

涂层玻璃化转变温度及生产工艺对轮毂精车外观的影响

陈雄^{1,2}, 彭震宇^{1,2}, 李光^{1,2}, 高庆福^{1,2}, 尹臣^{1,2}, 何达荣^{1,2}, 吴鹏洲^{1,2}, 曾海燕^{1,2}
(1.擎天材料科技有限公司,广州 510860; 2.中国电器科学研究院股份有限公司,广州 510300)

摘要:为解决轮毂在实际精车加工时出现涂层剥落崩碎现象,以聚酯和环氧聚酯两种体系作为研究对象,主要通过3个方面降低涂层玻璃化温度,探究涂层玻璃化温度、韧性及生产工艺与精车外观的对应关系。

关键词:铝轮毂;底粉粉末涂料;精车外观

中图分类号:TQ637 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)04-0014-03

The Effect of Coating Glass Transition Temperature on Wheel Hub Powder Breakage

CHEN Xiong^{1,2}, PENG Zhen-yu^{1,2}, LI Guang^{1,2}, GAO Qing-fu^{1,2}, YIN Chen^{1,2}, HE Da-rong^{1,2},
WU Peng-zhou^{1,2}, ZENG Hai-yan^{1,2}

(1.Kinte Materials Science and Technology Co., Ltd., Guangzhou 510860, China;
2.China Electric Appliance Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510300, China)

Abstract: To solve the problem of coating peeling and fragmentation during actual precision machining of wheel hubs. This study focuses on two systems, polyester and epoxy polyester, and mainly aims to reduce the glass transition temperature of coatings through three aspects, exploring the corresponding relationship between the glass transition temperature of coatings, toughness and powder collapse.

Key words: aluminum wheel hub; primer powder coating; precision turning appearance

0 引言

轮毂在实际生产加工中需要对带涂层的表面进行精车修饰,在精车面会存在涂层崩落情况,造成锯齿状缺口的出现,严重影响外观。具体外观如图1所示。这种精车涂层出现缺口的现象一般在轮毂返工过程出现。而涂层玻璃化温度对涂层机械性能有直接影响,对后续生产加工过程中是否会出现精车外观问题存在一定关联。本文以粉末涂料玻璃化转变温度为研究对象,探究不同玻璃化温度对轮毂精车加工时候外观不良的影响。

本文主要以下3个方面控制涂层玻璃化温度,一是选用不同 T_g 的树脂来控制粉末涂层的玻璃化温度;

二是通过共混低 T_g 的树脂,调节树脂比例来降低粉末涂层的玻璃化温度;三是通过研究不同环氧当量的固化剂和环氧树脂与聚酯的反应来调节涂层的玻璃化温度。通过不同方式调节粉末涂层的玻璃化温度来研究其与涂层韧性及轮毂精车外观关系。



图1 精车外观不良

收稿日期:2024-06-24

作者简介:陈雄(1987—),男,本科,工程师,主要从事汽车用轮毂底粉及透明粉末的市场营销及管理工作。E-mail:chenx@cei1958.com。

一般在轮毂领域常用的体系有聚酯体系和环氧聚酯体系,聚酯体系是端羧基聚酯树脂搭配TGIC固化剂,在环氧聚酯体系中有环氧和聚酯两种树脂发生反

应,环氧树脂既充当反应树脂又充当固化剂,二者互相反应。本文通过两种轮毂领域不同体系作为研究对象,分别探究其对轮毂精车外观影响。

1 试验部分

1.1 主要原材料

羧基聚酯树脂(A、B、C、D、E)、双酚 A 型环氧树脂(a、b、c、d、e):擎天材料科技有限公司;固化剂 TGIC、增硬剂、透气剂:市售;安息香、光亮剂、流平剂、促进剂:进口;以上均为工业级产品。

1.2 主要设备

SLJ-30 双螺杆挤出机,东辉;DFY-500 高速中药粉碎机(摇摆式):上海新诺仪器集团有限公司;静电喷枪:旭灿纳克机械商贸(上海)有限公司;小型静电喷粉柜;高温烘箱:吴江东吴烘箱设备有限公司;ACM-02

