

水性汽车修补漆闪光金属底色漆中铝粉定向的探讨

马继亮, 施锦斌

(巴斯夫新材料有限公司, 上海 200137)

摘要: 基于实践经验, 从配方和应用角度阐述了汽车修补漆领域的水性铝粉漆的颜料定向机理、影响铝粉定向排列的各种可能因素, 包括从原料选择、搭配, 配方设计、优化, 再到施工应用条件的设定、控制等一系列完整的过程。并以通俗的术语和实用的方式对其进行梳理和总结, 为开发水性金属铝粉漆配方特别是水性汽车修补铝粉底色漆提供一些可能的方向和建议, 同时也可以作为水性珠光漆的参考。

关键词: 汽车修补漆; 水性; 铝粉底色漆; 铝粉定向

中图分类号: TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2024)08-0019-06

Discussion on Al Powder Orientation in Waterborne Automotive Repair Paint Flash Metallic Basecoat

MA Ji-liang, SHI Jin-bin

(BASF Advance Chemicals Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: Based on practical experience, the pigment orientation mechanism of waterborne aluminum powder paint in the field of automotive repair paint and various possible factors affecting the orientation of aluminum powder were expounded from the perspective of formula and application, including a series of complete processes from raw material selection and matching, formula design and optimization, to the setting and control of construction application conditions. It is combed and summarized in popular terms and practical ways, which provides some possible directions and suggestions for the development of waterborne metal aluminum powder paint formulations, especially the development of waterborne automotive repair aluminum powder primer, and can also be used as a reference for waterborne pearlescent paint.

Key words: automotive repair paint; waterborne; aluminium base paint; aluminum orientation

0 引言

铝粉是重要的金属闪光颜料, 铝粉漆广泛应用于汽车以及金属防腐等领域。铝粉漆在汽车行业中的应用最早起源于美国克莱斯勒汽车公司, 它将铝粉首次成功用于汽车涂装, 由于铝粉漆独特的金属闪光效果并弥补了传统实色颜料色调单一的缺憾, 吸引许多汽车厂家纷纷效仿并开始采用金属闪光漆进行涂装, 引发了汽车涂料领域新一轮的颜色革命。金属闪光底色

漆是介于中涂和罩光清漆之间的材料, 主要起着色、遮盖和装饰功能。为了满足其施工性和优异的金属随角异色性, 金属闪光底色漆一般含有大量的有机溶剂, 几乎占汽车涂装线上 VOC 排放量的 60%, 达到 230 g/m² 以上^[1-2]。随着 2010 年 6 月 1 日 GB 24409—2009《汽车涂料中有害物质限量》的实施, 以及 2015 年 2 月 1 日史上最严环保法的实施, 对涉及涂料生产、加工和进口环节的企业征收 4% 的涂料消费税, 而对施工状态下 VOC 排放量不高于 420 g/L 的涂料免征消费税; 2016 年 1 月 1 日《大气污染防治法》实施并在 14 省市征收排污费, 加快了汽车涂料水性化的发展进程, 无疑也加大了汽车漆中水性铝粉漆的开发难度和施工的复杂程度, 尤其是在常温自干条件下修补施工时使用的汽车

收稿日期: 2024-02-26

作者简介: 马继亮(1983—), 男, 硕士, 主要从事汽车修补漆、大巴、铁路以及轨道交通等车辆相关涂料的应用研究工作。E-mail: david.ma@basf.com。

修补漆,铝粉的定向成了一个大的难题。

1 修补用水性铝粉底色漆构成

底色漆组分包括成膜并包裹铝粉的树脂分散液、水性铝粉浆、助溶剂、帮助铝粉定向和排列的助剂以及润湿、分散、消泡、流平等功能助剂和调节体系 pH 的各种胺类试剂。修补用水性金属闪光底色漆组成见表 1。

表 1 修补漆用水性金属闪光底色漆基本组成

组分	含量/%	作用
水性铝粉浆	5.0~8.0	效果颜料
分散剂	0.5~1.0	分散、稳定
助溶剂	5.0~15.0	助溶剂、成膜助剂
水性树脂液	30.0~50.0	成膜物
润湿剂	0.5~1.0	润湿铝粉、润湿基材
消泡剂	0.2~0.5	消泡
铝粉定向助剂	2.0~10.0	排列、定向
增稠剂	0.2~1.0	流变控制
pH 中和剂	0.1~1.0	调整体系 pH
去离子水	适量	稀释剂
总量	100.0	

