

新能源汽车用铝加工产品的表面防护

彭浩民^{1,2}, 高庆福^{1,2}, 戴碧珍^{1,2}, 陈雄^{1,2}, 戴创波^{1,2}, 邱万斌^{1,2}

(1.中国电器科学研究院股份有限公司,广州 510300; 2.擎天材料科技有限公司,广东 东莞 523000)

摘要: 针对新能源汽车铝加工产品特殊性能的要求,介绍满足客户需求的新能源汽车用粉末涂料的性能指标。由于各个部件之间性能要求不同,使用粉末涂料体系也有不同,本文通过对新能源汽车不同部件专用粉末涂料的产品介绍,探讨了粉末涂料在新能源汽车领域的发展应用。

关键词: 新能源汽车; 铝加工; 粉末涂料; 涂装

中图分类号:TQ639 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2024)09-0033-03

Surface Protection of Aluminum Processing Products for New Energy Vehicles

PENG Hao-min^{1,2}, GAO Qing-fu^{1,2}, DAI Bi-zhen^{1,2}, CHEN Xiong^{1,2}, DAI Chuang-bo^{1,2}, QIU Wan-bin^{1,2}

(1.China Electrical Equipment Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510300, China;

2.Qingtian Material Technology Co., Ltd., Dongguan 523000, Guangdong, China)

Abstract: According to the requirements of the special performance of aluminum processing products of new energy vehicles, we develop special powder coatings for new energy vehicles that can meet customer needs. Due to the different performance requirements between the individual components, the powder coating systems used are also different. This paper introduces the products of powder coatings for different components of new energy vehicles, proposes a new method of coating new energy vehicles, and points out the way for the development of powder coatings in the field of new energy vehicles.

Key words: new energy vehicles; aluminum processing; powder coating; painting

0 引言

近年来,清洁能源未来发展持续看好,中国作为清洁能源发展的有力推动者,以新能源汽车发展为例,2022年全球新能源汽车销量1 065万台,其中中国销量达到670万台。中国作为新能源大国,在政策指引方面有着细致的布局,从2021年起,政策的指向性明确地标出了绿色、智能和高质量发展的道路,在产品质量和生产数量上做出了鲜明的导向性,即高质量绿色发展为主要发展思想,这也对新能源行业未来的发展起到了风向标的作用。面向新能源汽车的新发展格局,研发新型功能粉末涂料,平衡涂层的综合性能,丰富材料

体系的低碳化策略,是新能源材料研究的重点方向。

1 新能源汽车的涂装现状

新能源汽车因电池驱动,零件都有减重要求,铝的密度小,所以现在铝制汽车零件很多,不同铝加工部件都需要做表面处理,满足防护都要求。粉末涂料喷涂作为新的技术方案,受到了新能源汽车制造行业的青睐,粉末涂料针对新能源汽车市场的需求,专属粉产品已覆盖新能源汽车电池电芯、电池包内结构件、热管理系统、电池壳体、发卡电机、铝排连接件、充电设施及储能设备等部件。这些部件基材涂履上粉末涂料之后,产品的防护得到了最大的保障,无论是耐热性、绝缘性能或抗腐蚀能力,为新能源汽车提供了性能极佳的解决方案。新能源汽车部分部件防护工艺见表1。

2 新能源电气绝缘系列

2.1 电动汽车电池箱体

电池是新能源汽车的极其重要组成部件,也是涉

收稿日期:2023-11-21

作者简介:彭浩民(1975—),男,本科,高级工程师,主要从事粉末涂料用聚酯树脂及粉末涂料的研究。E-mail:penghm@cei1958.com。

及安全的最核心部件之一，动力电池老化后容易出现自燃等异常现象，因此新能源汽车电池涂料需要具有防火绝缘等特殊功能。之前市场上的动力电池基本是使用蓝膜缠绕进行防护的，其广泛应用在动力电池行业中，目前仍是电芯绝缘常见的解决方案。

表 1 新能源汽车部分部件防护工艺

电池系统	涂装工艺	主流设计厚度/ μm	绝缘设计要求
电芯壳体	缠膜	100/120/150	DC 2 700 V
	粉末涂料	100~150	漏电流<0.1 mA
	液体涂料	100~150	DC 1 000 V
	UV 涂料	100~150	电阻>500 M Ω
电池连接件/ 铜巴铝巴	粉末涂料	200~600	DC 3.8~6.0 kV
	PI 膜	150~250	漏电流<0.1 mA
	PVC 胶	300~500	DC 1 000 V
	热缩套	300~800	电阻>1 000 M Ω
液冷板凹面	粉末涂料	200~400	DC 3.8~4.0 kV
液冷板凸面	PVC 发泡胶	3 000~5 000	漏电流<0.1 mA
电 池 包 壳	液冷侧板	粉末涂料	DC 1 000 V 电阻>500 M Ω
	上盖板	粉末涂料	DC 2.7~3.8 kV 漏电流<0.1 mA
	隔板	非金属 复合材料	

