

磁粉检测技术应用及发展

路正道 麻国栋 刁迎雪 李鹏频 郝建红
海洋石油工程股份有限公司 天津 300452

摘要: 主要介绍磁粉检测技术在部分特种设备和机械零件探伤中的应用实例以及相关人员在实际检测中遇到的问题和解决方案。同时,随着科学技术的不断发展,各种先进技术与磁粉检测技术相结合,产生了数字成像、全自动检测等新技术,不断推动磁粉检测技术的发展。

关键词: 磁粉检测; 特种设备; 机械零件; 自动化

引言:

为响应和落实国家“碳达峰”政策,加强工业、建筑、交通减排,可从钢结构探伤入手,预警结构破坏,从而减少钢材周转和损耗,达到降低生产碳排放的效果。磁粉检测对铁磁性材料表面或近表面缺陷有很高的检测灵敏度、准确度和可靠性,与其他表面检测方法对比,其成本低、速度快、操作简单,合理使用几种磁化方法,可以检测出工件表面各个方向的缺陷^[1]。磁粉检测在工业领域的应用已有近百年的历史,方法日趋完善,目前广泛应用于航空、航天、机械、军工、造船、冶金、轨道交通等行业,在设备制造、检修、运行、产品质量控制等领域发挥着越来越大的作用。

1、特种设备的磁粉检测

1.1 压力容器的磁粉检测

压力容器是工业生产体系中的基础设备,在其长时间的使用过程中非常容易出现爆炸或泄露等重大安全事故,给人们的生命和财产安全带来极大的危害。因此压力容器的检验是尤为重要的,经过大量实际检验结果得出,磁粉检测方法是压力容器定期检验的首选无损检测方法^[2]。针对压力容器表面、近表面缺陷的检测,曾有检验机构做过一项带涂层磁粉检测的实验,通过对实验试块油漆涂层的磁粉检测,证明带涂层磁粉检测方法可行且减少了对设备打磨带来的损伤,有很大的经济效益。通过对国内外一些实际应用的例子研究发现,用荧光磁粉对压力容器表面缺陷检测的检出率远远高于普通黑色磁粉,对于一些比较重要的在役压力容器强烈建议使用荧光磁粉进行检测。由于现在压力容器的检验还是靠人工检测,检测结果受到检测人员技术和工作强度的影响,难免产生偏差,将图像处理技术引入到压力容器磁粉表面检测中,搭建了罐体表面裂纹图像检测系统,利用软件有效地识别并提取了图像中的裂纹信息,为罐

体裂纹自动检测提供了可靠的技术支持。压力容器的定检中,针对焊缝的检测也是极为重要的。应用磁轭法解决了检测小管径对接焊缝、焊接坡口、管板角焊缝和T型接头焊缝时存在的一些问题,有助于提高磁粉检测质量。在压力容器制造过程中遇到的主要问题是近缝区硬化和冷裂纹、热裂纹,这对产品质量影响很大,为解决这一问题,就出现了高温磁粉检测,这是一种利用可以在超过300℃的条件下使用的高温磁粉,对焊缝能进行及时的检测,有助于提高焊接的质量。传统的压力容器检测需要操作人员进入容器内部进行处理和检测,劳动强度大且有一定的危险性,基于爬壁机器人的磁粉检测系统是自动检测的重要方向,通过图像像素分析法,对采集到的磁粉检测图像进行快速自动缺陷识别,并将图像快速自动分为无缺陷、有缺陷和可疑缺陷3类,帮助技术人员快速准确地识别焊缝缺陷。

1.2 压力管道的磁粉检测

压力管道施工安装项目在我国基础工程中占据了非常大的比例,为了保障压力管道正常稳定的使用,就要对压力管道进行全面的检测。已有的统计数据表明,在材料的制造和使用过程中,产生的绝大多数缺陷是表面缺陷或近表面缺陷造成的。磁粉检测因其高灵敏度、高准确度和经济快捷的特点成为压力管道检测中最常用的表面检测方法。关于压力管道焊缝的检测,通过实验对比分析得出结论:焊缝的磁粉检测一般选用磁轭法或触头法,磁化电流可根据具体要求选择交流电、直流电或整流电。

1.3 锅炉的磁粉检测

在锅炉的正常稳定运行过程中,定检工作对其有着十分重要的作用,能够在很大程度上保证锅炉稳定、安全地持续工作。经过对锅炉制造材料和检测方法的分析,认为对于锅筒、集箱等缝隙的检测可使用磁轭法,而对

于焊接缝隙之间的检测则需要用磁轭法或者触头法。锅炉的受热面因温度过高容易在角焊缝和熔合线上产生裂纹,因此必须对密封板角焊缝进行检测,才能保证锅炉安全正常的工作,为解决这一问题,通过设计一组与密封板和管子相吻合的平磁极和凹磁极,对密封板角焊缝进行单方向磁化,让磁力线方向与裂纹相互垂直,利用这种特殊的方法对密封板角焊缝和近表面的径向裂纹进行检测,具有较高的灵敏度,很大程度上提高了锅炉的可靠性和安全性。

2、机械零件的磁粉检测

2.1 螺栓的磁粉检测

螺栓在使用过程中长期受到轴向应力作用,容易产生疲劳裂纹,最终完全断裂。为了保证设备的平稳安全运行,就要对螺栓进行必要的缺陷检测。针对船用强力螺栓的特点设计了一种新型结构的强力螺栓专用磁粉探伤机,该探伤机有手动、电动、自动3种操作模式,周向磁化采用直接通电法,纵向磁化采用外加磁场感应法,具有工作效率高、速度快、退磁低等优点,确保了产品的质量。对于高强度螺栓来说,在靠近螺柱中部的螺纹根部是最容易产生疲劳裂纹的部位,而这些部位现在还没有成熟的检测方法,通过对几种荧光磁粉检测方法实验对比,确定了一种分段检测的方法,即在螺栓端面内构造一个内六边形,每次对其中两条边进行一次检测,3次磁化即可完成检测,检测效果非常清晰,有效地解决了这一问题^[3]。

