

# 司太立钴基合金 GTAW 堆焊工艺探研

大连深蓝泵业有限公司(116031) 李友谊 罗扬  
洪杰 王礼凤

**摘要** 司太立钴基合金堆焊的技术难点是焊后容易产生的焊接缺陷组织微裂纹、冷裂纹、堆焊层脱落,导致产品焊后返修或报废。在实际的生产过程中,只要堆焊工艺选择合理,避免堆焊层焊缝金属的化学成分烧损和杂质元素的渗入,稀释率控制合适的前提下,堆焊质量和性能就能保证。因此非熔化极手工钨极氩弧焊(GTAW)堆焊不失为一种理想的焊接方法选择。

**关键词:** GTAW 堆焊 热输入 稀释率 合金元素烧损 杂质元素 硬度  
**中图分类号:** TG445

## 0 前言

司太立合金是一种具有耐磨、耐蚀、抗氧化和耐高温的硬质合金,即通常所说的钴基合金。为了适应市场需求和扩大产品选型范围及对材料等级的要求,满足设计产品对摩擦副(轴套、口环、平衡套等)零件表面的硬度要求,在其表面进行司太立堆焊。

奥氏体不锈钢摩擦副零件司太立堆焊件,在加工到产品图纸要求的尺寸后,其表面硬度要求值在HRC42~55之间,为此进行了奥氏体不锈钢摩擦副零件司太立堆焊的探索研究试验。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 母材

按 ASME 第 IX 卷《焊接和钎接工艺,焊工、钎接工、焊接和钎接操作工评定标准》关于堆焊评定的要求,这

次选用的母材材料牌号为 F304 SA-182<sup>[1]</sup>,规格型号为 23 mm × 150 mm × 150 mm,化学成分见表 1;力学性能抗拉强度为 630 MPa,断后伸长率为 59.5%,被堆焊表面粗糙度要求达到 Ra = 6.3 μm 以上后,进行液体渗透检验合格,其具体尺寸见图 1。

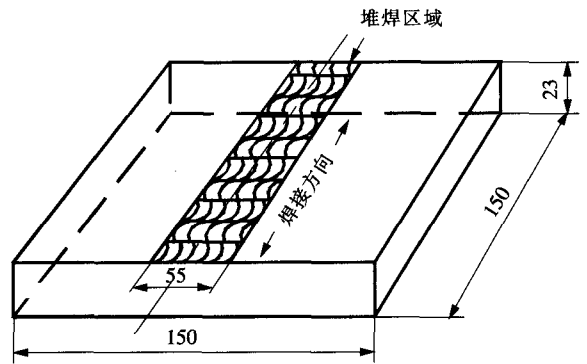


图 1 试板及尺寸

表 1 F304 SA-182 母材化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N	Mo
0.048	0.68	1.33	0.038	0.001	18.16	8.00	0.16	0.050 5	0.13

### 1.2 焊接方法

采用常用的非熔化极手工钨极氩弧焊(GTAW),喷嘴直径为 φ10 mm,钨极材料牌号 WCe-20,直径 φ2.4 mm<sup>[2]</sup>。

### 1.3 焊接材料

焊丝采用按 ASME 第 II 卷 C 篇《焊条、焊丝及填充金属》SFA-5.21 制造和检验的牌号为 ERCoCr-B/Co112 规格 φ3.2 mm 的钴基合金,也就是常说的司太立 12# 焊丝,化学成份见表 2,硬度值最大值为 HV<sub>max</sub> 459.6,最小值为 HV<sub>min</sub> 441.0,平均值为 HV450.3。

表2 ERCoCr-B/Co112 焊丝化学成份(质量分数,%)

C	Si	Mn	W	S	Cr	Ni	Fe	Mo	其它	Co
1.57	1.32	0.003	8.97	0.03	30.79	2.41	2.55	0.32	<0.50	余量

## 2 焊接堆焊工艺的选择及无损检测

### 2.1 焊接性分析

根据目前国际成熟的经验,堆焊层的性能主要由堆焊层焊缝金属的化学成分和稀释率所决定的,而焊缝金属的化学成分取决于焊接材料的化学成分,当焊接材料选定后,其焊缝金属的化学成分就基本上确定<sup>[3]</sup>。在焊接工艺的选择时,要考虑避免外在因素导致焊缝金属化学成份的改变,或其它杂质元素的渗入;稀释率的大小取决于焊接时热输入量( $E$ )的大小,即热输入越大,稀释率越高;反之则减小,其热输入计算公式如下<sup>[4]</sup>:

$$E = UI/v \quad (1)$$

式中: $E$ 为焊接热输入,J/mm; $I$ 为焊接电流,A; $U$ 为焊接电压,V; $v$ 为焊接速度,mm/min。

因此在选择焊接工艺时,应从保证堆焊层焊缝金属的化学成份和减小焊接热输入量两个方面切入。预先确定的工艺流程路线如下:下料→刨铣→无损检测(PT)→预热→焊接→外观检查→无损检测(PT)→试样加工→化学分析及性能试验→资料收集→结果分析→报告整理→运用生产<sup>[5]</sup>。

