

不同钎料的搭接电阻钎焊研究

孙爱俊, 李学浩

镇江四洋特种金属材料制造有限公司 江苏镇江 212003

摘要: 采用BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料以电阻钎焊的方式进行T2铜排搭接焊接试验, 并测试钎焊后的抗拉强度和金相, 结果表明: 两种钎料焊接接头拉伸均断在母材热影响区, 断裂强度均在220MPa以上, 均超过了T2铜母材软态的最低强度要求; 金相测试两种焊缝的焊合率处于同一水平, 均超过了90%。对比两种钎料, 从对操作环境的影响、操作的方便程度和经济性来考虑, 采用BCu80Ag15P钎料进行风电导电排的接头焊接更有优势。

关键词: 电阻钎焊; 抗拉强度; 焊合率; 金相

1 序言

纯铜的钎焊广泛应用于汽轮发电机及大型电动机的多种部件制造过程中, 一般采用银基BAg45CuZn和铜基BCu80Ag15P钎料^[1-3]。BAg45CuZn与BCu80Ag15P钎料具有相近的熔化温度区间和电阻率, BAg45CuZn钎料在钎焊过程中需要钎剂的辅助以去除氧化物, BCu80Ag15P钎料含有P元素, 使其具有自钎作用, 不需要添加辅助钎剂^[4]。在某大型风电电动机导电排与接头的钎焊连接时, 要求焊合率>90%、焊缝剪切拉伸试验断于母材, 若断于母材热影响区, 则强度不低于母材退火状态的95%, 为此采用火焰钎焊的方式进行了多组试验, 剪切试验断裂位置和强度均满足要求, 而在焊合率的检测过程中焊缝存在气孔和未焊合缺陷, 焊合率不稳定。为了得到稳定的焊接质量, 将火焰钎焊改为电阻钎焊, 并采用BAg45CuZn与BCu80Ag15P两种钎料进行钎焊试验, 测试焊合率的稳定性和剪切试验情况。

2 焊接材料及设备

焊接用母材均为软态T2铜, 抗拉强度为235MPa, 伸长率为38%, 单件试件尺寸为15mm×30mm×150mm, 焊接结构为两件母材搭接叠加(见图1), 搭接钎焊焊缝长度30mm, 焊接面积为30mm×30mm, 中间放置0.2mm厚片状

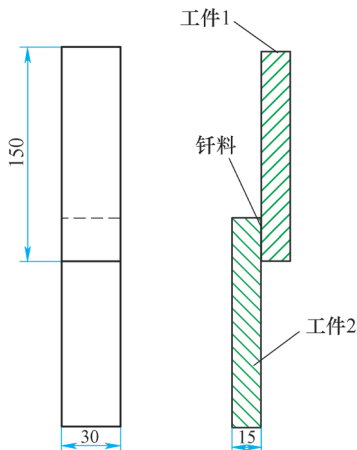


图1 焊接结构

5 结束语

本文在解读新版《焊工标准》的基础上对新版《钎焊工教材》的编著理念和实践进行了探析, 论述了教材编著中遵循的4个原则理念, 以及详细列举了教材中落实《焊工标准》的具体体现, 认为新版《钎焊工教材》很好地执行了《焊工标准》的全部

内容, 体现了标准的纲领性作用。

参考文献:

- [1] 李连胜, 方乃文, 吕晓春, 等. 2018版《国家职业技能标准——焊工》修订概况[J]. 焊接, 2019(4): 1-4.

MW 20201220

钎料。BAg45CuZn与BCu80Ag15P两种钎料的化学成分及性能见表1^[4]。每种钎料焊接三组试样，BCu80Ag15P钎料具有自钎作用，焊接时不需要钎剂辅助；BAg45CuZn钎料钎焊时使用FB102膏状钎剂去除氧化膜，以改善润湿能力。

表1 两种钎料的化学成分及性能

钎料	化学成分 (质量分数, %)				熔化温度 /℃	电阻率 / $\mu\Omega\cdot\text{m}$
	Cu	Ag	Zn	P		
BAg45CuZn	29~31	44~46	余量	—	677~743	0.097
BCu80Ag15P	余量	14.5~15.5	—	4.8~5.3	640~815	0.12

