550MPa级高强钢用无缝药芯焊丝SRSF81Ni1的研制

郭纯　曾志伟　孔红雨　朱官朋　张文军

【摘要】本文针对550MPa级高强钢焊接成功开发出一种超低氢高韧性无缝药芯焊丝，产品牌号SRSF81Ni1。研制的550MPa级高强钢用超低氢高韧性无缝药芯焊丝，焊接电弧稳定、脱渣容易、飞溅小、可全位置焊接，熔敷金属具有超低的扩散氢，力学性能尤其是低温冲击韧性优异，实现了较高的强韧性匹配。可用于船舶制造、海洋工程、港口机械、工程机械、LPG储槽及桥梁等领域550MPa级高强钢焊接。焊丝性能满足AWS A5.29 E81T1-Ni1 H4要求。

关键词：高强钢；超低氢；无缝药芯焊丝；低温冲击韧性

1. 概述

随着科技的发展炼钢水平不断提高，抗拉强度550MPa级的钢材在船舶制造、海洋工程、港口机械、工程机械、LPG储槽及桥梁等领域开始得到推广应用，而国内与之相配套的焊接材料较少。药芯焊丝作为一种高效焊接材料在上述领域使用广泛。无缝药芯焊丝作为药芯焊丝中的一类，相比于传统的有缝药芯焊丝具有超低扩散氢，抗吸潮抗生锈能力强，运输储存方便，适合于自动化焊接等优点在欧美日得到广泛应用。

洛阳双瑞特种合金材料有限公司拥有国内第一条具有自主知识产权的无缝药芯焊丝生产线。已开发和批量生产多种无缝药芯焊丝产品，其中SRSF501无缝药芯焊丝填补了国内空白。

本文介绍了针对550MPa级高强钢成功开发出的一种超低氢高韧性无缝药芯焊丝，焊丝牌号SRSF81Ni1。

2. 主要材料及设备

焊丝外皮采用普通冷轧低碳钢带，钢带清洗后经成形机组轧制成“U”形，在线加入药芯粉，填充比为（15±0.5）%。加入药芯粉后的钢带轧制成“O”形，再经在线焊合、高温退火、细减径，最终产品为ϕ1.2 mm。钢带化学成分和药芯粉的主要成分分别如表1和表2所示。

焊接使用Panasonic KRⅡ500型气体保护焊机，按照AWS A5.29标准和GB/T 17493进行试板制备与试样加工，焊接试板选用Q420，规格为350mm×150mm×20mm。焊接参数为电弧电压28V，焊接电流260A。根据GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》和GB/T 2652—2008《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》取样测熔敷金属力学性能，试验分别在SINTECH20/G拉伸和ZBC2302—B冲击试验机上进行。

取熔敷金属横截面做金相试样，经磨光、抛光后，试样用4%硝酸酒精溶液刻蚀，按照标准GB/T 13298—1991《金属显

表1　钢带的化学成分（质量分数）　（%）

项目	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	V
标准值	0.12	0.80	1.50	0.03	0.03	0.80~1.10	0.15	0.35	0.05
例值	0.057	0.385	1.42	0.005	0.015	1.05	0.018	0.0054	0.014

表2　焊丝药芯粉主要组成（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	S	P
0.03	0.01	0.12	0.005	0.005

微组织检验方法》采用Observer.Z1m金相显微镜观察熔敷金属显微组织，用SPECTROLAB 型直读光谱仪分析熔覆金属化学成分。采用气相色谱法测扩散氢，测试4个试样取平均值，环境温度和湿度25℃×70%RH。

