

降低 CO₂ 气体保护焊飞溅的研究

清华大学(北京市 100084) 严小生 区智明 丁江平 曹贞全

摘要 阐述了 CO₂ 气体保护焊飞溅的产生原因,介绍了各国在该领域的研究现状,详细分析了现存控制方法在原理上存在的问题,归纳出有效降低焊接飞溅的关键。介绍了作者成功开发的一种能十分有效降低焊接飞溅的新方法,并展示了跟现有焊机的对比实验的结果。

关键词: 短路过渡气体保护焊 飞溅 熔滴过渡 控制

RESEARCH ON REDUCING SPATTER OF CO₂ GAS SHIELDED ARC WELDING

Tsinghua University

Yan Xiaosheng, Ou Zhiming, Ding Jiangping, Cao Zhenquan

Abstract In this paper, the cause and mechanism of welding spatter in short circuit transfer CO₂ gas shielded arc welding are investigated, and the current research and development status in this field is introduced. After the basic problems in the existent control methods are analyzed, the keys to reduce welding spatter are summed up, The basic principle of a new method for reducing spatter is introduced, and the evident result of contrastive experiments with existing machine is demonstrated.

Key words: short circuit transfer gas shielded welding, spatter, drop transfer, control

0 引言

CO₂ 气体保护焊就是典型的短路过渡焊接方法,是工业生产中一种重要的方法,尤其是在全位置焊接较薄工件的焊接工艺中有着广泛的应用,是在工业生产中应用广泛的低成本的易于自动化的工艺方法。但是,短路过渡焊接方法存在着严重的缺点,就是焊接过程飞溅很大。焊接飞溅会导致焊接质量下降、影响工件美观、恶化劳动条件和污染环境。同时,焊接飞溅物还会对产品产生其它不良影响。

1 焊接飞溅产生的机理

在 CO₂ 气体保护焊的短路过渡过程中,燃弧阶段,焊丝熔化形成熔滴,熔滴与熔池短路形成金属液桥。随后,熔滴在熔池中迅速铺展,熔滴在液体表面张力、重力、流过液桥电磁收缩力的作用下向熔池过渡,最后在这些作用力的作用下与焊丝断开,重新引燃电弧,开始新的过渡周期。许多学者对飞溅进行了细致的研究,认为 CO₂ 气体保护焊主要有以下几种形式的飞溅:

(1)短路初期“瞬时短路”产生飞溅。短路初期,熔滴刚刚接触熔池时,由于接触面积小,电阻和电流较大,熔滴受电磁力过大,熔滴被迅速排斥出熔池,形成飞溅,也有可能形成爆炸飞溅。

(2)短路末期短路液桥缩颈“电爆炸”产生飞溅。当熔滴在熔池表面充分浸润、铺展后,在焊丝与熔池之间形成短路液桥。液桥在表面张力、重力及流过液桥的短路电流引起的电磁收缩力的共同作用下产生收缩,形成很细的缩颈。随着电流的增加和缩颈截面积的减小,通过缩颈的电流密度增加得很快,对缩颈急剧加热,产生能量积聚,最后导致缩颈液体金属发生汽化爆炸,引起金属颗粒的抛出,形成飞溅。这种飞溅机理被称为“电爆炸”飞溅理论。短路末期的短路电流越大,缩颈发生“电爆炸”时的几何尺寸越大,飞溅越严重。

(3)燃弧初期电弧冲击熔池产生的飞溅。

(4)燃弧后期“斑点力”引起的飞溅。

(5)其他原因引起的飞溅。如:溶入熔池或熔滴的 CO₂ 气体体积膨胀、爆炸,会造成金属飞溅;焊接过程不

稳定时,焊丝直接插入熔池,发生“固体短路”。

实验和测试表明,产生飞溅的主要原因是由于当短路液桥收缩到较细时,短路电流对液桥的迅速加热,导致液桥气化而爆炸引起的。在两种情况下,会引起短路液桥爆炸和飞溅:在熔滴刚刚短路初期和液桥收缩到后期即将断开时。因为这两种情况下液桥直径都比较细,液桥金属容易加热到高温爆炸。但是,由于在短路初期电流比较小,焊接的输出直流电感限制了短路电流的增长率,一般情况下不会在短路初期引起液桥的爆炸和飞溅。除非在焊接电流较大、电源特性较软、燃弧电压较高时,短路前电流才会较大。同时,只有当短路前的熔滴直径较小时才会出现短路初期的爆炸和飞溅,以前人们称之为“瞬时短路”。所以,短路过渡焊接飞溅主要发生在短路后期,当液桥直径收缩到较细、短路电流增长到较大时的液桥爆炸。

