

THJ707RH(E7015-G)焊条的研制

崔伟, 李志提, 高盛平

(天津大桥焊材集团有限公司, 天津 300385)

摘要: 通过试验分析了合金元素对焊条力学性能的影响, 确定了合理的药皮配方, 并获得了以针状铁素体+粒状贝氏体为主的焊缝金属, 所研制的焊条具有优良的力学性能。

关键词: 高强度高韧性; 超低氢焊条; 配方设计

中图分类号: TG422.1 **文献标识码:** B

我国从上世纪80年代开始开发高强度高韧性低合金调质钢, 如HQ70 ($\sigma_b \geq 700$ MPa), HQ80 ($\sigma_b \geq 755$ MPa), HQ100 ($\sigma_b \geq 950$ MPa)等, 主要应用于工程机械、压力容器等行业。与普碳钢相比, 高强高韧性调质钢的商业应用具备以下特点: ①钢材使用量减少; ②板厚的减小使焊接工作量减少; ③承载能力提高; ④安全性得到提高。

为了提高钢材的抗冷裂性和低温韧性, 降低碳含量是有效的措施, 但碳含量过低会牺牲钢材的强度, 为了弥补这一损失, 可通过加入多种微量元素, 特别是B等对淬透性有强烈影响的元素来提高淬透性, 这类钢调质处理后具有足够的强度和韧性, 特别是具有焊接裂纹敏感性低的特点^[1]。

THJ707RH为超低氢高韧性高强钢焊条, 焊缝金属扩散氢含量极低, 低温冲击韧性和抗裂性能良好, 主要用于水电站下降管、高压容器、桥梁及海洋等工程结构, 是与HQ70钢适宜的配套焊条。

1 THJ707RH焊条试验技术条件

THJ707RH焊条, GB型号E7015-G^[2]。该焊条采用CaO-CaF₂-SiO₂碱性渣系, 为保证熔敷金属中S、P含量低, 焊条用焊芯采用H08C; 通过向焊条药皮中添加Mn, Mo, Cr, Ni等微量合金, 提高焊缝金属的强度和韧性。

2 焊条配方设计及分析

2.1 焊条渣系的确定

THJ707RH为超低氢钠型焊条, 其渣系结构组成为CaO-CaF₂-SiO₂。焊条药皮中包含了大量的碳酸盐、氟化物、部分硅酸盐及钛酸盐等。配方中碳酸盐主要选用大理石, 氟化物为氟石, 硅酸盐为石英, 钛酸盐为金红石及钛白粉。

在碱性焊条渣系中对焊接工艺性能影响较大的是CaCO₃与

CaF₂的配比。试验表明本焊条中 $n(\text{CaCO}_3): n(\text{CaF}_2)=2.0\sim 2.5$ 为宜。当比值过大时, 电弧吹力明显增强, 造成焊条飞溅增大、成形不良; 若比值过小时, 容易造成焊条药皮套筒过短, 造气量不足, 电弧吹力减弱, 熔渣粘度明显下降。

焊缝金属中扩散氢含量是产生延迟裂纹的主要原因之一, 降低焊缝金属中扩散氢含量, 除采取冶金反应进行脱氧、脱硫、脱氢外, 还可通过在药皮中加入氟化钙的同时加入一些易汽化的金属氟化物, 如Na₂SiF₆, LiF等。因为这些氟化物在1 300℃加热时, 有30%以上变成气体, 从而降低了电弧气氛中氢的分压, 达到了进一步降低焊缝金属扩散氢的目的。

碱性焊条中, 石英及金红石对改善焊接工艺性能起到了良好的辅助作用。SiO₂及TiO₂可降低熔渣表面张力、细化熔滴、减少飞溅, 同时可改善脱渣性及熔渣覆盖性。但对超低氢型焊条, 其加入量应严格控制, 否则焊缝中非金属夹杂物含量增加而影响焊缝金属的塑性及韧性。

2.2 焊缝金属化学成分对THJ707RH焊条性能的影响

THJ707RH焊条的合金系统为Mn-Si-Ni-Mo-Ti-B系列。在此合金系统中除了C, Mn, Si等元素的固溶强化外, 同时还利用Ni, Mo及微量的Ti-B等元素, 对金属基体晶粒细化、沉淀强化、提高其强度及低温韧性。其主要作用如下:

C: 在低合金钢的焊接过程中, C的主要作用是提高焊缝金属的强度。为了提高焊缝金属的抗裂性及低温韧性, $w(\text{C})$ 一般应控制在0.09%以下。降低碳含量可有效地抑制碳化物和马氏体的形成, 同时有利于促进形成韧性较高的低碳板条状马氏体。

