用于应急抢修的无电焊接技术及其应用

胡军志[1]，马世宁[2]，辛文彤[3]，罗　林[1]，胡春华[1]

（1. 装甲兵工程学院, 北京　100072;　2. 装备再制造技术国防科技重点实验室，　北京　100072;　3. 军械工程学院, 河北　石家庄　050003）

摘　要：介绍了无电焊接技术的工作原理、特点、发展现状、焊接工艺以及应用状况，分析了无电焊接材料焊缝的组织形貌及焊接接头拉伸强度。指出：无电焊接技术焊接工艺简单，焊缝性能优良，应用广泛，具有良好的推广应用价值。研制的无电焊接材料，焊缝组织、性能良好，具有潜在的应用前景。

关键词：自蔓延焊接；无电焊接；应用

中图分类号：TH17, TG456.9　　文献标识码：A　　文章编号：1007–9289(2006)03–0047–04

Non-electric Welding and its Application on Equipment Under the Emergency Conditions

HU Jun-zhi[1], MA Shi-ning[2], XIN Wen-tong[3], LUO Lin[1], HU Chun-hua[1]

(1. The Institute of Armored Forces Engineering , Beijing , 100072 , China　2.National Key laboratory for Remanufacturing, Beijing , 100072 , China　3.Ordnance Engineering College, Shijiazhuang, 050003, China)

Abstract : This paper introduced the working principle, characteristics, development, welding techniques and application of non-electric welding, and analyzed the micro-structure of the welding bead and tensile strength of the non-electric welded joints. The results indicated that the welding technique is simple, the performance of the welding line is excellent and the application is broad. So it showed a favorable application value and potential prospect.

Key words: SHS welding; non-electric welding; application

0　引　言

野外作业、行驶的机械在使用中结构件、箱体、管路等零部件难免出现的损伤与故障，比如裂纹、孔隙跑、冒、滴、漏等，将严重影响机械的正常使用。传统的应急维修方法如电焊、气焊、胶粘等，修理时需电、气和专用设备，或粘结固化时间长，不能满足野外应急的使用需要。另外，在高空、地下、水下等能源不方便供应的条件下，这些传统的应急维修方法也无法施展。因此开发一种具有快速、高效、节能的新型焊接技术，弥补传统焊接技术的不足已显得非常必要。无电焊接技术正是在这一背景下开发出来的。

1　无电焊接技术的原理及特点

收稿日期：2006−04−17；修回日期：2006−04−24

作者简介：胡军志(1975−)，男(汉)，湖南双峰县人，讲师，博士生。

无电焊接技术是一种新型焊接技术，它将先进焊接材料制成专用手持式焊笔，焊笔一经点燃，不需任何其它能量补充，仅依靠焊接材料燃烧放出的热量就能进行焊接。即以化学反应放出的热为高温热源，以反应产物为焊料，在焊接件间形成牢固连接的过程。因焊接过程不使用外界能源，简称无电焊接，实质上是自蔓延技术与焊接技术相结合的一种新型技术，属于自蔓延焊接技术的范畴，它具有以下特点：

(1) 焊接简单方便，工作效率高。无电焊接技术焊接时不需要任何电源和其它设备；无需高压，也无需保护性气氛，仅仅依靠混合粉末燃烧反应放出的热量就能进行焊接，工作效率高；小巧轻便，操作简单，单人即可完成。在紧急条件下，可快速简便的对工程机械零部件损坏处进行焊接；

(2) 焊接效果好，焊缝性能优良。无电焊接是

一种熔焊焊接，焊缝拉伸强度介于 200～300 MPa，弯曲强度介于 300～700 MPa，冲击韧性介于 1.6～5.5 Kgm/cm^2，硬度介于 120～180 HRB，抗腐蚀性要优于 45 钢等，能有效满足工程机械应急维修需要。

(3) 适用范围广。无电焊接技术可对工程机械及各种野外作业机械的多种零部件进行焊接修理，已经在水箱、油箱、水管、油管、排尘管、电瓶连接线、拉杆等零件上进行了应用，焊接效果良好，能够满足使用要求。

