

文章编号: 1002-025X(2007)02-0001-04

CO₂ 气体保护焊实心焊丝的应用现状和发展动态

李春国, 王惜宝, 孙洪玲

(天津大学 材料科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 阐述了国内外CO₂气体保护焊实心焊丝的应用现状, 重点分析了制约我国实心焊丝发展的主要因素, 并分别以新型非镀铜焊丝和活性无镀铜焊丝为例提出了CO₂气体保护焊实心焊丝发展所面临的问题及将来的主要方向。

关键词: 实心焊丝; 非镀铜焊丝; 活性无镀铜焊丝

中图分类号: TG422.3 文献标识码: B

1 概述

CO₂气体保护焊是上世纪50年代发展起来的一种高效焊接技术, 由于其生产率高, 并具有焊接成本低、能耗低、焊接变形小、适用范围广、抗锈能力强以及焊后不需清渣等优点, 故大量应用在低碳钢、低合金钢等钢铁材料的焊接中, 同时, 由于CO₂气体保护焊可以进行不同厚度工件的各种位置的焊接, 便于实现自动化生产, 也推动了焊接机器人在这一领域上的推广应用, 使其成为焊接向智能化、高效化发展的主导方向^[1]。

在CO₂气体保护焊焊接方法、焊接电源不断完善的同时必须注意: 要想大力推广CO₂气体保护焊必须加大对其实心焊丝和药芯焊丝的研究工作, 以适应焊接新型结构材料的需要。但由于我国药芯焊丝的发展较晚, 技术还不够成熟而且生产成本较高, 在焊接稳定性方面存在很大问题, 致使现在其应用范围还比较窄, 所以大力发展实心焊丝势在必行。实心焊丝的发展在近些年比较迅速, 在表面处理上, 从最早的化学防锈处理发展到电镀铜、热浸镀铜再到今天广泛应用的化学镀铜, 在品种上也从单一品种发展到几十种, 甚至上百种^[2]。但随着钢铁工业的快速发展, 新型钢材的不断涌现, 尤其是“纯净化、微合金化和控轧控冷”等技术在钢铁企业的逐步推广, 钢材的品质得到大幅度提升, 同时发达国家正在加紧研发相当于目前常用钢材强度2倍, 3倍甚至更多倍的超级钢及金属玻璃等特殊材料, 这些都使得与之对应的焊材的品质升级相对落后, 所以必须加快实心焊丝焊接性能的改进和应用推广, 否则将会严重阻碍CO₂气体保护焊的发展^[3]。

2 实心焊丝的国外发展现状

国外发达国家的气保焊实心焊丝的发展经历了上世纪60~

80年代的高速发展时期后, 已步入比较成熟的传统产业范畴。但其中占主导地位一些大的研究机构如巴顿焊接研究所、林肯公司、日本神钢等仍旧在实心焊丝的品种、使用和工艺性能等方面处于技术领先地位, 其中日本在实心焊丝的发展上处于世界领先地位。1972年世界发生第一次石油危机, 对日本经济产生巨大的冲击, 造船行业首当其冲, 焊材产量直线下滑。在这一艰难时期, 日本焊接工作者提出大力推广高效率的CO₂气体保护半自动焊取代焊条电弧焊, 以降低生产成本, 提高产品的国际竞争力。这一具有战略意义的措施发挥了重大作用。从此其实心焊丝的产量迅速增加。日本的焊条比例从1980年的约占58%, 降低到1999年的不足20%, 而实心焊丝的比例上升到40%左右, 同时美国和西欧等发达国家和地区也在同一时期大力推广CO₂气体保护焊, 实心焊丝的产量迅猛增加, 上世纪末不同国家和地区的实心焊丝产量情况见表1^[4]。

