

汽车副车架焊接工艺开发探讨

周平香

江铃汽车股份有限公司 江西 南昌 330001

摘要：副车架是悬挂系统中的一个关键部件，其尺寸精度的提高对于悬挂系统的组装具有十分重要的作用，而在副车架零件的装配中，主要采用的是焊接。找出焊接过程中的变形规律、并通过优化焊接过程来有效地控制焊接变形，是改善副车架质量的关键。随着产品制造自动化、智能化的发展，对制造副车架焊接工艺的开发进行深入的研究具有重要的现实意义。

关键词：汽车副车架；焊接工艺；开发优化

Discussion on welding technology development of automobile subframe

Pingxiang Zhou

Jiangling Motors Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi, 330001

Abstract: The subframe is a key component in the suspension system. The improvement of dimensional accuracy plays a very important role in the assembly of the suspension system, and welding is mainly used in the assembly of subframe parts. The key to improving the quality of the subframe is to find out the deformation law in the welding process and control the welding deformation effectively by optimizing the welding process. With the development of automation and the intellectualization of manufacturing, it is of great practical significance to study the welding process of manufacturing subframes.

Keywords: Automobile subframe; Welding process; Development optimization

引言

汽车副车架是车底盘的重要组成部分，常见于 SUV 轿车、小型 MPV 等车型。副车架的主要功能是：阻尼各方面的震动与噪音，增强悬架的联接刚性，增强车体的抗扭性。因此，副车架的质量对汽车的操纵性、舒适性和安全性有很大的关系。目前，大部分副车架都是用 GMAW 焊制的 2-4mm 板厚度的冲压件、管件和套管，焊接质量有较高的一致性，能够通过台架试验和耐久路试试验的疲劳强度评定。产品焊缝较多且集中，变形较大，且尺寸精度 CPK 一般不高。因此，对副车架的质量问题，始终是其制造者的“难言之隐”。

一、副车架传统焊接工艺

1.1 副车架传统的生产流程

在副车架的加工和生产中，主要由以下几个步骤组成：用薄板进行冲压；按先焊后焊的顺序将冲压部件组装进行焊接；对分焊后的工件进行变形检测，若变形超差在某一限度以内，可采用变形校正方法对其进行控制；若变形过大不能纠正，将被视为废品。

传统的副车架焊接工艺分为上下板肋焊接、上下板扣焊、副车架连接臂焊接、副车架装配焊接、挡板与副车架的焊接、焊接副车架、焊接挡板和副车框的焊接。

1.2 副车架本体的焊接

第 1 步：在副车架主体和下部面板间进行肋片的焊接。由于上、下两块钢板焊接后是一个较大的空心结构，为了增加副车架的刚度，在上下两块钢板间焊接了一块肋片，既能增加副车架的刚性，又能有效地减轻副车架的重量，从而达到减轻车身重量的目的。

第 2 步：将副车架主体和下部面板进行合焊。焊接工艺是将上下板和支撑套焊接起来，上下板之间有两个套管作为支撑，焊接完毕后形成副车架。

1.3 副车架总成焊接

第 3 步：将连杆臂与副车架主体进行焊接：将两块金属冲压件和一左一右的连接臂与副车架主体进行焊接。此工序焊缝部位比较复杂，焊缝数目较多。

第 4 步：内衬套管与组件的焊接，在此，四个衬套管是四个部件，与副车架主体相连。

二、焊接有限元分析

第一，选择单元的种类和栅格。汽车副车架是通过上下冲片、控制臂支架、稳定杆支架、车身连接臂和螺帽等部件焊接而成。由于其厚度比其它方向要小得多，所以用四边形壳来进行有限元网格划分。在焊接点附近，采用更小的单元格子；在距离焊接点较远的地方，采用更大的单元格子。这种方法既可

