

镀锌机组退火炉 W 型辐射管损伤的数值模拟研究

张富明¹,王道金¹,王晓斌¹,张秋生¹,周丽君²

(1. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司,河北 唐山 063000; 2. 华北理工大学,河北 唐山 06300)

摘 要: 针对某冷轧厂热镀锌机组的 W 型辐射管严重变形、开裂甚至损伤问题进行分析;利用 SolidWorks 建模,运用 Workbench 对其有限元数值模拟,得到辐射管的应力、应变分布。分析得到薄弱环节再与现场辐射管损坏部位对比,得出开裂原因为结构设计缺陷,然后在原有结构的基础上进行模型优化和相应的仿真模拟。结果证明:优化后的模型应力、应变改善明显,可为辐射管结构进一步优化提供借鉴。

关键词: 镀锌退火炉;W 型辐射管;数值模拟;Workbench

中图分类号: TH122 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2022)06-0144-03

Numerical Simulation Reserch of W-shaped Radiant Tube Damage of Annealing Furnace in Galvanizing Unit

ZHANG Fuming¹, WANG Daojin¹, WANG Xiaobin¹, Zhang Qiusheng¹, ZHOU Lijun²

(1. Shougang Jingtang Iron & Steel United Co., Ltd., Tangshan 063000, China;

2. North China University of Science and Technology, Tangshan 063000, China)

Abstract: The serious deformation, cracking and even damage of W-shaped radiant tube of hot dip galvanizing unit in a cold rolling mill are analyzed. SolidWorks is applied to build the model, and by Workbench software, finite element numerical simulation is conducted to obtain the radiation tube stress and strain distribution. The weak parts of stress and strain obtained through analysis are compared with the cracking and damaged parts of the radiation pipe, acquiring that the cracking of the radiation pipe is caused by the defects in the structural design. Based on the original structure, the model optimization and the corresponding simulation are carried out. The results show that the stress and strain of the optimized model are improved obviously, which provides a reference for the further optimization of the radiant tube structure.

Keywords: galvanized annealing furnace; W-type radiation tube; numerical simulation; Workbench

0 引言

热镀锌退火炉是冷轧关键设备之一,而 W 型辐射管是冷轧产线重要的加热装置^[1]。该装置主要包括三部分:辐射管本体、烧嘴、换热装置。

W 型辐射管最重要的部位是辐射管管体。辐射管体一旦变形、开裂,将严重影响炉内的气氛,从而影响带钢的质量。辐射管长期处于高温状态之中,长时间在恶劣的环境下,产生热应力,从而发生变形,甚至开裂^[2]。

针对某热镀锌产线中辐射管变形和开裂的情况进行分析和研究,通过建立有限元模型分析与现场的实际情况对比,然后查找缺陷薄弱环节,并建模优化其结构,进行相应的仿真模拟,提高其抵抗变形的能力,延长辐射管的使用寿命,为辐射管的结构优化提供借鉴。

1 热镀锌 W 型辐射管使用现状

某钢铁企业生产实际中的辐射管变形严重,部分辐射管管体甚至出现开裂现象。辐射管的结构如图 1 所示。

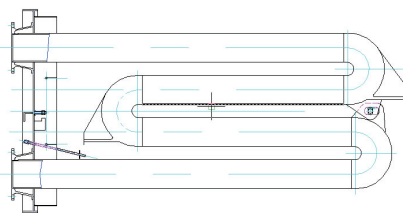


图 1 辐射管结构图

由于 W 型辐射管在使用过程中经常出现损坏和破裂,给企业的生产经营造成了巨大的损失。如果辐射管破裂没有被及时发现,辐射管的空燃比一般都是大于 1,就会导致过量的燃烧空气进入炉膛内,影响炉内气氛,从而影响带钢表面质量。