采用电阻焊机型号GKH-120，功率120kVA，电阻钎焊如图2所示，焊机石墨电极的面积不小于两件铜排的叠加钎焊面积，工件的放置应保证钎焊面积全部在电极的覆盖范围之内，并通过石墨电极夹紧工件。通电焊接时，电流经过石墨电极传导至工件，利用通电时石墨电极的传热和铜排与钎料之间的电阻热来加热铜排和钎料。

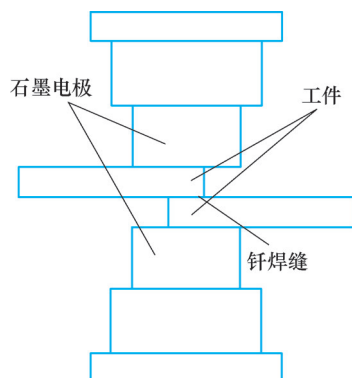


图2 电阻钎焊

3 钎焊试验

3.1 焊前准备

母材与钎料接触面采用机械抛光方式清理表面的油污、氧化层等，为保证焊脚的焊合效果，清理长度在叠加区域外增加10~15mm，清理过程保持叠加区域的平整度，以保证焊接区域工件之间钎焊缝间隙的一致性。采用BAg45CuZn钎料的钎焊，与钎料接触的母材表面均匀涂覆FB102膏状钎剂，在膏状钎剂凝固前实施焊接，防止钎剂凝固后电阻较大阻断电流通过，致使焊机无法启动。

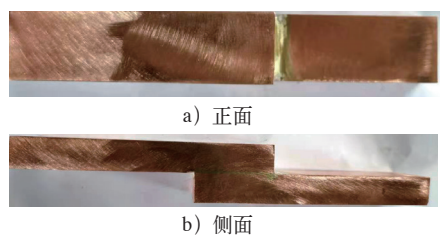


图3 焊接后的工件外观

3.2 施焊

将准备好的母材和钎料按图2的方式放入焊机的两石墨电极之间，因叠加面积只有30mm×30mm，所以设置电极压力为0.6MPa，保证工件能够夹紧，而工件不会由于压力过大变形造成厚度变小。移动焊机上下碳电极夹紧铜板，通电焊接时观察四周钎料的熔化情况，待钎料全部熔化后，使用 $\phi 2\text{mm}$ 的焊丝补充焊脚，钎料补充完成后断电停止加热，压力继续保持一段时间，待钎焊缝稳定后，再卸除压力，取下工件。焊接完成后的工件外观如图3所示，两种钎料的焊缝与母材结合性良好，未发现裂纹、气孔等缺陷。

4 焊缝测试

两种钎料试样件数及金相、拉伸试验的设置见表2。

表2 钎焊拉伸及金相试验

钎料	编号	拉伸试样	金相试样
BAg45CuZn	11 [#] ~13 [#]	✓	—
	14 [#] ~16 [#]	—	✓
BCu80Ag15P	21 [#] ~23 [#]	✓	—
	24 [#] ~26 [#]	—	✓

4.1 焊缝拉伸试验

对于搭接钎焊接头的拉伸试验，参考GB/T 11363—2008《钎焊接头强度试验方法》，采用BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料电阻钎焊的6组试样的拉伸结果见表3，所有的试样均断在距焊缝5~20mm的母材热影响区内，抗拉强度均超过了220MPa，T2铜导电板条软态的抗拉强度标准为 $\geq 195\text{MPa}$ ，因此采用两种钎料电阻钎焊的试样拉伸断裂位置和断裂强度均满足设计要求。图4、图5分别为11[#]、21[#]试样拉伸断裂后的照片，两种钎料的焊缝在拉伸过程中均随母材的变形而发生了变形，从宏观上看，两种焊缝都未出现撕裂、脱焊的情

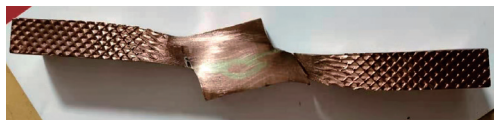


图4 BAg45CuZn钎料焊后拉伸情况

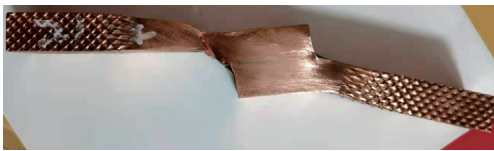


图5 BCu80Ag15P钎料焊后拉伸情况

况, 仍保持完好, 焊缝覆盖区域为 $30\text{mm} \times 30\text{mm}$, 计算焊缝的剪切强度均远大于 110MPa , 依据表1中两种钎料的熔化温度区间, 钎焊时加热温度均 $>750^\circ\text{C}$, 靠近焊缝的母材热影响区的晶粒长大使强度降低是拉伸过程中试样断在母材热影响区的原因。

