

钢构件焊接残余应力产生和影响及消除预防措施

尚国祥

大连辽机路航特种车制造有限公司, 辽宁 大连 116100

[摘要]对于焊接钢构件来说,焊接残余应力的产生,是影响焊接钢构件脆断、疲劳破坏和焊接结构稳定性降低的主要因素。文中主要对焊接钢构件的焊接残余应力的产生、对焊接结构的影响和如何有效预防焊接残余应力及影响作简单的分析。文中也详细论述了生产制造过程中消除和预防焊接残余应力的一些措施,具体可跟据生产实际而确定。文中会给钢构件焊接生产制造起到一定的指导作用。

[关键词]钢构件;残余应力;消除;预防措施

DOI: 10.33142/aem.v6i3.11300

中图分类号: TU3

文献标识码: A

The Generation and Impact of Residual Stresses in Steel Components Welding, and Preventive Measures for Elimination

SHANG Guoxiang

Dalian Liaoji Luhang Special Vehicle Manufacturing Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116100, China

Abstract: For welded steel components, the generation of welding residual stress is the main factor affecting brittle fracture, fatigue failure, and reduced stability of welded structures. The article mainly analyzes the generation of welding residual stress in welded steel components, its impact on welded structures, and how to effectively prevent welding residual stress and its impact. The article also elaborates on some measures to eliminate and prevent welding residual stress in the production and manufacturing process, which can be determined based on actual production. The article will provide certain guidance for the welding production and manufacturing of steel components.

Keywords: steel components; residual stresses; elimination; preventive measures

引言

随着经济的快速发展,钢构件越来越多,在各个领域已被广泛应用。但是,钢构件在制造过程中还存在着一定的制造缺陷和质量隐患,如钢结构产品的稳定性是一个无法回避的问题。近年来随着钢构件产品的深入发展,脆断和疲劳破损等问题也越来越突出。上述的一些问题都与钢结构内部的焊接残余应力存在密切关系,本文从实际出发,分析探讨钢构件焊接残余应力的产生过程以及如何有效降低和预防控制。

1 钢构件焊接产生残余应力的原因

生产制造过程中,钢构件焊接时所产生的焊接变形和焊接残余应力因素有很多种,其中最主要的原因是构件焊接时受热温度不均匀所导致的,由于焊缝两侧的材料收缩后金相组织发生的变化以及钢构件的刚度不相同所致的。那么钢构件的焊缝在焊接结构中的位置、组对装配焊接的顺序、焊接的方法、焊接工艺参数、焊接方向等对焊接后的变形和焊接后形成的残余应力有非常大的影响。

1.1 构件焊接不均匀受热产生的残余应力

焊接是一个加热加压的过程,钢构件上的受热温度分布是极不均匀,没有受到约束力的构件在焊接加热与冷却时其产生的变形为自由状态下的变形,那么在构件焊接加热过程中不会出现任何的内部应力,慢慢冷却后构件也不

会出现各种变形和焊接残余应力。同样,受到约束的构件焊接加热时的内部应力与变形,受约束构件的变形为非自由状态下的变形,构件的内外部都会存在变形。当焊接后构件能够充分自由的收缩,那么构件中就会出现一定的变形而不会出现焊接残余应力。当构件受绝对约束,焊接构件不会产生变形而产生很大的焊接残余应力。当构件焊接时收缩不充分,构件就会产生焊接变形和焊接残余应力。通过上述探讨可知,对钢构件进行不均匀,在钢构件焊接过程中要是焊接输入的热量高出金属材料的屈服点温度,这时构件会产生一些塑性焊接变形,等构件冷却后一定会产生焊接变形和焊接残余应力;一般情况下,在钢构件生产制造过程中,构件的变形走向与焊接后的变形走向不一致是相反的,钢构件在焊接加热时,离焊缝比较近的位置会产生塑性焊接变形,冷却的时候焊接变形的位位置会引起一定的收缩。那么这些焊接后的收缩会很好的进行,钢构件的焊接变形越来越大,而焊接残余应力相对越来越小。如果焊接后收缩的不够充分,钢构件的焊接变形就越小,焊接后的残余应力就会越来越大。那么,在生产制造过程中钢构件经焊接后产生应力在构件的中的分布是极不规律的,也是不均匀,焊接结束后焊缝附近的区域会产生残余应力,一般情况下把这种应力称作焊后残余拉应力。

