

金属粉末涂料工艺危害分析

于芹

(黄山华佳表面科技有限公司, 安徽 黄山 245900)

摘要: 昆山 8.2 铝粉爆炸事故将涉粉企业的工艺安全推上风口浪尖, 粉末特别是金属粉末的工艺安全备受瞩目。本文介绍了铝粉作为金属粉的 Bonding 粉末涂料工艺危害分析及结果。

关键词: 金属粉末涂料; 工艺危害分析; 粉尘爆炸

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)02-0025-03

Process Hazards Analysis of Metal Powder Coating

YU Qin

(Huangshan Huajia Surface Technology Co., Ltd., Huangshan 245900, Anhui, China)

Abstract: Kunshan 8.2 aluminum powder explosion accident has pushed the process safety of powder-related enterprises to the forefront. The process safety of powder, especially metal powder, has attracted much attention. This paper introduces the process hazard analysis and results of bonding powder coating with aluminum powder as metal powder.

Key words: metal powder coating; process hazards analysis; dust explosion

0 引言

2014年8月2日,位于江苏省昆山市昆山经济技术开发区的昆山中荣金属制品有限公司抛光二车间发生特别重大铝粉尘爆炸事故,当天造成75人死亡、185人受伤,这是近年来发生的最严重的粉尘爆炸事故。国家陆续出台了多项举措来进行粉尘爆炸专项治理,如粉尘爆炸场所十大重要安全隐患、粉6条等。金属粉末涂料的 Bonding(邦定)工艺会使用到铝粉作为闪光效果颜料, Bonding 工艺过程中到底有哪些风险和危害, 本文将使用 PHA 工具对其进行分析并提出建议措施。

1 金属粉末涂料及 Bonding 工艺简介

金属粉末涂料涂膜呈金属光泽,具有绚烂的多色效应以及突出的保护功能,为汽车、家电、仪器仪表等高档工业品提供了绚丽多彩的外观装饰^[1]。根据金属颜料的种类划分,目前市场上能在粉末涂料中广泛应

用的金属颜料基本就是铝粉、铜粉和锌粉,人们习惯按使用的金属颜料相应地将粉末涂料区分为银粉、金粉和富锌粉。鉴于铝粉的化学性质活泼,以及已经发生的铝粉爆炸案例,本文选择铝粉作为金属粉的 Bonding 工艺进行分析。

为了取得涂层的闪光效果,在 Bonding 工艺引入之前,粉末涂料行业通常采用干混的方式获得涂层闪光效果,就是在底粉中加入一定比例的铝粉在混合机里进行混合,由于干混的铝粉和底粉没有黏连,喷涂时铝粉与底粉会分散,涂层效果不甚理想。为了使铝粉等金属颜料与底粉粘结在一起,达到金属粉末喷涂时减少金属颜料与底粉分离的目的,经过研究,热混技术(也称邦定技术,英文 Bonding)应运而生。Bonding 工艺通过在热混缸内高速搅拌将底粉软化后与铝粉黏连,边混合边加热边分散,同时充入氮气作为保护气体,黏连后产物放入冷混缸通过均匀地搅拌进行冷却,过筛后包装。

2 工艺危害分析

工艺危害分析(Process Hazards Analysis, PHA)是一种用于辨识、评估和制定出方法控制那些与高危害

收稿日期: 2023-02-20

作者简介: 于芹(1981—),女,硕士,工程师,主要从事粉末涂料企业安全生产、环境保护和职业健康管理及研究工作。E-mail: yuqin@hjchem.com。

工艺有关的重大危害的工具,对与危害性工艺和操作有关的潜在危害进行辨识、分析、评估和提出控制方法,以确保避免与工艺相关的事故及伤害。这些重大危害一般表现为有可能造成火灾、爆炸、化学反应性和/或毒性物料释放。PHA 使用有组织、有系统的研究方法,在危害辨识和控制上寻求和达成多专业的一致,以及把结果文件化,以用于将来跟踪、制定应急计划以及培训与工艺操作和维修有关的人员。通过对工艺危害的分析,可以更有效地发现部分化学施工项目中出现的问题,从而避免出现各种事故漏洞,降低事故率^②。

