

机械工程中的焊接无损检测技术

徐洪磊

上海先导慧能技术有限公司 上海 200240

摘要: 焊接无损检测技术是机械工程中确保焊接质量与安全的关键手段。该技术基于物理原理,通过不同方法检测焊接接头及焊缝的内部缺陷,如裂纹、夹渣和气孔等。超声检测、射线检测、磁粉检测和渗透检测等技术被广泛应用,各自具有独特的检测原理和应用场景。在压力容器、汽车制造和桥梁结构等领域,无损检测技术发挥着重要作用,有效提升了产品的可靠性和安全性。

关键词: 机械工程;焊接;无损检测技术

引言

在机械工程领域,焊接作为一种重要的连接技术,广泛应用于各种设备的制造与安装中。焊接过程中难免会产生各种缺陷,这些缺陷不仅影响产品的性能,还可能带来严重的安全隐患。因此,对焊接质量进行检测显得尤为重要。焊接无损检测技术作为一种在不破坏工件的前提下检测其内部缺陷的方法,成为了保障焊接质量的重要手段。本文将详细介绍焊接无损检测技术的基本原理、常用方法及实际应用。

1 焊接无损检测技术的基本原理

1.1 物理原理

焊接无损检测技术依托多种物理现象实现对焊接接头内部质量的评估。以超声检测为例,其基于超声波在不同介质中传播特性的差异,超声波传入焊接件时,焊缝区域与母材的声学特性如声速、声阻抗等存在差异,遇到缺陷时会产生反射、折射和散射。缺陷改变了介质连续性,影响超声波传播路径,例如,超声波遇到气孔时,因气孔内部气体与周围固体介质声阻抗差异大,大部分超声波在气孔表面反射,通过接收探头分析反射波信息,可判断缺陷特征。射线检测则运用射线(如X射线、 γ 射线)的穿透性,射线能穿透焊接件,而物质对射线吸收程度各异。焊接件中,正常区域与缺陷区域对射线吸收量不同,如夹杂物、未焊透等缺陷密度与母材不同,吸收射线能力亦不同。射线强度分布因缺陷而改变,投射到胶片或探测器上处理后形成影像。影像灰度变化能反映缺陷情况,从而评估焊接质量。焊接无损检测技术通过超声波和射线等手段,利用不同物理现象的特性差异,有效评估焊接接头的内部质量,确保焊接结构的可靠性和安全性。

1.2 检测原理

焊接无损检测技术的检测原理,核心在于利用特定

的物理现象对焊接接头进行非破坏性测试,以揭示其内部潜在的质量问题。在超声检测中,检测原理基于超声波与焊接接头内部结构的相互作用。当超声波束被定向发射至焊接接头时,它会沿着预设路径传播,并在遇到材料密度、声速或声阻抗等声学特性突变的界面时发生反射。这些反射信号被专门的接收探头捕获并转化为电信号,随后通过信号处理技术进行分析,通过分析反射波的时间延迟、幅度和波形特征,可以精确判定缺陷的位置、大小和类型。射线检测则依据射线与物质相互作用的原理,当X射线或 γ 射线穿透焊接接头时,它们会与材料中的原子发生碰撞,导致射线能量衰减。由于焊接接头中不同区域(如缺陷区与正常区)的材料密度和厚度存在差异,因此它们对射线的吸收能力也不同,这种吸收差异导致射线强度在穿透焊接接头后发生变化,并在胶片或数字探测器上形成灰度不同的影像。通过分析这些影像的灰度分布、边缘特征和形态学信息,可以准确评估焊接接头的内部质量,识别出如裂纹、未熔合、夹渣等缺陷。

2 机械工程中常用焊接无损检测技术

2.1 超声检测技术(UT)

超声检测技术是利用超声波在介质中传播时,遇到不同介质的界面会发生反射、折射和散射等特性来检测缺陷,超声波频率高于20kHz,能在金属、非金属等多种材料中传播。当超声波遇到缺陷时,部分声波会被反射回来,通过分析反射波的特征,如幅度、时间等,可判断缺陷的位置、大小和形状。该技术检测灵敏度高,能检测出微小缺陷,对裂纹、未熔合等平面型缺陷尤为敏感,检测速度快,可实现自动化检测,提高检测效率,对厚度较大的工件也能有效检测,不受工件形状限制,适用于各种形状的焊接接头。不过,超声检测对缺陷的定性和定量分析相对复杂,需要检测人员具备丰富的经

验和专业知识,检测结果受操作人员技术水平影响较大,不同操作人员可能得出不同的检测结论。在机械工程中,超声检测技术广泛应用于压力容器、管道、桥梁等焊接结构的检测,例如,在压力容器制造中,通过超声检测可确保焊缝质量,避免因焊缝缺陷导致容器在使用过程中发生泄漏或爆炸等事故。在管道焊接检测中,能及时发现管道内部的缺陷,保障管道的安全运行^[1]。

