



10CrNiCu钢气体保护自动焊接工艺研究

凌纯

【摘要】10CrNiCu钢属于船体高强钢，通过对7mm薄板开展气体保护自动焊试验，形成了平、立、横位置药芯焊丝气体保护自动对接焊工艺，解决了现场施工技术难点，提高了焊接生产效率。

1.概述

10CrNiCu钢是具有良好的综合性能和抗海水腐蚀性能的390MPa级船体用钢，该钢种与配套10CrNiCu药芯焊丝的气体保护焊技术已在实船上成功应用。为提高焊接效率，我们以7mm的薄板为研究对象，开展平、横、立多位置自动对接试验。通过试板焊接和无损探伤、理化性能试验等加工检测工序，持续优化操作方法，调整焊接参数，最终形成符合生产需要的10CrNiCu钢自动焊接工艺技术文件。

2. 材料和设备

(1) 母材 连铸10CrNiCu钢板的化学成分（熔炼分析）及力学性能技术指标如表1、表2所示。

(2) 焊材 工艺试验采用国内某专业焊丝制造商生产的10CrNiCu配套药芯焊丝（ $\phi 1.2\text{mm}$ ）。焊丝化学成分如表3所示，力学性能如表4所示。保护气体为纯度99.9%以上CO₂气体，使用JN—401陶质衬垫。

(3) 试验设备 试验采用

表1 连铸10CrNiCu钢化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
≤0.12	0.50~0.90	0.60~1.20	≤0.015	≤0.025	0.50~0.80	0.60~0.90	0.40~0.60

表2 连铸10CrNiCu钢力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击吸收能量 (-40℃，横向)/J
≥390	530~685	≥18	≥50	≥34

表3 10CrNiCu钢配套药芯焊丝化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
≤0.10	≤0.45	0.60~1.30	≤0.025	≤0.025	0.85~1.35	≤0.40	≤0.30

表4 10CrNiCu钢配套药芯焊丝熔敷金属力学性能

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	V型缺口平均冲击吸收能量 (-40℃) /J	
		平焊	立焊
≥390	530~685	≥34	≥27

YD—350GL型逆变CO₂气体保护焊机、OSCILATOR SR—28—1型自动焊行走小车。

3. 工艺试验

(1) 工艺试验项目 为全面探究10CrNiCu钢薄板自动焊操作要点和焊接特点，借鉴半自动焊接经验，设计了单面焊、双面焊两种形式，平、横、立三种位置共6个试验项目（见表5）。

(2) 试板装配 本试验采用刚性轨道自动小车焊接，需要试板平整，坡口平直，尽可能减

少错边。7mm试板在加工过程中会产生波浪变形，试板局部高低不平。焊接过程中受电弧热输入的影响，也会产生明显的变形。

试板两端应安装引弧板、引出板。自动焊对坡口和试板的装配精度要求较高，每隔300~500mm应进行定位焊接，薄板视平直度缩小定位间距。反面距坡口两侧30mm左右加排，单面焊反面加“Π”形马板固定，如图1所示。

为了控制焊接过程中变形，

设计了横、立位置自动焊接专用工装（见图2）。

装配完毕后，小车空走一遍，调整试板和轨道位置、焊枪角度、焊枪位置、焊枪摆动幅度、摆动频率及停留时间等参数，如图3所示。

（3）焊接试验 试板焊接采用直流反接极性（焊件接负）。焊前不预热，焊接层间温度控制在150℃以下，每层焊缝厚度应控制在4mm以内。双面焊接时焊缝反面采用自动碳刨机清根，确保碳刨面光顺过渡并保持良好的直线度（见图4）。

由于7mm10CrNiCu钢板薄，所以试板产生明显波浪变形，会造成自动焊过程的不稳定。具体表现在两个方面。

第一，试板高低不平，造成焊丝干伸长忽长忽短，焊接电流随之变化。干伸长变长，电流减小，焊丝熔敷量减少，易出现未熔合、未焊透等缺陷。陶质衬垫打底焊时，严重时会发生焊丝直接接触到衬垫造成熄弧的现象。干伸长的变化，焊工可通过调整喷嘴与钢板的距离，实时调整干伸长到最佳状态，也可通过调整焊接速度来适应电流的变化。

