



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101704169 B

(45) 授权公告日 2011.07.06

(21) 申请号 200910223502.X

JP 特开 2000-197989 A, 2000.07.18, 全文.

(22) 申请日 2009.11.23

审查员 简斌

(73) 专利权人 中国航空工业集团公司北京航空  
材料研究院

地址 100095 北京市 81 号信箱

(72) 发明人 郭绍庆 周标 刘文慧 熊华平  
张学军 陈云峰 张文扬

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008  
代理人 李建英

(51) Int. Cl.

B23K 35/30 (2006.01)

B23K 35/40 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1496781 A, 2004.05.19, 全文.

CN 1335213 A, 2002.02.13, 全文.

CN 101112739 A, 2008.01.30, 全文.

权利要求书 1 页 说明书 5 页

(54) 发明名称

时效马氏体不锈钢气体保护焊用焊丝

(57) 摘要

本发明涉及一种适合于时效马氏体不锈钢焊接用焊丝。该焊丝的化学组成成分的重量百分比为 C 0.01~0.09, Si 0.2~0.6, Mn 0.2~1.0, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr 14~17, Ni 4.2~5.8, Cu 3.0~4.0, Nb 0.1~0.5, Mo ≤ 0.75, 余为 Fe。本发明焊丝用于焊接 15-5PH 时效马氏体不锈钢可避免在焊缝马氏体组织中形成铁素体网, 使接头塑性和韧性得以保持, 同时还具备优良的焊接性, 能有效避免焊接热裂纹。本发明焊丝焊接 15-5PH 不锈钢后经完全热处理, 具有良好的综合性能, 适合于航空工业及其他工业领域时效马氏体不锈钢的气体保护焊。

B

CN 101704169

1. 一种时效马氏体不锈钢气体保护焊的焊丝,其特征在于,焊丝成分的重量百分比为:C 0.01-0.09, Si 0.2-0.6, Mn 0.2-1.0, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr 14-17, Ni 4.2-5.8, Cu 3.0-4.0, Nb 0.1-0.5, Mo ≤ 0.75, 余为 Fe; 焊丝的制备方法是:

(1) 采用真空感应炉冶炼焊丝钢,其工艺条件: 真空度 0.1 ~ 10Pa, 精炼温度 1530 ~ 1590°C, 精炼时间 5 ~ 15 分钟, 浇注温度, 1460 ~ 1550°C;

(2) 采用真空自耗电弧炉重熔焊丝钢,其工艺条件: 真空度 0.1 ~ 1.0Pa, 电压 20 ~ 35V, 电流密度 150 ~ 200A/cm<sup>2</sup>, 熔炼速度 5.0 ~ 10.0cm/min;

(3) 将重熔后的铸锭去缩孔、车表皮后,进行开坯锻造,锻造规范为: 加热温度 1150°C ± 10°C, 保温 60min, 逐渐增加变形量, 锻成方棒;

(4) 将开坯锻后的方棒自由锻为棒材,自由锻造规范为: 1130°C ± 10°C, 保温 20 ~ 40min, 保温时间随棒材横截面的减小而缩短;

(5) 将自由锻后的棒材热连轧细棒材,热连轧规范为: 加热温度 900 ~ 950°C, 保温 1 ~ 2h;

(6) 将热轧后的细棒材在拉丝设备上进行拉拔,在拉丝过程中,对细棒材进行中间退火处理,退火规范为: 加热温度 620 ~ 650°C, 保温 1 ~ 2h, 直至将其拉拔为目标尺寸的焊丝;

(7) 焊丝酸洗,首先采用 HCl+HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液定径,再用 25% ~ 30% HNO<sub>3</sub> 水溶液光亮处理。

2. 根据权利要求 1 所述的时效马氏体不锈钢气体保护焊的焊丝,其特征在于: 焊丝成分的重量百分比为: C 0.05-0.09, Si 0.2-0.6, Mn 0.2-0.8, P ≤ 0.020, S ≤ 0.020, Cr 15-15.8, Ni 5.0-5.8, Cu 3.0-4.0, Nb 0.20-0.50, Mo ≤ 0.50, 余为 Fe。

3. 根据权利要求 1 所述的时效马氏体不锈钢气体保护焊的焊丝,其特征在于: 焊丝成分的重量百分比为: C 0.01-0.06, Si 0.2-0.6, Mn 0.2-0.8, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr 15.3-16.0, Ni 4.5-5.2, Cu 3.0-4.0, Nb 0.15-0.30, Mo ≤ 0.50, 余为 Fe。

