

焊接应力与焊接变形的抑制

周平香

江铃汽车股份有限公司 江西南昌 330001

摘要: 在工业生产和装备安装过程中, 焊接技术是必不可少的一项技术, 且已逐步向高精度、大规模、高标准方向发展。因此, 在实际应用中, 如何有效地控制焊缝的应力和变形, 是目前国内外有关部门所关心和研究的热点。本文根据焊接应力和变形的含义, 结合日常工作实践, 分析影响焊接应力和变形的各种因素, 并给出相应的控制措施。
关键词: 焊接应力; 焊接变形; 控制措施

Suppression of welding stress and welding deformation

Pingxiang Zhou

Jiangling Motors Co., Ltd.Nanchang Jiangxi 330001

Abstract: In the process of industrial production and equipment installation, welding technology is an essential technology and has gradually developed to high precision, large scale, and high standard direction. Therefore, in the practical application, how to effectively control the stress and deformation of the weld is the current domestic and foreign departments concerned and research hot spot. In this paper, according to the meaning of welding stress and deformation, combined with daily work practice, analysis of various factors affecting welding stress and deformation and give the corresponding control measures.

Keywords: welding stress; welding deformation; Control measures

引言

在“中国制造”走向“中国创造”的进程中, 焊接工艺由传统的热加工工艺不断进步和革新, 逐步发展成为集冶金、材料、结构、电子机械等多门科学为一体的综合性工程工艺类学科, 在工艺制造加工、建筑建设施工、设备安装等众多领域得到广泛应用。在零件加工过程中, 焊缝质量的优劣将直接关系到整体装配加工质量和装配精度。因此, 必须加强对焊缝的应力和变形的分析, 并对其进行科学有效的控制。

一、焊接应力与变形概述

焊接应力与变形, 是指焊件在局部加热冷却后, 所保留下来的应力和变形。焊接应力的大小和分布与焊件材料、装配顺序、构件刚性、外力约束、以及焊接方法和参数等因素密切相关。按焊接过程中的应力在空间的分布, 可以将其划分为单向、双向和三向三种。对于薄板的对接, 可以将其视为单向应力; 而中厚板焊接结构中, 通常存在的是双向应力; 三向应力作用于空间三个方向, 通常存在于多个零部件三向交叉位置, 是最具危害性的, 会使材料的塑性下降, 从而导致脆性断裂。而按照应力作用的方向, 常用的焊接应力又可分为纵向应力、横向应力和厚度应力; 按照应力存在的时间, 焊接应力又可分为瞬时应力、残余应力等。

大量的研究表明, 非均匀加热时会产生局部的塑性变形。在消除了热源之后, 零件的温度又回到原来的均一状态, 零件会产生不可逆的塑性变形, 从而产生对应

的内应力, 也就是所谓的“残余应力”^[1]。残余应力会引起零件的翘曲或扭曲变形, 导致零件尺寸不合格, 严重的会使焊缝内部存在微裂纹, 甚至直接导致零件开裂。

焊接工艺实质上就是对焊件局部进行加热, 然后再进行冷却。在焊接中, 由于热源和热循环的影响, 焊缝的受热不均, 使得焊缝的各个部位在加热时的膨胀和冷却时会有不同程度的收缩。这种非均匀的温度分布会造成焊件的不均匀膨胀和收缩, 从而在焊缝内部形成焊接应力, 最终造成焊缝的变形。一般情况下, 焊缝应力和焊缝变形是并存的。

当焊缝或结构发生变形超过规定值时, 就必须进行校正, 有些变形可以通过校正来满足使用要求, 但是这会耗费很多的财力和人力, 而有些变形是无法校正的, 会直接导致零件的报废。

二、焊接应力与变形的产生原因

在焊接过程中, 由于局部温度的变化, 导致了焊缝的热胀冷缩。由于焊接构件是一个整体, 各构件之间存在着相互联系、相互制约的关系, 无法随意伸缩, 因而在焊接时, 由于温度的改变而产生的局部塑性变形, 以及各种比容的差异, 难免会出现拉力和变形。

2.1 焊接应力产生原因

按应力的作用方向划分, 应力主要有纵向应力、横向应力和厚度方向应力三种。纵向应力是指沿焊缝长度方向的焊接应力, 会导致焊缝的纵向收缩。而焊缝的纵向收缩量, 通常受焊缝长度的影响, 焊缝长度越长, 焊

缝的纵向收缩量就越大。因此,在实际生产制造过程中,为了控制焊缝纵向收缩,我们通常将一段焊缝改成多段断续焊缝。横向应力是一种与焊缝长度相垂直方向的焊接应力。焊接完成后,主要是会产生横向缩短的焊接变形。厚度方向应力的产生主要是由于纵向和侧向的原因。在焊接过程中,两片钢板的纵向、侧向受拉应力和两端受压,而在冷却期间,由于焊接前后的冷却时间存在差异,因而就引发了厚度方向的应力的和变形。

2.2 焊接变形产生原因

焊接接头的变形可以分为局部变形和整体变形两种。局部变形是指在焊接时,焊接结构的某一局部由于收缩引起的变形;整体变形是由于焊缝在不同方向上的收缩而造成的整个焊接结构形貌和尺寸上的改变。在焊接时,一般不会出现整体变形。

