

高强钢焊接技术研究与应用

张明新¹ 吴海丽¹ 张学劲² 李恽君¹

(1. 山西长治清华机械厂, 长治 046012;

2. 中国人民解放军总装备部驻长治地区军事代表室, 长治 046012)



摘要: 通过对 HG785D 高强钢材料焊接性、焊接方法选取、焊接工艺参数确定及结构装配、焊接顺序等方面的研究, 摸索出了一整套高强钢焊接结构件生产的焊接技术, 并在产品研制中推广应用, 也为其它高强度钢的研究和应用提供了实践经验借鉴和工艺技术支持。

关键词: 高强钢; 焊接性; 焊接技术

Research and Applience of the High-tensile Steel Welding Technology

Zhang Mingxin¹ Wu Haili¹ Zhang Xuejin² Li Yijun¹

(1.Changzhi Qinghua Machinery Factory, Changzhi 046012;

2.The Military Represrntative Office in ChangZhhi Area, the General Armament Department, PLA, Changzhi 046012)

Abstract: Researched on the welding performance of HG785D high-tensile steel, welding method selection, welding technological parameters, structure assembly and welding sequence, found out a complete set of welding technology for the welding structural part of high-tensile steel which was spread and used in the research and manufacture of product, also provided the practical experience reference and technological support for the research and appliance of other high-tensile steels.

Key words: high-tensile steel; welding performance; welding technology

1 引言

高强度焊接结构用钢简称高强钢。作为一种焊接结构用钢, 高强钢具有强度高、韧性好、焊接性能优良、品种规格多样等特点, 特别适用于要求承载能力高、重量低的各类军民产品中的高强度承力焊接结构件。随着现代科技的快速发展, 以及产品对机动性、灵活性、快速反应性等要求的不断提高, 产品中高承载、轻质量焊接结构件的综合性能要求也越来越高。基于这种性能要求, 高强度承载结构越来越广泛地选用高强钢作为主要材料, 同时对焊接接头的质量提出了更高要求。因此高强钢焊接性的掌握程度、焊接技术的成熟与否、结构装配、焊接顺序安排的合理与否, 在很大程度上关系到产品承载能力、使用性能、安全

可靠性能能否实现。

本文主要对 HG785D 高强钢在高承载焊接结构件中的应用进行了较为深入的研究。对材料的焊接性能分别从理论分析、焊接方法选取及焊接工艺参数确定等方面进行了探索性的研究, 同时针对产品具体结构特点, 就装配和焊接顺序安排方面进行了研究与推广应用。

2 焊接性能研究

HG785D 属于低合金钢, 其化学成分见表 1, 机械性能见表 2。

表 1 HG785 钢化学成分质量分数，%

元素	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	Nb	Nb+V+Ti	B
最大含量	0.15	0.4	1.8	0.03	0.015	0.6	0.6	0.6	0.11	0.16	0.005

表 2 HG785 钢机械性能

板厚 δ/mm	质量等级	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	A ₅₀ /%	180°冷弯	冲击功/J		
						0℃	-20℃	-40℃
4~16	C	≥685	≥785	≥15	D=3a 完好	40		
	D						40	
	E							27

2.1 焊接性分析

低合金钢焊接过程中一个重要的特点就是，热影响区有较大的淬硬倾向。而影响淬硬程度的主要因素有两个：一是化学成分，钢中含碳量和所含合金元素量越高，其淬硬倾向越大；二是冷却速度，焊后冷却速度越大，淬硬倾向也越大。另外，低合金钢焊接时还容易出现冷、热裂纹。根据化学成分计算 HG785D 钢的冷、热裂纹敏感指数如下：

a. 冷裂纹敏感性指数 P_{cm} ：

$$P_{cm}=w(C)+w(Si)/30+w(Mn+Cu+Cr)/20+w(N)/60+w(Mo)/15+w(V)/10+5w(B)=0.363$$

b. 热裂纹敏感指数 H_{cs} ：

$$H_{cs}=w(C) \times [w(S)+w(Si)/25+w(N)/100]/[3w(Mn)+w(Cr)+w(Mo)+w(V)] \times 103=0.647$$

从计算结果可知：该钢冷裂纹敏感指数 P_{cm} 小于 0.4，且对冷裂影响较大的合金元素 S、P 含量均很低，说明该钢的冷裂敏感性很小；热裂纹敏感指数 H_{cs} 远小于 2，而且该钢的 Mn/S 比为 512，远大于 25，说明该钢的热裂敏感性很小。因此，该钢焊接前后一般可不进行热处理。当钢板厚度或结构拘束度大时，可根据需要进行一定的热处理。