2 铝粉排列、定向

2.1 铝粉排列和评估

金属闪光漆中铝粉底色漆是一种随角异色的色漆,施工后铝粉颗粒定向排列在涂膜中,当光线从一定角度照射后,通过有规律的光反射而形成具有一定金属光泽以及随角异色性的闪光效果。铝粉在涂膜中有两种简单的排列方式:平行排列(见图 1)和杂乱排列(见图 2),如片状铝粉颜料在涂膜中有规律地平行于基材排列,当光线透过涂层照射到颜料表面时主要发生均匀的定向反射,从而形成某一观察角度(如 15°)光反射强度大、铝粉白度较高,而其他观察角度(如 110°)光强度很弱、铝粉偏暗,散发出强烈的金属感,形成强大的正面白、侧面暗的随角异色效应,即具有优异的铝粉排列和定向效果;如果片状颜料在涂膜中杂乱无章地无规则排列,当光线照射到颜料表面上时则多发生漫反射,反射中杂乱的光线比较刺眼且不均匀,形成正面偏暗、侧面偏白、金属感较弱的表面,即较弱的铝粉排列和定向效果。

金属闪光底色漆随着观察角度变换而呈现不同程度的金属色感就是金属漆的闪光效果。闪光效果的强

弱由动态跃动指数(FI)的大小来表示,FI 值与 15°、45°、110°三个角度的明度 L 值有直接关系,既 $FI = 2.69 \times (L_{15} - L_{110})^{1.11} / L_{45}^{0.86}$ 。

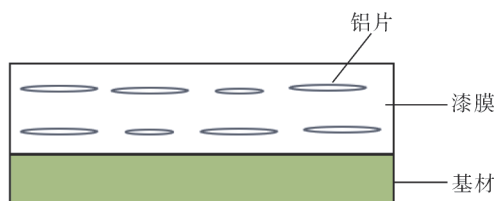


图 1 铝粉平行排列

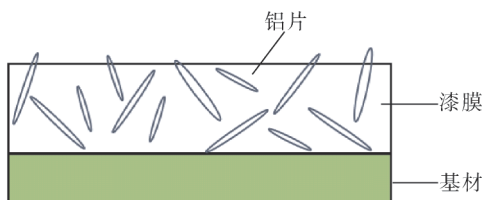


图 2 铝粉杂乱排列

FI 值越大,涂膜的金属性越强、金属感越明显;反之,FI 值越小,涂膜的金属性和金属感越弱。当 FI 值 < 10 时表面金属性较弱,FI 在 10~20 之间则属于强金属性,FI > 20 时则显示出强珠光性。

2.2 定向机理

铝粉定向的强弱和排列的有序与否直接影响铝粉漆的色彩性能,因此清楚了解铝粉定向的影响因素并控制这些参数至关重要,但是到目前为止铝粉定向的机理并不是十分清楚。关于铝粉定向的机理在涂料领域有两种具有竞争性的理论^[3-4],一种是定向排列源自于涂料施工后溶剂的挥发导致涂膜的收缩;另一种是涂料的流动引发的定向,即液滴撞击基材后快速流动引起铝片的定向。其中第一种机理被认为在定向中的作用最大,占主要地位^[5-10],虽没有试验结果显示单一的流变性参数与铝片定向之间存在直接关系^[11-12],但是也有试验研究结果显示第二种机理对铝粉定向的影响和第一种同等重要^[13]。依据涂膜收缩机理所述,施工后铝粉片随机、杂乱无章地排列在涂膜里,溶剂的挥发使低黏度的湿膜收缩、干燥,从而迫使铝片朝着与基材表面平行的方向定向(见图 3),这就是为什么低固含闪光金属漆比高固含闪光金属漆更易于获得较好的金属定向表面的原因。

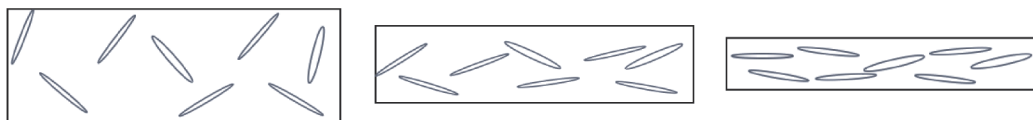


图 3 涂膜收缩引起铝粉定向排列示意

基于涂料流动引起的铝片定向机理大致分为3个作用阶段(见图4):1)涂料撞击基材之后的流动和由惯性力引起的铝粉片运动;2)液滴在基材表面铺展时发生的流动,并最终导致液滴聚结和涂膜的形成;3)液体涂膜中溶剂的挥发带动的流动。每个阶段不同动力带来的涂料流动对金属闪光漆中铝粉的定向、排列都有不同的影响。