(4) 有一定的局限性。无电焊接技术目前只能焊接 5 mm 之内的零部件，且不能焊接铝合金。

2 无电焊接技术的发展

无电焊接技术属于自蔓延焊接技术的范畴，自 1967 年由前苏联科学家A.G.Merzhanov, Borovinskaya 和Shkiro等人确立自蔓延技术以来[1]，自蔓延技术与其它许多传统技术相结合形成了许多新型技术，自蔓延焊接技术属于其中一种[2]。自蔓延焊接技术是在待焊接的两块材料之间添进合适的燃烧反应原料，以一定的压力夹紧待焊材料，待燃烧反应过程完成后，即可实现两块材料之间的焊接[3]。这种焊接作为一种特殊焊接工艺，主要用于焊接① 同种或异种一般金属材料；② 同种或异种难熔金属材料；③ 同种或异种陶瓷材料；④ 同种或异种金属间化合物；⑤金属或金属间化合物与陶瓷材料[4-8]。对于①的应用研究较多且得到了广泛的应用，对于②～⑤则基本处于试验室研究阶段。而无电焊接技术作为自蔓延焊接技术的一种，由于其焊接简单、效率高、焊缝性能好、适用范围广等优点，目前，国际上许多国家如俄罗斯、美国、日本、西班牙和印度等国都在进行研究和开发，其中俄罗斯由于在自蔓延领域的起步较早，其无电焊接技术的研究也相对较早，故它在无电焊接技术方面做出的贡献最大，成果也相对较为成熟，它们对无电焊接产品的生产已成规模化，其无电焊接材料主要有两类：Cu–Fe类和Cu–Fe–Ni类，其中每类中各有 3 个不同型号的焊接笔，焊接厚度从 2.0～4.0 mm不等。国内虽然已有单位对此进行了类似研究，但技术尚不成熟，没有推广应用。

3 无电焊接的焊接工艺

无电焊接技术是一种新型技术，其焊接工艺不同于传统的焊接工艺。焊接时，如果焊接工艺没有掌握好，将对焊接效果起到很大的影响作用。其焊接工艺如下：

(1) 取出焊接笔，用打火机点燃引信，将燃烧的焊接笔头部对准待焊部位，经过 2～4 s 后在被焊部位进行焊接，根据被焊材料的厚度沿焊道缓慢移动，确保金属液充分滴落和覆盖在焊缝处，经过 20～25 s 即可获得 100～150 mm 长的焊缝。

(2) 对于平面上的焊缝，焊接笔与平面呈不大的倾角。焊接厚度大于 1.5 mm 的金属板时，焊接笔基本接触焊接平面；厚度小于 1.5 mm 时，视厚度大小，焊接笔高出 15～30 mm。

(3) 对于有一定倾角的焊接、立焊，则需使用一定的模具才能进行。

(4) 待焊接结束，金属冷却后，轻轻敲掉焊缝上的熔渣即可得到牢固的焊缝。

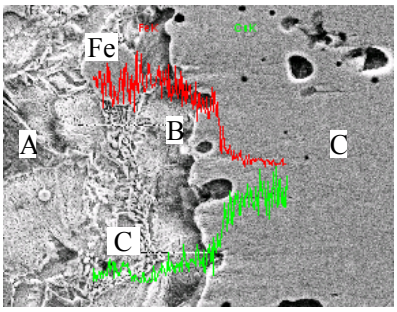
4 无电焊接材料研究

根据无电焊接技术的原理及其特点，全军装备维修表面工程研究中心最近研制了两种无电焊接材料（Cu–Fe–01，Cu–Fe–02，其中 Cu–Fe–01 焊接 2 mm 之内的金属零部件，Cu–Fe–02 焊接 3 mm 之内的金属零部件），同时对其焊缝（均焊接 45#钢板）的组织形貌及拉伸强度进行了分析测试。

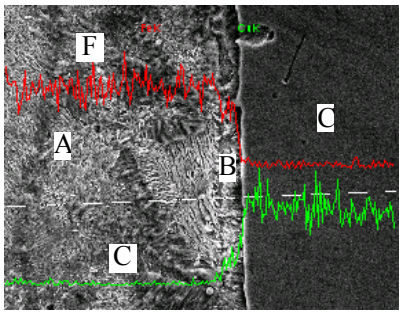
4.1 焊缝组织形貌分析

图 1 为焊缝与基体的组织形貌图。从图中可以看出，基体（A 区）与焊缝（C 区）之间存在着明显的过渡区（B 区），这主要是焊接时焊接笔通过自蔓延放热反应放出大量的热量，使基材熔化，熔化的基材与焊料金属液互溶，冷却后，在焊缝与基体之间形成了明显的过渡区。对焊缝中的元素进行了线扫描，可以发现，Fe 元素的含量从基体（A 区）到焊缝（C 区）逐渐减少，而 Cu 元素的含量则从基体（A 区）到焊缝（C 区）逐渐增大，而减少和增大的过程正好体现在过渡区里（B 区），这说明焊接时，Fe 元素和 Cu 元素在过渡区内进行了相互扩散，该过渡区就是焊接熔合区，这也说明该种自蔓延焊接是一种熔焊焊接。