1.2 构件焊缝金属收缩和组织变化产生的变形和残余应力

在钢构件焊缝的金属材料收缩,焊缝金属自然冷却后,逐渐从金属液态慢慢转变成金属固态时,构件的焊缝体积会收缩,这时候会引起整个构件变形,同时也会在焊缝中出现一些残余的应力。在整个钢构件焊接时焊缝是慢慢形成的,那么,先焊接形成的焊缝会阻止或改变后形成的焊缝,这时候焊缝会产生一定收缩,一般情况下会引起焊接后变形和焊接后形成残余的应力。当构件材料的内部组织发生变化时也会产生焊接变形和焊接应力。

1.3 构件的刚性和拘束程度变化产生的变形和残余应力

在生产制造过程中,钢构件结构本身的刚性大小变化对焊接后变形和残余应力有非常大影响。当钢构件的刚度变大时,构件焊后焊接变形就很小,当钢构件的刚性变小时,构件焊接后变形很大,残余的应力就会很小。同样,钢构件的拘束度变化也会给构件带来一定的影响,当拘束度变大时,构件焊接后的变形很小,焊接后的应力就会很大。当拘束度变小时,构件焊接后的变形很大,构件焊接后的残余应力就会很小。

2 焊接残余应力对构件焊接结构的影响

钢构件在焊接过程中受热传递的作用,受热温度不一致,局部的受热或冷却时间顺序也不均匀,从而引起钢构件焊接变形,构件不均匀的受热膨胀和不均匀的冷却顺序,最终产生可以导致钢构件变形的应力,通常这类应力被称为焊接残余应力。多条焊道搭接位置,由于焊道在焊接和冷却的时间不一致,焊缝过渡密集,部分区域产生热量就会很大。

2.1 焊接残余应力对钢构件结构强度的影响

在钢构件生产制造过程中,构件焊接结构没有过渡的应力集中,而这时构件的金属材料有一定的塑性变形能力,构件的焊接应力再一般情况下不会影响构件结构的静载强度。当构件的金属材料处于脆性状态时,所生产的拉伸内应力和外部拉应力叠加起来可能应力会增大,应力达到断裂强度,会导致构件结构破坏的可能。当构件的工作时使用温度低于材料脆性临界温度时,拉伸应力和内应力集中在一起会降低构件结构的静载强度。

2.2 焊接残余应力对钢构件加工尺寸精度的影响

钢构件在生产制造过程中,通过焊接会产生一些的内部应力。通过加工一部分金属从构件上被切除掉,那么从而破坏了构件原有的应力平衡状态,在加工过程中这些内部应力逐渐的会重新分布形成一个新的平衡状态。此时,在没有拘束的情况下构件发生了一定的变形,加工精度也就会收到影响。为了保证构件的加工尺寸精度,对焊接后的构件要先进行消除应力的处理,再进行加工。也可以对构件采取多分步加工过的方法来降低变形和残余应力。

2.3 焊接残余应力对钢构件稳定性的影响

生产制造过程中,由构件外部引起的一些内部应力与压应合在一起时,对钢构件的稳定性带来很大影响。钢构

件的内部应力会对构件的稳定性的影响与构件的内部应力和截面状态有直接关系。有效的截面会远离构件的中性轴,从而可以改善构件的稳定性。为了确保钢构件有很好的使用性能,在生产制造过程中一定要采取必要的措施预防和控制减小焊接变形和焊接残余应力。对于重要的钢构件结构焊接后还要采取消除焊接残余应力的措施。

