

新型含钯镍基钎料钎焊不锈钢接头的性能分析

贺军四, 蔡志红*, 刘福平

(广东省焊接技术研究所 (广东省中乌研究院), 广州 510650)

摘要: 对新型 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料钎焊 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的接头性能进行了分析。结果表明, 新型 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢有良好的润湿性; 钎焊接头中, 紧靠钎缝与母材界面的是与该界面平行的长条形齿状镍钯基固溶体致密组织。这种固溶体具有较高的强度和塑性, 钎缝宽度为 170 μm 时, 钎缝仍具有较高的剪切强度, 利于保证钎焊不锈钢产品质量不发生重大变化。

关键词: 钎料; 接头; 润湿性; NiPdAgCrSi 合金; 钎缝; 固溶体

中图分类号: TG146.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2017)S1-0077-03

Performance Analysis of the New Palladium Containing Nickel Base Metal Solder Brazing Stainless Steel Joint

HE Junsi, CAI Zhihong*, LIU Fuping

(Guangdong Institute of Welding Technology (Guangdong Chinese-Ukrainian Institute), Guangzhou 510650, China)

Abstract: The properties of 1Cr18Ni9Ti stainless steel joints brazed by a new type of brazing alloy Ni-Pd-Ag-Cr-Si have been analyzed. The results showed that the brazing filler is well wettable for 1Cr18Ni9Ti stainless steel. In the brazing joint, the interface between the brazing seam and the base metal was a long strip of dentate nickel base solid solution compact structure parallel to the interface. The solid solution had high strength and plasticity. When the brazing seam width was 170 μm , the brazing seam still had a higher shear strength, which was beneficial to ensure the quality of the brazed stainless steel products did not change significantly.

Key words: brazing filler; joint; wettability; Ni-Pd-Ag-Cr-Si alloy; brazing seam; solid solution

镍基钎料由于具有很好的高温性能, 钎焊时亦不会发生应力开裂, 常被用于钎焊不锈钢和高温合金^[1-4], 但其钎焊温度必须和钎焊合金的热处理温度相匹配^[5]。因此, 镍基钎料中通常加入 Si、B 和 P 元素, 控制钎料熔化温度^[5]; 添加 Cr 元素可以提高钎料的抗高温氧化性能。添加的上述元素将使镍基钎料中含有较多的脆性共晶体和镍基固溶体, 固溶体能够改善钎缝性能, 但脆硬的共晶化合物相致使钎料变脆。镍基钎料的这些脆性共晶体, 钎焊时还会在钎缝中形成, 导致钎焊接头力学性能降低。

为了提高钎焊接头的强度, 设计对含有 Cr、Si、

B 的镍基钎料分别替换和添加合金元素, 以降低其钎焊时钎缝中形成脆性化合物的数量, 促进钎料对母材的润湿。根据 Ag-Pd、Ag-Ni 及 Pd-Ni 相图可知^[6], Ag 能完全溶于钯和镍中形成无限固溶体, 并且钯、镍能与 Ag 形成贵金属相, 使熔化钎料-母材的界面张力降低, 改善钎料与母材的润湿作用^[7]。据此, 选用 Ag、Pd 作为添加元素替换钎料中原子半径小, 扩散速度快, 且易向母材晶界扩散, 降低钎焊接头强度和延性的 B 元素^[5], 同时保留与 1Cr18Ni9Ti 不锈钢母材同成分的 Cr 元素和起降熔作用的 Si 元素, 以减少钎料中脆性共晶体的含量和

收稿日期: 2017-09-01

基金项目: 广州市科技计划项目(201704030113)。

第一作者: 贺军四, 女, 工程师, 研究方向, 焊接材料。Email: hjsxws@126.com

*通讯作者: 蔡志红, 女, 硕士, 教授, 研究方向: 焊接材料。E-mail: caizhihong2001@126.com

元素偏析。本文研究新研制的含钯镍基钎料钎焊 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的钎焊性能。