PHA 的过程包括危害辨识、后果分析、危害评估、人为因素评估、装置定点评估、本质安全工艺评估以及提出建议等活动。其中危害评估方法包括假如/核查单(What If/ Checklist)、失效模型和影响分析(FMEA)、危害和可操作性分析(HAZOP)、故障树分析(FTA)等,危害评估方法是一套工具,不可能在 PHA 的过程中全盘把那这些工具使用一遍,那样既浪费时间又可能得出不一致的结论,那这些工具该如何选择呢?假如/核查单是“瑞士军刀”,它几乎适合于所有情况,但是也未必是理想的;FMEA 和 HAZOP 像是起子和扳手,当情况需要它们时更好使用;FTA 比喻为力矩扳手,在大多数场合不适用,但在特殊场合下却是无价之宝。结合 Bonding 工艺中并无液体原辅材料也无化学反应,是化工过程中相对简单的工艺过程,所以我们选择假如/核查单作为本次危害评估的工具。

3 Bonding 工艺危害分析结果及建议

PHA 涵盖的区域为使用邦定设备生产底粉与铝粉邦定的车间,该区域主要设备包括铝粉暂存区、铝粉称量台、混合设备、粉尘收集系统。本 PHA 包括如下范围:物料贮存、邦定前准备工作、热混、冷混、过筛、粉尘收集系统。铝粉属于易致爆危险化学品,贮存、称量和运输过程必须有效接地。

3.1 工艺描述

1)在有通风系统的称量台称取所需量的铝粉(通风除尘装置、电子秤需防爆,并有效接地),加入邦定机的热混缸铝粉罐中;

2)热混:在热混缸中加入所需量的底粉,关闭缸盖,通入氮气至氧含量低于 5%,启动搅拌,当缸壁温度升至低于标准操作要求的温度时,放入铝粉,继续搅拌,黏连完成后,物料放入冷混罐;

3)冷混:物料在冷混缸内低速搅拌并冷却,在当冷混温度降至标准操作条件要求的温度以下后,在冷混中加入 OK 粉;

4)过筛:冷混结束后,成品通过旋转筛过筛后包装;

5)粉尘收集系统:称量台、冷混缸、热混缸、旋转筛

等产生粉尘的设备均有吸风管连接至专门的粉尘收集系统。

3.2 设备描述

热混缸、冷混缸:根据实际情况列明材质、转速、体积、设计温度、压力等参数;

氧含量测试仪:列明测量范围、精度等;

旋转筛:列明转速、容量。

3.3 PHA 建议内容

使用假如/核查单对邦定前准备、铝粉称量、装机、倒料、热混、冷混、过筛及粉尘收集每一个步骤进行危害评估分析,提出以下 10 个建议内容及相应危害。

1)确定是否有运行时氧气浓度高停机联锁,联锁设计必须符合安全联锁的要求,确定联锁等级,建立氧气检测仪和联锁的检测程序。

主要危害:如果未通入足够氮气使氧气浓度低于 5%,遇到点火源在热混罐中有发生粉尘爆炸的风险。

2)因铝粉和水会发生反应生产氢气,绑定操作区域保证地面无积水,地面如有低洼积水需打孔排水,电气区域分级需专业人员评估分级,使用工具携带铝粉纸袋防止掉落,铝粉操作人员需要穿阻燃服。

主要危害:铝粉遇潮湿或水蒸气可能发生自燃,与氧化剂混合能形成爆炸性混合物。因企业实际使用的铝粉大多是包裹型铝粉,供应商也出具了包裹铝粉的非危险货物证明,可以作为普通货物运输,企业在称取少量铝粉时(2 kg 以下)可以使用不产生静电的牛皮纸袋,在运送装在纸袋中的铝粉时,纸袋跌落(例如在平台楼梯上)造成铝粉扬尘,形成爆炸性粉尘云,或地面有水,与散落的铝粉相遇产生氢气,如果有点火源存在可能引起爆炸、闪火^③。

3)确认并记录所有阀门的失效安全模式,现场增加压缩空气低压报警,考虑冷混罐充氮,建立水、电、气公用设施中断的应急响应程序。

主要危害:压缩机故障,停机或压力低,未黏连物料进入冷混,遇点火源发生粉尘爆炸。

4)建立氮气泄漏检测方法和程序,保压测试,轴封为常开式。增加氮气安全周知卡,邦定区域做好氮气危害沟通,如何防止直接吸入氮气。加强氮气钢瓶区域机械通风。完善操作程序。