2.2 齿轮的磁粉检测

齿轮作为机械设备中重要的传动部件之一,承担着传递动力的作用,在其生产制造和使用过程中都很容易出现制造裂纹和疲劳裂纹,为保证齿轮长期安全运行,就要快速高效地发现这些裂纹,磁粉检测就是一种有效的检测手段。通过研究和实际案例分析,发现采用磁轭法荧光磁粉检测对齿轮表面进行缺陷检测,能有效快速地检测出齿轮的疲劳裂纹,检测灵敏度高,能有效保障机械设备的安全平稳运行^[4]。为了解决地铁从动齿轮故障率增高的问题,设计了一种中心导体法与线圈法复合使用的磁化方法,如图1,通过分析并实验验证了这种方法的可行性,检测灵敏度高并且齿轮各部位磁场强度均能满足检测要求,可全方位监测,无检测盲区。为了能检测齿轮,尤其是齿轮表面任意方向的缺陷,依据多磁路复合磁化原理制作了一套多磁路复合磁化磁轭,采用两路相位差为 120° 的磁场在齿轮表面形成旋转磁场,从而可以检测任意方向的缺陷,同时,多磁路磁轭复合

磁化还为磁粉检测自动化的实现和齿轮自动检测设备的研制提供了思路。

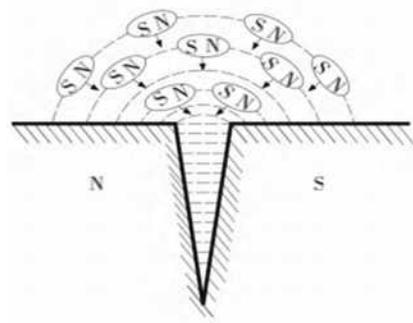


图1 磁粉在含缺陷的漏磁场中的受力图

3、磁粉检测技术原理

当铁磁性材料或构件在外加磁场中被磁化,磁感应线会通过构件形成磁路。构件的表面因存在缺陷而产生不连续,导致磁感应线发生突变,使得构件表面产生“漏磁场”,从而在构件缺陷部位形成磁极。磁粉检测技术可通过探测构件表面的“漏磁场”情况来确定其缺陷的位置及形状。裂纹处空气介质的磁导率与钢材相差很大,磁感应线在裂纹处发生折射分为三部分:一部分磁感应线会直接从工件中通过;另外一部分磁感应线从裂纹中通过;还有一部分磁感应线经过裂纹上方后再进入工件中,产生漏磁场。磁感应线在裂纹两端产生新的磁极。用磁粉检测试件损伤前,应先对试件施以外加磁场使其磁化。然后,在试件表面撒上一些磁粉,磁粉会被试件缺陷部位的“漏磁场”所吸引,附着在其表面。在一定亮度灯光照射下,洒在试件表面的磁粉会在磁力作用下沿磁场堆积,形成一定形状的“磁痕”,根据“磁痕”可判断试件表面的缺陷情况。“磁痕”可以放大缺陷显示。试件缺陷处和材料不连续处均会出现磁痕。磁粉在试件缺陷处形成的漏磁场中,因磁极吸引而受力,图中试件被平行于其表面的磁场磁化^[5],缺陷处将产生漏磁场,其漏磁场的空间分布如图中虚线所示。磁粉是一个个活动的磁性体,它的两极会与漏磁场的两极相互作用,异性相吸产生力矩。同时,磁粉在力矩作用下,转向漏磁场最强的区域,沿磁感应线排列形成磁痕。

4、磁粉检测技术的发展趋势

磁粉检测能直观地显示裂纹、夹杂等缺陷的形状、大小和位置,检测灵敏度较高、适应性好,该检测方法几乎不受试件大小和几何形状的限制,检测设备较简单,操作方便、效率高、成本低。然而,磁粉检测技术还存在一些缺陷:只能将试件表面处的缺陷检出,对较深的内部缺陷无能为力;不能实现定量检测;某些磁化方法

检测前需用较大电流对试件进行磁化,存在磁污染现象,检测完成后还需退磁;检测的准确度依赖于检测人员的技术经验,采用目视法观察磁痕容易对缺陷造成误判。因此,磁粉检测技术目前只停留在对钢结构试件损伤的初步定性筛查方面。未来可通过改进仪器设备的方式,实现对钢结构损伤的定量分析,也可与其他无损检测手段结合来减少误判。

5、总结

磁粉检测技术作为一种无损检测技术,因具有操作简单、缺陷显示直观等优势被广泛应用于钢结构中进行早期探伤,减轻或避免了钢结构发生突然破坏,在工程中拥有广阔的应用前景和很大的发展空间。随着现代科学技术和先进制造业的飞速发展,诸多先进技术与磁粉检测技术相融合,产生了许多高效快捷的新技术,使磁

粉检测技术朝着高自动化、数字化、智能化的方向发展。

参考文献:

[1]苏三庆,郭欢,王威,等.含缺陷承载门式刚架的金属磁记忆检测试验研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2020,52(1):1-8.

[2]国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材编审委员会.超声检测[M].北京:机械工业出版社,2005.

[3]中国机械工程学会.渗透检测[M].北京:机械工业出版社,1986.

[4]任吉林,林俊明,徐可北.涡流检测[M].北京:机械工业出版社,2017.

[5]张天鹏.射线检测[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2007.