图 2 为焊缝的组织形貌图。从图中可以看出，焊缝组织不均匀，这主要是由于焊缝在进行结晶的过程中，由于冷却速度很快，化学成分来不及充分



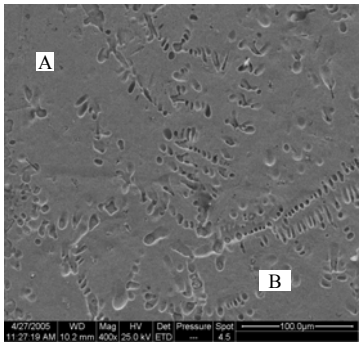
(a)Cu-Fe-01　×800



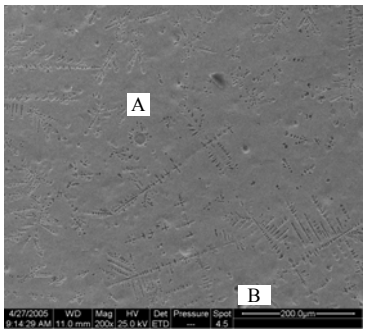
(b)Cu-Fe-02　×800

图 1　焊缝与基体的组织形貌图

Fig.1　SEM morphologyof welding line and substrate



(a)Cu-Fe-01



(b)Cu-Fe-02

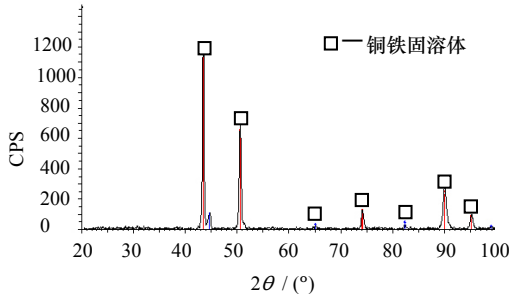
图 2　焊缝的组织形貌图

Fig.2　SEM morphology of welding bead

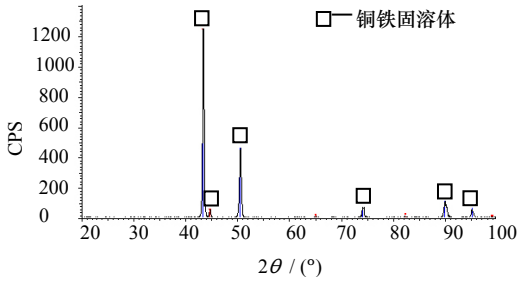
扩散，合金元素的分布出现不均匀，导致组织不均匀。同时，从图上还可以看出，整个焊缝由多种物质（如 A、B）组成。通过对 A、B 进行 EDS 分析以及焊缝表面的 XRD 分析（见图 3、图 4），得出 A、B 均由 Cu、Fe 组成；XRD 分析表明焊缝中只存在 Cu 和 Fe，没有生成新相。Cu 和 Fe 由于原子半径相近，很难相溶，难以形成金属间化合物，一般情况下以固溶体的形式存在。根据 Cu–Fe 二元合金状态图，焊接后，当焊缝冷却时温度降至 1 480 ℃时，开始析出γ–Fe，当温度达到 1 084.5 ℃时，γ–Fe 和液相 Cu 包晶生成 Cu（Fe）固溶体，该固溶体中 Cu 多 Fe 少。当温度再下降，降至室温过程中，Cu（Fe）固溶体发生脱溶转变，析出α_{II}–Fe（Cu），这种物质中Fe多Cu少。由于焊缝中Cu的含量超过 90 %，焊缝中Cu（Fe）固溶体应该是最多的，由此推断A是Cu（Fe）固溶体，B物质是α_{II}–Fe（Cu），Fe、Cu含量不同而表现出不同的形状。