型磨粉系统:烟台东源化工设备有限公司;DSC 差示扫描量热仪:深圳市勇达仪器设备有限公司。

1.3 粉末涂料制备

按照标准配方用天平称取原材料,精确到 0.01 g,用 DFY-500 高速中药粉碎机(摇摆式)进行原料预混合,混合后通过双螺杆挤出机在高温下熔融共混挤出,挤出机一区温度控制在 90~100 ℃,二区温度控制在 100~120 ℃。挤出的片料经过冷却后粉碎,选择合适目数的筛网筛出以控制粉末的粒径,在粉碎过程应控制温度避免后续粉末结团,影响涂膜外观细腻度。最后按照标准喷涂不同素材的碳钢板或铝板并按标准烘烤工艺完全固化,对该完全固化的涂层进行涂膜性能测试。

1.4 涂膜性能测试

涂膜性能测试标准及结果见表 1 所列。

表 1 涂膜性能测试标准及结果

项目	测试标准	测试结果
外观	目视	平整光滑
柔韧性	GB/T 1731—1993	T 弯测试 1 mm 通过
耐 CASS 酸性盐雾	GB/T 2423.17—2008	240 h 单侧线边腐蚀小于 2 mm,二次附着力正常
耐中性盐雾	GB/T 1771—2007	1 000 h 单侧线边腐蚀小于 2 mm,二次附着力正常
耐水性	GB/T 5209—1985	240 h/40 ℃ 无发白失光现象,单侧线边腐蚀小于 2 mm,二次附着力正常
耐冲击性	GB/T 1732—2020	50 cm 正反无裂纹,正反通过
附着力	GB/T 5210—2006	膜厚小于 60 μm,百格间隔 1 mm;膜厚 60~120 μm,间隔 2 mm;膜厚大于 120 μm,间隔 3 mm;无脱落,0 级
精车性能		精车转速 1 200~1 300 r/min,进刀量 0.2~0.23 mm/rev,外观无明显锯齿状缺口或脱落

2 结果与讨论

2.1 树脂的玻璃化温度 (T_g) 对涂层 T_g 及精车外观影响

以聚酯体系为研究对象,选择相同的异氰尿酸三缩水甘油酯固化剂 TGIC 作为反应物,对比不同 T_g 的树脂与 TGIC 反应后的涂层 T_g 与精车外观的关系,结

果见表 2 所列。

由表 2 可知,树脂 T_g 越高,涂层 T_g 越高,硬度越大,柔韧性明显下降,精车后外观不良更严重。但树脂 T_g 过低,容易造成粉末储存过程中易结团发黏,影响喷粉后产品外观及流平效果。因此,控制树脂 T_g 在 52~54 ℃ 比较合适。

表 2 不同聚酯树脂制备涂层的性能结果

项目	聚酯树脂				
	A	B	C	D	E
黏度(200 ℃)/(mPa·s)	2 500~3 300	2 300~2 900	2 300~2 600	2 200~2 700	2 300~3 000
树脂 T_g /℃	58	54	52	51	56
酸值/(mgKOH·g ⁻¹)	63~65	64~67	70~72	68~71	73~75
涂层 T_g /℃	81.5	76.2	72.9	70.2	79.5
外观	平整光滑	平整光滑	轻微橘皮	橘皮较重	平整光滑
耐冲击性(50 cm)	正反开裂	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过
折弯性能/mm	3	2	2	2	3
精车外观	崩裂严重	轻微崩裂	正常	正常	崩裂严重

2.2 共混不同比例低 T_g 树脂对涂层 T_g 及精车外观的影响

以聚酯体系为研究对象,聚酯树脂 A 作为主体树脂,共混 10%~50% 比例聚酯树脂 D,对比共混树脂体系涂层玻璃化温度及抗精车外观不良效果,结果见表 3 所列。

表 3 共混不同比例低 T_g 树脂的涂层性能结果

项目	共混聚酯树脂 D 比例/%				
	10	20	30	40	50
涂层 $T_g/^\circ\text{C}$	80.2	79.0	78.1	77.4	76.2
外观	平整光滑	平整光滑	平整光滑	轻微橘皮	轻微橘皮
耐冲击性 (50 cm)	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过
折弯性能/mm	3	2	2	2	2
精车外观	崩裂严重	轻微崩裂	正常	正常	正常