表1 一些发达国家和地区及我国的焊材产量及结构比例

国家或地区	钢材产量 / 亿t	焊材总量 / 万t	实心焊丝 / 万t	焊丝占焊材比例 (%)	年代
日本	1.040	28.70	5.4	40	1999
美国	0.975	40.00	12.4	31	1998
欧盟	1.340	60.00	33.6	36	1998
中国台湾	0.160	5.00	1.35	27	1998
中国内地	1.200	96.38	13.00	13.48	1999

美国、日本等国的焊接研究机构在CO₂气体保护焊的研究中作了大量的工作, 包括改进电源、改善焊接工艺、研发焊接材料等, 对于焊接材料的研究主要是指实心焊丝和药芯焊丝。对实心焊丝的发展, 国外的研究重点主要集中在以下几个方面: 通过改进焊丝合金元素的种类和含量来增加焊丝的种类以适应不断涌现的新钢材的焊接; 从改变电弧稳定性、降低飞溅方面来研究低飞溅、成形好、电弧稳定的焊丝;

从环保角度来研制非镀铜焊丝, 减少原来镀铜焊丝生产工艺对环境造成的污染以及使用过程中对焊接工人身体健康的危害。

收稿日期: 2006-10-30

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50275106)

3 实心焊丝的国内发展现状

我国早在上世纪50年代末就开始研究并推广CO₂气体保护焊工艺，但由于种种原因，直到上世纪80年代初，熔化极气体保护焊的应用仍不多。据统计，1982年CO₂气体保护焊机占焊机总量的3.1%，1984年CO₂焊占焊接总工作量的5%，焊丝品种也很少。随着改革开放的不断深化，一些中外合资企业生产的产品要求采用气体保护焊，部分大型企业引进了国外的先进技术和设备。如1983年天津焊丝厂从德国引进焊丝镀铜设备，1984年常州焊条厂从德国引进全套生产设备，推动了焊接技术的应用和焊丝的发展。

目前，随着我国钢铁结构产量的急剧增加，CO₂气体保护焊的应用在各种焊接中的比例也迅速增加，我国近十年来的钢材、焊材、实心焊丝表观消费量以及实心焊丝占有所有焊接材料的比例见表2^[5-9]。

表2 我国焊材产量及结构比例

年代	钢材表观 消费量/亿t	焊材表观 消费量/万t	实心焊丝表观 消费量/万t	实心焊丝占 焊材的比例 (%)
1996	1.002 5	62.96	8.30	13.18
1997	0.998 7	80.00	9.90	12.40
1998	1.073 8	82.00	11.80	14.30
1999	1.210 2	96.38	13.00	13.48
2000	1.276 0	101.00	13.50	13.36
2001	1.530 0	119.00	15.35	12.90
2002	1.921 8	150.00	23.60	15.73
2003	2.300 0	179.00	30.00	16.76
2004	2.970 0	190.00	36.30	19.10
2005	3.250 0	230.00	45.40	19.70

从表2可以看出，从2001年以后，我国钢材的表观消费量以平均每年近20%的比例增加，焊材的表观消费量也几乎以相同的速度增加，特别应该注意的是，实心焊丝在随焊材整体增长的同时，在焊材中所占的比例由原来的12.9%增加到19.7%左右，可见CO₂气体保护焊技术已经得到较为广泛的认可。

但由于我国现有实心焊丝的生产设备较为落后，未能及时更新，同时在生产高强高韧焊丝方面技术还不成熟，所以高层建筑用高强度、管线钢X70、工程机械用1 250 MPa高强度、H型钢、耐候钢、耐候钢、防震钢和高性能耐热钢、低温钢中大部分钢种国内尚无实心焊丝与之配套，例如我国在“西气东输”工程中采用CO₂气保护焊根焊时，适用的焊机为LINCOLN公司的STT型逆变电源+LN-742送丝机，飞马特公司的ULTRA FLEX PULSE 350焊机+ULTRA FEED 1000送丝机，而用的焊丝主要是锦泰、四川大西洋、法国SAF、日本神钢等焊材生产厂家生产的焊丝，可以看出，在要求较高焊接性能条件下，进口焊丝仍旧占主导地位。另外，还有近些年开发的高性能复合材料等，可以说随着科技的发展和新材料的不断涌现，我国各焊接企业必须时刻注意焊接发展的新动向，发展新型焊接材料