图4 涂料流动定向示意

第一阶段,当涂料液滴以高速离开喷枪时被雾化为半径 $5\sim 30\ \mu\text{m}$ 的小液滴,基本每个液滴里都有一个或者几个铝粉金属片,它们最初相对于基材表面的取向都是随机且杂乱的。在液滴撞击基材表面的过程中,液滴中的金属铝片由于惯性力在液滴撞击一段时间后,基材表面开始对铝片产生影响致使最接近基材表面的金属铝片减速而产生一个冲量,使得铝片趋向于与基材表面保持平行的排列,在此过程中惯性力起主要作用,铝片的定向也不是在液滴撞击基材后立刻发生而是在撞击发生后的一小段时间内。第二个阶段,液滴在基材表面的铺展是由促使液滴展平的表面张力形成的毛细管力和由力求保持液滴形状不变来源于介质黏度引起的能量耗散之间竞争决定的,因此体系的表面张力和黏度限制了扩展的最大幅度以及涂料流动的幅度和流动时间。涂料此刻流动的速度对铝片的定向速度有重要的影响,而且在很短的时间内甚至是几微秒就能完成定向。液滴铺展最终导致液滴间的聚结并形成液体涂膜。液体涂膜一旦形成,涂料的流动就进入由体系溶剂挥发主导的第三个阶段。在该阶段溶剂挥发引起气泡从涂膜底部到表面的对流运动,对流速度虽然相对于液滴撞击基材表面后流动速度小很多甚至有几个数量级的差别,但是持续时间较长,其作用也不容小视,甚至在几毫秒内涂料的流动能够打乱铝片的定向,致使其排列趋向混乱。由于铝粉漆组分多,相互作用复杂,其影响定向作用的各种因素相互交织,共同作用。

3 水性金属闪光底色漆定向效果的影响因素

涂料中影响铝粉定向效果的因素很多,既有来自铝粉和成膜物质本身的影响,也有来自润湿、分散铝粉的分散剂、帮助铝粉定向的各种蜡助剂和调节体系黏

度的流变助剂的影响;既有来自体系助溶剂选择搭配和体系酸碱度的影响,也有来自涂料施工条件和施工方式的影响。这些影响因素和内外界的条件相互作用,共同影响铝粉漆金属效果和涂膜性能呈现。

3.1 成膜物质的选择

成膜物质是组成涂料的基础,也是涂料的灵魂,具有黏接涂料中其他组分并形成连续涂膜的作用^[14]。在铝粉漆中,成膜物质不仅要包裹铝粉而且还对铝粉定向有一定的影响。水性汽车修补漆中应用在铝粉漆配方中的树脂以热塑性聚氨酯分散体(PUD)、丙烯酸分散体(PA)以及两者的杂化体(PUA)为主,这些树脂常温下靠溶剂或水挥发成膜,不仅具有分子量高、玻璃化温度高、干性快、颜色浅且色值小、透明度高、酸值低、不含羟基或羟值低、易于成膜等特点,而且与铝粉颜料表层的载体相容并对铝粉颜料有较好的润湿和包裹作用。水性汽车修补漆底色漆体系的建立初期以成本低、干燥速度快的丙烯酸乳液为成膜物质,但是乳液本身有乳白和蓝光以及大量亲水基团带来耐水性较差等缺点。随着快速修补市场的需求以及合成技术的不断进步,配方中的丙烯酸分散体已经部分被干、湿膜色差小、遮盖力强、易于调色、易于驳口且性能优异的聚氨酯分散体所取代^[15-16]。

