

热水器内胆用热轧搪瓷钢的开发与性能

王艳 何晋 辛建卿

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 通过 180 t 顶底复吹转炉 + LF 成分控制及 Ti 微合金化,连铸成 230 mm 板坯经 1 200 ~ 1 250 °C 加热,控制轧制后快速冷却至 500 ~ 700 °C 卷取等工艺措施,山西太钢不锈钢公司成功开发了热水器内胆用热轧搪瓷钢 (/% : ≤0.14C, ≤0.06Si, ≤1.20Mn, ≤0.030P, ≤0.025S, ≤0.10Ti) 2 mm 热轧钢板。结果表明,热轧钢板经 850 °C 10 min 模拟搪烧后仍具有较高的强度 (R_m 366 MPa) 以及良好的成型性能;热轧态晶粒均匀细小,搪烧后晶粒尺寸无明显变化,且有大量第二相粒子弥散析出;工业生产的搪瓷钢经单面搪瓷后表现出良好的抗鳞爆性能;能够满足制作热水器内胆的各项应用要求。

关键词 热水器内胆 热轧 搪瓷钢 析出相

Development and Performance of Hot Rolled Enamel Steel for Water Heater Tank

Wang Yan, He Jin and Xin Jianqing

(Technical Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract With the process measures including composition controlling by 180 t LD with top-bottom blowing and Ti microalloying by LF, continuous casting into 230 mm slabs and heating at 1 200 ~ 1 250 °C, rapid cooling after controlled rolling, coiling at 500 ~ 700 °C, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd has successfully developed 2 mm hot-rolled enamel steel sheet for water heater tank (/% : ≤0.14C, ≤0.06Si, ≤1.20Mn, ≤0.030P, ≤0.025S, ≤0.10Ti). The results show that the steel sheet after simulated enamelling at 850 °C for 10 min still has high strength (R_m 366 MPa) and good formability; the hot-rolled grain is uniform and fine, and there is no obvious change in grain size after enamel, and there are a large number of second phase particles dispersed precipitation; for commercial produced enamel steel after single-sided enamel, it shows good scale explosion resistance and can meet the application requirements of making water heater tank.

Material Index Water Heater Tank, Hot-Rolled, Enamel Steel, Precipitated Phase

近年来由于热轧搪瓷钢在耐腐蚀、耐高温、高强度、成型性和抗鳞爆性等方面的优势,采用搪瓷钢生产热水器内胆的比例日益增多。鳞爆是危害性很大的缺陷,其原因是钢板在搪烧过程中吸收了炉内水分分解出的氢原子,冷却后氢在钢中的溶解度下降,过饱和氢会扩散到钢板和搪瓷层的界面上并聚集,产生很高的压力,当压力超过搪瓷层强度时,就会造成鱼鳞状的瓷层脱落,即为鳞爆缺陷^[1-2]。保证钢板中足够的第二相粒子数量,可以成为良好的贮氢陷阱,从而提高钢板的抗鳞爆性能^[3]。因此,山西太钢不锈钢股份有限公司研制开发了热水器内胆用热轧搪瓷钢,通过化学成分和工艺设计来实现第二相粒子的稳定控制,并使搪瓷钢板各项性能得到良好匹配。

1 化学成分及工艺设计

1.1 化学成分

搪瓷钢的化学成分设计如表 1 所示。碳作为强

化元素在钢中可以提高强度,过高的碳含量易使搪瓷制品表面产生气泡缺陷^[4],降低碳含量可有效提高塑性、韧性和冲压成型等性能;硅能起到一定的固溶强化作用,过高的硅含量降低钢的韧性和延展性,降低硅含量能提高钢板与瓷釉的密着强度;锰能够提高钢的强度,而过高的锰含量会降低钢的塑性,适量的锰能与钢中硫结合生成硫化锰,球状硫化锰可作为第二相粒子提高钢的抗鳞爆性能;磷和硫元素作为有害元素对钢板深冲性和延展性有一定影响,在加钛钢中,适当控制磷、硫含量对钢板抗鳞爆性能会起到好的作用;钛作为强碳化物形成元素,在钢中与碳、氮、硫等形成化合物,主要是 TiN、Ti(C, N)、Ti₄C₂S₂ 等第二相粒子析出物,这些析出物不仅显著改

