

# 垃圾焚烧锅炉水冷壁堆焊技术的现状

边久海 董胜利

上海春齐机械设备有限公司 上海 201500

**【摘要】**：本文主要论述垃圾焚烧锅炉水冷壁堆焊技术，重点说明目前较为成熟的防腐堆焊方法，制作难点以及相应措施，对可以利用的新技术进行说明。垃圾焚烧发电是当前处理生活垃圾的有效办法，它具有减容化、无害化和资源化特点。但垃圾焚烧过程中会产生以氯化物为主的各种强腐蚀性介质，与金属表层发生反应腐蚀基体，与烟气中无机盐形成低熔点共晶体，在积灰—金属交界面就会形成局部液相，形成电化学腐蚀反应，严重侵蚀垃圾炉的受热面。针对锅炉受热面管的腐蚀问题，通常采用在锅炉管外壁堆焊耐高温腐蚀镍基合金材料的方法。本文简要介绍垃圾焚烧锅炉膜式壁堆焊技术难点及解决措施。

**【关键词】**：堆焊收缩率；堆焊熔深；向下熔化极活性气体保护电弧焊；冷金属过渡；可焊漆；3D 视觉激光轮廓仪扫描

## 1 堆焊水冷壁主要制造技术难点及解决措施

目前国内垃圾焚烧锅炉以垂直烟道为主，产品堆焊区域主要位于一、二烟道上部和一烟道下部燃烧区域，主要包括前墙水冷壁上上部区域、二烟道水冷壁上上部区域、三烟道水冷壁上上部区域、侧水冷壁上上部一、二烟道区域、一烟道下部区域和耐磨区域。

(1) 前墙水冷壁顶棚区域存在成排弯，由于堆焊面是与弯管模具的接触面，但是堆焊后表面是焊接表面，表面不平整，厚度存在较大偏差（偏差可以达到 0.5mm），堆焊表面强度高，管屏回弹力、需要制作专用的工装模具。对于成排弯管屏，由于管屏为 180°堆焊，堆焊后管子一侧壁厚薄，一侧壁厚厚，成排弯时受力不均，在弯制时需在管屏两侧焊接工艺用管，需要经过多次试验。管屏开孔区域存在让管和密封板，按目前堆焊设备无法在该不规则区域实现自动焊，只能单根圆周 360°堆焊后再与管屏对焊连接，焊缝经过 RT 射线检测合格后方可对连接处进行手工补焊。由于堆焊只要向火面堆焊，圆周 360°堆焊意味着背火面的堆焊没有意义，只是现在堆焊工艺无法对单管进行单面焊，浪费防腐焊材。

(2) 正常情况下，垃圾焚烧锅炉设计时设备堆焊厂家并没有确定，锅炉部件管屏规格尺寸不考虑堆焊厂家的加工能力，往往是堆焊厂家将设计图纸进行图纸转化，由以满足自身工艺、装备的要求。根据调查，水冷壁堆焊宽度和长度尽管各厂家存在差异，但管屏堆焊宽度基本在 1.1~1.2 米以内，管屏堆焊长度在 10~11 米，因此工艺图纸转化的结果是增加了管屏的焊口数量，同时还要考虑刚性梁相对于焊缝的位置，一般要求刚性梁上下 200mm（有些锅炉厂要求上下 300mm）不允许存在焊口，加上上述 1 所述弯管对接焊口，最终导致管屏焊口数量较设计增加很多，焊缝数量的增加，给了锅炉运行增加了隐患。

(3) 管屏堆焊后，不可避免会产生焊后收缩，堆焊收缩率的大小与堆焊厚度、管屏规格、焊接工艺等因素都有关系，按堆焊厚度 2mm 考虑，宽度 1 米管屏横向和纵向的收缩量可以按 8‰考虑。由于管屏存在吹灰、看火等各种让管，侧墙与前墙相接处存在斜向上的角度等原因，管屏的堆焊区域并不是规整的四边形，有些位置是不需要堆焊，堆焊区管子按收缩量收缩，非堆焊区管子因为没有搜索导致节距过大（可以达到 5mm），因此必须进行节距调整，调整的方法通常是火焰切割后再用防腐焊丝手工补焊，工作量往往很大。

(4) 管屏堆焊焊接变形很大，在单面焊接更为突出，面内变形和面外变形都存在，因此必须进行校正，校正主要有机械校正和火焰校正两种方式。机械校正采用压力机进行，火焰校正使用乙炔、甲烷等气体；存在的问题是堆焊层由于强度、硬度较高，校正难度较大，要注意热校温度的控制，避免出现过烧现象。

## 2 堆焊材质

根据用户的要求或设备运行环境要求来选择熔敷（堆焊）材料，一般不锈钢系列（316L、309）、镍基合金系列（inconel625、686、825、BH3030）等均可，目前垃圾焚烧炉以堆焊 inconel625 最为常见。

inconel625 材质含量（摘抄奥钢联伯乐自材质单）

C	Si	Mn	Si	P	Cr	Mo
<0.01	0.05	0.02	0.003	0.001	22.06	8.77
Ni	Cu	Ti	Al	Nb	Fe	Ta
64.81	0.02	0.22	0.17	3.59	0.27	0.002

inconel625 金属力学性能（摘抄奥钢联伯乐自材质单）

T	Rel/Rp0.2 MPa	Rp1.0 MPa	Rm MPa	A(L0=5d) %	Z %	WBH2 PWHT
20℃	≥460	≥500	≥740	≥30		

防腐焊材的选用至关重要，目前能够大批量生产防腐焊材的厂家不多，产量有限，有些业主在合同（技术协议）明确焊丝厂家，如要求堆焊采用 625 镍基合金焊丝（ASME 规范牌号是 ERNiCrMo-3），焊条要求进口知名品牌，如 SMC（美国），VDM（德国），ESAB（瑞典），HAYNES（美国），BOHLER（奥地利），2010 ASME II C 篇 SFA-5.14 的要求。焊材的成分和性能对堆焊层焊接熔深、稀释率、金属硬度、焊接飞溅、裂纹倾向性、形成气孔、力学性能都有影响。Inconel625 镍基焊丝，已成为目前国内应对垃圾锅炉受热面管高温腐蚀问题的最佳技术选择。