为此,研究分析某镀锌产线退火炉内的 W 型辐射管,该辐射管长期处于高温以及变化温度的恶劣环境下,辐射管经常出现弯曲破坏及变形破坏,导致应力失效^[3]。为了解决该问题,对其结构进行数值模拟分析,并设计优化辐射管结构,对提高辐射管的使用寿命具有重要的指导借鉴意义。

2 热镀锌辐射管开裂变形原因探讨

2.1 辐射管材料选择

热镀锌 W 型辐射管的材质一部分为 G-X40NiCrNb3525 合金,含量为 C0.4%、Cr25%、Ni35%、Nb1%。它是一种高温合金,以铁、镍、钴为基,能在 900℃ 以上的高温及一定应力作用下长期工作。另一部分材料为 G-NiCr28w,其中铬具有耐蚀与耐氧化抗腐作用,铬元素具有强化作用,在 650℃~1 000℃ 高温下具有较高的强度和抗氧化、抗燃气腐蚀能力,它主要应用于高温零部件,包括应用在退火炉设备上^[4]。

通过对辐射管材料的分析,材料的选择和使用过程中材质的变化很小,故排除辐射管材料影响形变。

2.2 高温对辐射管的影响

辐射管长期处于高温环境下,辐射管的腔内发生煤气燃烧反应,并且在空气过剩的条件下,辐射管内壁容易发生氧化^[5]。烧嘴的频繁启停导致腔体内高温气流不稳定,产生局部受热不均,产生热应力。

根据燃烧理论,应用 Workbench 软件对辐射管的管壁温度场进行数值模拟,如图 2 所示。从整个燃烧腔体看,除了底部煤气空气混合区域的温度高之外,其他部位温度均匀,温度相差在 200℃ 以内,并且辐射管的工作温度都在 950℃ 左右,满足辐射管的工作环境条件。

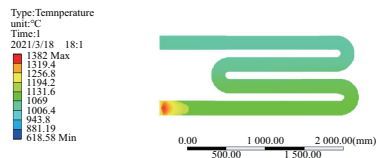


图 2 辐射管管壁温度分布图

从现场的结构上分析,热应力不是使辐射管开裂变形的根本原因。

2.3 辐射管结构的影响

从辐射管变形的结构和形状发现存在共性:辐射管下半部分管体整体下沉,由此可推断辐射管结构存在设计缺陷,故对辐射管进行有限元分析。

将仿真分析结果与实际应用的辐射管损坏缺陷进行对比、验证,分析损坏原因。并利用三维建模 SolidWorks 和 Ansys 进行联合分析。根据辐射管损坏原因,优化辐射管结构,并与原始结构进行对比,分析优化后结构的可行性。

3 热镀锌辐射管数值模拟

3.1 辐射管三维模型建立

为提高 Ansys 的计算效率以及顺利实现网格划分,在建模时避免点接触。利用 SolidWorks 对辐射管进行建模,将三维模型保存成 STP 格式文件,然后利用 Ansys 软件的

CAD 接口,将模型导入^[6]。三维模型如图 3 所示。

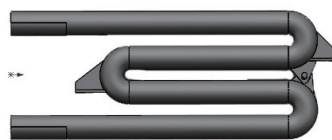


图 3 辐射管三维模型图

3.2 材料选择及模型网格建立

辐射管管体主要分为两种材料,辐射管由于温度较高,故下半部分为 G-NiCr28w,上半部分为 G-X40NiCrNb3525。耐热钢的使用温度为 900℃~1 200℃。表 1 为两种材料在不同温度下对应的抗拉强度、屈服强度和延伸率等性能参数^[7-8]。

表 1 辐射管材料属性

材料	性能参数	使用温度/℃	
		900	1 000
G-NiCr28w	抗拉强度/MPa	186	127
	屈服强度/MPa	103	74
	延伸率/%	48	53
G-X40NiCrNb3525	抗拉强度/MPa	196	142
	屈服强度/MPa	132	93
	延伸率/%	45	50

