

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2022.01.006

漆膜颗粒的产生原因及控制措施

毛喆^{1*}, 尹中秋², 胡剑锋², 黄红武¹, 黄天勇¹

(1. 航空工业郑飞公司热表处理厂, 河南 郑州 450005; 2. 空军装备部驻郑州地区军事代表室, 河南 郑州 450005)

摘要: 本文针对漆膜颗粒问题, 从材料基体、环境、油漆以及施工四个方面对漆膜颗粒的来源进行了分析, 阐述了漆膜颗粒对产品质量的影响, 并对制件的前处理、周转、喷漆环境以及操作提出了系统的控制措施, 有效避免了涂膜颗粒的产生。

关键词: 漆膜; 颗粒; 系统; 控制措施

中图分类号: TQ639.8 **文献标识码:** B

Causes and Control Measures of Paint Film Particles

MAO Zhe^{1*}, YIN Zhongqiu², HU Jianfeng², HUANG Hongwu¹, HUANG Tianyong¹

(1. Heat Treatment and Surface Treatment Plant of Zheng Fei Company of Aviation Industry, Zhengzhou 450005, China; 2. Military Representative Office of Air Force Equipment Department in Zhengzhou, Zhengzhou 450005, China)

Abstract: In this paper, aiming at the problem of paint film particles, the sources of paint film particles from four aspects of material matrix, environment, paint and construction were analyzed. The influence of paint film particles on product quality was expounded. Systematic control measures for the pretreatment, turnover, painting environment and operation of parts were put forward, and the coating particles could be effectively avoided.

Keywords: paint film; particle; system; control measures

公司军工产品均以压缩空气喷涂的方式, 对溶剂性涂料进行涂装, 也就是常说的喷漆。喷漆操作按 GJB4439—2002《军用飞机喷漆通用要求》进行, 该标准对漆膜的外观检查要求为漆膜表面平整、光滑、无留痕、漏喷、粗糙颗粒等现象。

在实际生产中, 漆膜存在颗粒为最常见的质量问题, 故解决漆膜颗粒可使产品喷漆质量大幅提升。从颗粒的产生来源来分, 可分为材料基体上的颗粒、环境中的颗粒、油漆中的颗粒和施工造成的颗粒四种类型。

1 材料基体上的颗粒

材料基体上存在颗粒, 在喷涂后, 漆膜包裹颗粒, 在漆膜外观表现为存在颗粒。造成基体颗粒的常见形式有四种。

1.1 电镀层粗糙

钢铁制件作为喷涂前的预处理, 常采用的方式有电镀、磷化等方式。电镀若质量不佳, 造成镀层粗糙, 磷化膜结晶粗大, 都会在喷涂后形成颗粒。导致这类故障的原因是喷漆前道工序把关不严, 即表面

收稿日期: 2021-03-03

修回日期: 2021-05-10

通信作者: 毛喆(1977—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事热表处理工艺研究工作, email: maozhe2009@sina.com

处理操作人员和检验人员认为制件后期进行喷漆能够掩盖镀覆层的缺陷,便将不合格的粗糙镀覆层的制件转入涂装工序,造成涂装后表面涂层现象为凸起的小颗粒状(如图1所示)。



图1 粗糙电镀层形成的凸起颗粒

Fig.1 Raised particles formed by rough electrodeposition

1.2 残留的重铬酸钾

铝合金材料一般进行硫酸阳极氧化后再进行喷涂,因铝合金在进行阳极氧化时,存在氧化膜的生成与溶解两个同时进行的过程,氧化膜的生成速度大于溶解速度,故而形成微孔状的氧化膜层,微孔更有利于油漆的吸附与结合^[1]。一般铝合金材料阳极氧化后,表面干净无颗粒,但对于铸铝类材料,由于铝合金熔炼和浇注的过程中,都会吸入大量的氢气,在浇注后冷却过程中会因氢气在铝合金内的溶解度下降而析出,在铸铝表面不能排出的氢气则会形成细小、分散的气孔,通常称之为针孔^[2]。大型的铸铝件很难避免针孔,针孔的存在造成铸铝在阳极氧化过程中,针孔会加大、加深,在后续铝合金氧化后采用重铬酸钾填充工序时,重铬酸钾溶液在毛细作用下进入孔内,后续的清洗很难将其清洗干净。为了防止铸铝针孔内残留水分影响喷涂质量,铸铝在阳极氧化后常进行烘干工序,较常采用烘箱 90 °C ~ 100 °C 保温 1 h 的方式将针孔内的水烘干。但烘干的同时,针孔内的重铬酸钾也从针孔内析出在制件表面,形成较小的颗粒状附在制件氧化膜表面。