和焊接工艺^[7]。

综上所述，我国实心焊丝的应用和研究现状与发达国家和地区相比还有较大的差距，在自动化程度，焊丝的质量、种类方面还需进一步提高，以解决我国能源、交通、基础设施建设中需大量引进国外焊丝的问题，为国家建设降低成本。

4 我国实心焊丝的发展方向

实心焊丝的发展离不开CO₂气体保护焊整个焊接工艺的逐步完善，如对焊接电源的改进、焊接过程的控制等，但实心焊丝的发展却在其中起到至关重要的作用。国内在实心焊丝的发展上今后将主要集中在改变焊丝在焊接过程中的物理冶金行为方面，下面介绍的2种焊丝是目前正在被研究且有很大应用开发前景的新产品，它们将成为实心焊丝今后发展的主导方向。

4.1 新型非镀铜焊丝

新型非镀铜焊丝是新一代的气体保护焊用实心焊丝，是基于强烈的环保需求和成本压力应运而生的。从2000年开始，国外已出现采用新型涂层处理的非镀铜气保护实心焊丝。目前，日本、美国等工业发达的国家大力研制、开发、推广应用非镀铜焊丝，该焊丝已有迅速取代镀铜焊丝之势。其中发展较快、技术较为成熟的是日本，其焊丝月产量已达千吨以上^[9]。我国非镀铜焊丝发展也较快，其中锦泰、三英、猴王、广泰等焊接材料公司已研制开发出这种焊丝，并在生产中推广使用^[9]。

非镀铜焊丝是应用纳米技术和现代金属间化合物胶体涂层技术，对焊丝表面进行新型涂层处理，以替代镀铜处理。与传统镀铜焊丝相比，具有如下优点：电弧稳定、飞溅小、成形美观；涂层附着力比镀铜层更紧密，送丝稳定；防锈能力强；焊接时烟雾小，制造中对环境污染小；制造成本低。主要表现在：

- (1) 焊丝送丝性能与电弧稳定性较镀铜焊丝优越，主要是由于非镀铜焊丝采用了特殊的表面处理技术和纳米技术，焊丝表面涂敷了一层极薄的特殊物质，该物质与焊丝结合紧密，不存在脱落现象，使焊丝的送丝性能与电弧稳定性大幅度提高。
- (2) 非镀铜焊丝的表面活性成分使得焊接过程中实现小颗粒过渡，飞溅比镀铜焊丝的少，尤其是大颗粒飞溅明显减少。
- (3) 焊缝成形方面和镀铜焊丝相比，余高减小，表面成形美观，焊后表面基本不用清理。
- (4) 焊接烟尘量较镀铜焊丝减少20%左右，尤其是有毒元素铜的含量大大降低，有利于保护焊工的身体健康。
- (5) 防锈性能方面，传统镀铜焊丝的表面镀铜主要是为了防锈，增强导电性，减小焊丝的表面粗糙度，从而改善送丝性能。在实际生产中发现，镀铜焊丝的腐蚀一般是从镀铜层下的铁基表面先开始的，使表面与基体紧密性变差，严重时焊丝经过送丝轮时镀铜层成片脱落，堵塞送丝软管，从而影响正常送丝。而非镀铜焊丝涂层对焊丝表面的附着力比镀铜层更紧