## 时效马氏体不锈钢气体保护焊用焊丝

### 技术领域

[0001] 本发明属于涉及一种用于 15-5PH 及其他时效马氏体不锈钢气体保护焊的焊丝。

### 背景技术

[0002] 15-5PH、17-4PH 钢属于马氏体沉淀硬化不锈钢，这类钢的 Ms 点较高，Mf 点也在室温以上，所以经过固溶处理后，几乎可以获得全部马氏体组织。同时由于含有在马氏体中固溶度很小的 Cu、Al、Mo、Ti、Nb 等强化元素，在低温回火后可以达到时效强化的效果。15-5PH 和 17-4PH 主要靠时效析出的富铜相产生沉淀硬化效果。15-5PH 可以用于制造在大气条件下工作的承力零件以及与燃料接触的在 300℃ 以下工作的零件，如飞机蒙皮、框架、珩条、波形板、油箱等。其最大特点是可以通过调整热处理制度（淬火温度、冷却方式、回火温度等），得到不同的强度和韧性配合，从而可以满足不同零件的需要。

[0003] 这两种钢具有良好的焊接性，一般情况下不会产生焊接裂纹，焊接接头中出现的马氏体属于低碳马氏体，对冷裂纹也不敏感。在拘束度不大的情况下，一般不需要焊前预热及缓冷。时效马氏体不锈钢通常采用同质焊丝焊接，如日本 Fujita 等人采用同质填充丝焊接了高速客船的 15-5PH 钢水翼。但是由于 15-5PH 是在 17-4PH 基础上为提高塑韧性加以改进而获得的，它降低了铬当量而提高了镍当量，消除了 δ 铁素体，因此也失去了 δ 铁素体对降低热裂纹的有利作用。采用不填丝方法（如激光焊、电子束焊）和同质填充材料焊接 15-5PH 时，因焊缝中无 δ 铁素体形成倾向容易发生热裂纹。不填丝激光焊接 15-5PH 和 HP9-4-20 钢时因形成 NbC- 奥氏体共晶组分而发生热裂纹 [M. J. Cieslak. Welding Research Supplement. 1987, Feb., 57s]。目前焊接 15-5PH 通常推荐采用 17-4PH 材质焊丝 [美国焊接学会编. 焊接手册，第四卷，第 7 版，P188. 北京：机械工业出版社，1991]，采用这种焊丝焊接 15-5PH 因焊缝出现一定数量的 δ 铁素体，对焊接热裂纹有高的抵抗力，但采用这种焊丝存在焊缝韧塑性降低以及焊缝与母材耐蚀性不匹配的缺点。采用 17-4PH 材质焊丝焊接 15-5PH 钢的焊缝马氏体组织中会形成一定数量的高 Cr 含量的 δ 铁素体，该相在回火过程中进一步分解析出非常脆的富 Cr 相，恶化焊缝的力学性能，尤其会对焊缝的冲击韧性造成不利影响；同时由于焊缝及热影响区的组织状态与母材存在差异，抗腐蚀能力降低，尤其是抗应力腐蚀能力降低明显。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种用于 15-5PH 钢焊接的既可保持焊缝韧塑性又能提高焊缝热裂纹抗力的时效马氏体不锈钢气体保护焊的焊丝。本发明的技术解决方案是，焊丝成分的重量百分比为：C 0.01-0.09, Si 0.2-0.6, Mn 0.2-1.0, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr 14-17, Ni 4.2-5.8, Cu 3.0-4.0, Nb 0.1-0.5, Mo ≤ 0.75, 余为 Fe；焊丝的制备方法是：

[0005] (1) 采用真空感应炉冶炼焊丝钢，其工艺条件：真空度 0.1 ~ 10Pa，精炼温度 1530 ~ 1590℃，精炼时间 5 ~ 15 分钟，浇注温度，1460 ~ 1550℃；

[0006] (2) 采用真空自耗电弧炉重熔焊丝钢，其工艺条件：真空度 0.1 ~ 1.0Pa，电压

20 ~ 35V, 电流密度 150 ~ 200A/cm<sup>2</sup>, 熔炼速度 5.0 ~ 10.0cm/min;

[0007] (3) 将重熔后的铸锭去缩孔、车表皮后, 进行开坯锻造, 锻造规范为: 加热温度 1150℃ ± 10℃, 保温 60min, 逐渐增加变形量, 锻成方棒;

[0008] (4) 将开坯锻后的方棒自由锻为棒材, 自由锻造规范为: 1130℃ ± 10℃, 保温 20 ~ 40min, 保温时间随棒材横截面的减小而缩短;

[0009] (5) 将自由锻后的棒材热连轧细棒材, 热连轧规范为: 加热温度 900℃ ~ 950℃, 保温 1 ~ 2h;

