

# Duplex Stainless Steel Strip Electrode Surfacing Process

Honghai Liu

Fushun Chemical Machinery Equipment Manufacturing Co., Ltd., Fushun, Liaoning, 113000, China

## Abstract

Biphase stainless steel has a history of more than 70 years, due to excellent corrosion resistance, high strength, especially in chloride media stress corrosion, gap corrosion and pore corrosion, is widely used in chemical, petrochemical, electric power, paper and other fields. Biphase stainless steel strip overwelding process is a commonly used and high economic benefit material. Based on this, this paper introduces the strip stacking welding of duplex steel. Starting from the problems existing in the process of strip stacking welding, the influence of the stacking welding process is analyzed in detail, and discusses the influence of the test after welding cooling mode on the performance through the test. The results show that the forced cooling is favorable for the two-phase balance and corrosion resistance.

## Keywords

duplex steel; electrode surfacing welding; natural cooling; forced cooling

# 双相不锈钢带极堆焊工艺

刘洪海

抚顺化工机械设备制造有限公司, 中国 · 辽宁 抚顺 113000

## 摘要

双相不锈钢已有70多年的历史, 由于有优良的耐蚀性、强度高, 对于氯、硫、磷等化学介质中抗应力, 抗腐蚀、有优异性能, 是被用于在化学化工、石油化工、高压、高温作业等领域。双相钢焊带堆焊工艺是目前一种常用的、高经济效益的材料符合方式。基于此, 论文介绍双相钢的焊带堆焊, 从双相钢焊带堆焊过程中存在的问题入手, 详细分析堆焊工艺所产生的影响, 并通过试验的开展探讨试验焊后冷却方式对性能的影响。结果表明: 焊后水冷对两相平衡和耐蚀性能有利。

## 关键词

双相钢; 带极堆焊; 自然冷却; 强制冷却

## 1 引言

近年来, 随着高硫、磷原油的提炼需求量增加, 对炼油化工设备大型化迫切需求, 而普通的 S316218/S31603 材质设备的耐蚀性能已经本能满足生产需求, 在炼油设备上对双相不锈钢的应用越来越多, 如国内曾经发生, 某加氢装置的高压换热器管束产生氯盐腐蚀, 不得不将换热管材质从 32168 改为 2205 的实例。但是因为双相钢价格较为昂贵, 只能在一些较为重大, 重要设备上使用, 会带来成本的大幅度增加, 往往是采用基体低合金钢, 耐蚀层双相钢的复合材料办法解决, 关于材料的复合方式, 目前主要有两种: 一种是采用爆炸复合板的方式进行, 另一种方式是采用电弧焊堆焊技术。关于双相钢的爆炸复合技术, 因为复合板爆炸后需要进行热处理消除应力, 存在着热处理制度选择的难题, 国内曾经出现过在役双相钢爆炸复合板设备爆炸的实例, 因

此对双相钢复合板使用应该谨慎为好。堆焊技术可以较好的规避这些问题, 但是目前大部分企业采用的是手弧焊堆焊技术, 存在相邻焊道重复受热, 热循环次数增加, 堆焊效率不高, 外观质量差, 难以适应大面积产品堆焊的问题, 开展高效率的双相钢带极堆焊技术是一个迫在眉睫的重要课题。

## 2 双相钢焊带堆焊时存在的技术问题

### 2.1 堆焊焊材的选用

对于 2205 型双相钢焊带堆焊, 现在通常采用双层堆焊的方法得到, 即过渡层 + 复层, 通常不锈钢堆焊的过渡层需要考虑复层材料和基材成份的差异, 从而降低基材对堆焊层的稀释效应, 考虑到复层 2205 的 Mo 含量的平衡, 选择 309MoL, 但是由于焊带成材率的影响, 焊带中较高的 Cr、Mo 会严重影响焊带的成材率, 致使成本居高不下, 不利于工程应用, 因而对于过渡层焊带选为: 山东维克 00Cr23Ni13Mo3/24.13.2L, 复层选择山东维克 00Cr22Ni8Mo3/22.8.2L, 适用焊带宽度: 60 × 0.5, 使用配套焊剂为: 10SW; 焊带堆焊方式为电弧型。具体成份见表 1。