密, 具有更好的防锈性能。

从国内目前的情况来看, 新型非镀铜焊丝并没有得到广泛的推广使用, 主要是由于非镀铜焊丝质量波动较大, 不同厂家的产品质量差异较大, 即使是同一厂家也出现一批焊丝反映好用, 一批焊丝反映难用等现象, 主要表现为导电嘴磨损严重, 焊丝表面涂层导电性能不稳定, 影响电弧稳定性等问题, 不能满足生产要求^[10]。因此, 非镀铜焊丝的质量有待不断改进提高。基于此对新型非镀铜焊丝的发展提出以下几点建议:

(1) 加大对涂层中可加入的化学成分的研究, 研究不同化学成分对焊接过程中的工艺性能和物理冶金行为的影响。

(2) 改进我国现有的生产非镀铜焊丝的生产线, 提高焊丝表面纳米涂层的均匀性以及整个生产线的工艺稳定性。

(3) 加强技术交流, 使各个焊丝生产厂家的技术优势互补, 同时要与世界接轨, 加强国际间的交流与合作, 在引进国外先进技术的同时也使我国自主研发的产品符合国际化标准。

4.2 活性无镀铜焊丝

活性无镀铜焊丝天津大学焊接实验室自主研发的一种新型CO₂气体保护焊实心焊丝, 主要为解决焊接飞溅大、焊缝成形差的缺点。通过对送丝机构和焊枪的改造将活性剂加入到实心焊丝中, 并已研制出了1套完整的可应用到生产中的焊接工艺。通过大量的研究性试验, 包括设备结构的稳定性试验、活性剂的最优化试验等已经取得了非常理想的结果。在焊接飞溅、焊缝成形方面较普通的无活性剂的焊丝都有较大的提高^[11]。

4.2.1 活性无镀铜焊丝的作用机理

(1) 在活性无镀铜焊丝中, 由于加入了活性剂, 活性剂的电离电压比CO₂低, 这就大大降低了混合气体的有效电离电压, 使电弧气氛中产生带电粒子比较容易, 有利于形成射滴过渡, 这样使熔滴过渡时比短路过渡更平稳, 从而降低飞溅^[12]。

(2) 从热效应方面讲, 在一定条件下, 自由电弧的导电截面取决于电弧外围气体的导热性。导热性愈强, 电弧断面直径自动收缩的程度就愈大。在CO₂气体保护焊中, 正是由于CO₂气体导热性强, 对电弧具有强烈的冷却作用, 电弧热损失增加, 使电弧缩小, 热量集中。而使用活性无镀铜焊丝的气体保护焊中, 由于加入的活性剂中的离子的热导率比CO₂气体的热导率低许多, 这样低的导热性能改变了弧柱与外围气体的热交换条件, 大大减少了径向热耗散, 促使弧柱扩展, 所以表现在电弧形态上, 就呈现为电弧范围较大, 弧根扩展, 热量分布均匀, 熔滴细化, 易于脱离焊丝, 熔滴过渡频率加快, 飞溅降低, 大颗粒飞溅物也随之减少^[13]。

(3) 改善焊缝成形主要是由于添加活性剂后, 熔池表面产生的金属蒸汽量受到抑制, 在金属蒸汽较少的情况下, 只有阳极斑点附近较小范围的金属被升腾汽化电离, 使电弧导电通道紧缩, 电弧压力增大, 熔池内部金属液体流动加快、加大、加

深, 因而焊缝熔深增大^[14]。同时液态金属表面积聚的表面活性元素改变了温度梯度 dr/dt , 使得表面张力的作用方向和熔池中电磁力作用的方向一致, 增加了热传导, 使焊缝熔深增加^[15,16], 因此也影响了熔合区的几何形状。