引起焊接变形的原因有很多,局部加热和冷却是引起焊接变形的主要原因。由于局部熔化,焊件表面温度分布不均匀,造成焊件局部热膨胀。热膨胀因其周围的金属阻碍而不能自由扩张,因此会产生压力,受压应力大于其屈服点,即发生塑性变形。在焊接过程中,焊接件的最终长度要小于未加热的金属,就是因为焊件在加热融化过程中会发生塑性压缩变形^[2]。

三、降低焊接应力的措施

3.1 设计措施

从设计的角度来看,可以通过以下三种方式来避免或减小焊接应力的产生:一是减少焊接部件上焊缝的数量和长度;二是改善焊缝的分布,使焊缝的分布均匀、分散;三是对焊缝接头形式进行优化,采用刚性小的接头形式。

3.2 工艺措施

从制造生产工艺角度来看,可以有以下措施:采用比较合理的焊接顺序和方向,以尽量保证每条焊缝都能自由收缩;采用双机器人对称焊接,自由释放、抵消应力;长段焊缝分工序分段焊接,减小应力集中;改善焊接设备,采用脉冲焊机,由于电弧集中,可使用小电流达到焊接需求,使得在焊接过程中保持较小的热输入量等。

在焊接时,要合理的安排好焊接顺序和方向,使焊接构件有一定的伸缩空间。如果是大面积的多片钢板,首先要焊接短的焊接接头,再进行长的焊接。还可以采用在进行层间锤击的方式,减小或消除焊缝填充料之间的应力。在焊件的焊接中,如果不能及时的对焊条进行层间的敲击,严重的就会在焊料周围形成明显的裂纹^[3]。

3.3 焊接前的热处理

在焊接前和焊接完成之后,由于温度差过大,焊缝中残留的残余应力比较大,所以在进行焊接作业前对焊件进行预加热可以降低焊接前后温度差,从而降低焊缝的残余应力。

3.4 焊材的选择方法

焊接高强度低合金钢(例如 Q460)的部件,需要用

一种具有良好塑性的焊条来进行焊接。这是因为,在焊料中加入一种有很好的塑性的材料,可以将焊接过程中的内应力释放出来,从而降低焊接部件的应力^[4]。

3.5 焊后热处理

为了去除焊接零件内残留的内应力,对其进行了高温回火。这种方法的基本原理是,在较高的温度下,材料的屈服强度会下降,使焊接中的应力较大的工件产生塑性流动,从而使焊接内应力下降^[5]。将焊接部件置于加热炉内,并将其维持在某一特定的温度。焊接后热处理温度、保温时间对其拉伸性能及蠕变性能有较大的影响,但不同的钢材种类对其耐冲击性的影响较大。

3.6 振动方式处理

通过振动消除焊接残留应力,其基本原理是:当焊接构件在受到一定的压力作用时,通过反复的震动,使残余应力减小,从而消除局部的残余应力。这种方法适合于普通的大尺寸的焊接。振动方法具有绿色环保,结构简单,使用成本低,操作时间短等特点。

四、焊后消除热应力的方法

4.1 利用高温回火热处理消除焊接残余应力

将焊接接头加热至某一特定温度(不得高于金属的相变点或钢本身的回火温度),在经过一段时间的保温后,再进行缓慢的冷却。随着温度的提高,钢的屈服强度降低,使得原来的弹性变形变为塑性变形,从而导致了应力的释放^[6]。

4.2 利用温差拉伸法消除焊接残余应力

采用温差拉伸技术消除焊接残留应力,其基本原理与机械拉伸工艺相同,其区别在于通过局部温度的不同,使焊缝区域产生较大的张力。温差拉伸法是在焊接处的两边用一对宽合适的氧乙炔火焰进行加热,然后在火焰的后方用一条带小孔的管子来进行冷却,同时使乙炔焰和喷水管道以同样的速度前进,从而产生一个温度差异(其峰值大约为 200℃,焊接区域温度较低,大约 100℃)。两边的金属受热后会向低温区延伸,抵消了焊接时的压塑性变形,消除了局部的残余应力。经测试,采用温差拉伸工艺,可以有效地减少 50%-70% 的残余应力^[7]。

4.3 利用机械拉伸法来消除焊接残余应力

残余应力的产生主要是由于焊接时残留的塑性变形而产生的。结果表明,焊接构件在受焊接后的荷载作用下,会产生与残余压缩变形相反的塑性拉伸变形,从而降低了焊接构件的残余应力。

4.4 利用振动法消除焊接残余应力

振动法是由偏心轮与变速电机构成的激振器,通过引起谐振引起的周期性应力,逐步减小焊接残余应力。

五、焊接变形的控制措施与消除方法

焊缝的变形会使构件的表面质量下降,从而影响构件的组装质量、构件的承载能力。减小或消除构件的形变,有利于提高制造效率和降低人工成本^[8]。

焊接过程的变形与焊接结构的几何形状、板厚、焊缝类型、材料参数(包括基体材料、材料类型、焊接条件)以及焊接工艺等息息相关。因此,要对焊接过程中的变形进行有效的控制,就要从以下几方面入手。

