

3D打印作业安全风险分析及职业病防治要点研究

郑 虎*

贵州航天天马机电科技有限公司, 贵州 563003

摘 要: 随着3D打印技术不断成熟、设备不断完善, 国内3D打印已逐渐走向工程化应用。在产业化生产中, 安全风险及作业环境职业危害因素值得重视。本文通过对光固化成型 (SLA)、选择性激光烧结 (SLM) 等典型3D打印工艺中的安全风险分析和职业危害因素辨识, 提出3D打印技术产业化生产中安全生产条件和职业病防治要点。

关键词: 3D打印; 安全风险分析; 职业病防治; 研究

一、前言

20世纪90年代初期, 国内各高校就开始开展3D打印技术研究。二十多年来, 各高校在3D打印领域先后取得了突破性进展, 为3D打印技术产业化应用奠定了基础。在高校技术研究中, 因设备数量少、原材料用量小、生产频次低等原因, 3D打印作业中安全风险和职业危害因素容易被忽略。随着新一轮科技革命和产业变革的不断深入, 3D打印步入快速发展期, 国内3D打印应用已逐步进入产业化生产阶段。据统计, 我国目前主要的工业级3D打印设备生产企业有50余家, 消费级3D打印企业100余家, 3D打印材料制备企业50余家, 3D打印服务企业120余家。在产业化生产中, 3D打印作业环境安全和职业危害风险值得重视。本文即对3D打印技术产业化生产中安全风险和职业危害因素应对措施进行研究。

二、3D 打印概述

3D打印是以数字模型为基础, 将材料逐层堆积制造出实体物品的新兴技术, 是先进制造业的主要组成部分。随着新一轮科技革命和产业变革的不断深入, 3D打印步入快速发展期, 产业化处于逐步成熟的阶段。未来, 3D打印将朝着速度更快、精度更高、性能更优、质量更可靠的方向发展, 成为一股强大的科技力量。

按照成型原理分类, 3D打印大致分为六中类型, 分别是光固化成型 (SLA)、熔融沉积成型 (FDM)、三维印刷 (3DP)、选择性激光烧结/融化 (SLS/SLM)、激光直接融化成型 (DLF)、电子束融化成型 (EBM)。3D打印主要类型、所用原材料及成型原理见表1。

表1 3D打印主要类型、所用原材料及成型原理

类别	使用原材料	成型原理
光固化成型 (SLA)	光敏树脂	用特定波长强度的激光聚焦到光敏材料表面并垂直移动逐层凝固材料, 去除冗余材料得到目标实体。
熔融沉积成型 (FDM)	蜡、ABS、PC、尼龙等热塑性材料	加热熔化热塑性细丝, 牵引熔融材料从小孔挤出, 逐层沉积成型。
三维印刷 (3DP)	陶瓷、金属、石膏粉末	将粉未经滚动碾压为薄层, 用喷头喷出黏合剂, 快速凝结固化成型。
选择性激光烧结/融化 (SLS/SLM)	金属粉末、陶瓷粉末、聚碳酸酯等	用激光束将预先铺好的粉末层熔化, 沉积出与切片厚度一致的金属薄层, 逐层成型。
激光直接融化成型 (DLF)	钛合金、高温合金、稀有金属等	激光束扫描基板, 送粉器将金属粉末送至激光熔池, 沉积为薄片, 逐层堆积成型。
电子束融化成型 (EBM)	钛合金、高温合金、稀有金属等	采用高能电子束在偏转线圈控制下, 对需融化区进行高速扫描融化成薄层, 逐层成型。

各种类型3D打印使用的原材料、成型工艺均不尽相同, 产生的安全风险和职业危害因素各有不同。且3D打印行业发展迅速, 各种工艺和材料更新换代快, 越来越多的新材料被应用到3D打印中, 而安全风险辨识和职业病危害评估远滞后于3D打印业务发展速度, 不能有效辨识安全及职业危害因素、采取对应措施。本文对应用较广泛的光固化成型

*通讯作者: 郑虎, 1985年4月, 男, 贵州毕节人, 现任贵州航天天马机电科技有限公司部长, 一级消防工程师, 注册安全工程师, 工程师, 本科。研究方向: 生产安全、消防安全、节能环保。

(SLA)和选择性激光烧结/融化(SLS/SLM)安全风险和职业病防治进行研究。

三、3D打印安全风险分析

(一)可燃粉尘燃爆风险

铝合金粉是常见的选择性激光烧结(SLM)工艺原材料。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,与氟、氯等接触会发生剧烈的化学反应;与酸类或与强碱接触也能产生氢气,引起燃烧爆炸。通常干燥铝粉的自燃温度约为800℃,燃烧呈现白色火焰和白烟;铝粉及其合金粉体遇湿放出易燃气体氢气,且受潮的铝粉及合金粉可能引发自燃和爆炸。

根据《工贸行业重点可燃性粉尘目录(2015版)》,镁粉、铝粉属于重点可燃粉尘,爆炸危险级别高。

(二)激光危害风险

3D打印能量源为激光,进行激光加工时,可能产生有害的烟雾、蒸汽和噪声等,对环境造成辐射危害。大功率激光辐射会破坏某些精密仪器,甚至引起火灾。激光器电源的高压也可能造成危害。激光辐射能对人眼和皮肤造成严重伤害。人眼对不同波长激光的透射和吸收不同,不同波长激光对人眼伤害的部位也不同。激光辐射造成的眼部伤害主要有由紫外线导致的光致角膜炎(又称电光性眼炎或雪盲),由可见光导致的视网膜烧伤凝固、穿孔、出血和爆裂,以及由红外光导致的晶状体混浊、角膜凝固等。激光辐射造成的皮肤伤害主要有色素沉着、红斑和水泡等。伤害程度取决于辐射剂量的大小,而这与激光器的输出能量、工作波长和工作状态有关,其中能量是最主要的因素。