表 1 搪瓷钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of enamelled steel/%

C	Si	Mn	P	S	Ti
≤0.14	≤0.06	≤1.20	≤0.030	≤0.025	≤0.10

善钢的力学性能,而且在搪烧过程中成为不可逆的贮氢陷阱,提高搪瓷钢板的抗鳞爆性能^[5]。

1.2 工艺设计

热轧搪瓷钢的生产工艺流程为:铁水预处理→180 t 转炉→LF→连铸→板坯铸坯加热→热轧→卷取→开平→包装。

通过铁水预处理进行深脱硫,采用 180 t 顶底复吹转炉控制终点温度及成分,180 t LF 微调成分后加入钛铁合金化,成分达到目标要求后连铸成规格为 230 mm × 1 400 mm 的板坯。将连铸坯加热至 1 200 ~ 1 250 °C,保证 Ti 微合金元素能够充分溶解,为随后的轧制及卷取过程中的再次析出提供物质基础。采用粗轧和精轧两阶段控制轧制至目标厚度 2 mm,卷取温度设定为 500 ~ 700 °C,轧后快速冷却可以提高铁素体的形核率并细化,提高强度和塑性。通过合理的终轧和卷取温度工艺,以获得细晶粒铁素体,同时实现 Ti 化合物的析出,呈弥散状态分布在钢中,显著提高了钢板的强韧性和抗鳞爆性能。

2 试验材料及方法

沿热轧搪瓷钢板横向切取拉伸、金相和搪瓷用

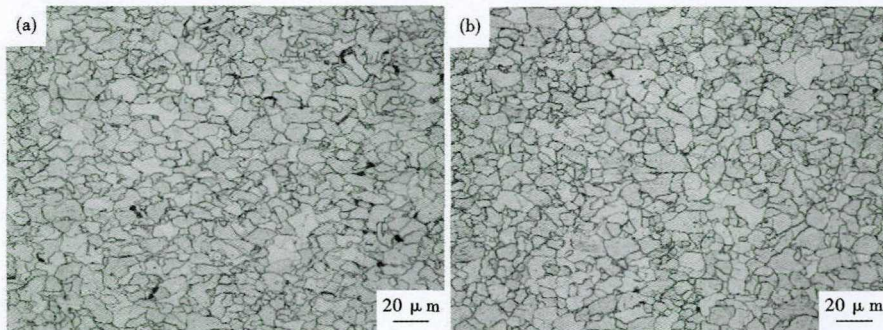


图 1 2 mm 搪瓷钢板(a)热轧态;(b)850 °C 10 min 模拟搪烧后组织形貌
Fig. 1 Microstructure morphology of 2 mm enamel steel sheet:(a) hot rolled state;(b) after simulated enamelling annealed at 850 °C for 10 min

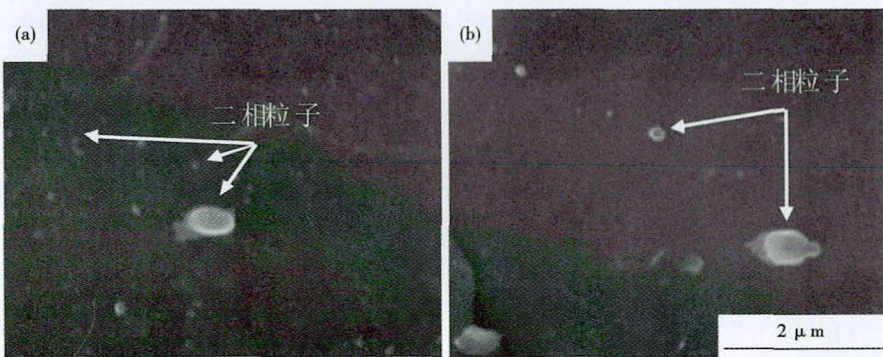


图 2 搪瓷钢板(a)热轧态;(b)模拟搪烧后二相粒子,SEM
Fig. 2 Second phase precipitates of enamel steel sheet:(a) hot rolled state;(b) after simulated enamelling annealed,SEM