5.1 从焊缝着手控制焊接变形的措施

首先,确定焊接接头的合适尺寸。焊缝尺寸的确定,不但与焊接工作量有关,还会对焊接变形有很大的影响。如果焊缝尺寸太大,则会造成焊接量大,从而导致焊接变形加大;反之,则会导致大量的焊接缺陷,降低焊接质量。所以,应该在保证结构承载能力和焊缝焊接质量的同时,选择最小尺寸的焊缝。

其次,焊接部位的合理布置。焊接点的布置要尽量选择与中线轴线对称或靠近中性轴线的位置。在对称焊的情况下,焊缝的排列方式与中性轴线相适应;在非对称的情况下,采用适当的焊接次序可以显著地降低焊接变形。

其三,正确地选择焊接坡口形状。焊缝成型是影响焊接变形的重要因素。焊料中填充量随焊角的增大而增大,且沿板厚方向的纵向收缩呈现出明显的非均匀性,导致焊缝的变形增大。在非倾斜部位,因焊接材料中的金属成分较少,所以在坡口部位的变形比倾斜部位的变形要小^[9]。

其四,焊接时要尽可能地减少多余的材料。在焊接结构设计中,为了改善结构的刚度和稳定性,通常采用加筋钢板,但由于钢筋板的数目过多,焊缝密度过大,导致了焊接变形。在保证结构强度的前提下,应尽可能地减少不必要的焊接。

5.2 选择合理的焊接方法,并规范操作

选择焊接工艺和工艺规程应遵循以下几点:在保证焊接质量和机械性能的基础上,采用低线能量可以有效地预防焊缝的变形。比如,与手工电弧焊比较,埋弧自动焊具有较大的能量、较快的焊接速率和较小的焊接变形等;采用CO₂气体保护焊取代人工电弧焊,既能提高生产效率,也能减少焊接变形。

5.3 采用反变形法进行焊接变形控制

为防止焊接残余变形,可以通过人为地将焊接接头的变形向相反的方向进行,从而达到防止焊接残余变形的目的。本方法具有一定的实用价值。比如,利用一个外部的力量或者设备把一个部件紧紧地挤压到一个牢固和充分的平台上,从而扭曲变形,接着再进行焊接^[10]。

5.4 矫正焊接变形的的方法

目前,有两种矫正焊接变形的办法:一是采用机械

矫正。这种方法可以消除焊接过程中的金属之间的相互冲突,并利用外部的外力来实现焊接过程中的逆向塑性变形。二是锤击也可以在加压成形区域内对焊缝及金属进行拉伸,从而消除焊接变形。纠正的原则有两点。第一,正确的定位。必须对构件的变形和内部的联系进行分析,弄清构件之间的相互制约。第二,要有正确的纠正次序。

六、结语

合理地控制焊接过程中的应力与变形,对于改善焊接质量、推动焊接工艺的优化发展具有十分重要的意义。因此,在实际的焊接作业中,工艺开发人员要充分认识到焊接过程中的应力和变形,并针对现场的具体情况和需要,选用合理的焊接设备和工装、制定合理的焊接工艺及控制措施,从而达到对焊缝的应力和变形的控制。

参考文献:

- [1] 张晟. 焊接应力与焊接变形的抑制[J]. 新疆有色金属,2022,45(5):98-99.
- [2] 刘凯. 转向架侧梁磁控高速 GMAW 焊接应力与变形的有限元分析[D]. 山东:山东大学,2021.
- [3] 张东祥,郭立新. 汽车驱动桥壳焊接变形及焊接残余应力有限元仿真分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2021,42(5):700-705.
- [4] 赵会伟,姚小彬,刘殿民,等. 有效控制钢结构的焊接变形及应力的探讨[J]. 中国金属通报,2022(4):95-97.
- [5] 黄波,王旺,王佳,等. 全焊接球阀焊接残余应力及变形数值模拟[J]. 油气储运,2021,40(8):895-902.
- [6] 刘鑫,陈华,饶银辉,等. 薄板 T 型接头双丝 MAG 焊接残余应力及变形有限元分析[J]. 电焊机,2021,51(10):78-85,125.
- [7] 兰亮云,邵国庆,张一婷,等. 焊接顺序对 Q690 钢 T 型接头残余应力和变形的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版),2020,41(12):1741-1746.
- [8] 黄霜,杨晓益,陈辉,等. 5A06 铝合金扫描激光填丝焊接接头变形及应力分析[J]. 焊接学报,2020,41(2):87-92.
- [9] 易杰,张见明,曹淑芬, et al. 焊接顺序对 6061-T6 铝合金汽车结构件焊接残余应力及变形的影响[J]. 中国有色金属学报(英文版),2019,29(2):287-295.
- [10] AMIRREZA KHOSHROYAN, ARMIN RAHMATI DARVAZI. 焊接参数和焊接顺序对 Al6061-T6 铝合金 T 形接头残余应力和变形的影响[J]. 中国有色金属学报(英文版),2020,30(1):76-89.