【作者简介】刘洪海 (1988-), 男, 中国河南人, 本科, 助理工程师, 从事焊接研究。

表 1 堆焊焊带的熔敷金属化学成份 (%)

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	N
技术条件要求 24.13.2L	≤ 0.025	1.0~2.4	0.2~0.55	≤ 0.02	≤ 0.02	21.0~25.0	11.0~14.0	2.0~4.0	≤ 0.85	0.1.0~0.18
复验值 24.13.2L	0.021	1.45	0.31	0.006	0.015	23.23	13	2.1	0.075	0.15
技术条件要求 22.8.2L	≤ 0.025	0.5~2.1	≤ 0.8	≤ 0.02	≤ 0.02	21.5~25	7.5~9.2	2.5~3.4	≤ 0.85	0.1.0~0.15
复验值 22.8.2L	0.017	1.1	0.32	0.004	0.004	22	8.25	2.6	0.076	0.13

## 2.2 焊接参数对堆焊工艺的影响

### 2.2.1 焊接时焊接电流数值与堆焊工艺的变化规律

在堆焊过程中，焊接电流数值对堆焊层的堆焊厚度、焊接熔深、熔敷率具有的影响。在焊接其他参数不变的情况下，焊接随着电流增加，堆焊厚度增加、熔敷率变小，合金元素的烧损加剧，堆焊层铁素体含量不能准确的在适宜范围内，从而导致耐蚀性降低。因堆焊层厚度增加，造成相邻焊道之间搭接不好，熔合不好，造成堆焊层贴合较差。

结合实际施焊中焊带规格推荐电流值： $I=750-930\text{ A}$ 。

### 2.2.2 堆焊速度与堆焊工艺的变化规律

堆焊速度的变化对焊道成型和熔敷率的影响也比较明显，在焊接其他参数不变的情况下焊接速度越快，堆焊厚度越薄、熔敷率加大，易造成咬边及熔合不良。

### 2.2.3 焊接电压与堆焊工艺的变化规律

堆焊过程中，在焊接其他参数不变的情况下电压变化对焊道成型，焊道宽度及稳定性也有规律变化，即电压越高会使堆焊焊道出现咬边缺陷。

### 2.2.4 焊带干伸出长度与堆焊工艺的变化规律

焊带的伸长过长，在堆焊过程不焊接越不稳定，伸长越短短会使渣壳越容粘附在导电嘴上，导致焊带熔化不完全，焊道不成型。结合实际施焊中焊带干伸长推荐 35~40mm 范围内为最佳。

## 2.3 冷却方式对铁素体数值变化规律

双相钢堆焊层应具有与双相钢相同的稳定双相组织，从而有良好的耐蚀性和强度，通常要求两相比例在 50% 为好，考虑到工程实践，要求两相比例为 30%~70%。由于焊带在堆焊时焊接线性能量大，焊接时冷却速度跟不上，致使焊道相邻重复受热，易形成  $\sigma$  相导致脆化。图 1 描述了这一情况。图 2 表示不同的冷却速度和方式对金相组织的影响，从中可以看出，如果想得到合适双相组织，较快的冷却速度是必须的，否则会产生硬而脆的 s 相。针对上诉问题，在带极堆焊实践中需要重点考虑冷却方式和堆焊层的在焊接时冷却速度，通常采用自然冷却（空冷）和强制冷却（水冷）两种方式进行了试验。

## 3 焊带堆焊试验

基层板材采用规格为 300×260×60mm 的 12Cr2Mo1R。焊接方式为电弧型焊带堆焊，采用双层堆焊工艺，过渡层：焊材 309MoL，+ 复层 S2209。其堆焊后的冷却方式：方案一为空冷；方案二为水冷，具体规范见表 2。