### 2.2 焊接前要求

被堆焊表面要求经液体渗透检验确认无裂纹、气孔、夹层、重皮等表面缺陷后,用丙酮清洗堆焊表面,要求被堆焊表面及边缘10~20 mm范围内,无油污、水分等影响堆焊焊接质量的物质,随即将堆焊件整体预热到15℃以上,手触摸感觉温暖后,立刻进行焊接。同时确认焊接环境相对湿度要求不高于80%,风速不高于2 m/s,Ar气纯度要求达到99.99%。

表3 ERCoCr-B 焊丝 GTAW 焊接规范参数

直径 $d/mm$	极性	焊接电流 $I/A$	焊接电压 $U/V$	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	氩气流量 $Q/(L \cdot m^{-1})$
3.2	直流反接	100	12	100~120	12

### 2.4 焊后及无损检测要求

焊件冷却到室温后,对堆焊区和热影响区按ASME第V卷《无损检测》第9章的要求进行了外观检验,其结果符合ASME第IX卷《焊接和钎接工艺,焊工、钎接

### 2.3 焊接过程中要求

从计算公式(1)可以知道,焊接热输入( $E$ )的大小,与焊接电流( $I$ )同焊接电压( $U$ )的乘积大小成正比,焊接速度( $v$ )的大小成反比。对非熔化极手工钨极氩弧焊(GTAW)焊接方法来说,焊接电流是属于预先设定可控因素,焊接电压和焊接速度是属于人为控制随机因素,这在法国RCC-M标准第IV卷S篇《焊接》中得到引证。同时在ISO 15614-7:2007《金属材料的焊接工艺评定第7部分:堆焊》第8.5.4条款中有这样的描述:每一层认可的热输入量范围上限是超过焊接工艺评定时同一层所使用热输入量的25%,下限是低于焊接工艺评定时同一层所使用热输入的10%。由于焊接电压和焊接速度是属于人为控制,因此在选择焊接规范参数时,优先考虑的就是控制焊接电流的大小,在保证堆焊质量的前提下,尽可能选择较低的焊接电流值,即选择“小电流、短弧焊、快速、多层多道焊”<sup>[6]</sup>。其焊接规范参数调节见表3。堆焊时严格控制焊道间距,焊接下一焊道应压住前一焊道宽度的一半为合适,最大限度地降低稀释率。焊道间的焊接方向应来回往返逐道焊接(图1),以减少焊接应力和变形。焊接前,焊接电源应预先调控到预送氩气和迟后停止送氩气保护状态<sup>[7]</sup>,开始应在同材质的引弧板上调试电流、引燃电弧,然后过渡到始焊区域开始焊接,焊接时从沿焊缝中心轴线始焊处6号编号位置开始向两侧来回往返焊接(图2)。收弧时弧坑必须填满,防止产生弧坑裂纹。焊缝接头处采用回焊引弧法,来保证焊接接头处的接头质量。每道焊缝道间的焊接接头处要求错开。堆焊厚度应保证在3.5~4.0 mm范围内。焊接结束后随即将岩棉保温缓慢冷却至室温<sup>[5]</sup>。

工、焊接和钎接操作工评定标准》QW-194的要求。然后又按ASME第V卷《无损检测》第6章的要求进行了液体渗透检验,其结果符合ASME第IX卷《焊接和钎接工艺,焊工、钎接工、焊接和钎接操作工评定标准》

QW—195.2 的规定。

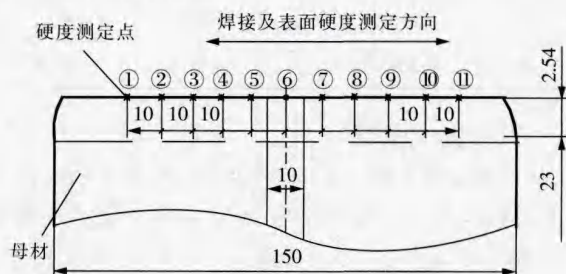


图2 硬度试验检测位置

### 3 化学分析、硬度检测及金相试验分析

#### 3.1 试样制备

堆焊焊缝外观检验和液体渗透检测合格后,焊缝表面用机加工方法刨削至距基体表面 2.54 mm 厚度,要求焊缝被加工表面粗糙度达到  $Ra = 6.3 \mu\text{m}$  以上,其具体尺寸见图 2。