网格划分选用的是四面体网格划分,如图 4 所示。选择单元大小为 4 mm,边长为 1 mm 的实体单元,并且由 Ansys Workbench 直接进行网格划分,划分后的节点和单元格数分别为 50 021、25 693。

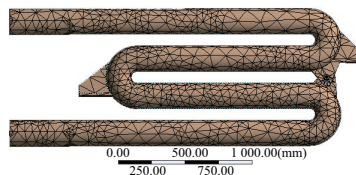


图 4 辐射管网格划分

3.3 边界条件设置

根据辐射管的实际情况,区域温度按照 930℃ 设定;考虑管体自身的重力,重力加速度 $g=9.8 \text{ N/kg}$;在两个牛腿处、辐射管进出口 4 处分别添加固定约束^[9]。

3.4 结果分析

图 5 和图 6 分别为辐射管应力、应变分布图。

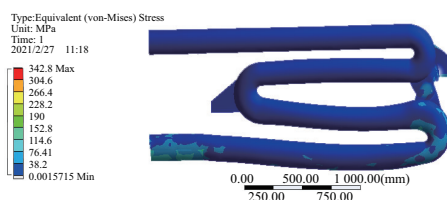


图 5 辐射管应力分布图

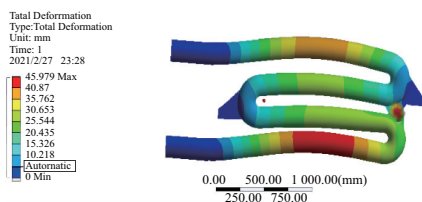


图6 辐射管应变分布图

从应力和应变的分析结果可知,受力比较危险的区域有两处。分别是辐射管下部的入口处、右侧吊耳处区域。

从模拟分析结果得到,最大应力位于吊耳处 342 MPa;最大变形发生在辐射管底部弯曲和吊耳处为 45 mm。最大应力远远超过屈服强度,故发生结构形变、甚至破裂,不满足使用要求。

4 热镀锌辐射管结构优化的数值模拟

对辐射管的薄弱环节进行分析,并提出合理化模型,然后用软件进行分析,以便更好地指导生产实践。

4.1 辐射管损坏的分析

某冷轧镀锌产线,年修期间检查发现辐射管变形开裂,退火炉辐射管的损坏,严重影响设备的使用寿命。辐射管变形开裂,如果不及时发现会导致燃烧废气渗入炉内,影响炉内气氛,造成带钢表面的氧化^[10]。

经过检查发现辐射管大部分破损发生在 X、Y 处,分别为烧嘴入口处、吊耳处。如图 7 所示。



图7 辐射管变形开裂图

辐射管材料长期在高温下工作,它的抗蠕变性会下降,所以 X 处温度最高,屈服强度会变低,最容易发生变形。但考虑到是在 Y 处吊耳处首先断裂,造成辐射管体下半部分无支撑,才引发 X 处变形严重,故断定 Y 处结构是辐射管发生破裂的主要原因。

4.2 辐射管结构改进的数值模拟

通过对原有辐射管的结构进行仿真模拟,发现薄弱环节的关键在吊耳处的结构。因此建模设计出一种新的改进方案,进行有限元分析。

首先对吊耳处的结构进行改进,其次对辐射管下半部分增加牛腿,从而提高结构的力学性能。改进后模型如图 8 所示。然后对优化后模型进行有限元分析,结果如图 9、图 10 所示。