4.2　焊缝拉伸强度测试

图 5 为焊接接头的拉伸强度图。从图中可以看出，两种无电焊接材料焊接接头的拉伸强度超过 280



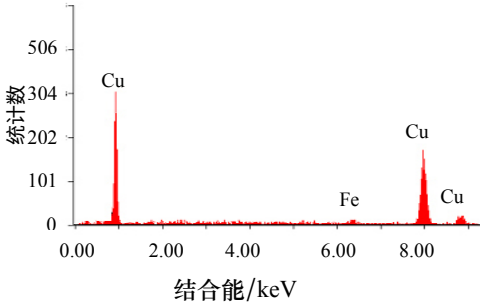
(a)Cu-Fe-01



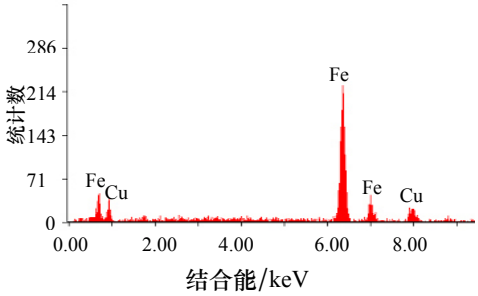
(b)Cu-Fe-02

图 3　焊缝表面 X 衍射图

Fig.3　XRD pattern of welding bead



(a) A 能谱图



(b) B 能谱图

图 4 焊缝中 A、B 能谱图

Fig.4 EDS spectra of A and B points in welding bead

MPa，均要高于 A3 钢的强度，低于 45 钢，这说明该材料焊接接头的强度较高，原因在于该种焊接是熔焊焊接，焊缝与基体以冶金结合方式进行结合。这也说明它能够满足金属零部件应急维修需要。

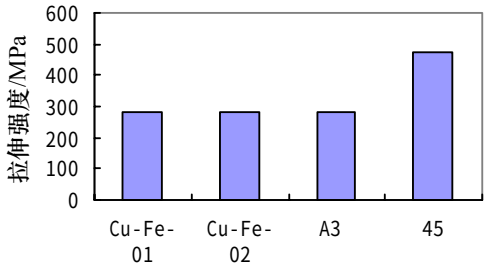


图 5 焊接接头拉伸强度分布图

Fig.5 Bonding strength of welding line

5 无电焊接技术的应用

无电焊接技术使用范围广泛，在野外应急条件下，可应用于工程机械金属零部件出现的断裂、缺损、裂纹、孔洞以及管路、箱体的跑、冒、滴、漏等的快速修理；还可使用于汽车、轮船和铁路运营中的修理和事故处理；也可使用于上下水管道、暖气管道的修理；地震、矿井、石油井架及消防工作的紧急救护；通讯、电网导线、输变电设备的焊接处理；农机、农具的田间修理等等。

从 2004 年 4 月开始，全军装备维修表面工程研究中心根据无电焊接技术的特点、技术性能指标及工程机械和装备零部件材料、形状、尺寸、损坏部位、损坏形式等因素，在部分工程机械和装备上进行了实车焊接，焊接后，对所有焊接件的焊接效果进行了检测，焊接效果均为良好，达到了使用要求。

6 结 语

无电焊接是一种新型自蔓延焊接技术，焊接工艺简单，焊缝性能优良，应用广泛，具有良好的推广应用价值。研制的无电焊接材料，焊缝组织、性能良好，具有潜在应用前景。

参考文献：

[1] Merzhanov A G. Self-propagating High-temperature Synthesis: Twenty Years of Search and Findings [M]. In: Combustion and Plasma Synthesis of High-temperature Materials, Ed by Munir Z A. VCH. New York: 1990.

[2] Li S J. Jioning of SiC Ceramics to Ni-Based Superalloy with Cu Intermediate Layer [J]. Key Engineering Materials, 2002, 27: 101-110.

[3] 殷声. 燃烧合成 [M]. 北京：冶金工业出版社，1999.

[4] Rabin B H , Korth G E , Williamson R L. Fabrication of titanium carbidealumina composites by combustion synthesis and subsequent dynamic consolidation [J]. Journal of American Ceramic Society, 1990,72(7): 2156-2157.

[5] Moore T J, et al. Joining NiAl using simultaneous comstion synthesis and pressure [J]. Scripta Metallurgica et Materialia, 1994, 30(4):463-468.

[6] 朱丹平, 刘伟平. 加压燃烧原位合成NiAlNi连接Ni基高温合金 [J]. 焊接, 2000,(3):14-16.

[7] Miyamoto Y, Nakamoto T, Kiozumi M. Ceramic to metal by a pressurized combustion reaction [J]. Journal of Material Re2search,1986,1(1):7-9.

[8] 孙德超, 柯黎明, 邢丽, 等. 陶瓷与金属梯度过渡层的自蔓延高温合成 [J]. 焊接学报, 2000,21(3): 57-62.

作者地址：北京丰台区杜家坎 21 号 100072
装甲兵工程学院 Tel：(010) 66719225
E-mail：hjzh1818@sina.com