表3 不同钎料的焊接试样的拉伸结果

钎料	编号	抗拉强度/MPa	断裂位置
BAg45CuZn	11 [#]	229.4	母材热影响区
	12 [#]	226.0	母材热影响区
	13 [#]	227.3	母材热影响区
BCu80Ag15P	21 [#]	225.3	母材热影响区
	22 [#]	224.6	母材热影响区
	23 [#]	226.1	母材热影响区

4.2 焊缝金相检测

BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料电阻钎焊的14[#]~16[#]、24[#]~26[#]六组试样均沿图6中三条黄线将试样切开, 检测3个位置焊缝的金相, 统计焊合率。焊合率的测试结果见表4, 两种钎料的焊合率没有明显的差别, 处于同一水平, 均超过了90%的要求。图7、图8分别为BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料钎焊良好的焊缝, 两种钎焊缝的组织差别较大, BAg45CuZn焊料钎焊缝由多个小晶粒组织构成, 与母材的界线更明显, 而BCu80Ag15P钎料整条焊缝为一个晶粒, 钎焊时不需要加入钎剂, 钎焊缝内较干净, 与母材的熔合性更好。图9、图10为BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料钎焊有缺陷的焊缝, 缺陷均出现在焊缝内, 说明两种钎料与母材的润湿性都较好, 通过金相分析, BAg45CuZn钎料

的焊缝缺陷为钎剂在焊接过程中未及时排出而形成的, BCu80Ag15P钎料的焊缝缺陷为钎料凝固过程中Ag、P的偏析造成的, Ag、P含量小的区域凝固温度高而首先凝固, 焊料得不到有效的补充而在焊缝的中心形成了缺陷。

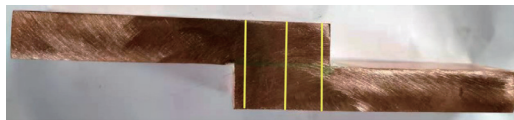


图6 金相检测的切开部位

表4 不同钎料的焊合率结果

钎料	编号	检测单条焊缝总长/ μm	焊合率(%)
BAg45CuZn	14 [#]	30300	94
	15 [#]	30500	96
	16 [#]	30500	94
BCu80Ag15P	24 [#]	30400	92
	25 [#]	30200	95
	26 [#]	30500	94

T2铜排采用BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料电阻钎焊后拉伸均断在母材热影响区, 抗拉强度没有明显的差别, 均超过了T2铜母材软态的最低强度要求; 两种焊缝的焊合率处于同一水平, 均超过了技术要求的90%。因此, 两种钎料均能用于风电导电铜排的接头钎焊, 对比两种钎料, BAg45CuZn

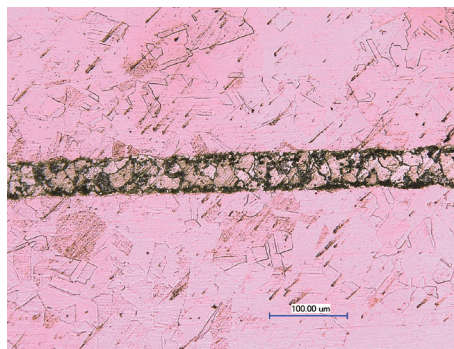


图7 BAg45CuZn钎焊良好焊缝

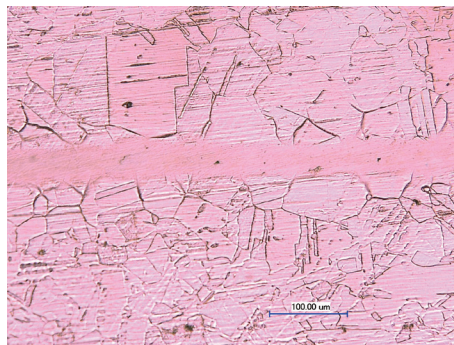


图8 BCu80Ag15P钎焊良好焊缝

(下转第65页)