2.2 射线检测技术(RT)

射线检测技术基于射线穿透物体时,不同密度的物质对射线吸收程度不同的原理。常用的射线有X射线和 γ 射线,当射线穿过焊接接头时,有缺陷的部位对射线的吸收较少,在底片上形成黑度不同的影像,从而显示出缺陷的形状、大小和位置。射线检测能够直观地显示缺陷的影像,对缺陷的定性和定量分析较为准确,检测结果可长期保存,便于复查和追溯。对体积型缺陷,如气孔、夹渣等检测效果良好,能清晰地显示缺陷的轮廓,但射线检测设备昂贵,检测成本较高,对人体有一定的辐射危害,需要采取严格的防护措施。检测过程较复杂,检测速度较慢,对厚壁工件的检测灵敏度会降低,射线检测技术作为一种高精度的无损检测手段,在航空航天、核电等对焊接质量要求近乎严苛的领域发挥着不可替代的作用。在航空发动机制造时,对燃烧室、叶片等关键部件的焊接接头进行射线检测,能及时发现微小缺陷,保障发动机安全可靠运行。在核电站建设中,该技术用于检测管道、压力容器等的焊缝质量,为核电站的安全稳定运行筑牢防线。

2.3 磁粉检测技术(MT)

磁粉检测技术是无损检测领域里的重要一员,仅适用于铁磁性材料。依据电磁学原理,铁磁性材料磁化后,表面或内部的缺陷如裂纹、气孔会干扰原本均匀的磁力线分布,导致磁力线在这些地方发生弯曲,形成漏磁场。该磁场吸引工件表面的磁粉,聚集成可视的磁痕,从而精确指示缺陷的位置和形状,有助于评估材料质量。磁粉检测对表面和近表面缺陷的检测灵敏度极高,能检测出微小的裂纹和其他缺陷,检测速度快,操作简便,成本较低,检测结果直观,容易判断缺陷的性质和位置。但该技术只能检测铁磁性材料,对非铁磁性材料无效,检测深度有限,一般只能检测表面和近表面的缺陷,对埋藏较深的缺陷无法检测。在机械工程中,磁粉检测常用于检测轴类、齿轮、压力容器等铁磁性材料的焊接件,例如,在轴类零件的焊接检测中,能快速发现表面和近表面的裂纹,避免因裂纹导致轴在运转过程中发生断裂。在压力容器的磁粉检测中,可确保焊缝

表面质量,保障压力容器的安全使用^[2]。

2.4 渗透检测技术(PT)

渗透检测技术是利用液体的毛细管作用,将含有染料或荧光剂的渗透液施加在被检工件表面,渗透液渗入表面开口缺陷中,然后去除多余的渗透液,再施加显像剂,缺陷中的渗透液被吸附到工件表面,形成与缺陷形状和大小相对应的显示痕迹,从而检测出缺陷。渗透检测不受材料种类限制,可用于金属、非金属等各种材料表面开口缺陷的检测。检测灵敏度高,能检测出微小的表面缺陷,检测操作简单,不需要复杂的设备,检测结果直观,容易判断缺陷的位置和形状。渗透检测只能检测表面开口缺陷,对内部缺陷无法检测,检测过程中使用的渗透液和显像剂可能对环境造成污染,需要妥善处理。在机械工程中,渗透检测常用于检测铸件、锻件、焊接件等表面质量。以铸件生产为例,它是确保铸件质量的关键手段。通过渗透检测,能精准定位铸件表面的砂眼、气孔等瑕疵,避免残次品流入后续工序,在焊接件检测方面,它也能敏锐捕捉到焊缝表面的裂纹、未熔合等开口缺陷,为焊接质量提供有力保障。

2.5 其他无损检测技术

除了上述四种常见的无损检测技术,还有一些其他技术也在机械工程焊接检测中发挥着重要作用,例如,涡流检测技术,它利用交变磁场在导电材料中产生涡流,当材料存在缺陷时,涡流的大小和分布会发生变化,通过检测涡流的变化来检测缺陷。涡流检测对导电材料表面和近表面缺陷检测灵敏度高,检测速度快,可实现自动化检测,但只能检测导电材料,对缺陷的定性和定量分析较困难。声发射检测技术则是通过检测材料在受力过程中内部缺陷产生的声发射信号来判断缺陷的存在和发展,该技术可实时监测材料内部缺陷的动态变化,适用于对运行中的设备进行在线检测,但检测信号易受外界干扰,对检测人员的技术要求较高。红外检测技术利用物体表面温度分布的差异来检测缺陷,当焊接接头存在缺陷时,会导致局部温度异常,通过红外热像仪可检测出这种温度变化,从而发现缺陷。红外检测可实现非接触式检测,检测速度快,适用于大面积的检测,但检测精度受环境温度、物体表面发射率等因素影响较大。这些无损检测技术各有优缺点,在实际应用中,常根据具体情况选择合适的检测方法,或多种方法联合使用,以确保焊接质量的准确检测。