1 实验

1.1 实验材料及仪器

实验用钎料为惰性气体雾化制得的 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 合金粉末, 粒度 $\leq 74\ \mu\text{m}$, 成分如表 1 所示。粉末粒度 $\leq 74\ \mu\text{m}$ 。母材为 1Cr18Ni9Ti 不锈钢, 线切割成长 $50\times 12\times 2\ \text{mm}$ 的片材, 并制作成钎焊接头试验件。

表 1 钎料合金成分(质量分数)

Tab.1 Composition (mass fraction) of brazing filler /%				
Ni	Pd	Ag	Cr	Si
余量	36.47	5.87	4.81	0.63

1.2 钎焊及测试

钎焊实验在 VQB-200 立式冷壁高温真空钎焊炉中进行, 钎焊炉如图 1 所示。钎焊接头按搭接方式制作。钎料的状态为膏状, 试验时采用针筒滴注的方式将钎料注入试件的搭接接头坡口上。钎焊接头在室温强度用 WDW-100T1 材料试验机测定。对钎焊接头进行扫描电镜和电子探针观察分析。



图 1 真空钎焊炉

Fig.1 The vacuum brazing furnace

2 结果与讨论

2.1 钎料熔化温度

熔化温度范围较窄, 为 $1023\sim 1057^\circ\text{C}$ 。

2.2 钎料的润湿性

钎焊时, 钎料熔化为液态而母材仍然保持为固态, 只有在液态钎料能充分润湿母材的条件下, 液

态钎料才能充分地流入并致密地填满全部钎缝间隙, 从而得到一个优质的钎焊接头。Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料对母材 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的润湿情况如图 2 所示。从图 2 可以明显看出钎料在母材上铺展良好, 形成明显的润湿环。



图 2 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料在母材 1Cr18Ni9Ti 不锈钢上的铺展照片

Fig.2 The spread of brazing filler Ni-Pd-Ag-Cr-Si on the 1Cr18Ni9Ti base metal stainless steel

2.3 钎缝剪切强度

钎焊接头力学性能实验结果见图 3。为了对比, 图中还绘出了 BNi-5 钎料钎焊 1Cr18Ni9Ti 不锈钢接头的性能曲线。

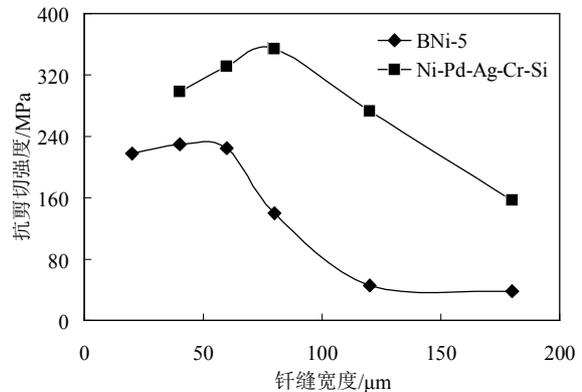


图 3 搭接接头剪切强度与钎缝宽度的关系

Fig.3 Relationship between the shear strength of the joint and the width of the brazing seam

由图 3 看出, 当钎缝宽度较小时, BNi-5 钎缝具有超过 200 MPa 的剪切强度; 而当钎缝宽度超过 $70\ \mu\text{m}$ 后, 钎缝剪切强度急剧降低; 当钎缝宽度超过 $100\ \mu\text{m}$ 时, 钎缝剪切强度不到 50 MPa。对于新型 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料, 在试验的钎缝宽度下, 搭接试样钎缝剪切强度有 1 个峰值, 即在钎缝宽度为 $80\ \mu\text{m}$ 时, 钎缝的剪切强度达到了最大值超过 350 MPa; 而钎缝宽度为 $170\ \mu\text{m}$ 时, 钎缝的剪切强度仍超过 150 MPa。与 BNi-5 钎缝相比, 新型 Ni-Pd-Ag-