试样。为对比钢板热轧态和搪烧后的性能变化,采用退火方式来模拟热水器内胆的搪烧过程,退火工艺为 850 °C,保温 10 min 后空冷。

模拟搪烧前、后拉伸试样分别按照标准 GB/T 228 加工成比例拉伸试样,即平行部宽度为 20 mm,标距为 40 mm,用 Zwick 电子拉伸试验机测常温下拉伸性能;利用 Leica 金相显微镜观察模拟搪烧前、后钢的显微组织变化情况;采用电解双喷仪制作透射电镜用试样,电解液为 6% 的高氯酸酒精溶液,电解电压为 21V,用 JEM-2100 型透射电镜观察试样微观组织和析出物情况;搪瓷用试样尺寸为 100 mm × 100 mm,对其进行表面处理,采用喷涂法单面喷涂釉料并烘干,搪烧工艺为 850 °C,保温 10 min 后空冷,随后放置 7 天后观测试样表面鳞爆缺陷情况。

3 组织和性能

3.1 金相组织

对模拟搪烧前、后组织均为铁素体和少量的珠光体组成。从图 1(a)可见,热轧态试样的铁素体晶粒较为细小均匀,尺寸为 5 ~ 20 μm。从图 1(b)可见,经过 850 °C、10 min 的模拟搪烧后,铁素体晶粒仍保持细小均匀的等轴晶状态,晶粒没有明显长大,仍达到 10 级及以上。

3.2 二相粒子

从图 2(a)可见,热轧态试样的二相粒子在基体中均匀弥散析出,且数量较多。从图 2(b)见,搪烧后试样的二相粒子数量比热轧态试样稍有减少,表明搪烧时二相粒子被溶解或部分溶解到基体中,会造成贮氢能力下降,但仍能满足应用需要。

图 3(a)为 TiC 或复合析出相 Ti(C,N),数量较多,尺寸较小(20 ~ 50 nm);图 3(b)为观察到的 Ti₄C₂S₂,数量较少,尺寸较大(100 ~ 200 nm)。这些析出的二相粒子不仅保证钢板搪烧后的强度,而且可以作为有效的不可逆贮氢陷阱,提高钢板的抗鳞爆性能。