4.2.2 活性无镀铜焊丝的开发前景

(1) 活性无镀铜焊丝在解决国内目前焊丝品种少、焊接工艺不稳定方面有广阔的开发前景, 针对目前钢材种类、品质的不断增加, 必然要求有相应焊接材料与之相匹配, 现在对一些特殊钢材的焊接多用药芯焊丝, 通过对药粉的成分、含量的调节来实现焊接特殊钢材的要求, 但药芯焊丝的成本较高, 且国内在药芯焊丝的制造工艺上还不够成熟, 尤其是药粉的均匀性不够稳定, 而活性焊丝的成本较低, 使用灵活, 制作工艺简单。笔者所在单位前期的研究主要集中在改善普通实心焊丝焊接过程中的飞溅和焊缝成形上, 也可以通过改变活性剂的成分来焊接不同的钢材, 就不仅仅把活性剂定位在一些改变电弧性质的氧化物上, 也可以直接加入一些合金元素, 达到焊接特殊钢材所要求的焊后具有较高的强度、较好的冲击韧性等。

(2) 我国现在焊接技术的研究水平和发达国家相比还有一定的距离, 尤其从CO₂气体保护焊在我国现阶段焊接中所占的比例可以看出, 我国对CO₂气体保护焊的应用还处在初期阶段, 就是说CO₂气体保护焊还有很广泛的开发和应用前景, 这就为活性无镀铜焊丝的推广打下了一个很好的基础。

5 结论

CO₂焊实心焊丝是一种高科技的焊接材料, 它的产生与发展适应了焊接生产向高质量、高效率、自动化、低成本、环保型方向发展的趋势。我国金属结构制造业只有大力推广高效熔化极气体保护焊技术, 才能满足国内金属结构企业生存和发展的需要。纵观国内外CO₂焊实心焊丝的发展, 我国与工业发达国家相比, 还有不小的差距, 这就需要焊接界同仁共同努力, 大力推广非镀铜焊丝和活性无镀铜焊丝的应用, 同时也要不断研发新产品, 才能更好地适应我国焊接生产的不断发展。

参考文献:

- [1] 王震徽, 郝廷玺. 气体保护焊工艺和设备[M]. 陕西 西安: 西北工业大学出版社, 1991.
- [2] 薛 勇, 张建勋. 减小CO₂气体保护焊飞溅的研究现状与展望[J]. 电焊机, 2002, 32(6): 1-4.
- [3] 陈芳雷, 李 艳. 电弧焊接材料的发展现状及趋势[J]. 太原理工大学学报, 2005, 26(2): 140-144.
- [4] 张文钺. 我国经济发展中焊接技术的战略地位[R]. 山东 日照: 山东省2004年焊接会议, 2004.
- [5] 唐伯钢. 关于钢材和焊接材料的最新发展态势[R]. 焊接材料技术研讨会, 2003.

文章编号: 1002-025X(2007)02-0004-04

陶瓷基复合材料焊接技术研究进展

李 辉¹, 陈俊华², 陈广立¹, 耿浩然¹, 陈茂爱²

(1. 济南大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250022; 2. 山东大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 对陶瓷基复合材料的焊接技术作了总体概述。系统总结了陶瓷基复合材料的可用焊接方法、工艺、焊接过程中易出现的问题及对策, 并对陶瓷基复合材料及其焊接技术的发展前景作了展望。

关键词: 陶瓷基复合材料; 焊接; 抗剪强度

中图分类号: TB33; TG44 文献标识码: B

1 前言

陶瓷基复合材料 (CMC) 是通过在陶瓷基体中引入第二相增强材料, 以实现增强、增韧的多相材料, 又称为多相复合陶瓷或复相陶瓷。根据所用的基体材料, 可分为玻璃基复合材料、氧化物陶瓷基复合材料、非氧化物陶瓷基复合材料等^[1-3]。

玻璃基复合材料的优点是易于制作且增韧效果好。典型的玻璃基复合材料有C/石英玻璃、Nicalon/LAS复合材料等。玻璃基复合材料的致命缺点是由于玻璃相的存在而容易产生高温蠕变, 同时玻璃相还容易向晶态转化而发生析晶, 使性能受损, 这样使用温度亦受到限制。