0.25mm的滚齿公法线留量。经过以上改善,小批量生产的30件齿轮全部合格。

5 结束语

1) 对扁平状的齿轮,在渗碳时应保证端面各点均匀支撑,齿轮平装渗碳时从原4块蜂窝盘间隔摆放更改为8块蜂窝板满铺,可降低因蠕变造成的端面翘曲变形。

2) 采用挂放工装淬火,在淬火料盘底部增加网状阻尼工装后,由于降低了淬火冷却介质和零件的相对流速,挂装下部区域齿部变形大幅减小。

3) 对扁平状齿轮,通过降低渗碳入炉温度,增加升温阶梯段,延长等温时间,降低渗碳温度,可减少热处理时的应力和高温蠕变,有助于变形改善。

4) 通过热处理装炉和工艺改善,齿轮端面翘曲变形从1.06mm以上降低至0.52mm以下,节圆跳动从原来的0.18mm减小至0.1mm以下,齿部畸变降低

约40%,小批量生产合格率达100%。

参考文献:

- [1] 汪正兵,朱百智,陈贺.风电齿轮热处理技术现状和趋势[J].金属热处理,2020,45(1):34-41.
- [2] 封珂,朱百智,郭祺龙,等.18CrNiMo7-6和20CrNi2Mo钢渗碳工艺参数优化与应用[J].金属热处理,2010,35(6):63-66.
- [3] 董汉伟,王大宇,宋利锋,等.淬火温度对渗碳17Cr2Ni2Mo钢组织与性能的影响[J].金属热处理,2015,40(5):144-146.
- [4] 陈国民.对齿轮热处理畸变控制技术的评述[J].金属热处理,2012,37(2):1-13.
- [5] 李小末,朱百智.薄壁齿轮渗碳淬火变形的控制[J].金属加工(热加工),2016(S2):114-116.
- [6] 张杰,王爱香,李宝奎,等.渗碳齿轮盐浴分解淬火工艺研究及应用[J].金属热处理,2015,40(3):173-178.

MW 20201224

(上接第60页)

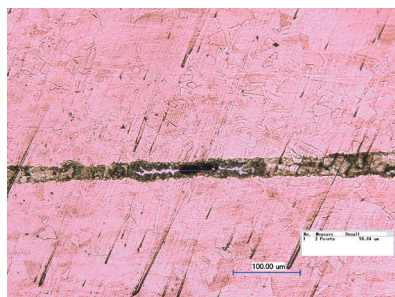


图9 BAg45CuZn钎焊有缺陷焊缝

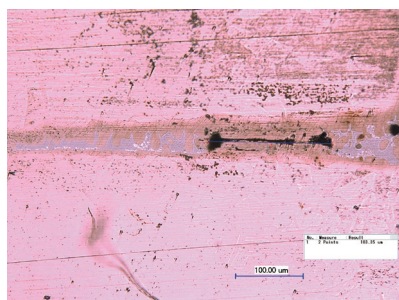


图10 BCu80Ag15P钎焊有缺陷焊缝

钎料在钎焊时需要涂覆钎剂以提高润湿性,焊接时钎剂易挥发,对操作环境存在一定的影响;BCu80Ag15P钎料不需要涂覆钎剂,操作更简单,BCu80Ag15P的银含量为BAg45CuZn钎料的1/3,焊接成本更低。综合考虑,采用BCu80Ag15P钎料进行风电导电铜排的接头焊接更有优势。

5 结束语

1) 采用BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料以电阻钎焊的方式搭接焊接风电电动机导电铜排接头均能满足设计要求。

2) BAg45CuZn和BCu80Ag15P钎料电阻钎焊后的搭接接头拉伸均断在母材热影响区,抗拉强度高于220MPa。

3) 钎焊缝的金相检测结果显示,两种钎料的焊合率处于同一水平,均超过了技术要求的90%。

4) 从对操作环境的影响、操作的方便程度和经济性来考虑,采用BCu80Ag15P钎料进行风电导电铜排的接头焊接更有优势。

参考文献:

- [1] 王岳元,纪玖红.大容量电机转子超厚导电环钎焊工艺的研究[J].上海大中型电机,2008(2):36-38.
- [2] 顾冬林,车三宏,李进泽,等.大型直驱永磁风力发电机定子端接线铜板焊接工艺研究[J].金属加工(热加工),2017(20):45-48.
- [3] 蔺福民.纯铜与奥氏体不锈钢接头的中频感应钎焊及检测[J].金属加工(热加工),2017(14):54-56.
- [4] 史耀武.中国材料工程大典(第22卷)[M].北京:化学工业出版社,2006:644-646.

MW 20201125