3.3 力学性能和抗鳞爆性能

由表 2 可见,热轧态屈服强

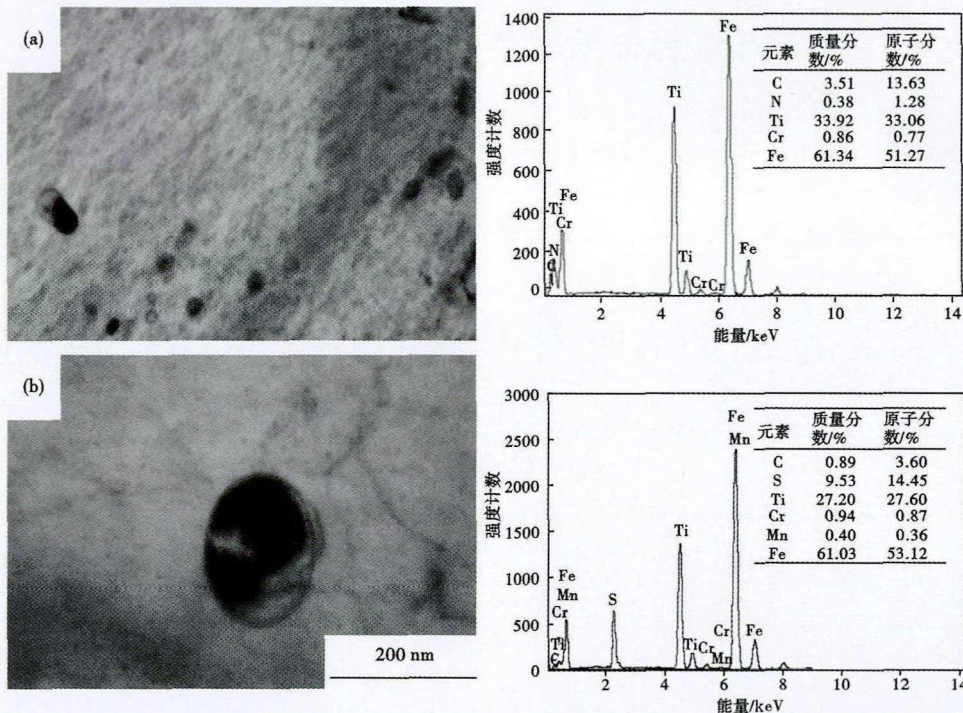


图3 搪瓷钢板的析出物(a) Ti(C,N);(b) Ti₄C₂S₂ 形貌和能谱分析,SEM

Fig.3 Morphologies and EDS analysis of precipitates (a) Ti(C,N) and (b) Ti₄C₂S₂ in enamel steel sheet,SEM

表2 热轧态和模拟搪烧后2 mm搪瓷钢板的力学性能

Table 2 Mechanical properties of hot rolled state and after enamelling of 2 mm enamel steel plate simulated

试样及技术要求	R _{el} /MPa	R _m /MPa	A/%	冷弯性能 180° d=a
热轧态	316	425	35.5	合格
模拟搪烧后	282	366	39	合格
技术要求	≥245	340~460	≥26	合格

表3 工业生产热水器内胆性能检测结果

Table 3 Performance test results of commercial produced water heater tank

规格/mm	R _{el} /MPa	R _m /MPa	A/%	冷弯性能 180° d=a	鳞爆 缺陷	耐压试验和 循环压力试验
2.0	278~341	375~430	29.5~42	合格	无	良好

度为316 MPa,经高温搪烧后,强度有所下降,仍能
达到282 MPa的较高水平,这是由于在搪烧过程中,
随着Ti(C,N)等二相粒子逐渐长大或部分溶解到
基体中,其强化效果随之减小,导致强度下降,同时
二相粒子可有效阻止铁素体晶粒长大,确保搪烧以
后钢板仍然可以保持较高强度。冷弯试验结果合
格,表明搪烧前、后的钢板均具有良好的成型性能。

热轧态试样经单面搪瓷试验,放置7天后观察
试样表面均没有出现鳞爆缺陷,表明钢板良好的
抗鳞爆性能。

3.4 工业应用

工业生产的热轧搪瓷钢 T245TC 各项性能
检测结果如表3所示,力学性能均满足技术要求;
热水器内胆经涂搪和烘烤工艺后,均未发现鳞爆
缺陷;随后进行压力为1.6 MPa的耐压试验和
20万次的循环压力试验,试验后胆体良好,无
泄漏、变形和瓷层剥落情况发生。

4 结论

(1) 通过化学成分和工艺设计实现第二相
粒子稳定控制,搪瓷钢板各项性能得到了良好匹
配。

(2) 热轧态搪瓷钢晶粒均匀细小,搪烧后晶
粒尺寸无明显变化,组织均为铁素体和少量的珠光
体;基体中有大量TiC、Ti(C,N)和Ti₄C₂S₂等第
二相粒子弥散析出,成为有效的不可逆贮氢陷阱;经
850℃退火10 min保温的单面搪瓷后,放置7天表
面无鳞爆缺陷,表现出良好的抗鳞爆性能;热轧钢板
经高温搪烧后仍具有较高的强度以及良好的成型性
能。已批量应用于制作热水器内胆,能够满足制作热水器内胆的
各项应用要求。

参考文献

[1] 顾国成,李润生.搪瓷用钢板的综合研究[J].钢铁,1982,17(9):65-70.
[2] 赵克清,徐小连.热轧含钛低合金搪瓷钢涂搪性能研究[J].中国搪瓷,1990,11(5):19-23.
[3] 孙全社.宝钢搪瓷用钢的开发与应用[J].上海金属,2005,27(6):47-50.
[4] 张永权,吴宝裕.影响搪瓷用钢板性能的因素[J].机械工程材料,1982(6):6-9.
[5] 孙全社,金蕾,吕锋.冷轧超低碳搪瓷钢板的开发[J].宝钢技术,2001(1):35-38.

王 艳(1982-),女,硕士(2011年内蒙古科技大学),工程师,热轧钢带产品开发。E-mail:wangyan02@tisco.com.cn

收稿日期:2020-09-10