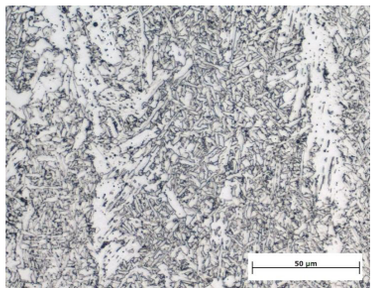
3. 结果分析及讨论

表3和表4分别给出了典型配方熔敷金属的化学成分和熔敷金属的力学性能。熔敷金属主要合金元素含量为：w_C=0.057%、w_{Si}=0.38%、w_{Mn}=1.42%、w_S=0.005%、w_P=0.015%、w_{Ni}=1.05%、w_{Cr}=0.018%、w_{Mo}=0.0054%、w_V=0.014%。屈服强度553MPa，抗拉强度609MPa，-40℃冲击吸收能量均值101J，力学性能尤其是低温冲击韧性较好，实现了较高的强韧性匹配。熔敷金属的化学成分和力学性能符合AWS A5.29 / A5.29M—2005 《Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding》中E81T1—Ni1 H4的要求。由表可看出，研制的550MPa级高强钢无缝药芯焊丝冲击韧性高，具有较好的力学性能。

附图是研制的550MPa级高强钢无缝药芯焊丝熔敷金属的金相组织照片。从图中可知，熔敷金属的金相组织主要为针状铁素体+先共析铁素体+块状铁素体+粒状贝氏体组织。

表5给出了研制的550MPa级高强钢无缝药芯焊丝扩散氢含量测试结果。从表5可以看出，研制的550MPa级高强钢无缝药芯焊丝经气相色谱法检测，扩散氢均值为2.24mL/100g，＜H4，达到了超低扩散氢水平。超低的扩散氢有利于高强钢焊接时减少冷裂纹的发生率，提高焊接质量。

船舶制造、海洋工程、港口机械、工程机械、LPG储槽及桥梁等领域焊接结构实际应用时，更重要的是考察焊接接头的整体力学性能。本文考察了研制的550MPa级高强钢用超低氢高韧性无缝药芯焊丝焊接接头的整体性能。表6给出了研制的550MPa级高强钢用超低氢高韧性无缝药芯焊丝Q420高强钢焊接接头力学性能测试结果。从表6可以看出，研制的SRSF81Ni1无缝药芯焊丝Q420高强钢焊接接头的抗拉强度＞530MPa指标要求,且断裂位置在母材上，焊接接头的焊缝、熔合线、热影响区的-40℃冲击吸收能量都＞47J的指标要求，冷弯合格。通过试验证明，研制的550MPa级高强钢用超低氢高韧性无缝药芯焊丝Q420高强钢焊接接头整体性能满足现有指标要求，可用于抗拉强度550MPa级高强钢焊接使用。



熔敷金属的金相组织（500×）

4.结语

研制的550MPa级高强钢用超低氢高韧性无缝药芯焊丝，焊接电弧稳定、脱渣容易、飞溅小、可全位置焊接，熔敷金属具有超低的扩散氢，力学性能尤其是低温冲击韧性优异，实现了较高的强韧性匹配。可用于船舶制造、海洋工程、港口机械、工程机械、LPG储槽及桥梁等领域抗拉强度550MPa级高强钢焊接。

表3 焊丝熔敷金属化学成分（质量分数） （%）

TiO_2	Al_2O_3+SiO_2	Mn-Si	Al-Mg	ZrO_2	MgO	Fe
45	8	10	5	2	5	余量

表4 焊丝熔敷金属力学性能

焊材牌号	R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	-40℃，KV/J
标准值	≥470	550~690	≥19	—	≥27
SRSF81Ni1	553	609	23	67	101

表5 熔敷金属扩散氢含量

试样编号	扩散氢含量/mL·（100g）$^{-1}$	
	单个试样值	平均值
1	2.46	2.24
2	2.15	
3	1.78	
4	2.56	

表6 Q420高强钢对接接头力学性能

焊材牌号	R_m/MPa	断裂位置	-40℃，KV/J			冷弯（d=3a，180°）
			焊缝	熔合线	热影响区	
标准值	≥530	—	≥47			合格
SRSF81Ni1	655	断母材	98	85	215	合格

作者简介：郭纯等，洛阳双瑞特种合金材料有限公司。

MW 20160628