Cr-Si 钎料钎缝剪切强度比较高,在试验的钎缝宽度下,剪切强度都在 150 MPa 以上。在实际生产过程中,焊件的配合间隙很难控制在 70 μm 以下,即使零件间隙控制在 70 μm 以下,由于钎缝圆角处通常有钎料堆积,生成大量的脆性化合物,影响钎缝的强韧性。因此,新型 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料接近实用,即使焊件尺寸发生变化,其仍能够保证钎焊不锈钢产品质量不发生重大变化。

2.4 钎缝组织及相组成

钎缝组织如图 4 所示。由图可知钎缝中部是复杂化合物组织,紧靠钎缝与母材界面的是与该界面平行的长条形齿状致密组织。电子探针测得图 4 钎缝中长条状组织的成分(质量分数,%)为: Ni 50.2%, Cr 5.2%, Ag 4.9%, Si 0.6%, Fe 3.8%, Pd 35.3%; Cr、Pd 和 Si 的含量与钎料接近。这说明钎缝中长条状组织的成分,仅铁的含量相对变大。由二元合金相图可知,Ag-Pd、Ag-Ni、Pd-Ni、Ni-Cr 及 Ni-Fe 均可互溶^[8],硅在镍中的极限固溶度大于 5%,由此推断钎缝长条形齿状组织为含 Pd、Cr、Fe、Ag 及 Si 的 Ni 基固溶体。这种固溶体具有较高的强度和塑性,从而使接头有良好的力学性能。

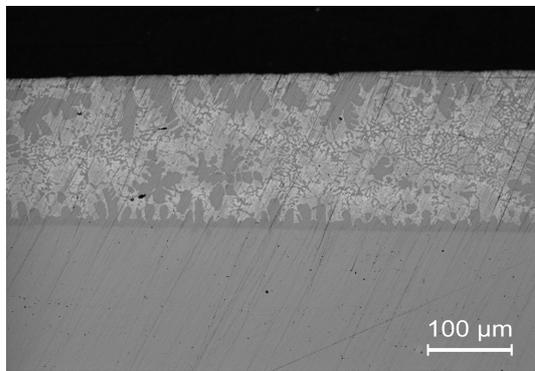


图 4 钎料钎焊不锈钢接头金相组织

Fig.4 Metallographic microstructure of brazing filler brazed stainless steel joint

3 结论

1) 新型 Ni-Pd-Ag-Cr-Si 钎料对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢表面铺展良好,形成明显的润湿环,表明二者有良好的润湿性。

2) 钎焊接头中,紧靠钎缝与母材界面的是与该界面平行的长条形齿状致密组织,为含 Pd、Cr、Fe、Ag 及 Si 的 Ni 基固溶体。这种固溶体具有较高的强度和塑性,致使钎缝宽度为 170 μm 时,钎缝仍具有较高的剪切强度,利于保证钎焊不锈钢产品质量不发生重大变化。

参考文献:

- [1] 柏文超,毛忠汉,陈靖,等. 高强度 NiPdCrSiB 钎料镍基钎料钎焊不锈钢的钎缝组织及工艺的研究[J]. 中国有色金属学报, 1998, 8(2): 52-53.
- [2] 王轶,马光,郑晶,等. 镍基钎料钎焊不锈钢的钎缝组织及工艺的研究[J]. 热加工工艺, 2008, 37(23): 93.
- [3] LUGSCHEIDER E, PARTZ K D. High temperature brazing of stainless steel with nickel - base filler metals BNi-2, BNi-5 and BNi-7[J]. Welding Journal, 1983(6): 160-164.
- [4] 陈靖,毛忠汉,柏文超,等. 新型 Ni48Pd36CrBSi 钎料钎焊 GH625 的接头性能分析[J]. 稀有金属材料与工程, 1998, 27(4): 230-231.
- [5] 张启运,庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 182-213.
- [6] 唐仁政,田荣璋. 二元合金相图及中间相晶体结构[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009: 887.
- [7] 丁敏,亢世江,卢屹东,等. 钎合金与镍合金的真空钎焊工艺[J]. 焊接技术, 2005, 34(5): 35-36.
- [8] 虞觉奇,易文质,陈邦迪,等. 二元合金状态图集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 112-341.