1.3 打磨漆层后的粉尘

因制件表面处理与喷漆的时间间隔有要求,一般在 24 h 内进行,而喷涂后的零件在组装成产品后,还需要进行功能验证等试验,漆层容易受损伤,故军工产品常采用零件喷涂底漆、组装成产品经试验合格后再喷涂面漆的方式。在原有底漆上喷涂面漆时,需进行打磨以露出新鲜表面以便保证后续喷涂

的结合力。在对漆层打磨后,会产生漆的粉尘(如图2所示),若去除不彻底,在喷涂时即会形成颗粒。

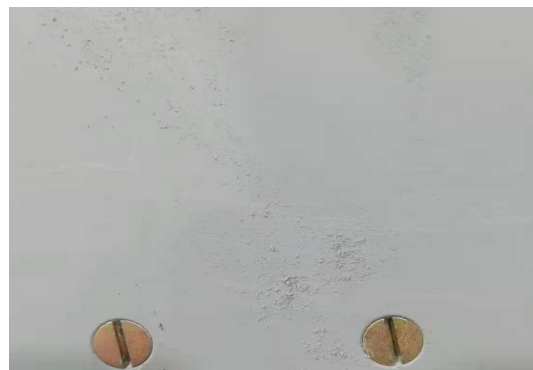


图2 漆层打磨后的粉尘

Fig.2 Dust after polishing of paint layer

1.4 其他

零件在喷漆前受到灰尘污染,或制件喷涂前进行吹砂,砂粒残留在制件表面。这些都会导致涂层颗粒的形成。

2 环境中的颗粒

油漆从喷枪喷涂到制件表面这一过程,气体运动符合贝努力方程(式(1)):

$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho gh = \text{常量} \quad (1)$$

式中: P 为涂料压力势能,Pa; ρ 为涂料密度,kg/m³; V 为涂料运动速度,m/s; ρgh 为涂料重力势能,Pa。

忽略喷涂过程中涂料高度(h)的影响,可以看出,喷涂过程中,涂料在压缩气体喷射压力的作用下,以一定速度涂覆在零件表面,在这一过程中,零件表面因涂料的快速运动导致压强低于周边环境的大气压强,构成负压,使周边的空气向处于低压区的零件表面快速流动^[3]。

若被喷涂的制件周边有灰尘、毛絮等悬浮物,则会在喷涂过程中被吸附在制件表面,形成颗粒。有的被涂膜包裹,有的在涂膜表面形成黑色颗粒。除了空气中灰尘外,形成这类颗粒的途径还有很多,如施工场地地面灰尘多、涂装工作台残留漆的颗粒多,或者喷漆的抽风系统上沾附的残漆颗粒等都有可能形成此类颗粒(如图3)。

3 油漆中的颗粒

3.1 搅拌不充分

涂料在最初设计时,考虑涂料体系各组分的作用



图3 喷涂在表面的环境浮尘和毛絮

Fig.3 Environmental floating dust and flocs sprayed on the surface

用,保证涂膜的最终性能和施工时的流变性能。涂料从生产下线入库到使用之间有一定时间,在此存储期间,颜料、填料会因自身的重力作用而下沉^[4]。在开罐后,若对涂料不充分搅拌,则会导致涂料体系分散不均匀,涂料均匀性差,喷涂后,在工件不同位置的涂膜组成不同,导致涂料整体流平性差,不能形成光滑的涂膜,局部涂膜缺乏足够的流动性,溶剂挥发后形成针孔,导致涂膜好似存在许多微小的颗粒(如图4所示),严重时还会产生流挂现象。