第二，坡口宽度发生变化，易出现中间宽的大肚现象。这时需要焊工根据坡口宽窄实时调整焊枪的摆动幅度或者调整小车行走的速度，保证焊缝成形及熔合良好。

（4）试验中存在的问题 10CrNiCu钢具有良好的焊接性，但由于薄板焊接的特殊性，试验过程中仍存在较多问题和难点，主要体现在双面立焊和单面

表5 10CrNiCu钢自动焊试验项目

试板编号	焊接位置	焊接形式	坡口形式与焊道布置
K1-1	立对接	单面焊	
K1-2	立对接	双面焊	
K2-1	平对接	单面焊	
K2-2	平对接	双面焊	
K3-1	横对接	单面焊	
K3-2	横对接	双面焊	



图1 试板装配



图2 10CrNiCu钢自动横、立对接焊接工装

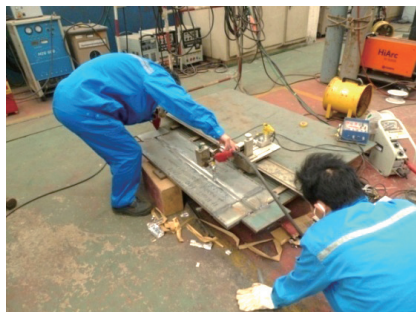


图3 焊前调试

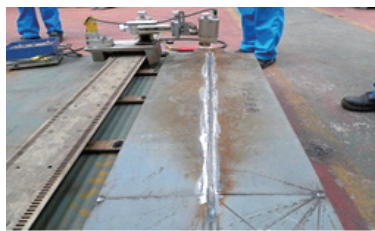


图4 碳刨机及碳刨面光顺和直线度

横焊两个项目中。

第一，自动立对接双面焊无法成形。立焊位置热输入最大，变形量也最大。小车行走速度、焊接电流及焊枪摆动幅度等关键参数无法匹配到最佳状态。双面焊试板装配间隙0~1mm，最大坡口宽度为7.5mm，半自动焊一般采用锯齿形运枪方式，既保证了熔透，又可控制热输入；常规的自动小车只能左右摆动，在保证焊缝能成形的行走速度下，总是产生焊瘤、焊穿等缺陷，无法获得满意的焊缝，焊缝外观如图5所示。



图5 自动立焊焊缝外观

第二，自动横对接单面焊反面成形。单面焊根部间隙4~5mm，试验初期设置焊丝摆动，但7mm横焊反面成形不良。观察反面根部成形，焊道窄，过渡也不均匀，坡口上下两侧的根部母材熔合较少。应该是焊接摆动时上下两侧根部停留时间较短，摆幅也较小，导致熔孔尺寸偏小，主要靠正面焊接时的电弧推力把金属渗透到反面，导致成形不良。考虑试板尺寸薄，适合用小参数，避免外观产生焊瘤和冲击韧性降低等现象。因此，设置了不摆动焊丝，小幅提高了焊

接电流，结果焊缝均匀过渡、成形良好。

其他项目焊接顺利，焊缝成形良好。各项目焊接参数如表6所示。

4. 试板检测

焊接试板在焊接完成24h后进行渗透和射线探伤。表面渗透探伤标准为JB/T4730.5—2005(I级)；射线探伤标准为GJN106—10—014(II级)。焊接试板均符合上述标准要求。

根据GJB 4000—2000及GJB64.1A—1997(参考)规范要求进行接头性能试验。10CrNiCu钢焊接接头工艺评定的合格指标如下规定：焊缝金属屈服强度 $\geq 390\text{MPa}$ ；抗拉强度 $\geq 530\text{MPa}$ ；冷弯 $d=3a$ ， 120° 裂纹 $\leq 3\text{mm}$ ， 180° 不断；5mm试样焊接接头各区域冲击吸收能量 $\geq 23\text{J}$ (立位置18J)，三个冲击试样中允许有一个值小于规定值，但不能小于规定值的75%。