[0010] (6) 将热轧后的细棒材在拉丝设备上进行拉拔, 在拉丝过程中, 对细棒材进行中间退火处理, 退火规范为: 加热温度 620℃ ~ 650℃, 保温 1 ~ 2h, 直至将其拉拔为目标尺寸的焊丝;

[0011] (7) 焊丝酸洗, 首先采用 HCl+HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液定径, 再用 25% ~ 30% HNO<sub>3</sub> 水溶液光亮处理。

[0012] 上述本发明的技术原理为:

[0013] 通过调整焊丝中的铬当量 Cr<sub>eq</sub> 和镍当量 Ni<sub>eq</sub>, 控制焊缝中的 δ 铁素体数量, 使其以较少量和非连续态出现于高温阶段的奥氏体多晶粒交界和晶界处, 利用其对 P、S 等杂质的溶解和阻碍偏析液态膜的润湿降低热裂敏感性, 利用常温状态下残留的 δ 铁素体提高接头抗晶间腐蚀和抗应力腐蚀能力。Cr<sub>eq</sub> 提高幅度应有所限制, 避免出现富铬 δ 铁素体。适当降低铬当量 Cr<sub>eq</sub> 和提高镍当量 Ni<sub>eq</sub> 避免在马氏体组织中形成铁素体网。

[0014] 适当提高焊丝的含碳量, 使其与碳化物形成元素在焊缝中造成奥氏体与碳化物的双相组织, 提高抗热裂性能。同时利用碳含量可显著提高镍当量 Ni<sub>eq</sub> 的作用调整焊丝的 Ni<sub>eq</sub>。

[0015] 采用真空自耗重熔提高焊丝纯净度, 降低焊丝气体含量和 S、P、Si 含量, 降低和弥散焊丝中的夹杂, 以此控制焊缝凝固偏析和晶间低熔点液态膜, 从而提高焊缝抗热裂纹能力。同时也有利于保持焊缝的韧塑性。

[0016] 本发明具有的优点和有益效果: 采用本发明的焊丝焊接 15-5PH 钢焊接性良好, 能有效防止焊接热裂纹的发生; 接头强度得到保持, 接头强度系数达到 90% 以上, 韧塑性得到改善, 冲击韧度达到母材 70% 以上; 接头同时具备良好的耐蚀性和抗应力腐蚀性能, 接头应力腐蚀断裂韧度 K<sub>ISCC</sub> 达到母材 75% 以上。

### 具体实施方式:

[0017] 选取焊丝合金成分 (wt%) : C 0.01~0.09, Si 0.2~0.6, Mn 0.2~1.0, P ≤ 0.025, S ≤ 0.025, Cr 14~17, Ni 4.2~5.8, Cu 3.0~4.0, Nb 0.1~0.5, Mo ≤ 0.75, 余为 Fe。

[0018] 焊丝的制备方法是:

[0019] (1) 炉料配比

[0020] 根据各元素的目标含量和熔炼烧损系数, 确定各原料的配比。

[0021] (2) 采用真空感应炉冶炼焊丝钢, 其工艺条件: 真空度 0.1 ~ 10Pa, 精炼温度 1530 ~ 1590℃, 精炼时间 5 ~ 15 分钟, 浇注温度, 1460 ~ 1550℃。

[0022] (3) 采用真空自耗电弧炉重熔焊丝钢, 其工艺条件: 真空度 0.1 ~ 1.0Pa, 电压 20 ~ 35V, 电流密度 150 ~ 200A/cm<sup>2</sup>, 熔炼速度 5.0 ~ 10.0cm/min。

[0023] (3) 开坯锻造

[0024] 将铸锭去缩孔、车表皮后,进行开坯锻造,锻造规范为:加热温度  $1150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , 保温 60min, 逐渐增加变形量, 锻成方棒。

[0025] (4) 自由锻造

[0026] 将开坯锻造后的方棒自由锻为棒材, 自由锻造规范为:  $1130^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , 保温  $20 \sim 40\text{min}$ , 保温时间随棒材横截面的减小而相应缩短。

[0027] (5) 热轧

[0028] 将自由锻后的棒材热连轧细棒材, 热连轧规范为: 加热温度  $900^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$ , 保温  $1 \sim 2\text{h}$ 。

[0029] (6) 拉拔焊丝

[0030] 将热轧后的细棒材在拉丝设备上进行拉拔, 在拉丝过程中, 对细棒材进行中间退火处理, 退火规范为: 加热温度  $620^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ , 保温  $1 \sim 2\text{h}$ 。直至将其拉拔为目标尺寸的焊丝。

[0031] (7) 焊丝酸洗

[0032] 首先采用  $\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液定径, 再用  $25\% \sim 30\% \text{ HNO}_3$  水溶液光亮处理。