图4 类似针孔状外形的微小颗粒

Fig.4 Small particles with pinhole shape

3.2 过滤不当

涂料在生产时,先将树脂、助剂、颜料、填料、溶剂通过高速分散,再经研磨达到标准细度,然后进行后期的油漆调制阶段。在涂料生产过程中,会因杂质的进入和个别粗颗粒颜料和填料的存在,导致生产的涂料存在颗粒物。在涂料存储期间,会出现凝块现象,即使充分搅拌也不能完全消除颗粒的存在。在喷涂时,若过滤不当,涂料中颗粒物不能过滤干净,会在漆膜上形成颗粒(如图5所示)。因此,在涂料施工前,应对涂料进行正确的过滤,去除涂料中

的颗粒,保证施工后的涂膜质量。



图5 涂料过滤不干净所形成的颗粒

Fig.5 Particles formed by unclean coating filtration

4 施工造成的颗粒

4.1 喷枪喷涂前调整不佳

微粒化特性是喷枪的基本特性,因为雾化效果直接影响漆膜的表面质量^[5],微粒化条件见式(2):

$$d_0 = \left(\frac{3.6 \times 10^5}{Q_i} \right)^{0.75} \quad (2)$$

式中: d_0 为漆雾粒子平均粒径, μm ; Q_i 为空气使用量与涂料喷出量的比值。

由微粒化公式可看出,增加空气量或减少涂料喷出量,都可使 Q_i 上升,进而使 d_0 降低,达到漆雾颗粒细的效果。喷漆前对喷枪调整不佳而造成空气压力低或过多增加涂料喷出量,都会对油漆的雾化效果差,造成漆膜表面粗糙。

4.2 喷涂方式不当

4.2.1 喷枪与工件距离大

涂料从喷枪喷嘴喷出时,受剪切力和拉伸力的作用,在漆料运行中,所受的力逐渐变小,若喷涂时距离工件过大,涂料颗粒飞行时间长,稀释剂挥发多,喷涂在工件上涂膜缺乏流平性,形成颗粒(如图6所示)。

4.2.2 附着漆雾

空气喷涂时涂料利用率低,漆雾飞散多^[6]。在喷涂时,在抽风的作用下,飞散的漆雾都沿抽风方向飘移,此时,喷涂时若不考虑漆雾走向,容易造成漆雾落在漆膜上形成颗粒。在实际工作中,出现过一次喷涂一较长的L型制件,操作者将制件L面背向抽风进行喷漆,在喷涂制件底部时,造成漆雾飘附在制件上部过多,形成粗糙的颗粒。另外,在喷漆时由



图6 缺乏流平性形成的颗粒

Fig.6 Particles formed by lack of leveling

于压缩空气对制件的冲击,引起漆膜的反弹,也会造成漆膜粗糙。在实际工作中,对于大的内腔制件,在喷涂内壁一侧时,常会造成另一侧因漆雾的落上造成漆膜颗粒。

5 漆膜颗粒对质量的影响

5.1 对产品性能的影响

公司军工产品按要求一定批次机抽取产品进行例行试验,按 GJB150.9A—2009《军用装备实验室环境试验方法 第9部分:湿热试验》进行考核,是在 24 h 内周期性地高温高湿和低温高湿之间变化的一种湿热试验,共进行 10 个周期的试验。其试验的目的是在交变试验中,产品因凝露现象生成冷凝水,漆膜属于半透膜,冷凝水可进入漆膜降低漆膜的附着力,在试验的干燥阶段,水分离开漆膜,若漆膜附着力良好,试验结束后,漆膜完整无缺陷。若漆膜存在由于基体存在颗粒和喷涂时因环境灰尘而导致的颗粒,在冷凝水的作用下,该处附着力降低,造成水分子聚集并形成渗透压,使水分子渗入的数量和速度加快,漆膜的附着力更多的被破坏,造成起泡现象^[7]。公司某零件是吹砂后进行喷漆,湿热试验后出现起泡现象,划破泡后,发现基体粘附着小砂粒,这就是因吹砂后对残砂清理不足,造成漆膜附着力变差而在湿热试验中起泡。由漆料自身和喷涂不当产生的颗粒在湿热试验中一般不发生起泡现象,但降低了产品外观质量。