3 预防控制钢构件焊接残余应力的有效措施

3.1 构件结构设计方面的措施

在构件结构设计时,必须要减少结构上焊缝的数量和焊缝的形式。少一条焊缝就少一处残余应力产生源,焊缝尺寸尽可能的要小,焊接时受热区域小,反之过大的焊缝尺寸,焊接时受热区域大,那么,引起构件焊接变形和构件焊接残余应力的塑性变形部位的焊接变形量变大,避免焊缝过于集中,焊缝与焊缝之间应保持一定的距离,构件焊缝过度集中会使焊接应力分布更不均匀,还可能出现复杂的焊接应力集中。采用刚度较小的焊接接头形式,有利于避免焊缝产生纵向焊接残余应力和横向焊接残余应力。如构件焊接接头刚度大,焊接时会引起很大的拘束应力有可能会

3.2 构件结构工艺方面的措施

工艺方面要采用合理的组对、焊接顺序,合理的组对装配焊接顺序能使每条焊缝尽可能自由收缩的焊接顺序。应该注意,在构件一个平面上的焊接,焊接时应确保焊缝的横向收缩和纵向收缩都能比较自由,如对接焊缝焊接,合理的焊接顺序,如图1焊接顺序示意图所示,也就是焊接时先焊短焊缝,再焊长焊缝。焊接时收缩量大的焊缝焊,收缩量小的焊缝后焊。主要是因为先焊接的焊缝收缩时受到的阻力比较小,那么所产生的焊接残余应力也就比较小。焊接带盖的工字钢梁结构时,应先焊接盖板上的对接焊缝,再焊接工字钢梁与盖板之间的角焊缝,这样焊接的主要原因时角焊缝焊接后的收缩量比对接焊缝的收缩小。先焊接受力大焊缝,大型构件工字钢梁,应该先焊接受力对接焊缝,其次再焊接不受力的对接焊缝,最后再焊接事先预留的一段角焊缝。再焊接平面十字交叉的焊缝时,在焊缝的十字交叉点容易产生很大的焊接残余应力。在构件焊接前,首先要对构件局部或整体加热到一定的温度(参考值 150℃~300℃)。对于焊接脆性比较大的金属材料,以及刚度比较大或者脆性材料焊接时,一般要采取焊前预热的措施。还可以采取冷焊法,一般通过冷焊会减少构件受热面积来减小焊接部位位于构件结构上其他位置的温度差。通常的做法有尽可能的采用较小的热输入去焊接。要降低构件焊缝的拘束,一般情况下封闭焊缝焊接时拘束力比较大,构件焊接后焊缝的横向和纵向产生的拉应力很大,容易出现一些裂纹。为降低焊接残余应力,要采取措施减小封闭焊缝的拘束力。

3.3 选择正确的焊接方法

为预防构件焊接残余应力及焊接减小焊接变形,应尽可能采用一些高能量密度的焊接方法,如电子束焊、激光焊接、窄间隙焊接等。这些焊机的焊接线能量比较小,那

么产生的焊接变形很小。在一般生产制造过程中,二氧化碳气体保护焊的应用越来越广泛,不但效率高,而且还能很好地减小焊接变形。焊接薄板构件时,可采用钨极脉冲氩弧焊或电阻焊、缝焊,都可防止构件的压曲变形。在生产过程中没有条件采用低线能量的方法,又不降低焊接规范时,可采用直接水冷或风冷来改变热场分布,以达到减小焊接变形的目的。

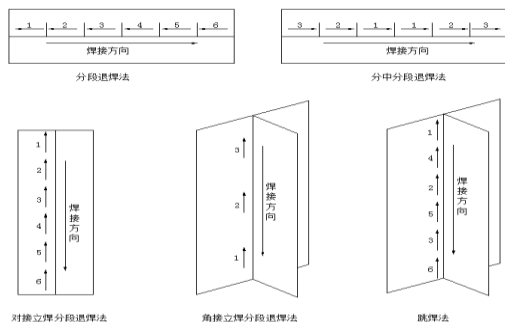


图1 焊接顺序示意图

4 消除和预防控制焊接残余应力的措施

钢构件结构设计时考虑了焊接残余应力的一些影响因素,在工艺上同样也采取了一定的措施来减小焊接应力。由于焊接应力的复杂性,钢构件焊接后依然存在着较大的焊接残余应力。还有一些结构在组对装配过程中可能产生新的残余应力,那么这些焊接残余应力也会影响钢构件的使用性能。构件焊接后是否需要消除应力处理,一般情况下会根据构件材料性能、构件的生产制造及构件的使用情况综合分析后确定。通常情况下要考虑消除和预防控制残余应力。