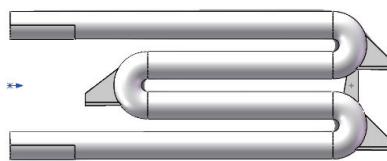


图8 优化的结构模型

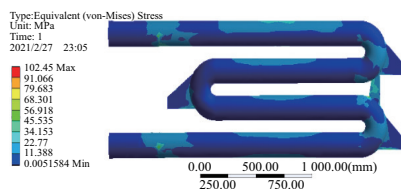


图9 优化模型的应力分布图

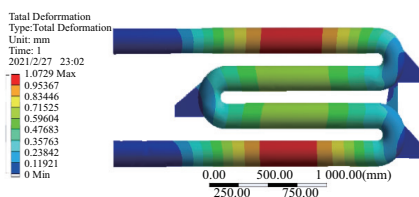


图10 优化模型的应变分布图

从数值模拟的结果上看,改进后的方案 4 个支管的受力相对比较均匀,没有出现较大区域的应力集中。模型优化后最大应力为 102 MPa,最大应变 1 mm,相比于原来的辐射管结构,应力和应变较之前有了大幅度降低,达到设计要求。

5 结语

基于某冷轧厂 W 型辐射管变形破损问题,通过 SolidWorks 和 Ansys 软件进行有限元分析,得出结论如下:

1) 通过应用实践,发现辐射管开裂的位置主要集中在两个位置,分别为烧嘴入口处、吊耳处。通过对辐射管 SolidWorks 建模,并进行数值模拟,最大应力为 342 MPa,超过材料的屈服强度。烧嘴应力集中区域发生吊耳区域和烧嘴的入口处。

2) 通过对辐射管损坏原因进行分析,发现吊耳处结构设计不合理,并且辐射管下半部分无支撑,导致辐射管下半部分受力集中。

3) 对原有辐射管结构进行优化建模,并进行数值模拟分析。先对吊耳处的结构进行改进,再对辐射管下半部分增加牛腿,从而提高结构的力学性能。通过力学性能分析,辐射管的结构应力下降至 102 MPa。设计后的结构较之前有明显改善,为辐射管结构改进提供了借鉴方向。

参考文献:

- [1] 郭沫飞. W 型热辐射管设计与数值模拟[D]. 秦皇岛:燕山大学,2016.
- [2] 汪雪峰. 冷轧立式退火炉辐射管失效分析[J]. 装备维修技术,2012(3):56-58.

(下转第 157 页)

间。异物去除时间越短,则表明透明烟草生产线异物去除效率越高。在此基础上,进一步验证基于红外线探测技术的透明烟草生产线异物去除效率。不同方法的透明烟草生产线异物去除时间如图3所示。

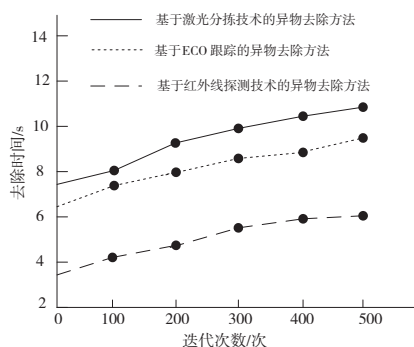


图3 不同方法的透明烟草生产线异物去除时间

根据图3可知,随着迭代次数的增加,不同方法的透明烟草生产线异物去除时间随之增加。当迭代次数为500次时,基于激光分拣技术和基于ECO跟踪的异物去除方法的异物去除时间分别为10.8s、9.5s,而基于红外线探测技术的异物去除方法的异物去除时间仅为6s。由此可知,基于红外线探测技术异物去除方法的异物去除时间较短,异物去除效率较高。因为所提方法设置约束条件为烟草物料输送生产线工作时间,并分解RGB特征,构建透明烟草生产线异物红外线探测图像数学模型,从而有效缩短透明烟草生产线异物去除时间,提高异物去除效率。

4 结语

为了确保有效去除透明烟草生产线异物,提高透明烟草生产线生产效率,提出基于红外线探测技术的透明烟草生产线异物去除方法。通过红外线探测技术,建立透明烟草生产线异物分布式检测图像采集模型,采用单一特征解析方法,提取透明烟草生产线异物成像的融合特征,通过模糊度特征匹配方法,实现透明烟草生产线异物红外检