#### 3.2 堆焊金属表面硬度试验

在加工到尺寸 2.54 mm 厚度的堆焊面上,按 GB/T 231.1—2000《金属材料布氏硬度实验 第1部

分:试验方法》标准,如图 2~3 所示的位置,沿焊缝中心轴线始焊处 6 号编号位置开始向两侧,按图 2 编号进行了硬度值测定。共测定 11 个点,每点间间距按 10 mm 均布,如图 2 所示。在室温为 16.8 °C,相对湿度为 32% 的环境中,其硬度值检测结果见表 3,满足硬度 HV404~596 之间的要求。

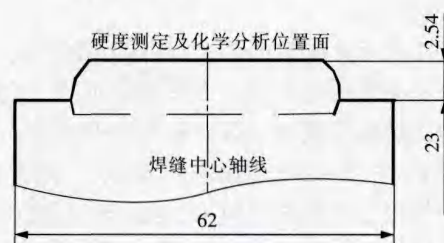


图3 硬度及化学分析检测试样

#### 3.3 堆焊金属表面处化学分析

在加工到 2.54 mm 厚度的堆焊面上,进行光谱试验分析,如图 3 所示的位置进行。其检测结果见表 4,满足 ASME 第 II 卷 C 篇《焊条、焊丝及填充金属》SFA—5.21 规范 ERCoCr—B 的要求。

表 4 堆焊金属表面硬度测定值

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均值
468.0	482.0	475.0	504.5	512.0	475.0	535.5	561.0	551.5	527.0	504.5	508.7

表 5 堆焊金属表面处化学成分检测结果(质量分数,%)

C	Si	Mn	W	S	Cr	Ni	Fe	Mo	其它	Co
1.44	1.35	0.18	8.45	—	30.28	2.95	2.13	0.35	<0.50	余量

#### 3.4 金相检验

按图 2 位置和图 3 尺寸制取,厚度为 10 mm 的金相检验试样后,对其中一个截面见图 4~5,打磨抛光后采用王水(浓  $\text{HNO}_3$ : 浓  $\text{HCl} = 1:3$  体积比)溶液腐蚀,当焊缝金属和热影响区呈现出清晰的界限后,进行如下检验。

##### 3.4.1 宏观金相检验

按 ASME 第 XI 卷《焊接和钎接工艺,焊工、钎接工、焊接和钎接操作工评定标准》的要求,经肉眼观察焊缝金属和热影响区横断面,完全熔合,无裂纹、未熔合、未焊透、气孔、层间脱落等焊接缺陷,结果符合 ASME 要求。宏观金相组织见图 4。

##### 3.4.2 微观金相检验

按 ASTM E112《确定平均晶粒尺寸的标准测试方法》的要求,采用 Nikon MA100 金相显微镜,分别对堆

焊层、熔合线、热影响区及母材等区域进行微观金相观察,未发现有影响试件性能的显微裂纹和异常组织存在。堆焊层焊缝金属为钴基铸态组织和 Co-Cr-Ni-Fe 及碳化钨等晶间化合物组织组成热影响区和基体为奥氏体+少许铁素体组织组成。基体晶粒度约 7.2 级,热影响区晶粒度约 6 级。焊缝、热影响区、母材等区域微观金相组织照片图 5a~5d。

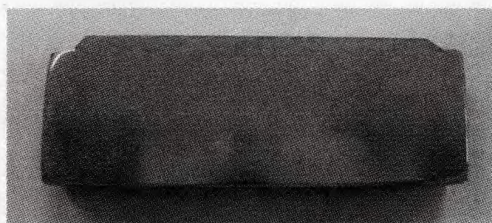
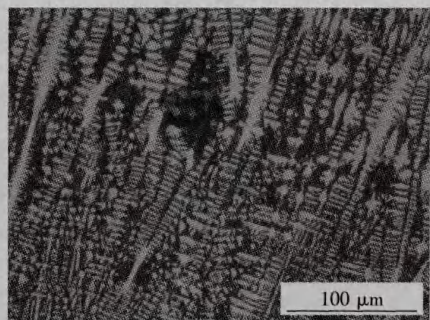