4.1 钢构件焊接后要热处理

热处理消应力法是一种很常见的方法,通过热处理方法达到消除焊接残余应力的作用。在生产过程中常用的热处理方法有局部热处理和整体热处理两种方法来消除和预防控制焊接残余应力。焊件焊前预热可整体预热,也可焊接区局部预热。预热的方法有炉内整体加热、局部远红外线加热、局部工频加热、火焰加热等。将钢构件焊缝周围通过电磁加热或火焰加热到一定温度后进行保温,然后缓慢自然冷却。通常情况下对于一些大型钢构件无法整体热处理的构件,采用局部热处理来消除和预防控制残余应力。整体热处理是将整个钢构件在炉内缓慢加热到一定的温度,然后进行保温一定的时间,随炉自然冷却。通常情况下构件整体热处理消除焊接残余应力的效果要比局部热处理效果好很多。这主要取决于对构件加热温度、保温的时间、冷却的速度、加热的方式方法以及加热的范围。一般可消除 50%~70%的焊接残余应力。

4.2 锤击焊缝消除焊接残余应力

在钢构件生产制造过程中,焊接后及时用锤子锤击敲打焊缝,这样使刚焊接完的焊缝金属产生延伸变形,能抵消一些压力和塑性变形,起到减小焊接残余应力的目的。

那么在锤击焊缝时就要掌握一定的技巧和方法,锤击施力要适当。锤击焊缝消应力也是最常见最简单的一种方法。

4.3 振动构件消除焊接残余应力

在钢构件生产制造过程中,采用振动时效的方法消除焊接残余应力。消除应力的效果取决于振动器、钢构件支点位置、振动的频率以及振动时间。那么,对于刚度大、结构复杂的钢构件可采取多点多次振动,振动时间应当控制在 45 分钟。振动时效法可振动大型钢构件,具有设备采用简单灵活、振动时间短、有节省能源费用低的特点。

4.4 温差拉伸法消除残余应力

在日常生产制造过程中,温差拉伸法的也是很常见的一种消除焊接残余应力的方法,其原理与机械拉伸基本相同。在构件上焊缝两侧用火焰枪来加热,使构件表面温度加热到一定的温度,在火焰枪的后面用一个水管进行降温冷却,这样造成两侧的温度高,焊缝及热影响区的温度低的温度场。需要注意的是加热的区域范围和加热的温度要适当,能更好消除预防控制钢构件焊接残余应力和变形。

5 结语

通过上述分析探讨,对钢构件焊接残余应力产生原因、影响因素及消除预防控制措施。钢构件焊接残余应力是使焊接结构件变形、裂纹和脆断的主要原因之一。在钢构件生产制造过程中,要采取一些有效方法和措施来避免产生焊接变形和焊接残余应力,确保钢构件的性能不受更多影响。因此,钢构件焊接残余应力是产品设计、加工制造等方面需要重点关注。

[参考文献]

- [1]焊接手册(第2版).中国机械工程学会焊接分会编[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2]陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [3]熊腊森.焊接工程基础[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [4]沈祖炎.钢结构学[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [5]张应立.新编焊工实用手册[M].北京:金盾出版社,2004.
- [6]宋天民.焊接残余应力的产生与消除[M].北京:中国石油化工出版社,2004.
- [7]邓红军.焊接结构生产[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [8]叶琦.焊接技术[M].北京:化工工业出版社,2005.
- [9]徐峰.焊接工艺简明手册[M].上海:上海科学技术出版社,2009.

作者简介:尚国祥,工程师,主要从钢结构工程、特种车辆、工艺装备设计开发及特殊高强度材料的焊接工艺研究工作。