2 国内外研究现状与分析

为了减少短路过渡焊接飞溅,国内外学者和工程技术人员进行了大量研究工作,取得了不少进步。但是,由于没有根本解决熔滴过渡和产生飞溅之间的基本矛盾,所以,不可能取得很好效果。下面就各种减少焊接飞溅的方法和目前的研究现状进行分析。当前,致力于减少焊接飞溅的方法,可以分成下列几类方法:

2.1 常规方法

常规方法指的是目前已在生产中广泛应用的方法,如采用混合保护气体的方法、优化焊机输出直流电感设计的方法、采用电子抗器调节电源动态特性的方法等。这些方法虽然对降低焊接飞溅有一定的效果,但是都没有直接对液桥后期电流进行控制,所以收效甚微。现有的常规 CO₂ 焊机只是给焊接电弧提供一个电源,常规的方法只能改变电源的静特性和动特性,缺乏对熔滴过渡过程的实时控制,所以不可能取得很好的效果。

2.2 控制焊丝的瞬时回抽,利用机械力来协助或控制液桥过渡的方法

这种方法的意图要通过焊丝的瞬时回抽,用机械力来实现液桥过渡,避免液桥后期在大电流下爆炸。在短路液桥收缩过程中的后期,在适当的时机,降低液桥电流,通过控制焊丝回抽来拉断液桥。由于该方法是想在低电流条件下用机械力来拉断液桥,在原理上,可以避免液桥在大电流下的爆炸和飞溅。

但是,通过对系统的数学模型的定量计算,就可以发现这种方法实际上是行不通的,原因在于焊丝回抽

系统的动态响应不足。焊丝回抽系统的动态响应决定于检测和控制系统的动态响应、电机和减速机械系统的动态响应和焊丝在送丝软管中运动的动态响应三部分组成。且不说前两部分的动态响应就比液桥后期的收缩过程慢得很多,光是焊丝在送丝软管中的滞后时间就比液桥收缩时间要长得多。即使将从送丝轮到焊丝端部距离减少到 30 cm,焊丝在送丝软管中的滞后时间仍然太长。因此,这种方法实际上是行不通的。

2.3 电流波形控制

这种方法的主要想法是根据短路过渡电弧对电流波形的需要,采用两组设计好的电流波形,分别控制短路和电弧期间的状态,希望获得较好的效果。最常见的典型波形控制方法就是所谓的“表面张力过渡 STT 方法”,但是从原理上,波形控制方法存在下列几个方面的主要问题:

(1)由于熔滴过渡的随机性和分散性,每个熔滴的过渡过程都不相同,所以预置电流波形难以跟每个熔滴过渡过程同步和适应;

(2)缺乏短路液桥收缩状态的准确检测,电流控制缺乏依据;

(3)由于电流波形受控或者受到限制,影响了电弧弧长的自调性能和稳定性;

(4)由于直流电感的存在或焊接电源动态响应不足,难以实现电流的快速实时控制;

由于缺乏对每个熔滴收缩过程后期的针对性控制,难以收到理想效果。

2.4 电流波形的寻优控制

这种方法主要是在电流波形控制的基础上,根据电弧和熔滴过渡状态,利用计算机对电流波形进行修正和优化。根据若干周期熔滴过渡的平均状态来判断和改变后面的电流波形,这种方法主要问题有下列两个方面:

(1)只能实现平均控制,不可能针对每个熔滴过渡过程进行控制,而熔滴差异性很大,不可能有很好的效果,因此具有波形控制的相同缺点;

(2)由于熔滴过渡的分散性和差异性,系统只能对若干个熔滴过渡参数进行采样和平均。由于采样系统动态响应不够,系统控制的动态响应不可能很快,否则就会出现系统振荡。

2.5 切换两组电源外特性的控制方法

在短路和电弧状态,分别切换两条不同的电源外特性,分别控制短路状态和电弧状态。每条外特性可由不同的斜率段组成复合外特性。

该方法的问题与电流波形控制方法的问题大致相同,只是电流不是固定波形,而是固定的外特性。因而电弧具有较好的弧长调节作用,在保证液桥顺利过渡的前提下,短路期间的外特性可以对短路电流进行一定限制。因此,这种方法的弧长自调性能比波形控制方法好,飞溅比常规方法小。但是没有解决根本矛盾:液桥收缩过渡需要较大的液桥电流,而减少飞溅希望较小的液桥电流。