以提高运算速度,又可以节省计算时间,同时又可以保证计算的准确性。

第二,定义物料的参数。副车架的部件是用相同规格、厚度不同的 FB600 钢板冲压而成,组成了副车架各部件的厚度^[1]。

第三,设定焊接过程的参数。在副车架的焊接过程中,对焊缝的位置和夹紧情况进行了详细的描述,而在有限元仿真中,采用了以单元结点为焊缝的方法进行了仿真。按照先焊后焊的顺序进行焊接,然后将螺帽和衬套焊接。

根据焊接过程设定焊缝和夹紧状态,将计算文档输入 WeldPlanner,设定各焊条的材质、厚度、焊接次序、焊接时间,并在 Weld Planner 中进行计算。

三、副车架焊接变形的有限元分析

3.1 副车架本体焊接的有限元分析

第 1 步:将上、下板之间的肋条进行焊接。利用 Weld Planner 软件进行了上板和肋板焊接过程的分析,通过 Visual-Environment 后处理模块 Visual View 对焊接后的副车架进行了变形分析。

经过对二次加入限制后的变形云图的分析,在增加限制条件的 1 处,右边的位置发生了很大的变形。对于焊接部位较简单、焊缝数目较少、几何尺寸较大、约束刚度较低的情况,采用直接调节焊接约束进行焊接变形控制。而限制的选取和增加并不是单纯的在大变形部位增加全约束,太多的全约束会造成对工件的整体约束,稍微偏离一点就会使工件无法进入夹具,同时也不能完全满足要求,只有一些孔和边缘可以做到,其他的限制条件只有一到两个方向。所以,必须对各关键部位在不同方向上的变形情况进行分析,确定其主要变形方向,从而限制该方向的变形。这种方法不仅节省了生产成本,而且还能有效地控制焊缝的变形。但这种方法也有一个缺点,那就是在一些特定的位置无法满足一定的条件下,必须要用其它的方法来控制。

第 2 步:将副车架主体和下部面板进行锁焊。副车架主体是整个副车架的主要构件,它包括上下两层和内侧的肋骨,是一种大型的空腔结构。当上板和下板连接时,在上板的四边和下板之间形成一个 T 形的焊口,一共有四个焊点,每个焊点的长度分别为 241 毫米、242 毫米、510 毫米、614 毫米。

3.2 副车架连接臂焊接的有限元分析

副车架和车体的联接臂是两个,一左一右,与车体相连。该连杆是由两个压板零件焊接而成,其焊点位于两个板件的边沿,上、下两个焊缝分别为 151 毫米和 83 毫米。在焊接完毕后,形成一种中空的连杆结构^[2]。

根据焊接变形的有限元模拟结果,得出了焊接接头的最大变形值为 1.025 毫米,有些部位的焊缝变形超出了规定的范围。

焊接后的连接臂是一个空腔,空腔处于压缩变形的状态,这是由于在焊接时,夹具不能支持内腔。所以,在这两个孔洞中增加了 x、y、z 三个限制条件,同时限制的面积尽量扩大到腔室的内部,在另一端的开口处也增加了 x、y、z 三个限制,限制面尽量扩大到腔室的内部。

通过加入约束条件后的变形云图,发现最大变形减小至 0.624 毫米,满足了标准。对这种空腔的工件,应尽可能地增加其刚性,若出现整体的弯曲,可以考虑采取预变形消除,而不需优化焊接过程。

3.3 副车架合焊焊接的有限元分析

第 4 步:将连杆臂与副车架主体进行焊接,该步骤是将左右两个车体连杆、两个板料冲压件与副车架主体进行焊接,四个零件分别与车体相连。各车体连杆下端由五条焊接线与副车架主体相连,五条焊缝之间形成一条断裂的环形焊接。两片板件由三条焊接和一条环状焊接组成的三角形凹槽,并与副车架主体相连接。