2.2 焊接性试验

根据产品结构特点及技术要求，选取了厚度为 8mm 的 HG785D 钢板作为试板，设计出各种接头形式，对 HG785D 高强钢开展了焊接性研究。

焊接方法：采用热量集中、变形小、效率高的混合气体（80%CO₂+20%Ar）保护焊。

焊接材料：根据产品技术要求，选用焊丝 WH80-G，直径 Φ1.2mm。

热处理：焊接前后不进行热处理。

2.2.1 对接接头 X 射线检查

对接接头试件焊接后，进行了 X 射线检查，接头质量均符合设计文件对接头的要求，其中 1 件焊缝中

局部存在微小的气孔，但不超标。检查结果见表 3。

表 3 对接接头 X 射线检查结果

试件编号	接头等级	结论	备注
S-D-1	I	合格	
S-D-2	I	合格	局部存在气孔，不超标
S-D-3	I	合格	

2.2.2 焊接接头机械性能试验

按照焊接接头机械性能试验标准，对接接头、十字接头进行了机械性能试验。接头试样照片见图 1~3。接头机械性能试验结果见表 4。



图 1 接头拉伸试样



图 2 接头冲击试样



图 3 接头弯曲试样

表 4 焊接接头机械性能试验结果

接头形式	试件编号	拉伸试验		冲击试验			弯曲试验	结论	备注
		σ_b /MPa	断裂位置	A_{KV}/J （-20℃）			180°冷弯 $D=20$		
				焊缝区	熔合区	热影响区			
对接接头	S-D-1	805	焊缝	42	50	53	完好	合格	
	S-D-2	845	熔合线	47	53	46	完好	合格	
	S-D-3	790	焊缝	56	54	48	完好	合格	
十字接头	S-S-1	726	母材	-	-	-	-	合格	
	S-S-2	740	母材	-	-	-	-	合格	
	S-S-3	610	焊缝	-	-	-	-	合格	

将试验结果与母材机械性能进行对比后可以看出，对接接头抗拉强度、冲击功、弯曲试验结果满足产品技术要求。

2.2.3 T 型接头剖切检查

为了验证角焊缝焊接质量，对 T 型接头进行了焊缝横截面剖切腐蚀检查，结果焊缝根部熔透，焊缝区、热影响区熔合良好，无裂纹等缺陷，满足接头质量要求。

由以上试验结果可以看出：

a. 该钢裂纹敏感性小，具有优良的焊接性，焊接

前后可不进行热处理；

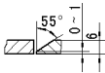
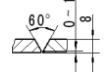
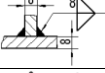
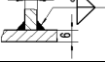
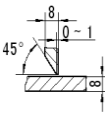
b. 采用混合气体保护焊并配以合理的焊接参数，焊接接头质量可满足设计接头要求；

c. 选用的焊接材料与母材强度匹配性好，可以获得综合机械性能优良的焊接接头，能够满足产品技术要求。

2.3 焊接技术研究

按照选定的焊接方法及焊接材料，通过不同接头形式、不同焊接位置开展了全面的焊接技术研究。通过大量的焊接工艺试验，确定的焊接工艺参数见表 5。

表 5 混合气体保护焊焊接工艺参数

接头形式	焊接位置	层数	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm min ⁻¹	气体流量/L min ⁻¹
	平对接焊	打底	100~160	16~20	220~360	15~20
		盖面	120~200	18~22	260~380	15~20
	平对接焊	打底	100~160	16~22	220~360	15~20
		盖面	200~280	18~28	260~380	15~20
	横角接焊	—	220~280	22~28	260~380	15~20
	立角接焊	—	160~240	18~24	230~350	15~20
	横角接焊	—	240~300	22~28	260~380	15~20
	立角接焊	—	160~240	18~24	220~340	15~20
	横角接焊	打底	200~260	20~24	240~360	15~20
		盖面	220~280	20~26	260~380	15~20
	立角接焊	打底	200~240	20~24	240~360	15~20
		盖面	220~260	20~26	260~380	15~20

注：根部间隙 0~2mm。

3 焊接变形与控制研究

焊接结构件在产品生产中，焊接变形不仅影响结构尺寸精度的稳定性，而且可能降低其承载能力，严重时还会影响到产品的使用性能、安全性和可靠性。矫正变形不仅费工费时，增加产品成本，尤其对于高强钢来说，很多结构一旦成型就无法矫正，给企业造成不可挽回的损失。因此，对焊接变形进行分析、测

量、预测并采用相应措施加以控制和调整变形是十分重要的。而其变形的大小主要取决于焊接热过程和焊件在焊接过程中受拘束度的条件。

3.1 焊接变形分析与控制

HG785D 高强钢由于其强度高、弹性大，且处于推广应用阶段，焊接变形规律不易掌握，变形控制较为困难，试验过程中，我们主要从焊接热过程进行了研究，通过对同样形式焊接接头分别采用多层多道焊（下转第 55 页）