2.6 焊接回路串联控制器的方法

在这种控制方法中,在焊接回路中串联控制器件。当液桥收缩到足够细时,关断器件,这时液桥电流由与器件并联的电阻提供,希望液桥在很小的电流下过渡。但是,这种控制方法存在下列的问题:

(1)缺乏液桥收缩过程的准确检测,实施控制时刻缺乏依据和准确性;过早控制液桥电流会影响熔滴的顺利过渡,过迟则控制效果没有;

(2)另外,器件关闭时,液桥电流不能迅速减小,阻容保护回路通过的瞬时电流足以引起液桥的爆炸和飞溅;如果阻容保护回路太小,由于直流电感的存在,器件关断时会引起较大的过电压;而且,器件在整个焊接过程中几乎都处于导通状态,通过几乎全部焊接电流,器件的功耗和成本较大。

2.7 复合外特性的控制方法

这种方法将短路液桥收缩过程和电弧过程分成若干个瞬时过程,根据每一瞬时过程理想状态下需要的电流、电压值,设计出相应的理想外特性段。并实现这些外特性段的自动连接和自动转换,构成一条能针对熔滴过渡每一瞬时过程的复合电源外特性。图1就是这样一种复合外特性,它可以实现对短路过渡电弧的控制。恒流特性段AB可以避免瞬时断弧。BC段斜率跟电弧斜率相当,使电弧具有很强的弧长自调性能,弧长稳定。DC段特性斜率很大,电弧工作点不可能在上面停留。当弧长变短即将短路时,工作点会跳至恒流段DE,使熔滴在很小的电流下短路避免“瞬时短路”飞溅。熔滴短路后,在上升特性段EF作用下,电流迅速增长,给短路液桥提供足够的收缩力,同时陡降特性FG限制了短路电流峰值。在FG段作用下,液桥迅速收缩。随着液桥收缩过程,电阻增大。当液桥收缩到即将爆断时,工作点已经跑到DE特性段上,这时液桥电流很小,不足引起液桥的爆炸和较大飞溅。当液桥断开后,工作点又跑回到燃弧特性BC上。上述过程不断循环,电弧和熔滴过渡得到控制。

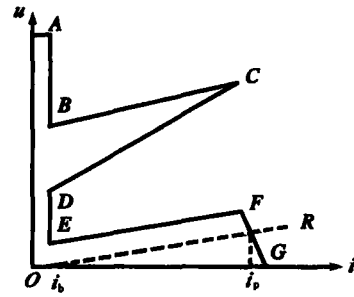


图1 复合外特性控制方法

这条复合的电源外特性同时实现了液桥状态的检测和控制,它可以使熔滴刚接触熔池的电流和液桥即将断开时的电流降到很低的水平,把焊接飞溅降低到很小。同时,由于在它的控制下,短路电流和燃弧电流都比常规的方法大,所以燃弧和短路时间变短,熔滴的过渡频率能达到150~200 Hz,焊缝波纹比常规方法要细得多。但是,这种方法在应用上也存在问题:它需要电源具有很好的控制性能和很高的动态响应,这样的电源功耗大、成本高、商品化比较困难。

3 降低焊接飞溅的有效方法

根据上面的分析,要解决和降低焊接飞溅问题,必须做到下列几点:

(1)必须准确检测短路液桥收缩过程液桥直径变化,为液桥电流的控制时刻提供依据。短路电流在液桥即将断开时,电流对液桥的急剧加热会引起液桥的气化、爆炸和飞溅;但是,短路电流也是促使液桥过渡的电磁收缩力的来源。电流液桥过早下降会影响液桥的正常收缩过渡,破坏正常的焊接过程。同时,由于液桥后期的收缩是一个加速收缩的突变过程,液桥电流控制稍迟片刻,就会导致控制失效。所以要求液桥直径检测系统具有很高的准确性和很快的动态响应;

(2)由于液桥后期的收缩是一个加速收缩过程,后期收缩很快,时间很短。而且短路期间焊接回路的时间常数很大,常规方法获得的电流下降速度离上述液桥电流要求的下降速度相差甚远。必须采用特殊方法取得极快的液桥电流下降速度,才能对液桥在即将爆断的瞬间,将电流快速降下来,避免液桥爆炸和飞溅。

4 新方法的主要特点

我们最近研究成功的新系统,成功地解决了上述问题,明显有效地降低了CO₂气体保护焊的飞溅。新的控制方法具有如下特点:

(1)系统在熔滴短路期间能够实时准确地检测出短路液桥在收缩过程中直径的变化;

(2)当短路液桥收缩到足够细时,系统迅速将液桥电流降低到很低的水平,使液桥在很小电流下实现平顺过渡,避免了短路液桥爆炸引起飞溅;

(3)液桥直径的检测通过对焊机输出的电流和电压进行运算判断获得,不需要特别的焊接电缆,也不需要附加检测线,实用性很强;

(4)系统具有极高的动态响应,能在短路状态下使短路液桥电流下降速度达到 400 A/100 μs,并且电流下降速度能够控制;

(5)由于该方法不受焊机电源影响,所以它能够适应任何类型的 CO₂ 气体保护焊机,如可控硅整流式 CO₂焊机和逆变式 CO₂ 焊机等;

(6)焊接飞溅率小于国内、国外任何公司同类焊机;

(7)系统在氩气和混合气体保护时,效果比 CO₂ 保护焊时效果更好;

(8)系统可以改善焊缝外观和成形。使焊缝表面更加光滑,焊缝更加扁平美观;

(9)系统具有很低的成本;

(10)新的控制方法不同于国内外常规控制方法,构思独特,技术含量较高,具有独立的知识产权,并已经申报了国内发明专利和国际的 PCT 专利申请。

5 新方法的工艺效果和比较实验

为了说明新方法降低飞溅、改善焊缝成形的明显工艺效果,我们设计了一系列对比实验,来考察和比较新系统性能。

5.1 观察新系统的电流波形

控制系统工作时,焊接电流和焊接电压的波形照片见图 2。从照片中可以看出,在液桥即将断开时,系统能够准确检测和判断,并以极快的速度将液桥电流快速降下来,避免了液桥在大电流下爆炸引起飞溅。

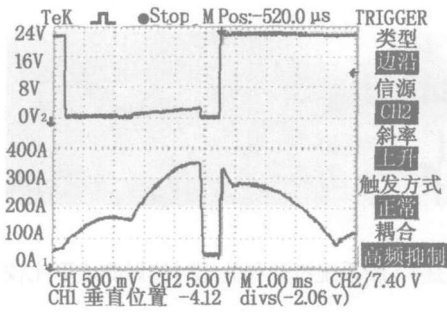
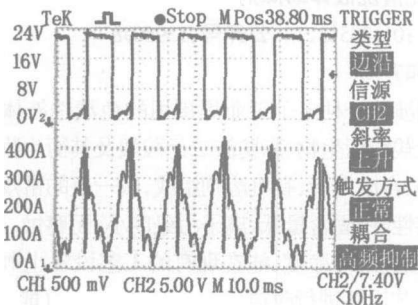
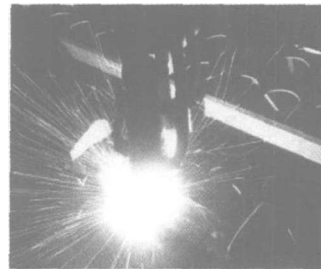


图 2 在新方法控制下,电弧的电流、电压波形

5.2 观察和比较焊接飞溅

为了排除手工操作因素的影响,采用自动焊方式,在焊接过程中分别打开(ON)和关闭(OFF)控制系统,比较系统工作时和不工作时飞溅的状况。

试验结果表明,新系统工作时,焊接飞溅有大幅度降低。无论从视觉或者听觉都能明显感觉到飞溅的显著降低;对比效果十分明显。图 3 是关闭系统和打开系统时焊接电弧飞溅的比较。



(a) 电流、电压波形



(b) 单个电流、电压波形

图 3 焊接电弧飞溅的比较

5.3 焊缝外观与焊接成形比较

为了排除手工操作因素的影响,采用自动焊方式,在焊接过程中分别打开(ON)和关闭(OFF)控制系统,比较系统工作时和不工作时焊缝成形和外观。对比实验结果表明,当新系统打开时,焊缝表面明显变得光滑,波纹变细,焊缝成形明显改善,焊缝变得扁平美观。图 4 就是在一次焊接过程中关闭系统和打开系统得出的焊缝对比。