第 5 步:将挡板、螺母与副框主体进行焊接。由于副车架必须与三角摆臂相联接,因此必须在副车架上进行三角摆臂的装配^[3]。这一步骤是将摇臂安装板,挡板和螺帽焊接在副框架主体上。隔板的焊接非常简单,只需一道焊缝即可与主体进行连接;而摆臂安装板则是由三条焊缝与副车架主体焊接而成。

由优化后的焊接变形云图可以看出,最大的变形量由 1.051 毫米降至 0.778 毫米,达到了焊接变形的标准,无需对此进行优化。通过分析,说明在焊接过程中,尽量避免在焊接过程中对焊件进行约束控制,以确保工件在焊接后的加工精度达到要求。

第 6 步:副车架与车体装配衬套的焊接。副车架与车体之间有四个固定点,固定点由内衬套管与车体相结合。四根套管中的两根与左、右连接臂进行焊接,在每根套管的两侧分别有一条焊缝;两个与前面的冲压板相焊接,并由三条环状焊缝与冲压板相连^[4]。

由优化后的焊接变形云图可以看出,最大的变形量由 0.937 毫米降至 0.668 毫米,达到了焊接变形的标准,无需对该工艺进行优化。

从以上分析和工艺调整可以看出,在副车架主体上、下板的扣合焊中,采用常规方法难以将其焊接变形控制在合理范围之内,且由于焊接变形大而不能进行修正,因此必须对其进行深入的研究,并对其焊接工艺进行优化^[5]。

四、汽车副车架焊接工艺开发应用

4.1 机器人焊接自动化线的应用

为满足多种类型、高品质的产品的批量生产,目前,许多汽车底盘焊件生产厂商都采用了大量的焊接机器人和搬运机

机器人来代替手工的焊接和运输，从而提高了产品的质量和生产效率，并减少了生产成本。

目前，机器人焊接自动化生产线已成为副车架焊接技术发展主要趋势。本生产线由焊接机器人、搬运机器人、机器人外轴、BUFFER、专用焊接夹具、变位机、回转台、冲孔专机/机加工专机、自动检测设备、整体护室等构成。焊接工艺被尽量细化，甚至还有机器人的点焊过程^[6]。通过大量机器人、BUFFER 等设备之间的有效合作，实现了产品的整体焊接，而人工只负责装配、产品 BAYOFF 检查、下线装架。采用机器人进行焊接将极大地推动产品设计优化、调整冲压件尺寸以及尺寸协调，从而进一步提升产品的品质保障。此外，还可以很好地调整各个焊接工艺的节拍，确保焊接过程的节拍均衡。

在激烈的市场竞争下，汽车工业面对的是多品种、小批量的车型更新，对副车架机器人的焊接自动化生产线也需要高度的柔性^[7]。

4.2 超低飞溅、高速焊技术的应用

脉冲 GMAW、脉冲 MIG/MAG 焊接技术是目前汽车工业应用的一种高效高速焊接新技术。该两种焊接方式结合机器人，充分发挥了高效率的焊接特性，使机器人能够在空间上达到与焊接速度的协调与最佳结合^[8]。

P-GMAW 电弧工艺稳定、飞溅少、焊缝成型质量好、避免了因短路过渡焊温度低而导致的熔深不足，避免了常规喷射过渡焊在薄板、立焊、仰焊状态下不易维持熔池等问题。在 MAG 气体环境中，P-GMAW 能在极低的平均电流下生成，达到一脉一滴或一脉多滴过渡，并能在一定程度上降低熔融深度，减小焊接热影响区和焊缝变形，同时减小焊丝的宽度和长度，有效地抑制了高速焊咬边。

MIG/MAG 双丝焊主要有两种方法：一是 Twinarc 工艺，两条焊丝均使用相同的焊接工艺；另一种是 Tandem 方法，使用了两个单独的导流口和两个单独的功率源，并具有各自的焊接工艺。两种焊接设备大体上相似，都是由两台焊接电源，两台送丝机，一台普通的送丝枪。采用双丝脉冲 MIG/MAG 焊，在设定最优的条件下，可以实现无短路，几乎无飞溅的转变。在实际应用中，Tandem 工艺可以实现 30mm/s 的快速焊接，不仅提高了焊接效率，而且热影响区较少，其产品的疲劳强度也比同类的单丝焊接要高得多。