粉末涂料针对新能源电池的使用要求，推出了电芯壳体专用粉末涂料。电芯壳体主要注重电气绝缘、阻燃与耐溶剂性能，为此通过筛选环氧树脂及其固化剂、功能性填料作为主要组成材料，以制备满足电芯壳体的涂层防护要求。

由于环氧树脂的绝缘性能与防腐性能较好，环氧树脂中的环氧基和羟基具有较强的反应活性，与固化剂反应后会迅速形成交联网状结构，高温固化后，在工件表面形成致密的涂膜，水蒸气和化学助剂无法渗透，使得被涂覆工件更具有耐腐蚀性；同时添加硅酸盐结构填料，进一步提高涂层耐温、绝缘及耐溶剂性能。将制备的粉末涂料喷涂在电芯壳体上进行性能测试，结果见表 2。

2.2 母排连接件

层叠母排大量应用在电池动力系统中，为汽车提供动力电流传输。动力电池中母排多为铝排或者铜排，通过焊接工艺将电池和叠层母排相连，实现电池的低电感直流电连接，并有效控制局部放电，保证汽车平稳行驶。

表 2 电芯壳体粉末涂料的关键性能表征

项目	性能指标	检测结果
附着力	0 级	0 级
耐电压击穿	3 kV 无击穿	3 kV 无击穿
介电常数	≥ 20 kV/mm	34 kV/mm
耐双八五	2 000 h 无异常	通过
导热系数	0.20~0.22 W/(m·K)	0.22 W/(m·K)
高低温循环	-75~155 $^{\circ}\text{C}$, 循环 1 500 次, 涂层满足绝缘耐压要求	通过
耐电解液	85 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 2 h 涂层无起泡、剥离	通过
耐冷却液	40 $^{\circ}\text{C}$ 浸泡 30 d 涂层无剥离、起泡	通过

针对母排连接件的高绝缘性能要求，通过采用普通环氧与改性环氧复配，添加环氧固化剂及填料，熔融挤出得到母排连接件专用粉末涂料。该改性环氧采用丁腈橡胶对双酚 A 环氧进行改性，极大地提高涂层耐电压击穿性能，同时与普通环氧复配，弥补短腈橡胶改性环氧耐老化等耐长期性能不足的影响，保证制得的涂层完全满足母排连接件的性能要求。表 3 为该产品涂装后的性能表征。

表 3 新能源汽车母排连接件粉末涂料的关键性能表征

性能	性能指标	检测结果
击穿强度(常态)	≥ 35 kV/mm	60 kV/mm
介质损耗(24 $^{\circ}\text{C}$, 50 h)	≤ 0.03	0.01
绝缘涂层阻燃等级	V0	V0
高低温循环	-75~155 $^{\circ}\text{C}$, 循环 1 500 次, 涂层满足绝缘耐压要求	通过
耐磨性(1 000 g, 5 000 次)	≤ 0.08 g	0.05 g
耐热水性	95 $^{\circ}\text{C}$, 24 h; 75 $^{\circ}\text{C}$, 48 h 涂层无异常	通过
盐雾试验	168 h 涂层无起泡、起皱, 满足绝缘耐压要求	通过
附着力	0 级	0 级
柔韧性	≤ 2 mm	2 mm

2.3 绝缘隔板

汽车动力驱动系统用绝缘隔板，一般由铝合金制成，在汽车组装电池后，起固定电池和冷却的作用，属于汽车支架系统，用绝缘粉末涂料起到绝缘保护作用，绝缘隔板作为电池包的重要部件，其绝缘性能要求高，且对固化后的温升效果要求严苛，保证汽车行驶中的绝缘保护作用和安全可靠性。