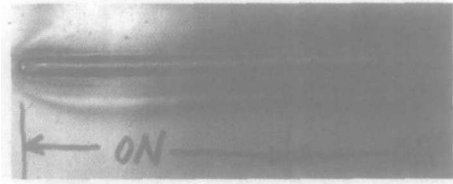


图4 新系统打开和关闭时的焊缝成形比较

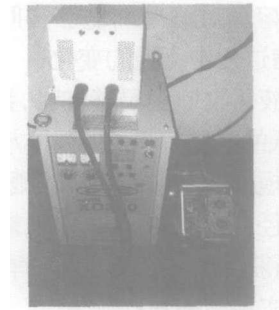


图5 降低焊接飞溅的独立控制箱

6 降低焊接飞溅的独立控制箱

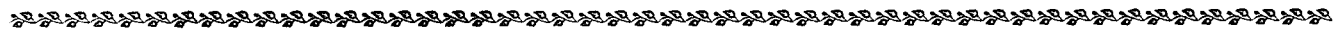
为了便于新系统与现有焊机进行连接,进行性能比较和降低焊接飞溅效果比较实验,我们将新系统制作成独立的控制箱,见图5。这种降低焊接飞溅的独立控制箱也可以作为一种专门产品,能与任何现有的短路过渡气体保护焊机连接,降低焊接飞溅。欢迎对此技术有兴趣的公司将焊机送到我们实验室来进行测试和对比试验,并进一步商谈合作事宜(联系人:清华大学机械系区智明教授)。目前已经有7家日本、美国和欧洲等焊机公司前来进行参观、测试和商谈合作,并与日本一家著名焊机公司签订了技术转让合同。

7 结 论

我们研究成功的减少短路过渡的新方法,能够准确检测液桥在收缩过程的直径的实时变化。当液桥收缩到即将爆断时,能够迅速将液桥电流降下来,避免了液桥爆炸引起的飞溅。新方法降低飞溅的对比效果十分明显,并且能够改善焊缝外观和成形。

(收稿日期 2005 03 20)

作者简介: 严小生, 1979年出生, 在读硕士研究生。



焊接专利

专利名称: 铝焊锡丝

专利申请号: 01128512.5 公开号: 1398695

申请人: 邓和升

本发明涉及一种用于供电器、电光源、通讯、仪表等电子设备中铝及铝合金的铝焊锡丝,内芯为焊剂,外层为合金焊料。外层的合金焊料按重量百分比由25%~35%的锡和65%~75%的铅组成;内芯的焊剂按重量百分比由5~20%氟硅酸重金属盐,5%~20%氟硼酸重金属盐,60%~80%多乙烯多胺,5%~10%凡士林组成;外层的合金焊料和内芯的焊剂按重量百分比合金焊料为97.5%~98.2%,焊剂为1.8%~2.5%。本发明也适用于不锈钢、铜及铜合金、镍基合金等材料,尤其适用于上述材料制成的灯头的软铅焊,焊接时润湿性好,腐蚀性小。

专利名称: 无铅钎料

专利申请号: 02129643.X 公开号: 1398696

申请人: 薛松柏 廖高兵

无铅钎料,它涉及一种合金,特别是一种无铅的钎焊合金。锡-银-铜三元无铅合金虽然在许多性能上接近锡-铅合金,但仍存在许多不足,它在铜等金属表面的铺展性能、填缝性能较差,润湿角较大,熔点偏高。本发明包括锡、银、铜,在锡、银、铜内加入微量铅和任选镉、铈中的一种,按质量计,锡占94.7%~98%,银占1%~

3.5%,铜占0.5%~1.5%,铅占0.01%~0.2%,镉或铈占0.001%~0.1%。本发明可用于电子元件的钎焊或其它行业的相关产品的连接应用,使钎焊性能得到显著的提高。

专利名称: 无铅焊料

专利申请号: 01128511.7 公开号: 1398697

申请人: 邓和升

本发明涉及一种用于电子、仪器、仪表、灯饰等行业的无铅焊料,它包括按重量百分比组成含有:0.003%~5%的铟,0.2%~5%的铋,0.5%~3%的铜,0.2%~5%的银,其余为锡。该无铅焊料的力学性能、焊接温度、电性能与传统焊料相当或有提高,且可拉制成为0.5 mm的无铅锡丝,对人体和环境无损害。

专利名称: 免清洗液体助焊剂

专利申请号: 01128513.3 公开号: 1398698

申请人: 邓和升

本发明涉及一种电子工业焊接用的免清洗液体助焊剂,由脂肪族一元羧酸衍生物、脂肪族二元羧酸及其衍生物、非离子型表面活性剂、合成树脂、有机溶剂组成,以一般的常规工艺制备。本发明焊接性好,固含量低、离子污染度小、无腐蚀、表面绝缘电阻高,具有较高的洁净度,能在现有的工艺设备上顺利应用,不必对现有工艺设备进行改造。 (能专供稿)