主要危害:氮气钢瓶接头或减压阀泄漏,人员吸入纯氮造成窒息死亡。

5)粉尘收集系统风管内安装压差仪并提供报警信号,并确定风管内负压正常值,做定期清理。

主要危害:如果粉尘收集系统风机故障或除尘器脉冲不工作,造成粉尘飘散在环境中,形成可燃性粉尘云,如遇有点火源可能发生粉尘爆炸。

6)考虑在冷混缸进行氧气含量控制。如何保证放料阀门不要漏风,控制紧急排料。冷混缸与热混缸设备跨接。禁止紧急排料。

主要危害:如果底阀误操作打开或手动模式下误操作或紧急放料。未黏连物料进入冷混罐,在冷混罐内形成粉尘云,若有点火源,可能发生粉尘爆炸。

7)每天开机检查氧气检测仪。确认氧分析仪为失效高读数模式。

主要危害:热混缸内氧气含量过高,遇点火源发生粉尘爆炸。

8)考虑使用液氮减少钢瓶更换频率。在作业指导书中说明如何判断更换钢瓶的时间避免氮气不足情况。设置氮气低压报警。

主要危害:如果氮气已用完,当氧气含量显示高于5%时,热混搅拌叶快速运转,粉尘遇点火源可能会发生爆炸。

9)在作业指导书中增加氮气管道泄漏或故障的应

急程序内容。

主要危害:氮气管道泄漏或故障。当氧气含量显示高于5%时,热混搅拌叶快速运转,粉尘遇点火源发生粉尘爆炸。

10)在作业指导书中规定在热混放料结束后关闭泄放阀。了解成品粉末爆炸性能参数,将 Bonding 后的金属粉末涂料送有资质的检测中心测试爆炸参数。

主要危害:如果热混缸泄放阀未关闭,冷混缸内粉尘进入热混缸,若遇点火源,可能发生粉尘爆炸。

3.4 Bonding 工艺涉及的物料危害

铝粉:铝粉属于易制爆危险化学品,其最低点燃能为 3 mJ, 在混合罐内需控制氧浓度至 5%以下防止爆炸危害。铝粉与水反应会产生氢气,存在燃烧、爆炸危害,需做好防水防潮措施。

底粉:热固粉末涂料,有粉尘爆炸危害。

Bonding 工艺中的主要危害、危害事件和防护手段见表 1 所列。

表 1 Bonding 工艺中的主要危害、危害事件和防护手段

主要危害	危害事件	后果	防护手段
窒息性气体	吸入氮气窒息	死亡,无厂外影响	操作程序,房间机械通风,危害沟通程序
铝粉与水反应生成氢气	在贮存、清机过程中,铝粉与水接触,着火或爆炸	损工,无厂外影响	操作程序,电气防爆分级,接地和跨接。PPE(防静电鞋,防静电工作服)
粉尘爆炸	在热混、冷混罐,粉尘收集器内发生闪火、爆炸	人员伤亡,无厂外影响	热混缸的氮气保护和高氧气浓度联锁,电气防爆分级,接地和跨接。PPE(防静电鞋,防静电工作服)。粉尘收集器在室外,做好泄爆设计
粉尘爆炸	粉尘飘散到环境中,局部浓度达到燃烧爆炸范围,遇点火源发生闪火、爆炸	人员伤亡,无厂外影响	粉尘收集系统,操作程序,电气防爆分级,接地和跨接。PPE(防静电鞋,防静电工作服)
闪火	称量,往热混缸加铝粉时,遇点火源发生闪火	损工,无厂外影响	PPE(防静电鞋,阻燃服)。粉尘收集系统,操作程序,电气防爆分级,接地和跨接,铝粉罐上盖

由表 1 可见,氮气窒息、铝粉遇水生成氢气、粉尘爆炸和闪火是 Bonding 工艺中的主要危害。

4 结语

本次 PHA 使用假如/核查单分析了 Bonding 工艺的危害,并提出了相应的措施,对金属粉末涂料 Bonding 工艺的安全生产提供了指导。但是由于目前已发生的铝粉尘爆炸事故多在铝加工行业(切削、磨削、打磨、抛丸喷砂等),和金属粉末涂料 Bonding 工艺区别较大,并没有金属粉末涂料发生爆炸的实际案例可供研究,PHA 提出的粉尘爆炸的危害仅为理论分析结果。且由于 Bonding 工艺因企业的不同,PHA 成员小组的资质等问题,以上分析结论仅供参考,未来希望有更多的人投入金属粉末 Bonding 工艺危害分析中,为

金属粉末涂料的安全生产提供指导意见。

参考文献:

[1] 晁兵.金属粉末涂料概述[J].中国涂料,2007(2):43-47.
 [2] 孙祥,俞孝伟,生亚琴.化工设计中的工艺危害分析[J].清洗世界,2022,38(7):89-91.
 [3] 王以革.铝粉爆炸特性与涉铝粉场所防爆对策探讨[J].消防科学与技术,2017,36(6):850-852. ◆

