案例开发

蒋颖畅 常雪婷

上海海事大学海洋科学与工程学院, 中国·上海 201306

摘要

本文围绕新能源汽车关键部件表面处理技术开发教学案例并开展实践研究。全球新能源汽车产业增长背景下, 表面处理技术对关键部件性能提升至关重要, 但当前教学存在理论与产业实践脱节问题。研究搭建“产业需求-技术原理-实践能力”桥梁, 介绍表面处理技术理论体系、应用现状及标准, 分析现有教学案例不足, 设计电池铝壳体阳极氧化、电机硅钢片绝缘涂层两个教学案例, 阐述教学实施与评价体系。教学结果显示案例提升学生认知与实践能力, 最后总结结论、指出局限并展望优化方向。

关键词

表面处理技术; 教学案例开发; 新能源汽车关键部件; 产教融合; 工程实践能力

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

全球新能源汽车产业爆发式增长, 我国 2024 年新能源汽车渗透率突破 40%, 动力电池、驱动电机等关键部件性能升级成产业竞争核心^[1]。表面处理技术是提升部件可靠性、安全性与寿命的核心手段, 应用要求严苛^[2]。动力电池铝壳体需阳极氧化实现防腐绝缘, 电机转子需激光表面硬化提升耐磨性, 电控外壳需化学转化膜保障耐候性。

但当前院校“新能源汽车关键部件表面处理技术”教

学中, 理论与产业实践脱节^[3], 教材案例多为传统燃油车部件, 缺乏新能源汽车特有技术需求覆盖; 教学侧重基础原理, 未融入行业新技术与企业生产场景, 学生毕业后难适配岗位^[4]。

1.2 研究意义

本教学案例开发的核心价值在于搭建“产业需求-技术原理-实践能力”的桥梁, 具体体现在三个层面:

对学生: 通过案例学习, 直观理解技术原理与工程问题关联(如电池壳体防腐涂层厚度控制), 提升分析与方案设计能力;

对教学: 填补现有课程中新能源汽车表面处理案例的空白, 推动教学内容从“传统技术”向“产业前沿”更新, 助力课程与《中国制造 2025》中“新能源汽车关键零部件技术”培养目标的对接。

【作者简介】 蒋颖畅(1987-), 女, 博士, 讲师, 从事功能纳米材料研究。

对产业：通过案例培养出的学生具备更强的技术落地能力，可缩短企业岗前培训周期，为新能源汽车产业输送“懂技术、能实践、善创新”的应用型人才，间接推动产业技术升级。

2 理论基础与技术现状

2.1 表面处理技术的理论体系与分类

表面处理技术通过物理、化学或机械方法改变材料表面性能，理论涉及多学科，主要分类如下：

电镀技术—基于电解原理形成镀层，提升耐磨性与防腐性，核心是电极电势平衡等理论，存在环保问题；

喷涂技术—将涂料雾化附着工件表面，分液体与粉末喷涂，依赖流体力学与高分子化学理论；

激光表面改性技术—用高能激光处理材料表面，核心是材料热物性与激光参数匹配模型；

化学转化膜技术—工件与化学溶液反应生成保护膜，理论为氧化还原动力学；

气相沉积技术—含 PVD 与 CVD，通过气相原子沉积成膜，理论涉及真空物理，涂层均匀性高。

2.2 表面处理技术在新能源汽车关键部件中的应用现状

为满足核心性能需求，新能源汽车关键部件正广泛应用先进的表面处理技术。动力电池壳体通过阳极氧化或粉末喷涂实现防腐、绝缘与轻量化，如特斯拉 4680 电池采用陶瓷涂层。电机转子/定子采用激光熔覆与 PVD 绝缘涂层以提升耐磨与绝缘性能。电控外壳利用电泳或化学镀镍来确保电磁屏蔽与耐候性。而电极耳则通过电镀锡等工艺保障导电与抗腐蚀能力。这些技术的应用显著提升了部件的可靠性与整车性能，驱动着产业持续进步。

2.3 国内外教学案例研究现状与不足

目前国内外院校在表面处理技术教学中已形成部分案例，但针对新能源汽车关键部件的专项案例仍存在明显短板。

国内现状：多数高校的案例集中于传统制造业（如机床零件电镀），少数职业院校引入了汽车零部件喷涂案例，但存在两点不足：一是技术滞后；二是缺乏“部件-性能-技术”的关联分析。