由表 3 可知,共混一定比例低 T_g 树脂能有效降低涂层 T_g ,当共混低 T_g 树脂比例小于 20% 时对性能改善不明显,共混低 T_g 树脂比例越大,对涂层柔韧性提高越明显。但过量会造成粉末 T_g 降低,在常温储存下易结团,因此推荐共混比例为 30%。

2.3 树脂及不同类型固化剂对涂层 T_g 及精车外观的影响

以聚酯体系为研究对象,聚酯树脂 B 作为反应树脂,选用不同厂家 TGIC 固化剂为反应物,探究不同氯含量及环氧当量的 TGIC 固化剂的涂层 T_g 和性能,结果见表 4 所列。

表 4 不同厂家 TGIC 的涂层性能结果

项目	TGIC				
	1	2	3	4	5
含氯量/%	0.5	0.3	0.4	0.6	0.5
环氧当量/ ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	110	105	102	99	94
涂层 $T_g/^\circ\text{C}$	80.2	79.0	78.1	77.4	76.2
外观	平整光滑	平整光滑	平整光滑	轻微橘皮	轻微橘皮
耐冲击性 (50 cm)	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过
折弯性能/mm	3	2	2	2	2
精车外观	崩裂严重	轻微崩裂	正常	正常	正常

由表 4 可知,使用不同环氧当量的 TGIC 可以有效调节涂层 T_g 。在聚酯体系中,降低 TGIC 环氧当量,涂层硬度下降,精车外观不良现象有明显改善,但固化剂 TGIC 中环氧当量过低会导致树脂反应很不完全,

严重影响其他力学性能及对基材的保护效果,因此选择 TGIC 环氧当量为 102 g/mol 会更合适。目前试验未发现含氯量对轮毂精车外观的影响。

以环氧聚酯体系为研究对象,环氧树脂即作为反应树脂也作固化剂。通过选择不同环氧当量的环氧树脂,探究环氧树脂当量对涂层性能影响,结果见表 5 所列。

表 5 不同环氧当量的环氧树脂对涂层性能影响结果

项目	环氧树脂				
	a	b	c	d	e
环氧当量/ ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	700	800	900	1 000	1 100
涂层 $T_g/^\circ\text{C}$	71.7	74.5	76.1	77.8	79.2
外观	轻微橘皮	平整光滑	平整光滑	平整光滑	平整光滑
耐冲击性 (50 cm)	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过
折弯性能/mm	2	2	2	2	3
精车外观	正常	正常	正常	正常	崩裂严重

由表 5 可知,在环氧聚酯体系中,降低环氧当量会导致粉末不易结团,贮存性不好;增大环氧当量会导致涂层发硬发脆,更易崩裂严重。因此控制环氧树脂的环氧当量为 1 000 g/mol 更合适。

2.4 客户现场工艺对轮毂精车外观的影响

在客户现场实际应用中,客户的轮型、尺寸大小、毛胚面及精车面的喷涂会影响流平效果,对后续的加工过程精车外观影响不同。此外,喷涂过程中的控制,如静电高低、鼓风量大小、线长及线速都会影响上粉膜厚及外观。因此,探究粉末在客户现场实际应用对涂层性能有积极意义。生产工艺数据见表 6 所列。

表 6 客户现场的工艺数据

项目	星型轮毂尺寸/in				
	20	19	18	17	16
毛胚面外观	轻微橘皮	轻微橘皮	流平正常	流平正常	流平正常
精车面外观	流平正常	流平正常	流平正常	流平正常	轻微流挂
膜厚/ μm	92	97	108	120	130
耐冲击性 (50 cm)	正反通过	正反通过	正反通过	正反通过	正过反裂
折弯性能/mm	2	2	2	2	3
精车外观	正常	正常	正常	轻微崩裂	崩裂严重

通过对一种不同尺寸的星型轮毂进行对比,轮毂尺寸小膜厚偏高,轮毂升温速率快,交联固化过度,导致后续精车加工崩裂严重,外观不良;轮毂尺寸大膜厚偏低,涂层流平不好,易产生橘皮效果,(下转第 52 页)