氧化物基陶瓷的基体主要有: MgO, Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂以及莫来石等, 这些材料均不宜在高应力与高温环境中使用, 因为Al₂O₃和ZrO₂的抗热振性较差; SiO₂易发生高温蠕变和相变; 莫来石虽然有较低的线膨胀系数和良好的抗蠕变性能, 但使用温度也不能超过1 200 ℃。非氧化物陶瓷如Si₃N₄, SiC等, 由于具有较高的强度、弹性模量和抗热振性能及优异的高温力学性能而受到重视^[4]。

2 陶瓷基复合材料焊接的一般特点

陶瓷基复合材料焊接具有陶瓷焊接的一些特点, 例如, 陶瓷熔点高且高温分解, 不能用熔焊方法进行焊接; 大多数陶瓷不导电, 不能利用电弧或电阻焊进行焊接; 陶瓷脆性大、流塑性极差, 难以利用压焊进行焊接; 化学惰性大、不易润湿, 因此其钎焊也较为困难。另外, 陶瓷基复合材料焊接还有自身结构带来的一些问题, 例如, 焊接过程中基体材料与增强材料可能会发生不利的反应, 造成增强物 (纤维、晶须及颗粒) 性能下降, 因此焊接时间与温度一般都不能太长或太高。

陶瓷基体的状态影响焊接方法的选择及焊接难易程度。例如, 陶瓷粉末成型工艺可得到2种明显不同的陶瓷状态, 即未烧结状态和烧结状态。一般情况下, 未烧结态下粉末之间通过次级键结合, 这种键合是很弱的。未烧结态键合力弱的特点有利于陶瓷基复合材料的二次加工, 因此, 未烧结态陶瓷基复合材料的焊接比烧结 (致密化) 态的要容易。

3 陶瓷基复合材料的焊接方法

3.1 陶瓷基复合材料的钎焊

无论是陶瓷基复合材料自身的钎焊, 还是陶瓷基复合材料

收稿日期: 2006-11-13; 修回日期: 2007-01-26

基金项目: 山东省济南市科技发展计划项目 (061048-2)

[6] 李午申. 我国新型钢铁材料及焊接性与焊接材料的发展[J]. 机械工人, 2005, 49(8): 20-25.

[7] 李春范, 赵润娟. 回顾与展望——21世纪中国焊接材料 (下)[J]. 焊接, 2001, 45(2): 6-9.

[8] 尹士科, 吴树雄. 日本关于自动焊接用实心焊丝的新思路——非镀铜MAG焊接用实心焊丝的特征[J]. 焊接, 2002, 46(5): 34-36.

[9] 赵钰, 杨国华, 张鹏. 非镀铜碳钢焊丝的试验研究及生产应用[J]. 机械工人, 2005, 49(8): 52-53.

[10] 周泰隆. 采用最先进的表面涂层技术突破无镀铜焊丝的技术瓶颈[J]. 机械工人, 2005, 49(1): 39-40.

[11] 袁玉兰, 王惜宝, 朱冬妹, 等. 活化CO₂气体保护焊的研究[J]. 焊管, 2006, 29(1): 35-38.

[12] 史学芳, 刘慧英. 表面活性剂在焊丝生产中的应用及机理[J]. 表面活性剂工业, 1996, 23(1): 34-36.

[13] 李存剑, 赵士谦. 活化焊丝电弧形态及熔滴过渡的研究[J]. 焊接技术, 1997, 26(4): 6-7.

[14] Wang Y, Shi Q and Tsa H L. Modeling of the effects of surface-active elements on flow pattern and weld penetration[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2001, (2): 145-161.

[15] 梁治齐, 宗惠娟, 李金华. 功能性表面活性剂 (第2版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002. 1-3.

[16] Lowke J J, Tanaka M and Ushio M. Mechanisms giving increased weld depth due to a flux[J]. J. Phys. D: Appl. Phys. 2005, 38: 3 438-3 445.