3.2 铝粉的选择

铝粉漆的外观和性能与铝粉的种类、表面处理方式、粒径以及粒径分布等关键指标都有重要关联。铝粉的生产工艺有干法^[17-18]和湿法^[19-21]两种,铝粉呈鳞片状结构,有特殊的金属性和屏蔽作用,但是铝粉比较活泼,易于氧化而被腐蚀,而且铝粉粒径小、比表面积大,易发生颗粒之间的团聚,涂料中使用的铝粉都是经过表面改性处理后的产品,大约含65%铝粉和35%溶剂和少量助剂。市场上铝粉根据表面润湿剂的不同分为浮型和非浮型两种,不同之处在于表面处理方式。浮型铝粉颗粒表面覆盖有不容易从铝片表面除去的非极性固体润湿剂(硬脂酸),因具有较高的表面张力不易被分散介质润湿而漂浮在表面形成镜面状的涂层;非浮型铝粉颗粒表面覆盖有易于除去的液态、极性的助剂,易被分散介质完全润湿而均匀分布在整个涂层中。浮型铝粉较多用于耐热和防腐涂料里,非浮型铝粉多应用于有金属闪光跃动效果的底色漆,如汽车漆和汽车修补漆。根据铝粉制造的起始颗粒的质量、形状和研磨条件的不同,标准铝粉颜料又分为银元型和玉米片型,玉米片型铝粉边缘粗糙、不规则,而银元型铝粉边缘平滑、形状规则。铝粉颜料的随角异色性与光线在其表面发生反射和散射的比例有关,反射比例越高闪光性越好,所以颗粒大且形状规则的铝粉闪光性越强,因此银

元型、粒径大的铝片的随角异色性要好于玉米片型、粒径较小的铝片,因为粒径大的铝粉和银元型铝粉的形状都比较规则,反光比例高,铝片排列较平整、均一。水性汽车修补涂料中使用的铝粉多采用浮型、银元型,平均粒径在 3~25 μm ,铝粉厚度在 0.2~1.0 μm ,发气稳定性高并经包裹处理后的铝粉。根据铝粉粒径的不同分为超细、中细、细、标准、粗、中粗、特粗等不同规格并制作相应的闪光底色漆色母,以备调色使用。

3.3 助剂的选择

金属闪光底色漆配方中常用的助剂按功能分为润湿分散剂、消泡剂、排列定向剂以及流变助剂等。

3.3.1 润湿分散剂,消泡剂,流平剂

润湿分散剂在颜料的研磨、分散中是必不可少的组分,有着润湿颜料、稳定颜料分散体的作用。同样,铝粉漆中也需要润湿分散剂,但是它的作用更多的是对铝粉的润湿,以阴离子类型表面活性剂类、酸性基团共聚物、聚醚改性共聚物或改性聚醚等分子量较低的类型为主,有些情况下也会加入一些专门的润湿剂来增强对铝粉和底材的润湿,如改性有机硅、炔二醇、聚合物类等。

消泡剂可以消除铝粉漆中的气泡以避免出现针孔和施工时形成气泡包裹物而影响铝粉漆的外观,可以单独使用聚合物类型消泡剂和聚醚改性有机硅类消泡剂,也可以采用两种类型消泡剂搭配达到更好的消泡效果。流平剂在底色漆里是否添加视情况而定,如果贝纳德涡流带动铝粉流动而影响铝粉的排列可以加入适量有机硅类流平剂提高铝粉定向排列,有些情况也会拼些聚丙烯酸酯类流平剂以提高整体的流平性。

3.3.2 定向助剂和流变助剂的选择

铝粉定向剂和流变助剂的选择在水性铝粉漆中尤为重要。金属铝粉的径厚比(直径与厚度的比例)约 50^[2],远高于其他非金属颜料,同时其密度较大,易于沉降而形成不利于存储的沉淀,在涂料施工后的涂膜干燥过程中片状铝粉相互间易于滑动而形成堆积,形成排列不均一、定向效果较差的云斑,术称发花。根据前述定向机理,能够快速释放溶剂、具有强烈触变性、通过形成的网状结构能够迅速“拉平”铝粉的助剂都能够作为铝粉定向剂。水性铝粉漆中定向剂的作用和种类与溶剂型铝粉漆基本一样,主要有水性 CAB 纤维素酯、乙烯-醋酸乙烯共聚蜡(EVA)、聚酰胺和聚乙烯蜡、片状硅酸盐类 Laponite RD、碱溶胀型增稠剂等^[23-25]。水性 CAB 类似于溶剂型 CAB,分子量高且结构对称, T_g 高,因此能够提高体系的溶剂释放性,协助金属片定向,由于它的收缩性好,能够使金属片在涂膜收缩时因受压而趋向有序的平行排列;同时分子量高具有较高