4.3 焊后液压冲孔工艺、焊后机加工工艺的应用

副车架的孔尺寸和精度都有严格的要求，孔的孔位一般在 $\phi 2\text{mm}$ 以下，少数不重要的孔需要 $\phi 3\text{mm}$ ，但孔组必须符合相关的尺寸要求，而相关的位置要求可以小于 $\phi 1\text{mm}$ （例如，摇臂支撑 U 口的两个孔同心度为 $\phi 0.5\text{mm}$ ）。

将焊件上的零件进行冲压或机械加工，以确保孔的定位精度，不需要冲孔或加工孔，节约设备，但由于焊接引起的热变

形，很难保证焊后的孔位尺寸要求，尤其是有配合关系的孔组间的要求。对孔位的匹配要求在焊接后进行冲压或机械加工，从而可以严格地确保孔群之间的定位精度，并且尺寸精度 CPK 值很高。目前，许多制造商都在采用专用的液压冲孔机或专用的机械来辅助焊接生产。

4.4 焊接专用夹具的应用

目前，焊接夹具已广泛应用于气力夹持与电气控制，而整体式自锁式气缸是夹持装置的模块化。在设计时，应全面考虑焊接飞溅、粘附、烧损等问题，例如三层防火管、全铜快速接头，电气配线、气缸磁性开关、阀岛、远输入/输出模块、电磁阀等都要有防溅器，靠近焊缝的定位块或夹持块也要涂上铜色。

焊接夹具的基准定位应符合 RPS 基准的一致性（即工艺基准、检测基准和设计基准的一致性），并且在一定的情况下，可以调整坐标（平行于 X、Y、Z），在特定情况下还可以调整角度方向。通常使用 3 毫米或 5 毫米的预置衬垫进行工艺调试。为了解决焊接过程中的变形误差和冲压零件自身的回弹，必须对夹具进行充分的气力夹持力，对较高的零件应选用气动扩力机构、气液增压缸或加力缸。尤其要注意在设计时调节衬垫的排列和夹紧方向，通常采用反向焊接尺寸和焊缝翘曲的方向进行优化。

五、结语

由于焊接机器人的应用范围已经扩展到了劳动密集型、附加值较低的行业，加之劳动力结构的不足和人力成本的迅速上升，由“备选”变成了“必选”，而机器人焊接自动化则是实现制造业转型和提高企业竞争力的一条重要途径。

参考文献：

- [1] 钟安庆,郭维斌.汽车起重机副车架焊接变形的原因及预防工艺[J].辽宁工学院学报(自然科学版),2002,22(5):29-30.
- [2] 张涛,俞斌,孙厚勇,等.汽车副车架结构件焊接残余变形预测[J].焊接技术,2013,42(7):58-60.
- [3] 陈来,王占坤,邹纯,等.汽车用铝合金副车架成形工艺及应用现状[J].铸造,2019,68(4):390-395.
- [4] 杨琨,万党水,冯奇,等.铸造铝合金前副车架焊接工艺设计与优化[J].上海汽车,2016(8):54-57.
- [5] 殷钢.轿车前副车架焊接制造工艺分析[J].交通科技,2014(4):124-126.
- [6] 施连青,欧阳效文.汽车副车架焊接热变形控制方案分析[J].装备制造技术,2015(8):151-152,166.
- [7] 范剑群.汽车副车架焊接工艺开发探讨[J].数码世界,2018(12).
- [8] 谢晖,戴舒拉.轿车副车架焊接变形优化研究[J].计算机仿真,2017,34(9):156-159.