3 焊接无损检测技术的实际应用

3.1 在压力容器制造中的应用

(1) 压力容器在工业领域应用广泛,其安全性至关

重要,焊接质量直接关系到压力容器的运行可靠性。在制造过程中,采用超声检测技术,利用超声波在不同介质中传播时遇到界面会发生反射、折射和散射的特性。能精准地检测出焊缝内部的裂纹、气孔、夹渣等缺陷,通过对反射波的分析,确定缺陷的位置、大小和形状,为后续的修复和改进提供依据。(2)射线检测技术也发挥着关键作用。它基于射线穿透物体时,不同密度和厚度的材料对射线吸收程度不同的原理。在压力容器焊缝检测中,通过射线照射焊缝,并用胶片或探测器接收通过的射线,从而在底片或成像设备上形成反映焊缝内部结构的影像。技术人员根据影像特征,判断焊缝内部是否存在未焊透、未熔合等缺陷,确保压力容器的焊接质量符合设计要求。(3)磁粉检测技术常用于检测铁磁性材料制成的压力容器表面和近表面缺陷。当被检测部位存在缺陷时,磁力线会发生畸变,磁粉会在缺陷处聚集形成磁痕,通过观察磁痕的形状、大小和分布,可直观地确定缺陷的位置和形态,保障压力容器的安全使用^[3]。

3.2 在汽车制造中的应用

(1)汽车制造中,焊接工艺大量应用,焊接质量影响汽车的整体性能和安全性。超声波检测可对汽车车身焊接部位进行快速检测,高效发现微小的焊接缺陷,因为汽车车身结构复杂,对检测的便捷性和准确性要求高,超声波检测能很好地满足这一需求,及时发现潜在问题,避免因焊接缺陷导致的车辆质量隐患。(2)涡流检测技术常用于汽车零部件的焊接检测。该技术利用交变磁场在金属导体中产生感应电流,当存在焊接缺陷时,感应电流的分布和大小会发生变化,进而检测出缺陷。比如汽车发动机缸体、变速器壳体等零部件的焊接处,通过涡流检测可有效检测出表面及近表面的裂纹、疏松等缺陷,保证汽车零部件的质量和可靠性。(3)渗透检测技术在汽车制造中也有应用。它主要用于检测非多孔性金属和非金属材料的表面开口缺陷。在汽车零部件焊接后,将含有染料或荧光剂的渗透液涂覆在检测表面,渗透液会渗入缺陷中,然后去除多余的渗透液,再施加显像剂,缺陷中的渗透液被吸附并显示出缺陷的形状和位置,确保汽车零部件的表面焊接质量。

3.3 在桥梁结构检测中的应用

(1)桥梁作为重要的交通基础设施,其结构的稳定性和安全性至关重要。在桥梁结构检测中,超声检测技术被广泛应用于检测桥梁焊缝质量。桥梁的焊接部位承受着巨大的荷载和应力,通过超声检测能及时发现焊缝内部的缺陷,评估焊缝的强度和承载能力,为桥梁的维护和加固提供关键数据。(2)射线检测技术基于射线穿透物体时,不同密度和厚度材料对射线吸收程度不同的原理。在桥梁结构检测中,针对关键节点和重要焊接部位,射线能深入焊缝内部,通过底片或成像设备清晰成像,精准判断是否存在未焊透、夹渣等缺陷,有力保障桥梁结构的完整性和安全性。(3)红外检测技术在桥梁结构检测中具有独特优势,它利用物体表面温度分布的差异来检测内部缺陷。桥梁在长期使用过程中,焊接部位可能会因疲劳、腐蚀等原因出现内部损伤,这些损伤会导致表面温度异常。通过红外检测设备,可快速大面积地检测桥梁表面温度分布,从而发现潜在的焊接缺陷和结构损伤,为桥梁的安全评估和维护提供重要依据^[4]。

结语

综上所述,焊接无损检测技术在机械工程中发挥着至关重要的作用。通过超声、射线、磁粉和渗透等多种检测技术,可以实现对焊接接头及焊缝内部缺陷的精准检测,为产品的质量控制和安全性提供了有力保障。随着科技的不断进步,焊接无损检测技术也将不断发展和完善,为机械工程的可持续发展贡献更多力量。未来,我们应继续深入研究和应用这些技术,推动机械工程领域的进一步发展。

参考文献

- [1]王永向,孔令彬,郭庆斌.机械工程中的焊接无损检测技术[J].设备管理与维修,2021(6):43-45.
- [2]鲁宏进.浅谈机械工程中的焊接无损检测技术[J].机电信息,2020(11):83-84.
- [3]许士华.机械工程中的焊接无损检测技术研究[J].模型世界,2021(18):166-168.
- [4]胡凯明.探析机械工程中的焊接无损检测技术[J].大科技,2024(4):151-153.