的体系黏度,能增加体系溶剂挥发对流对铝片颜料杂乱运动的阻力,有利于铝粉的定向排列和阻止漆中铝粉的沉降,同时 CAB 还具有抗回溶性,较好阻止上层清漆中强溶剂对铝粉底色漆的回溶,但是试验和经验都表明水性 CAB 的作用相对于其在溶剂型铝粉漆中的作用效果稍弱。蜡类助剂具有氢键以及氢键缔合形成的网状结构,较大的立体网状结构有效限制铝粉片在干燥期间由各种动力引起的运动和翻转,提高了铝粉的定向排列倾向。EVA 蜡相对密度较小,在涂料中具有上浮到涂层表面的倾向,上浮的“托力”托浮、捆绑住铝片并把它们拉到同一个平面形成规则的排列,既能够防沉又能达到捆绑铝片的作用。聚酰胺蜡含有较多的羟基和酰胺基,能形成较强的氢键和较大的立体网络结构,每个聚酰胺分子相互缠绕形成针状网络,有很强的触变性,达到理想的防沉和铝粉排列效果^[26]。而聚乙烯蜡是一种胶体,通过强剪切力解絮凝形成活化的分散胶体,触变较弱,定向作用有限,但是有较好的防沉效果。Laponite RD 是硅酸铝镁的钠盐,属于片状结构的硅酸盐,当 Laponite RD 分散在水中形成一定浓度(如 3%左右)溶液,由于电荷排斥形成“卡屋”结构。在水性铝粉漆配方中,铝粉在其形成的立体结构中悬浮、固定,运动自由度明显降低,随着卡屋结构的收缩变化,铝粉趋向于排列一致,而且还起到防沉功效。由于水性金属漆的固含较低、黏度低,因此需要通过增稠触变剂来调节到合适的贮存黏度。增稠剂以有强低剪切增稠效果的碱溶胀增稠剂(HASE)为主,并搭配具有高剪切增稠作用的聚氨酯类增稠剂,而且 HASE 增稠剂也有较强的助铝粉排列的作用,高剪切增稠能够在喷涂施工时增加湿膜流动(也包括铝粉颗粒)的阻力,也起到帮助铝粉定向和涂膜流平的正面效用。汽车修补漆的水性铝粉色母中大都会添加以上两种或者以上起定向、流变作用的助剂来优化配方和施工性。

3.4 溶剂体系的选择

水性涂料中的主要溶剂为含量较高的去离子水,同时配方中根据需要会搭配助溶剂和成膜助剂以达到帮助溶解、分散颜料颗粒,调节最低成膜温度,帮助成膜物质流平、成膜的作用。修补漆体系的水性铝粉漆配方中溶剂的选择需要考虑溶解性、助成膜性、挥发速率和整个体系的挥发平衡。涂料中溶剂的挥发分为由表面溶剂挥发速率所控制的挥发以及由溶剂从涂膜内扩散到表面的扩散控制的挥发,溶剂的挥发速率与膜厚的平方成反比,挥发速率随膜厚的增加而降低^[27]。由于水性金属底色漆配方中成膜物质的含量相对于其他实色漆配方中成膜物质的含量较少,因此相应的成膜助

剂的含量也相对少很多,以乙二醇单丁醚、丙二醇和二丙二醇的甲醚、丁醚等为主要成膜助剂,以丙醇、丁醇等挥发性强、极性高的溶剂作为助溶剂,起到润湿铝粉、提高整体的挥发速度和涂膜的干燥速度、并促进铝粉的快速定向的作用,同时由于低沸点的醇类可以与水分子形成共沸物而更多地从涂膜中带走水分,加速水分的挥发。水性涂料一般都要求贮存在5℃以上的环境,为了提高水性涂料在低温下的贮存稳定性和抗冻融性以及低温贮存下对铝粉定向、排列性能带来的影响,添加少量的1,2-丙二醇于配方中可以提高整体配方的抗冻融稳定性,减少低温贮存带来的涂料质量的冲击。