国外现状：德国二元制院校的案例更贴近企业实践（如奔驰新能源汽车电机部件的激光处理），但多以企业内部技术文档为基础，公开性不足，且未适配国内技术标准。

共性问题：现有案例普遍存在“三脱节”——理论与工艺参数脱节、技术与标准脱节、教学与产业需求脱节。表面处理技术的理论体系已较为成熟，但新能源汽车产业的快速发展对技术应用提出了新要求（如绿色化、智能化）。现有教学案例未能充分覆盖产业前沿技术与标准，亟需开发以

“关键部件工况分析-技术选型-标准落地”为逻辑的教学案例，为后续案例设计提供明确的靶向性。

3 教学案例设计

3.1 教学案例一：电池铝壳体阳极氧化处理技术

3.1.1 设计思路

以“防腐绝缘双需求”为核心，聚焦电池铝壳体表面失效风险，引导学生掌握阳极氧化技术原理、参数优化及检测方法，理解“材料特性-工艺参数-性能指标”逻辑。

3.1.2 内容框架

背景与工况分析：电池铝壳体需隔绝电解液腐蚀、防短路；某车企因氧化膜厚度不足（ $< 10 \mu\text{m}$ ）出现腐蚀穿孔；依据 GB/T 26106-2010，氧化膜厚度 $\geq 15 \mu\text{m}$ 、耐盐雾 ≥ 500 小时、绝缘电阻 $\geq 10^{10} \Omega$ 。

技术原理与工艺设计：阳极氧化电化学原理（ $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ ），膜层结构作用机制；硫酸电解液工艺参数如下：预处理需在 60-70℃ 下使用 5%-8% 碱性除油剂，油污残留会导致膜层脱落；阳极氧化在 18-22℃、1-2A/dm² 条件下进行 30-40 分钟，温度与电流密度直接影响膜层致密性与厚度；最后通过 20-30 分钟沸水封口封闭多孔结构，以提升耐腐蚀性。

3.1.3 实践与检测环节

虚拟仿真用 Ansys 模拟温度场；实操分组制备铝试片，检测膜厚、耐盐雾及绝缘电阻；探究参数偏差后果。对接 GB/T 19822-2014 记录数据。

3.2 教学案例二：电机硅钢片绝缘涂层处理技术

3.2.1 设计思路

围绕“低损耗与高绝缘”需求，揭示绝缘涂层“材料选择-涂覆工艺-性能匹配”逻辑，培养电磁部件表面处理工程思维。

3.2.2 内容框架

案例背景与工况分析：硅钢片绝缘涂层需阻导电、耐高温（120-180℃），涂层脱落致电机效率降 10%-15%；核心指标绝缘电阻 $\geq 100\text{M}\Omega$ 、耐温 $\geq \text{F}$ 级、附着力 $\geq 5\text{N/cm}$ 。

技术原理与工艺设计：绝缘涂层阻隔机制与界面结合原理；有机-无机复合涂覆工艺主要包含三个关键步骤。首先，预处理阶段需进行脱脂（50℃的碱性溶液）和酸洗。其次，在涂覆阶段，粗涂速度控制在 10-15 米/分钟，涂层厚度为 0.5-2 微米。最后，固化阶段在 200-220℃ 下持续 3-5 分钟。

3.2.3 实践与检测环节

分析不同涂层样品微观结构；实操制备硅钢片试片，检测电阻、热冲击后完整性及附着力；讨论高速电机涂层特殊要求。对接 IEC 60404-3:2019 验证绝缘强度。

3.3 教学实施路径

见图 1。

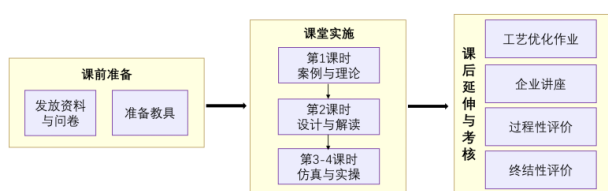


图 1

3.4 案例特色

产教融合: 案例参数源自企业真实生产数据(如特斯拉电池壳体氧化膜厚度标准),检测方法对标行业规范。

问题导向: 以“失效分析”切入,引导学生从“解决问题”角度理解技术原理(如“为何封孔处理能提升耐腐蚀性”)。

能力递进: 从“原理解释”到“工艺设计”,再到“性能优化”,逐步培养学生的工程实践与创新思维。

通过以上两个案例的教学,可帮助学生建立“部件工况→技术需求→表面处理方案→标准验证”的完整逻辑链,实现从理论知识到产业应用的有效衔接。

4 教学实施与评价

4.1 教学实施过程

教学对象为材料工程专业大二学生(30人/班),该群体具备表面处理技术相关基础理论知识,但缺乏工程应用认知,课前需发放预习资料,学生完成线上问卷且正确率 $\geq 80\%$ 方可参与课堂实操。教学组织采用5人一组的分组模式,每组设组长(协调分工)、记录员(记录实验数据)、操作员(2名,负责设备操作)、汇报员(总结实验结论),通过角色轮换确保全员参与;教学方法上,采用“理论讲解-虚拟仿真-实操验证-标准对照”四步教学法,推动学生从理论认知向工程实践转化。课时与场地安排如下:

理论与仿真(2课时/案例)在多媒体教室与虚拟仿真实验室进行,核心任务为原理解释与参数模拟。实操与检测(2课时/案例)在表面处理工艺实验室进行,学生将完成试片制备与性能检测。最后,课程安排1课时进行综合评价与反馈,在理论教室完成成果汇报、成绩评定与教学反馈。整个教学过程共计9课时,强调理论与实践紧密结合,通过循环递进的方式巩固学习效果。

4.2 教学评价体系设计

本课程采用综合评价体系,其中过程性评价占60%,包括预习(10%,正确率 $\geq 80\%$)、仿真(15%,参数合理性)、实操(20%,规范与记录)和讨论(15%,分析深度);终结性评价占40%,包括方案设计(25%,如快充接口处理设计)和报告(15%,规范与建议)。

4.3 教学效果评估结果

学生反馈:92%认为案例教学易理解,88%能列2项以上国标,85%掌握参数影响规律;

实践成果:73%方案匹配工况,65%实验报告优秀;

能力对比:案例教学班级各能力维度得分较传统班级

提升26%-79%。

4.4 问题与改进

在教学实施中,存在两项核心问题:一是虚拟仿真软件对“涂层微观结构演变”的模拟精度不足,影响学生对技术机理的直观认知;二是实操设备数量有限,导致部分小组等待时间较长,降低实操效率。

上述问题,提出三点改进建议:联合企业开发含“纳米涂层生长动态模拟”的定制化仿真模块;采用“虚实结合”分组模式,2组同步实操、其余组开展仿真优化并轮换,压缩等待时间;引入企业工程师线上点评学生方案,强化产业需求对接。实践表明,该案例能有效提升材料工程专业学生的工程认知与实践能力,其“标准嵌入-虚实结合-问题导向”设计逻辑可为同类课程提供参考。

5 结语

本研究围绕新能源汽车关键部件表面处理技术,开发了“电池铝壳体阳极氧化”与“电机硅钢片绝缘涂层”两个教学案例,并在材料工程专业大二学生中开展实践。案例采用“工况分析-理论解析-虚实实操-标准验证”的闭环教学设计,有效达成三方面目标:知识层面,学生对表面处理技术的掌握度提升26%-37%,85%能够关联技术与部件功能需求;能力层面,学生在工艺参数优化、标准应用等维度得分提升32%-79%,73%可独立完成符合产业要求的方案设计;产教融合层面,学生对“技术-标准-产业”逻辑关联的认知度从课前35%提升至88%。案例填补了该专业在新能源汽车表面处理领域的教学空白,首次引入虚拟仿真与企业失效案例,构建“理论-虚拟-实操-标准”四步教学法,为同类课程提供了可复制的教学范式。

尽管成效显著,案例仍存在局限:技术覆盖范围有限,未涉及激光改性、气相沉积等常用技术及复合功能需求;教学对象单一,缺乏面向职教与研究生阶段的分层内容;评价体系以短期反馈为主,缺乏毕业生技术应用能力的长期追踪数据。未来可从四方面优化:拓展智能化、复合化技术案例;构建分层模块化资源与数字孪生平台;深化校企协同,推动“教学-认证-就业”闭环建设;完善毕业生跟踪与第三方评价机制,持续提升教学与产业需求的匹配度,为新能源汽车产业培养高素质应用型人才。

参考文献

- [1] 《新能源汽车关键部件制造技术人才白皮书》(中国汽车工程学会,2023)。
- [2] 许月娟.基于车床的汽车零部件表面处理技术研究[J].汽车测试报告,2024(20):68-70。
- [3] 施敏敏,彭斌,曹啸敏.产教融合视域下产业学院建设与人才培养模式的研究——以新能源学院为例[J].Advances in Education,2022,12:3453。
- [4] 《1+X证书制度在表面处理技术领域的实践》(2022)政策文件。