为贴合绝缘隔板的性能要求，采用普通环氧与酚醛环氧复配体系，制备绝缘隔板专用粉末涂料。酚醛树脂结构耐温稳定性强，可保证涂层的温升效果；与普通

环氧复配,同时添加硅酸盐结构填料,进一步提升其绝缘与升温效果。表4为该产品的性能表征,能够完全满足绝缘隔板的使用要求。

表4 新能源汽车绝缘隔板粉末涂料的关键性能表征

性能	性能指标	检测结果
百格试验	1级	0级
盐雾试验	168 h 涂层无起泡、起皱,满足绝缘耐压要求	通过
阻燃等级	V0	V0
内部腐蚀性能试验	乙二醇+蒸馏水,(88±3)℃,流量18 L/min,运行76 h,静置8 h,循环14次试验后做气密检测和爆破压力试验	通过
高低温循环	-75~155℃,循环1500次,涂层满足绝缘耐压要求	通过
低温性能	温度(-40±2)℃,16 h,涂层无开裂、脱落、起泡现象,满足附着力、绝缘耐压要求	通过
高温性能	100℃,600 h 涂层无开裂、脱落、起泡现象,满足附着力、绝缘耐压要求	通过
双85	85℃,相对湿度85%,750 h 涂层无开裂、脱落、起泡现象,满足附着力、绝缘耐压要求	通过

2.4 电机转子

乘用车领域电动汽车/混合动力汽车的电机一般有感应电机或永磁同步电动机两种。两种电机都需要用到电机转子,材料上一般为硅钢片,粉末涂料涂覆的转子系统可提高转子绝缘绕线增加密度,有效提高电机功率,起到绝缘作用。

电机转子对涂层硬度要求较高,因此采用环氧树脂与咪唑类固化剂作为固化体系,同时添加增硬填料,制备电机转子专用粉末涂料。首先采用环氧树脂作为主体树脂,保证涂层的绝缘性能,与咪唑类固化剂反应,可保证涂层完全固化后的 T_g 达到较高温度,通过提高 T_g 的方式达到增强硬度的效果。同时添加增硬填料,起到进一步提升涂层硬度的效果。表5为该产品的性能,完美贴合电机转子的使用要求。

表5 新能源汽车电机转子粉末涂料的关键性能

性能	检测指标	检测结果
耐电压击穿	2 kV 无击穿	4 kV 无击穿
高低温循环	-75~155℃,循环1500次,涂层满足绝缘耐压要求	通过
耐磨性 (1 000 g,5 000 次)	≤0.08 g	0.03 g
边缘覆盖率	≥60%	70%
绝缘涂层阻燃等级	V0	V0
耐化学腐蚀	24 h 涂层无脱落等异常现象	通过
耐温性能	≥B级	B级

2.5 储能设备

在新能源汽车中,由于单个电池容量有限,通常系统把多个蓄电池通过串并的方式组合起来进行能量储备,以便达到电动汽车使用的目的,储能电柜应运而生。电动汽车产业迅速发展,基础产业储能配套设备也提出巨大需求,储能设备一般多为户外高耐候性产品,但又有高盐雾性能要求,普通粉末涂料无法满足。

为同时兼具重防腐与超耐候性能,采用环氧防腐粉末涂料作为储能设备的底涂材料,超耐候粉末涂料作为其面粉,通过固化曲线控制,将底粉与面粉紧密结合,达到防腐又耐候的严苛要求。

防腐底粉选用传统型的双酚A型环氧树脂和线性酚醛环氧树脂进行研究,选用相同的固化剂和其他配方成分,按控制变量法的方式来进行试验。通过对比分析,选择性能较好的环氧树脂作为底粉的主体成膜物。根据底涂涂层需要具备优异的附着力、耐腐蚀性能的特点,结合试验结果,最终选择线性酚醛环氧树脂作为防腐底粉主体树脂,再搭配特殊固化剂及功能性填料,制备符合要求的防腐底粉。

由于储能柜体耐候性能要求较高,普通聚酯树脂固化产物无法满足要求,因此通过对聚酯树脂的改性接枝实现超高耐候性能,搭配固化剂及其耐候填料,通过偶联反应制备超耐候面粉。最终通过复合固化技术将防腐底粉与超耐候面粉紧密结合,实现防腐与耐候性能兼具的产品特点。新能源汽车蓄能设备粉末涂料的关键性能表征见表6。

表6 新能源汽车蓄能设备粉末涂料的关键性能表征

性能	检测指标	检测结果
表面能	≥28 mN/m	30 mN/m
附着力	0级	0级
耐冲击性(50 cm)	无脱落、开裂	无脱落、开裂
铅笔硬度	≥2H	2H
杯突性能	≥5 mm	5 mm
耐盐雾性能	2 000 h 涂层无脱落等异常现象	通过
耐候性能	2 000 h 涂层无脱落等异常现象	通过

3 结语

铝加工产品是由铝和其他合金元素合成的产品,作为一种综合性能极强和相对环保的材料,铝加工产品将覆盖未来新能源汽车领域所有零部件,粉末涂料技术在新能源汽车铝加工应用领域开发还有很多难点需要攻克。目前粉末涂料产品的严重缺点是固化温度高和涂装设备受限,这也是粉末涂料在工业上推广应用速度不快的原因之一。因此,未来(下转第72页)