3.5 体系 pH 调节

水性涂料体系一般保持酸碱度调节到偏碱性的pH范围。适用于水性涂料中调节pH的碱性物质有碱金属盐、氨水及各种有机胺,常见的如三乙胺(TEA)、N,N-二甲基乙醇胺(DMEA),2-氨基甲基-1-丙醇(AMP-95)等。碱金属盐残留在干燥的涂膜中,影响涂膜的耐性,基本不在工业涂料中使用;氨水廉价易得,在一般工业中有不少应用,但是由于其挥发快,易发黄且有效作用时间较短,从而影响最终的贮存稳定性。TEA、DMEA和AMP-95三种pH调节剂的沸点、挥发速度、碱性强弱比较适中,在水性涂料领域应用较为广泛。水性汽车涂料配方中主要以DMEA和AMP-95作为中和剂,两者都可以同时用在OEM原厂漆和修补漆中,而一般DEMA较多出现在汽车修补漆配方体系,而沸点较高的AMP-95更多应用在OEM等高温烤漆配方体系。使用胺类中和剂时,一般配制成一定浓度(如10%)的水溶液,易于准确添加并可避免直接加入因浓度和碱性强而引起树脂返粗、乳液破乳和配方的不稳定等弊端。由于金属铝的性质活泼,既可以与酸反应放出氢气导致铝粉发黑、变质并引起涨罐,也易与碱反应引起铝粉变质,因此水性铝粉漆的pH一般建议控制在8.0~8.5。

3.6 制漆工艺的影响

水性铝粉漆的制作工艺有两点可以影响铝粉的排列效果和最终性能,一个是在分散铝粉之前要用配方中的助溶剂先对铝粉进行一定时间的浸泡,可以提高整个体系对铝粉的润湿;另一个是在分散铝粉过程中要严格控制搅拌的转速,以低于600 r/m的转速为最佳,由于铝粉是片状结构,如果转速过高将导致铝粉被折断而使得铝粉排列性降低。

3.7 施工条件的影响及选择

汽车修补漆的底色漆施工采用“湿碰湿”工艺,即单组分自干型底色漆喷涂施工后经过一定时间闪干,

然后喷涂双组分聚氨酯罩光清漆,闪干后两涂层一起进行一次烘烤。

水性修补漆施工干燥速度的三大影响因素分别是湿度、温度和风量。湿度对水性涂料施工的影响比温度更大,湿度越大干燥速度越慢,不利于铝粉的定向;同样湿度太低则喷出的漆雾颗粒较干,不利于由涂料流动带来的铝片排列。一般会根据湿度大小调整加入的稀释剂种类,湿度小则会多加水性溶剂,施工湿度建议在30%~70%。温度越高,水分和溶剂挥发越快,一般建议水性汽车修补铝粉闪光漆的施工温度控制在20~30℃,保障干燥速度和铝粉颗粒的定向排列和颜色展现。风量控制喷房的空气流动速度,大风量可以较快地带走水分及其溶剂,提升干燥速度,因此在水性汽车修补中增加了专用于加快涂膜表面空气流动的吹风机,用来调节漆膜表面的风速。施工涂装方式主要是空气辅助喷涂,每道喷涂都采用薄涂施工,既可以加速溶剂的挥发、释放,又能够因为下层的铝粉被上一层铝粉及时压制而显示更好的排列效果。

4 水性修补铝粉底色漆基本性能指标

水性修补铝粉底色漆基本性能指标见表2。

表2 水性修补铝粉底色漆基本性能指标

项目	性能指标	使用标准
液体涂料外观	均匀,无结块、无杂质	目测
原漆黏度(25℃)/s	120~150	GB/T 1723—1993
表干时间/min	<30	GB/T 1728—1986
实干时间/h	<12	GB/T 1728—1986
干膜厚度/ μm	18~20	GB/T 1764—1989
耐冲击性/cm	≥ 50	GB/T 1732—1993
柔韧性/mm	≤ 1	GB/T 1731—1993
铅笔硬度	HB	GB/T 8730—2006
附着力/级	≤ 1	GB/T 9286—1998
耐93#汽油	8 h允许轻微变色	GB/T 9274—1988
耐0.1 mol/L NaOH	48 h无变化	GB/T 9274—1988
耐0.1 mol/L H ₂ SO ₄	48 h无变化	GB/T 9274—1988
耐水性(40℃)	240 h不起泡、起皱、变色	GB/T 9274—1988

5 结语

本文对修补水性铝粉漆中金属闪光颜料定向的总结基本涵盖了铝粉漆从原料选择、配方设计和优化、涂料的制作工艺,最后到施工等各个方面,结合实际的产品定位和性能指标,并细化以上各个因素的条件,一定能够制作出铝粉排列、定向效果突出、性能优异的适用于汽车修补领域的水性闪光底色铝粉漆。

参考文献:

- [1] 叶凤英,钟淑萍. 汽车用水性中涂漆及水性底色漆[J]. 涂料与应用,2000(2):21-23.
- [2] 张绍波,蔡晓兰. 超细铝粉浆配制金属闪光漆研究[J]. 铝加工,2006(3):7-10.
- [3] Kirchner E. Film shrinkage and flake orientation[J]. Progress in Organic Coatings: An International Review Journal,2009,65(3):333-336.
- [4] Kirchner Eric. Flow-induced orientation of flakes in metallic coatings-II. The orientation mechanism [J]. Progress in Organic Coatings: An International Review Journal,2018,124:104-109.
- [5] H Kittel. Lehrbuch der lacke und beschichtungen—band 6 anwendung von lacken und sonstigen Beschichtungen [M]. second edition. S Hirzel Verlag,Stuttgart,2008:472.
- [6] K F Dössel. Automotive Paints and Coatings[M]. second edition. Wiley-VCH Verlag,Weinheim,2008:182-183.
- [7] P Wissling. Metallic effect pigments—fundamentals and applications[J]. Vincentz Network,Hannover,2006(23):81.
- [8] Kirchner E. Film shrinkage and flake orientation [J]. Progress in Organic Coatings,2009,65(3):333-336.
- [9] Posey-Dowty J D, Seo K S, Walker K R, et al. Carboxymethyl-cellulose acetate butyrate in water-based automotive paints [J]. Surface Coatings International Part B Coatings Transactions,2007,85(3):203-208.
- [10] G Benzing, R Besold, H Ferch. Pigmente für anstrichmittel [M]. Expert Verlag: Ehningen,1988:181.
- [11] Bosch W, Cuddemi A. Optimisation of the shear stability of aluminium pigmented waterborne basecoats [Review] [J]. Progress in Organic Coatings,2002,44(3):249-257.
- [12] Karbasi A, Moradian S, Tahmassebi N, et al. Achievement of optimal aluminum flake orientation by the use of special cubic experimental design [J]. Progress in Organic Coatings,2006,57(3):175-182.
- [13] Deepanjan Bhattacharya, Kab Seo, Louis T Germinario, et al. Novel techniques to investigate the impact of cellulose esters on the rheological properties and appearance in automotive basecoat systems[J]. JCT research,2007,4(2):139-150.
- [14] 涂料工艺编委会. 涂料工艺[M]. 北京:化学工业出版社,1997:2-3.
- [15] 李桂琴,李树伟,郭逍遥,等. 汽车修补用水性聚氨酯底色漆制备研究[J]. 现代涂料与涂装,2016(6):1-4.
- [16] 朱德勇,邱学科. 汽车修补漆用水性聚氨酯金属闪光底色漆的配方设计及性能[J]. 涂料技术与文摘,2013(6):16-19.
- [17] Emil P. Method and device for producing finely-granulated bodies from molten metal:US2870025A[P].1928-05-29.
- [18] 黎明庆. 浅谈闪光涂料用颜料—闪光铝粉及云母钛颜料[J]. 广州化工,2001(1):19-22.
- [19] Metals Disintegrating Company, Inc. Process and method of disintegrating metals in a ball mill or the like: US19190285055 [P].1926-01-12.
- [20] Metals Disintegrating Company, Inc. Bronze, bronze powders, and method of making the same:US19310542189 [P].1935-05-28.
- [21] S H Hong, B K Kim. Fabrication of aluminum flake powder from foil scrap by a wet ball milling process [J]. Materials Letters,2001(51):139-143.
- [22] 刘成楼. 汽车水性金属闪光底色漆的研制与应用[J]. 上海涂料,2020(1):24-29.
- [23] 袁浩. 醋酸丁酸纤维素对金属闪光漆的影响探讨[J]. 上海涂料,2014(12):47-49.
- [24] 渠毅,黄亮. 提高水性金属汽车涂料颜色与外观质量的因素研究[J]. 现代涂料与涂装,2016(2):1-3.
- [25] 刘汉功,夏渊,张汉青,等. 自干型单组份水性铝粉漆闪光效果的影响因素[J]. 涂层与防护,2019(8):27-31.
- [26] 孙立方,殷晓宇,许丽莎. 聚酰胺蜡对水性聚氨酯面漆性能的影响[J]. 中国涂料,2020(6):40-43.
- [27] 汪世平. 水性体系流变助剂(I) [J]. 上海涂料,1997(4):55-58.



欢迎订阅

欢迎投稿

欢迎刊登广告