### 3 冷壁堆焊工艺要求

#### 3.1 管屏堆焊

目前水冷壁堆焊较成熟的方法是将水冷壁管屏垂直固定在专用设备上，采用立向下熔化极活性气体保护焊（MAG）进行管屏堆焊。管屏固定在专用工装上，采用螺栓、焊接等方法刚性固定；利用制作的专用设备对管屏堆焊，规格较大的可以做到 12 米，堆焊宽度达到 1.2 米甚至更大。

管屏堆焊之前通常要机械打磨，表面清洁度达到 Sa2.5 级，即完全去除钢材表面的锈、氧化皮、油污等附着物，并呈现金属光泽。金属表面涂刷可焊漆，是保证焊接质量的有效方法，如 Deoxaluminite 铝基焊接式金属底漆，能在焊接工序期间保护经处理的钢铁表面，避免在等待焊接期间出现生锈，它在美国已有超过 50 年的工业应用，广泛应用于高压蒸汽船舶，核电及电力设备等任何钢需要腐蚀保护的地方。

焊接工艺主要是利用焊接电源产生脉冲电流（电弧），将金属熔丝融化产生金属熔滴，熔滴接近工件表面时熔丝抽拉回撤，控制抽拉丝的频率与电源脉冲的频率同步，脉冲电流使熔滴具有更强的方向性，有利于熔滴沿电弧轴线过渡到熔池中，从而达到合金金属以较小的热输入量达到较小的稀释率的目的。试验表明当使用下列焊接参数进行堆焊时：电流 350~400A、焊接电压 33~37V、送丝速度 6~8m/min、摆动 7~9mm 宽，摆速 120~150 次/min、焊丝干伸长度控制在 15~20mm，混合气（80Ar+20%Co<sub>2</sub>）、气体流量 15~20L/min、焊枪向下移动的速度为 200~300 毫米/分钟。通过对堆焊层进行化学成分分析，堆焊层与基体熔合良好，焊缝成形良好，堆焊层组织为柱状树枝晶，无裂纹、气孔等缺陷，整个堆焊层 Cr、Ni、Mo、Fe 分布均 280Cr: 15%~19%，Ni:

44%~47%，Mo: 12%，堆焊熔深 0.3~0.5mm，堆焊层稀释率 Fe<5%，堆焊层硬度 240~260HV，熔合区 280HV，抗拉强度、屈服强度、延伸率、冲击功分别为 509MPa、392MPa、25%、45J，堆焊层水冷壁的强度介于 20G（基材）和 inconel625 之间，起到了强化水冷壁强度的作用，能够防腐和防冲刷的作用。

#### 3.2 异径管、接管连接处、拼接缝的堆焊

对于制作过程集中无法集中进行堆焊的部位，通常是进行手工补焊，劳动强度很大，焊缝成形较差，堆焊层稀释率高，堆焊层厚度不均匀。解决的办法主要还是制作特定装置来解决，这方面还有很多难题要突破。

#### 3.3 新技术的应用

防腐堆焊技术发展应重视与新技术的结合，堆焊过程如能利用 3D 视觉激光轮廓仪扫描工件表面，修正由于装夹、变形、零件本身尺寸精度等因素引起的误差，实现工业视觉、空间定位、自动计算和分析施工顺序，焊缝跟踪、测量检测等功能的充分吸收与利用，对堆焊质量和效率都将带来非常大的提升。

### 结语

通过对上述说明可以得出，目前防腐堆焊采用专机进行立向下焊的熔化极气体保护焊是能够实现模式水冷壁的稳定堆焊操作，通过使用可焊漆、金属冷过渡焊接、3D 视觉激光轮廓仪扫描等方法可以提高焊接技术水平，提高产品质量。

需要指出的是，目前存在锅炉设计与堆焊工艺不配套的问题，水冷壁堆焊设计的图纸不能直接用于堆焊生产，需要堆焊厂家进行二次转化，这样增加了不符合规范、标准、原始设计的可能性，是否有必要在设计阶段进行制造厂家的确定，从而能够发挥缩短工期，提高设计质量，减少质量事故的作用。

在 2020 年四川射洪市两台 35.5t/h（日处理垃圾量 700 吨）的余热锅炉项目中，熔敷面积约 400 m<sup>2</sup>，使用防腐堆焊丝约为 10 吨，按当年价格计算仅焊丝成本费用一项就高达 190 万元。因此，从经济效果和使用效果来看，加强水冷壁堆焊技术的研发和推广，对于充分发挥镍基合金的防腐效果、提高产品质量，是有十分必要的；鉴于防腐堆焊的重要性，其制造方法和相关要求应早日制定相关标准。

### 参考文献:

- [1] 李隆骏.不同气体及熔滴过渡方式对气体保护焊熔敷金属的影响[J].电焊机,2017,47(08):124-126.
- [2] 孙焕焕.堆焊 Inconel625 合金的锅炉膜式水冷壁组织和性能[J].材料热处理学报,2013,11(34):96-99.
- [3] 李志刚.FRONIUS 数字化焊机 TPS4000 工艺及性能研究[J].电焊机,2009,39(03):97-100.
- [4] 朱成钢.垃圾焚烧锅炉膜式壁管屏制造工艺技术[J].锅炉制造,2019,3(2):54-55.