Mn: 作为强化焊缝金属强度的主要元素, Mn可以降低奥氏体向铁素体的相变温度, 抑制奥氏体在较高温度下向先共析铁素体及侧板条铁素体的相变, 促进针状铁素体的形成, 在提高焊缝金属强度的同时, 提高焊缝金属的韧性。

Si: 随着焊缝金属中Si含量的增加, 可明显提高强度, 同

时韧性指标明显下降。在THJ707RH焊条中 $w(\text{Si})$ 一般应控制在0.30%~0.50%，既可保证Si与 O_2 结合生成硅酸盐及其化合物起到脱氧的目的，同时又为形成AF提供形核基础。

Ni：焊缝金属中Ni的主要作用为促进奥氏体向针状铁素体转变，同时降低奥氏体向铁素体的相变温度，抑制共析铁素体的形成。随着焊缝金属中Ni含量的提高，焊缝金属的低温韧性趋于稳定。

Ti-B：钛在焊缝金属中主要起到脱氧、脱氮作用。在熔池内与 O_2 结合生成 TiO ，在固态相变时为AF提供形核基础。金属中含有微量的B可对显微组织产生较大的影响。B原子主要偏聚在原奥氏体晶界和亚晶界，降低偏聚处的晶界能，从而防止共析铁素体的形成。当焊缝金属中Ti-B共存时，Ti可先与B结合，利于B发挥其有利作用。另外，Ti优先与 N_2 结合，使B留存于固溶体内促使AF的形成。通过试验可知，当 $n(\text{Ti}):n(\text{B})=10:1$ 左右时，焊缝金属的低温韧性最优。

Mo：作为固溶强化元素，在焊缝中添加Mo可以提高焊缝淬硬性，促进针状铁素体的形成，并抑制了先共析铁素体的产生。但随着焊缝金属中Mo含量的提高，将产生析出强化或产生魏氏铁素体组织，使韧性下降^[9]。

2.3 焊缝金属的金相组织

为了提高焊缝金属的强度及低温冲击韧性，焊条药皮中同时加入了Mn, Si, Ni, Mo, Cr等合金元素及Ti, B微量元素，在保障焊缝金属强度及低温冲击韧性的条件下，使各金属元素含量处于合理的匹配之间，获得了以针状铁素体+粒状贝氏体为主的焊缝金属的金相组织。

综上所述，THJ707RH焊条配方见表1。

表1 THJ707RH焊条配方 (质量分数) (%)

CaCO_3	CaF_2	SiO_2	TiO_2	铁粉及铁合金
44~46	18~21	3.2~5	2~3	24~27

3 试验结果

3.1 焊接参数及工艺性能

将配方后的THJ707RH焊条进行焊接试验，焊接参数见表2。

表2 焊接参数

焊条直径/mm	电流种类	焊接电流/A	空载电压/V	电弧电压/V
4.0	DCEP	170	78	23~26

试验结果表明：该焊条飞溅率较小，脱渣率良好，烟尘量小，电弧稳定，焊缝成形好，无气孔，工艺性能良好。其熔敷金属化学成分及力学性能分别见表3及表4。

表3 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Mo
保证值	≤ 0.10	1.20~1.60	0.30~0.60	0.08~0.20	≤ 0.020	≤ 0.020	1.40~2.00	0.25~0.50
试验值	0.05	1.52	0.32	0.15	0.008	0.012	1.79	0.33

表4 熔敷金属力学性能

试验项目	抗拉强度 σ_t/MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	伸长率 (%)	夏比V形缺口冲击吸收功 $A_{KV}/\text{J} (-50^\circ\text{C})$
保证值	≥ 690	≥ 590	≥ 17	≥ 34
试验值	745	656	22.6	68, 74, 110

3.2 熔敷金属扩散氢含量试验

甘油法：试验值为0.89, 1.04, 0.97, 0.69 mL/100 g。

水银法：试验值为1.65, 2.26, 2.77, 2.36 mL/100 g。

4 结论

(1) 设计的THJ707RH焊条符合GB/T 5118—1995中E7015-G的标准要求。

(2) THJ707RH焊条具有低温高韧性及超低氢等特点，焊接工艺性良好，可满足焊接无裂纹钢（简称CF钢）的焊接要求。

参考文献：

- [1] 邹增大, 李亚江, 尹士科. 低合金调质高强度钢焊接及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] GB/T 5118—1995, 低合金钢焊条[S].
- [3] 国旭明. 微合金控轧控冷钢焊接材料设计及焊接材料发展趋势[A]. 甘肃敦煌国际焊接学术论坛论文集[C]. 甘肃 兰州: 兰州理工大学, 2004.

作者简介：崔伟 (1969—)，男，天津人，高级工程师，主要从事焊接材料的研发及生产工艺管理工作。