## 4 堆焊层检测结果

### 4.1 堆焊试件堆焊层的检测

堆焊试件堆焊层的检测见表 3~ 表 6。

### 4.2 堆焊层化学成分分析

堆焊层化学成分分析表 7。

表 2 双相钢带极堆焊参数

	焊接材料		焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 cm/min	厚度 mm	焊后处理
	材质	规格 mm					
过渡层	24.13.2L/10SW	0.5×60	850—900	28	18	3	620℃×2h
耐蚀层	22.8.2L/10SW	0.5×60	850—910	28	18	3	无

注：①极性为 DC。②堆焊层为过渡层+复层，焊后空冷（方案一）和水冷（方案二）。③焊后进行 100%UT、100%PT 检测。

表 3 堆焊层力学性能试验（在面层取样）

焊后冷却方式	试样 (mm)		试验温度 °C	$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	侧弯 D=4a, L=6.2a	剪切强度 MPa
	宽	厚							
空冷	6	3	常温	651	510	25.4	41.8	$\alpha:180^\circ$ 合格	300
	6	3		656	520	26.7	45.7		292
水冷	6.5	3.2		658	500	29	43.8		312
	6.5	3.2		663	500	26	46.7		285

表 4 堆焊层的腐蚀试验

点腐蚀试验 (FeCl <sub>3</sub> )			晶间腐蚀试验		
ASTM A923C 法要求腐蚀率≤ 10mdd			GB/T4334.5—2000		
冷却方式	自然冷却	强制冷却	冷却方式	自然冷却	强制冷却
试样	腐蚀率 / mdd		试样编号	结论	
1#	7.1	6.4	D1-13	无晶间腐蚀倾向	
2#	8.2	6.4			
3#	7.5	6.5	D1-14		
4#	9.5	9.6			

表 5 堆焊层硬度试验 (HV)

冷却	母材	熔合线	堆焊层
空冷	170/180/175	260/275/270	250/270/265
水冷	180/185/175	270/265/275	260/265/270

表 6 堆焊层铁素体含量测定 ( % )

铁素体仪 (up30) 后焊面								
冷却	位置	起弧点		中间点		收弧点		平均值
空冷	铁素体含量	30	32	34	30	34	35	32.5
水冷		36	36	38	38	38	42	38.3
ASTM-562 的点计数法								
空冷	体积分数 Vv					34.5		
水冷						41.2		

表 7 堆焊层熔敷金属化学成分 ( % )

化学元素	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	N
熔敷金属	0.016	0.89	0.44	0.012	0.013	21.31	8.4	3.25	0.08	0.15

注：距表面层 3~3.5mm 复层厚度范围内取沫化验。

## 5 结论

①经过焊后空冷和水冷的两种不同的冷却方式在铬钼钢板材上堆焊双相钢堆焊层，焊后对堆焊层各项指标进行检测，其结果均符合标准要求。

②用阿思密 A923C 法进行检测，双相钢焊带堆焊堆焊层空冷的腐蚀率为 8.0mdd；水冷的腐蚀率为 7.5mdd；水冷较空冷的腐蚀率低；然后分别按阿思密 -562 点计数法与磁性法测定堆焊层中铁素体，空冷的铁素体含量分别为 36.8% 和 FN33；水冷的铁素体含量分别为 41.5% 和 FN38.5。水

冷比空冷的堆焊层铁素体量高。因为两相平衡的理想值是 FN40-60，所以水冷方式比空冷方式堆焊层更能接近两相平衡。

## 参考文献

- [1] 吴玖.双相不锈钢[M].北京:冶金工业出版社,1999.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会编.焊接手册[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [3] 刘国伟.焊接后热与焊后热处理温度对焊接残余应力松弛的试验研究[J].压力容器,1994(3):26.
- [4] 陈丰登.爆炸处理法消除焊接残余应力[J].压力容器,1987(1):17.