5.2 对产品功能的影响

因漆膜颗粒影响产品功能的现象较少,有一定特殊性。如公司某弹簧片制件,表面为冷拉材料,粗糙度为 $Ra0.8$,经法兰处理后进行喷涂 B01-15 丙烯酸清漆。在喷漆操作时,操作者对该批 100 件零件

同时进行喷漆,操作时零件摆放过密,喷涂时漆雾落在部分零件表面产生颗粒。该批中一件漆膜有颗粒的弹簧片组装在产品上,按 GJB150.22A—2009《军用装备实验室环境试验方法 第22部分:结冰/冻雨试验》进行考核,该试验是让产品通过“发汗”后进行低温存储,考核产品抗结冰能力。由于弹簧片漆膜颗粒的存在导致制件粗糙度上升,生成的水不能立即流失而停留在制件表面,导致后期结冰弹簧片不工作,产品功能不能实现,试验考核失败。更换一漆膜完整光滑的弹簧片重新进行该试验,没有出现弹簧片结冰不工作的故障。

5.3 对企业形象的影响

客户在接收产品时会首先检查产品外观,若漆膜存在颗粒,即给客户留下外观差的第一印象。同时,军工产品要求全寿命周期内进行质量保证,军工产品在部队存放、使用过程中,漆层的外观不佳和因颗粒引起漆层脱落都有损企业形象。

6 控制措施

解决漆膜的颗粒问题,是一个从前处理、周转、环境、喷涂操作都进行规范操作的系统工程,对各环节的有效控制,才能保证涂层质量。

6.1 前处理

前处理质量是涂层质量的基本保证,加强员工质量意识教育,按要求对镀覆层质量进行管控。对于镀层粗糙、磷化结晶粗大的制件,返工合格后方可进行喷涂。对于吹砂的制件,要在工艺规程上增加压缩空气清理的工序,并在清理后和喷漆前进行检查。并在工艺文件上明确铸铝阳极氧化填充后加强清洗,烘干后增加用干净白布擦拭的工序,将附着在制件表面的重铬酸钾颗粒擦去。同样,对旧漆层打磨后,在喷涂前应用洁净白布除去漆尘^[8]。

6.2 周转

加强零件周转、存放等环节的管控,喷漆前制件周转时,应在周转箱内铺上干净的牛皮纸,防止灰尘污染。在零件喷漆前的放置,在零件接收区铺上干净的牛皮纸,严禁零件与货架直接接触。

6.3 环境

保持清洁的喷涂环境不仅要加强日常维护,还要在喷漆厂房设计时考虑。喷漆厂房的设计上就应该保证减少灰尘的进入和易于清理灰尘。喷漆厂房的门口增加风帘,并且送入喷漆厂房内的冷、热风应

经过净化设备过滤,使空气中的灰尘减少到最低限度。在喷漆厂房尽可能设计封闭的喷漆房以减少灰尘的影响。喷漆厂房的地面应采用水磨石地面,喷漆厂房内应设置排水沟,便于定期冲洗地面。在喷漆厂房旁边设有更衣室,并在进入厂房处配有一次性鞋套的鞋套机,避免操作者将灰尘带入厂房。

在日常生产中,要保证施工环境干净,每天上班后要对喷漆厂房进行清扫,每次喷漆前应对喷漆区域的地面拖地后再进行。对抽风、工作台用纸粘贴,定期更换,避免积累的漆粒污染新喷涂的漆膜而产生颗粒。并且对涂装厂房送风的过滤系统定期清理。