四、3D打印产业化生产中主要职业危害因素

(一)光固化成型(SLA)工艺职业危害因素

光固化成型是用特定波长强度的激光聚焦到光敏材料表面并通过升降台垂直移动逐层凝固材料,然后去除冗余材料得到目标实体。

主要使用的原材料是光敏树脂,其主要成分是环氧树脂和碳酸酯,常温下呈液态,用手触摸有油腻感,本身无毒。但在加工中在激光照射下可能使少量高分子聚合物分解,生产现场存在一定异味。在后处理中需要对零件进行修整、并用乙醇等挥发性有机物进行清洗。光敏树脂对自然光敏感,存储库房和使用车间均会采取避光措施,应采用LED灯等不产生紫外线的光源照明,保证工作场所照度要求。因作业场所对温度、湿度控制要求较高,不能采用自然通风。

(二)选择性激光烧结/融化(SLS/SLM)工艺职业危害因素

选择性激光烧结/融化是通过激光高温烧结金属或非金属材料成型。通过专用快速成型软件对模型进行切片处理,激光束在计算机指令控制下将工作台基板表面预先铺好的粉末层实现逐层融化,沉积出与切片厚度一致的金属薄层。随后,工作缸内的工作台下降一个切片厚度,重复以上操作,直至加工出与模型相一致的致密金属零件。

主要原材料有铝粉、铁粉、钛合金、高温合金等粉末,通常使用的粉末颗粒直径在100微米以下。在筛粉、加粉、清扫和后处理中,会接触一定金属粉尘。在加粉完毕后,需用氩气对设备内空气进行置换,加工完成后氩气将排放在工作场所,降低空气中氧含量,可能引起窒息。

(三)其他职业危害因素

3D打印作业需连续作业、加工周期长,通常需要十几小时连续工作,复杂零件需要几十上百个小时连续作业,白天、夜晚不停机,容易导致员工疲劳作业。

五、3D打印安全风险应对措施

(一)粉尘爆炸环境采取防爆设计

粉尘沉降过程本身就是在密闭设备内形成易爆粉尘,因此,使用干式粉尘沉降槽、沉降室如干式离心分离机(粉尘在高速运动时会产生较大的静电放电),就必须认真解决防火(含防火花)及导出静电的问题。设备应采取独立接地系统,设备外壳、各种管道、罐体、门扇采取可靠跨接措施,确保所有易产生静电的部位接地良好。采用不发火材料,不能使用普通碳钢等黑色金属材料,同时使用的工具应采用铜质、铝合金等专用工具,避免碰撞产生火花。优化设计滤芯安装方式,尽量保证滤芯更换过程不使用工具拆卸、不易发生碰撞。

(二)选用合适的灭火器具

活泼金属粉尘如镁粉高温时易与水发生反应放出可燃性、爆炸性气体氢气,因此一般不用水、泡沫灭火剂进行灭

火；此外，活泼金属如镁粉易与二氧化碳（CO₂）、氮气（N₂）等灭火剂发生化学反应，因此也不宜用这些灭火剂灭火，而宜选用干砂进行覆盖灭火。

（三）激光防护

激光防护通常是对激光源、操作人员和工作环境分别采取相应的保护措施。具体的措施如下。

1. 有激光的工作场所应张贴醒目的警告牌，设置危险标志。
2. 工作人员应先接受激光防护的培训，进入工作场所应带激光防护眼镜。
3. 激光不用时，应在输出端加防护盖。应尽量让光路封闭，避免人员暴露于激光束。另外，应保持光路高于或低于人眼高度，这对可见光波段以外的激光尤其显得重要。
4. 在激光运行空间内应保证足够的照明使眼睛的瞳孔保持收缩状态。
5. 对激光操作人员进行定期体检。

六、3D 打印职业病防治要点

（一）配齐职业病防治设备设施及个人防护用品

根据3D打印工作场所特点，配置空调、除湿机、抽排风系统。SLS设备还需配置吸尘器，使用氩气的房间宜设置氧浓度报警器等。宜配置防尘口罩、防有机蒸汽口罩，佩戴和激光波长匹配的激光防护眼镜，配置防护手套和劳保鞋等。

（二）合理安排工作制度

合理安排作息时间，必要时实行两班、三班工作制，避免员工长时间疲劳作业。夜间作业应以巡查、巡检和应急处置为主，主要工作尽量安排在白天进行。夜班员工应配置合理的休息场所，不在使用氩气的工作场所休息，防止氩气意外泄露导致窒息。

（三）加强职业健康管理

按《工作场所职业病危害警示标识》规定，设置职业病危害因素告知卡，危害因素的告知卡和操作规程，设置“注意防尘”“戴防尘面罩”“激光辐射”“戴防护眼镜”和“注意通风”等警示标识和中文警示说明，公布职业病危害因素检测结果。加强员工健康监护，按GBZ188-2014《职业健康监护技术方案》要求的项目和周期进行上岗前、在岗期间和离岗时相应的职业健康体检，发现职业禁忌的及时调离岗位。做好职业病防护设施“三同时”工作，确保职业病防护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时验收和投入使用。

参考文献：

- [1]李梦兰,曾繁华.3D打印过程的职业健康危害研究进展.职业与健康,2018年,第34卷第20期:2865-2868.
- [2]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.
- [3]周德红,李文,冯豪,张飞,王倩,赵栋.镁铝粉尘爆炸事故树分析与控制措施[J].价值工程,2015(29):45-48.
- [4]陈熙谋.《中国大百科全书》74卷(第二版)物理学词条:激光危害与防护:中国大百科全书出版社,2009-07:251页.