测,从而有效去除透明烟草生产线异物。研究得知,所提方法的异物识别能力较强,能够有效实现透明烟草生产线异物红外线探测,提高异物去除效率。

参考文献:

- [1] 崔丽群,张平,贺情杰,等. 对比度和细节增强显著性检测方法研究[J]. 计算机工程与应用,2019,55(23):200-208.
- [2] 金磊磊,梁红,杨长生. 基于显著性检测的声呐图像快速降噪研究[J]. 西北工业大学学报,2019,37(1):80-86.
- [3] 王雨青,陈小林,王博,等. 基于ECO跟踪的输液瓶可见异物检测识别方法[J]. 国外电子测量技术,2019,38(11):23-28.
- [4] 杨帆,李建平,李鑫,等. 基于多任务深度卷积神经网络的显著性对象检测算法[J]. 计算机应用,2018,38(1):91-96.
- [5] WANG T, YANG J, JI Z X, et al. Probabilistic diffusion for interactive image segmentation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 28(1):330-342.
- [6] 王言鹏,杨飏,姚远. 用于内河船舶目标检测的单次多框检测器算法[J]. 哈尔滨工程大学学报,2019,40(7):1258-1262.
- [7] LIU W H, LIU G S, CHEN X W, et al. Robust texture representation by combining differential feature and Haar wavelet decomposition[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(9):2728-2736.
- [8] 宋廷强,李继旭,张信耶. 基于深度学习的高分辨率遥感图像建筑物识别[J]. 计算机工程与应用,2020,56(8):26-34.
- [9] 苏健民,杨岚心,景维鹏. 基于U-Net的高分辨率遥感图像语义分割方法[J]. 计算机工程与应用,2019,55(7):207-213.
- [10] 余玛俐,张海. 基于低秩矩阵填充与全变分约束的HDR成像[J]. 计算机工程,2019,45(4):262-266,274.
- [11] 陈超. 多阈值优化的运动图像轮廓特征提取方法[J]. 沈阳工业大学学报,2019,41(3):315-319.
- [12] 蒋丽丽,刘超. 基于机器视觉的继电器触点高精度测量方法[J]. 科学技术与工程,2019,19(13):181-185.
- [13] 刘丽霞,李宝文,王阳萍,等. 改进Canny边缘检测的遥感影像分割[J]. 计算机工程与应用,2019,55(12):54-58,180.
- [14] 殷彩萍,张仁杰. 基于2D-GCD算法的汽车底盘异物检测[J]. 电子测量技术,2018,41(20):123-127.

收稿日期:2021-06-25

(上接第146页)

- [3] 万险峰,陈刚,汪雪峰,等. 冷轧立式连退炉W型辐射管的结构优化[J]. 装备维修技术,2017(S1):56-60.
- [4] 方瑞. 热镀锌机组退火炉节能分析与数值模拟优化研究[D]. 上海:华东理工大学,2017.
- [5] 吴光中,宋婷婷,张毅. FLUENT基础入门与案例精通[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [6] 汪建新,闫双双,赵宏愿,等. 基于ANSYS的W型辐射管的热变形分析[J]. 工业炉,2018,40(4):8-11.
- [7] 胡仁喜,康士廷. ANSYS 15.0热力学有限元分析从入门到精

通[M].5版.北京:机械工业出版社,2016.

- [8] 祝志超,程从前,王鲁,等. 退火炉辐射管破裂失效分析[J]. 金属热处理,2011,36(S1):334-336.
- [9] 汪建新,闫双双,赵宏愿,等. 基于Fluent的W型辐射管燃烧数值模拟与分析[J]. 内蒙古科技大学学报,2018,37(1):46-50.
- [10] 刘顺明,李洋龙,侯大伟,等. 连续退火炉W型辐射管破损调研及优化措施[J]. 钢铁,2018,53(6):103-108.

收稿日期:2021-07-20