6.4 操作

6.4.1 漆料准备

喷涂前,对涂料应搅拌均匀,最好采用气动的自动搅拌器,或采用油漆震荡器对整桶油漆进行搅拌,避免操作者手工搅拌的不一致性。油漆在喷漆前进行过滤,一般要求底漆用80目~100目,面漆用180目~200目的铜丝网或丝绢过滤^[9]。为了操作者工作方便且防止用错目数,可购置专用的油漆过滤网,保证目数在200目以上,底漆、面漆都用此过滤,对于要求喷漆时掺铝粉的油漆,可重复用滤网过滤,保证喷涂前油漆内无颗粒。

6.4.2 喷枪准备

用同一喷枪喷涂品种不同或粘度不同的涂料,其漆雾细化程度都不相同^[10]。喷漆作业前,必须将喷枪调整到最佳喷涂状态,即对喷枪的空气压力、涂料喷出量和喷雾图形幅宽调整到最适宜喷漆成高质量漆膜的程度。

6.4.3 喷涂操作

喷涂时要注意喷枪与零件的距离和方向,距离一般保持在20~25 cm,喷涂时喷枪轴要始终垂直于喷涂表面,对大平面及曲面喷涂时要通过人员的移动来保持垂直。喷涂时走枪移动速度应为40~60 cm/s^[11],走枪快慢一致、均匀行走,每一枪应压叠上一枪的1/4~1/3。正确的走枪可确保喷涂到制件的涂膜厚薄均匀,流平性好,漆膜光滑。喷涂时,注意工件的摆放,避免抽风抽漆雾时漆雾落在漆膜上,在喷涂顺序上,应遵循先里后外、先边角后大面、先难后易、从上到下,从左到右的操作顺序,正确的喷

涂操作可避免漆雾落在漆膜产生颗粒。

7 结语

漆膜的颗粒产生方式较多,要避免这个问题,需要全过程系统的控制,并在生产中,通过实践不断完善改进,对各个环节明确规范、管控到位,才能保证涂层的质量稳定可靠。

参考文献

- [1] 毛喆,胡剑锋,黄红武.涂装过程多余物的类型及控制[J].现代涂料与涂装,2019,22(6):19-21+24.
Mao Z, Hu J F, Huang H W. Types and control of excess in painting process[J]. Modern Paint and Finishing, 2019, 22(6): 19-21+24 (in Chinese).
- [2] 何晓敏.铸造铝合金中的针孔及其防止[J].金属加工,2009,3:58-60.
He X M. Pinholes in cast aluminum alloys and their prevention[J]. Metal Working, 2009, 3: 58-60 (in Chinese).
- [3] 毛喆,胡剑锋,黄红武.涂装表面颗粒产生的原因与预防[J].现代涂料与涂装,2017,20(6):42-43.
Mao Z, Hu J F, Huang H W. Cause and prevention of particles on the surface coating[J]. Modern Paint and Finishing, 2017, 20(6): 42-43 (in Chinese).
- [4] 周强,金祝年.涂料化学[M].北京:化学工业出版社,2007:109.
- [5] 陈治良.现代涂装手册[M].北京:化学工业出版社,2010:234.
- [6] 潘继民.涂装技术1000问[M].北京:机械工业出版社,2013:154.
- [7] 毛喆,黄红武,胡剑锋.漆层湿热试验中起泡原因分析及控制措施[J].材料保护,2017,50(9):99-102.
Mao Z, Huang H W, Hu J F. Causes analysis and control measures of paint layer foaming in humid heat test[J]. Material Protection, 2017, 50(9): 99-102 (in Chinese).
- [8] 李永训,白桦,汤克勤,等.GJB4439—2002军用飞机喷漆通用要求[S].北京:总装备部军标发行部,2003:5.
- [9] 傅新广,张慧珍,徐永明,等.HB/Z102—2000机载设备“三防”涂层涂装工艺[S].北京:中国航空工业总公司三〇一研究所,2001:2.
- [10] 徐滨士,刘世参.中国材料工程大典(第16卷)[M].北京:化工工业出版社,2005:194.
- [11] 徐美刚,郑金芝.涂装工艺学[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2010:82.