测试结果显示5个项目试板的焊缝接头性能均符合规范要求，试验数值如表7所示。焊缝硬度测试点位置如图6所示，各区域的硬度值如表8所示，宏观检测均合格。

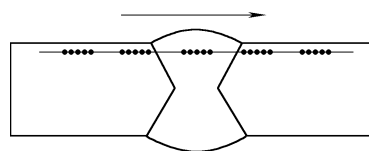


图6 硬度测试取点示意

5. 结语

通过上述工艺试验可知，7mm10CrNiCu钢双面焊接时试板产生明显波浪变形，自动焊小车行走和焊枪送丝干伸长需要焊

表6 10CrNiCu钢自动焊焊接参数

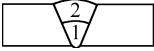
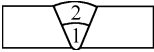
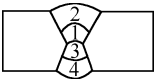
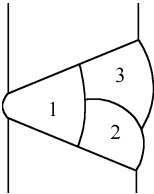
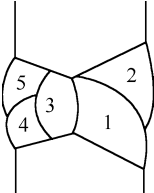
试验编号	焊道布置示意	道数	焊接电流 /A	电弧电压/V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	摆动频率/次·min ⁻¹ 停留时间/s	层间温度 /℃	热输入 /kJ·cm ⁻¹
K1-1		1	130~140	22~24	4.4	46/0.2 46/0.1	≤150	39~45
		2	140~160	24~26	6.9			29~36
K2-1		1	180~190	24~26	16.6	46/0.2	≤150	15~18
		2	180~190	24~26	17.6	46/0.2		15~17
K2-2		1	170~180	22~25	33.1	不摆动	≤150	7~8
		2	190~200	23~26	22.7	不摆动		14~15
		3	200~210	24~27	31.9	46/0.2		8~9
		4	200~210	24~27	22.7	不摆动		14~15
K3-1		1	135~145	21~23	10.8	不摆动	≤150	16~19
		2	155~165	22~24	29.4			7~8
		3	155~165	22~24	30.5			
K3-2		1	150~160	22~25	37.0	不摆动	≤150	6~7
		2	155~165	22~24	60.0	不摆动		3~4
		3	190~200	23~26	24.9	46/0.1		11~12
		4	185~195	23~26	31.6	不摆动		8~9
		5	185~195	23~26	54.5	不摆动		5~6

表7 10CrNiCu钢自动焊力学性能测试结果

试板 编号	抗拉强度 /MPa	弯曲D=3t a=120° /180° 正弯/反弯	-40℃焊缝中心V型冲击吸收能量/J		
			焊缝中心	熔合线	热影响区1mm
K1-1	593(断焊缝)	无裂/无裂	88/80/60	26/36/24	34/32/37
	593(断焊缝)				
K2-1	617(断母材)	无裂/无裂	66/50/60	32/50/58	20/42/33
	615(断母材)				
K2-2	590(断母材)	无裂/无裂	58/72/66	48/43/40	53/39/40
	585(断母材)				
K3-1	610(断母材)	无裂/无裂	60/68/50	38/29/24	31/26/30
	630(断母材)				
K3-2	584(断母材)	无裂/无裂	67/72/55	50/30/38	38/31/30
	602(断母材)				

表8 10CrNiCu钢自动焊硬度检测结果(硬度值<360) (HBW)

编号	位置	母材	热影响区	焊缝中心	热影响区	母材
K1-1	1	172~197	171~229	194~208	179~223	183~187
	2	176~186	165~223	186~216	186~221	172~179
K2-1	1	181~198	183~217	187~196	175~225	161~191
	2	175~181	174~232	186~194	187~229	191~207
K2-2	1	162~197	208~244	201~209	187~237	187~195
	2	185~203	227~241	180~221	199~248	187~195
K3-1	1	176~193	181~261	178~221	200~234	184~214
	2	181~207	195~230	177~206	176~241	182~190
K3-2	1	180~192	187~264	199~208	183~219	182~191
	2	184~189	185~269	185~227	183~215	180~189

工根据经验实时调整,对焊工操作技能水平要求较高,自动焊的优势不突出。虽然通过设计工装,调整焊接参数,可以一定程度上减少变形,但无法彻底解决这一问题。板厚7mm以下的10CrNiCu钢薄板不易实现药芯焊丝气体保护双面自动立对接焊,生产中有效的替代手段是采用单面对接焊或选用半自动、焊条电弧焊等其他焊接工艺方法。此外,薄板单面焊不仅现场施焊条件优于双面焊,而且单面焊还减少了碳刨、打磨等生产辅助环节,焊接效率明显高于双面焊。

作者简介:凌纯,海军驻江南造船(集团)有限责任公司军代室。