[0033] 实施例:

[0034] 分别制备 5 个焊丝, 焊丝组成本分别采用表 1 中的组份。

[0035] 表 1 焊丝成分 (wt. %)

[0036]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	Mo	Fe
1#	0.03	0.40	0.60	0.015	0.015	15.0	5.2	3.2	0.40	—	Bal.
2#	0.09	0.40	0.60	0.01	0.005	15.8	5.8	3.5	0.50	—	Bal.
3#	0.01	0.30	0.70	0.02	0.015	15.9	4.5	3.5	0.35	—	Bal.
4#	0.04	0.60	0.65	0.02	0.015	16.8	5.5	3.7	0.30	0.30	Bal.
5#	0.06	0.30	0.50	0.015	0.015	14.2	4.2	3.5	0.40	0.20	Bal.

[0037] (1) 炉料配比

[0038] 根据各元素的目标含量和熔炼烧损系数,确定各原料的配比。

[0039] (2) 采用真空感应炉冶炼焊丝钢。其工艺条件:真空度  $0.1 \sim 10\text{Pa}$ , 精炼温度  $1530 \sim 1590^\circ\text{C}$ , 精炼时间 5 ~ 15 分钟, 浇注温度,  $1460 \sim 1550^\circ\text{C}$ 。

[0040] (3) 采用真空自耗电弧炉重熔焊丝钢。其工艺条件:真空度  $0.1 \sim 1.0\text{Pa}$ , 电压

20 ~ 35V, 电流密度 150 ~ 200A/cm<sup>2</sup>, 熔炼速度 5.0 ~ 10.0cm/min。

[0041] (3) 开坯锻造

[0042] 将铸锭去缩孔、车表皮后, 进行开坯锻造, 锻造规范为: 加热温度 1150°C ± 10°C, 保温 60min, 逐渐增加变形量, 锻成方棒。 (4) 自由锻造

[0043] 将开坯锻造后的方棒自由锻为棒材, 自由锻造规范为: 1130°C ± 10°C, 保温 20 ~ 40min, 保温时间随棒材横截面的减小而相应缩短。

[0044] (5) 热轧

[0045] 将自由锻后的棒材热连轧细棒材, 热连轧规范为: 加热温度 900°C ~ 950°C, 保温 1 ~ 2h。

[0046] (6) 拉拔焊丝

[0047] 将热轧后的细棒材在拉丝设备上进行拉拔, 在拉丝过程中, 对细棒材进行中间退火处理, 退火规范为: 加热温度 620°C ~ 650°C, 保温 1 ~ 2h。直至将其拉拔为 Φ1.6 焊丝,

[0048] (7) 焊丝酸洗

[0049] 首先采用 HCl+HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液定径, 再用 25% ~ 30% HNO<sub>3</sub> 水溶液光亮处理。

[0050] 焊接时, 采用自动钨极氩弧焊工艺对厚度为 δ 15mm 的 15-5PH 钢进行对接。焊接规范为: 坡口为 X 形坡口, 经打底焊和正反面各 3 道焊焊满坡口, 电流 I = 180 ~ 200A, 焊接速度 v = 100 ~ 140mm/min, 送丝速度为 0.3 ~ 0.5m/min, 氩气流量为 10 ~ 12L/min; 打底焊焊接电流 I = 120 ~ 140A, 焊接速度 v = 120 ~ 140mm/min, 送丝速度为 0.3 ~ 0.4m/min。

[0051] 焊后进行热处理, 规范为: 1040°C × 40min, AC ; 480°C × 1h, AC。

[0052] 接头的室温拉伸和冲击性能测试结果由表 2 给出。5 个焊丝焊接 15-5PH 钢接头强度系数均大于 90%, 同时具备较高的塑性和冲击韧度。较大的试板厚度 (δ 15mm) 和在夹具中施焊造成了较大的拘束度, 但在打底焊和后续焊道焊接过程中均无裂纹发生, 焊后 X 光检查也未发现内部裂纹, 说明焊丝的抗裂性良好。

[0053] 表 2 采用 4 个焊丝焊接 15-5PH 钢的接头室温拉伸和冲击性能

[0054]

焊丝编号	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta_5$ (%)	冲击值 $a_{ku}$ (J/cm <sup>2</sup> )	3.5%NaCl 应力腐蚀断裂韧度 $K_{ISCC}$ MPa $\sqrt{m}$
1#	1343	11.3	73.4	46.5
2#	1350	11.4	71.3	47.8
3#	1338	10.3	78.3	50.4
4#	1330	10.8	74.5	49.3
5#	1310	10.5	71.2	48.8