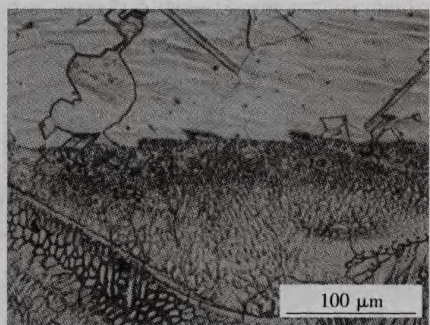
图 4 宏观金相检验试样

### 3.5 横截面焊缝金属、热影响区和母材硬度值分析

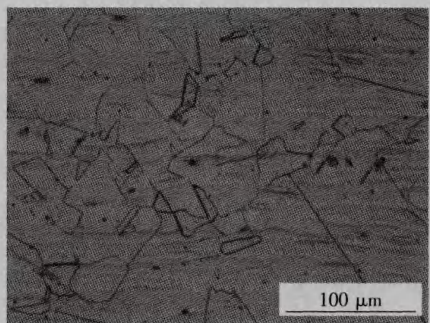
从图6可以看出焊缝金属的硬度都在HRC42~55之间;热影响区和母材的硬度值都在HRC20以下。经



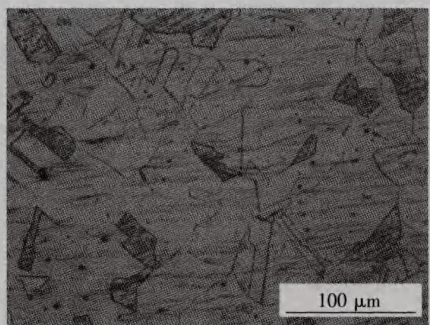
(a) 焊缝区(腐蚀剂 10%草酸电解)



(b) 熔合线(腐蚀剂王水)



(c) 热影响区(腐蚀剂王水)



(d) 母材(腐蚀剂王水)

图5 微观金相组织照片

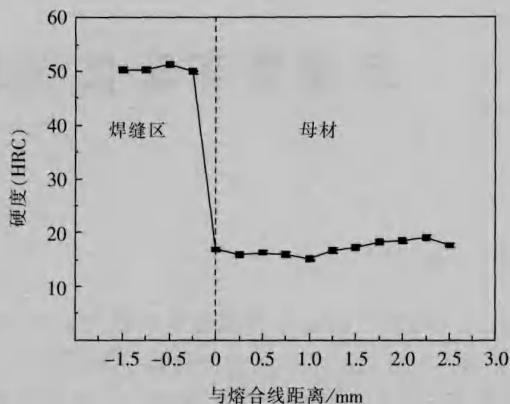


图6 硬度曲线

过金相组织和硬度分析,在焊接试样横截面中未发现影响接头性能的裂纹、气孔等焊接缺陷和硬度HRC的异常分布。

## 4 结 论

(1) 堆焊层的性能主要由堆焊层焊缝金属的化学成分和稀释率所决定的。

(2) 在选择焊接方法和焊接工艺时要尽量控制焊缝金属的化学成份在其选定焊接材料相应制造检验执行标准的规定值围内,避免焊缝金属的化学成分烧损和其它不必要的杂质元素渗入。

(3) 焊接规范参数的选择,要尽量选择软规范,以降低稀释率和焊缝金属的组织应力。

## 参 考 文 献

- [1] ASME 锅炉及区力容器委员会材料分委员会. ASME 第II卷材料 A 篇铁基材料标准[S]. 北京:中国石化出版社,2008.
- [2] 俞尚志. 焊接工艺人员手册[M]. 上海:科学技术出版社,1992.
- [3] 周振丰. 金属熔焊原理及工艺[M]. 北京:机械工业出版社,1981.
- [4] 周振丰,张文钺. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [5] 徐艳梅,苏 强. 连铸机扇形段堆焊辊的制造工艺分析[J]. 金属加工,2012,8(4):53-55.
- [6] 王学伟,阎守勇,王建东. 42CrMo 驱动辊埋弧堆焊工艺研究[J]. 金属加工,2012,22(11):60-62.
- [7] 邱霞菲,邹金桥,王瑞权. TIG 打底焊工艺研究[J]. 热加工工艺,2012,41(19):182-183.

作者简介: 李友谊,1968 年出生,工程师,主要从事锅炉压力容器制造、压力管道安装等特种设备和民用核安全设备制造的工作。