

平整对 2.12 mm 热轧搪瓷钢组织和贮氢性能影响的模拟试验

张淑娟 白晓虹 刘东升
(江苏省(沙钢)钢铁研究院, 张家港 215625)

摘 要 试验搪瓷钢 TC330 (/% : 0.066C, 0.02Si, 0.66Mn, 0.008P, 0.005S, 0.029Ti, 0.032Al, 0.002 00, 0.005 0 N) 的生产流程为 KR 铁水预脱硫-180 t BOF-LF-220 mm × 995 mm 板坯连铸-连轧, 终轧 840 ~ 900 °C, 卷取 600 ~ 660 °C。对 2.12 mm 热轧板试样进行 0 ~ 5% 工程应变的拉伸模拟平整试验, 研究平整工程应变对 TC330 钢组织和贮氢性能的影响。结果表明, 模拟的平整可增加热轧搪瓷钢中的贮氢陷阱, 提高钢板的贮氢性能; 随着工程应变量的增加, 钢板的贮氢性能随之增加, 当应变量为 2% 左右时, 钢板的贮氢性能满足要求。

关键词 2.12 mm 热轧板 搪瓷钢 TC330 平整 组织 氢渗透 贮氢性能

Simulation Test of Influence of Temper Rolling on Structure and Hydrogen Storage Property of 2.12 mm Hot-Rolled Enamel Steel

Zhang Shujuan, Bai Xiaohong and Liu Dongsheng
(Institute of Research of Iron and Steel, Jiangsu Shasteel, Zhangjiagang 215625)

Abstract The production flowsheet of tested enamel steel TC330 (/% : 0.066C, 0.02Si, 0.66Mn, 0.008P, 0.005S, 0.029Ti, 0.032Al, 0.002 00, 0.005 0N) is KR hot metal pretreatment desulfurization-180 t BOF-LF-220 mm × 995 mm slab casting- continuous rolling, end rolling at 840 ~ 900 °C and coiling at 600 ~ 660 °C. The simulated temper rolling tensile test on specimen of 2.12 mm hot-rolled sheet with 0 ~ 5% engineering strain has been carried out to study the influence of temper engineering strain on structure and hydrogen storage property of steel TC330. Results show that simulated temper rolling may increase hydrogen traps in hot-rolled enamel steel to enhance the hydrogen storage property of steel; with increasing engineering strain, the hydrogen storage property increases, as the engineering strain is about 2%, the hydrogen storage property meets the requirement.

Material Index 2.12 mm Hot-Rolled Sheet, Enamel Steel TC330, Temper Rolling, Structure, Hydrogen Permeation, Hydrogen Storage Property

搪瓷钢是一种将无机玻璃质材料通过熔融凝于基体金属上并与金属牢固结合在一起的一种复合材料。它在国民经济中有着十分重要的用途, 与日常生活的关系十分密切, 搪瓷制品不仅安全无毒, 而且易于洗涤, 广泛地应用于轻工、家电、冶金、化工、建筑等行业^[1-4]。

抗鳞爆性能是搪瓷钢板最基本也是最重要的性能指标之一。为了减少鳞爆现象的产生, 需在钢中创造较多的氢陷阱以减少氢在钢板中的扩散。对于氢陷阱已有许多学者开展了相关研究, 认为钢中的晶格间隙、晶界、位错、空穴、相界面、夹杂物和析出相都是良好的氢陷阱, 并通过成分调整使钢中形成第二相粒子来增加贮氢陷阱^[5-8], 提高抗鳞爆性能。生产热轧搪瓷钢的流程主要有: 铁水预脱硫→转炉炼钢→LF 精炼→连铸→热连轧→平整→酸洗。热轧酸洗搪瓷钢经过冲压冷变形后制成成品。平整和冲压均为冷变形, 工程应变可达 1% ~ 5%。

本文通过对热轧搪瓷钢 TC330 进行不同工程

应变的平整试验, 研究了不同工程应变对热轧搪瓷钢微观组织及贮氢性能的影响。

1 试验材料及方法

试验所用材料(表 1)为江苏沙钢生产的热轧搪瓷钢 TC330。其炼钢工艺为 KR 预脱硫→180 t 转炉→LF→220 mm × 995 mm 坯连铸, 精炼过程进行钛微合金化处理, 连铸时采用轻压下以降低铸坯的中心偏析。

在 1 450 mm 热连轧生产线生产, 板坯加热到 1 200 °C, 保温 2 h, 轧至 2.12 mm 厚, 其中终轧温度为 840 ~ 900 °C, 经层流冷却系统冷至 600 ~ 660 °C 进行卷取。

随后采用 Instron5585H 型 250kN 拉伸试验机,

表 1 试验钢 TC330 的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of tested steel TC330 / %

C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	O	N
0.066	0.020	0.66	0.008	0.005	0.029	0.032	0.002 0	0.005 0

在室温条件下对试验钢进行模拟平整试验,工程应变分别为 0、1%、2%、3% 和 5%,试样尺寸为 400 mm(轧向)×80 mm(横向)×2.12 mm(厚度)。

沿试验钢轧制方向取样制成金相样品,在砂纸上打磨抛光后经 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀,在 CarlZeissAxio Imager Alm 光学显微镜和 CarlZeiss 扫描电子显微镜(SEM)上进行显微组织观察。

依据电化学氢渗透实验方法^[1,8],采用 Fe-HP-12 型金属氢渗透性能测试仪进行强制氢爆实验,检测试验钢样品的氢渗透性能参数,包括氢渗透时间、氢扩散系数等。氢渗透实验的试样尺寸为 50 mm×80 mm,采用机械磨制的方式,用细砂纸对钢板表面进行打磨至约 1.5 mm,用无水乙醇进行清洗,试样经电解抛光后单面镀镍,最后进行氢渗透实验。

氢渗透实验装置示意图如图 1 所示,其主要由两个电解池组成,即充氢电解池和释氢电解池,两个电解池之间由试样进行连接并隔开,未镀镍的一面与充氢电解池相连,镀镍的一面与释氢电解池相连。充氢电解池中,试样与恒电流源负极相连,作为阴极。 H^+ 向阴极运动,在电解液与阴极界面处发生电化学反应,即在钢板表面的电子产生 H , H 经由钢板内部扩散至镀镍的一面。释氢电解池中,试样与恒电压源的正极相连,作为阳极。 H 未扩散至钢板阳极表面时,由恒压电源,释氢电解池构成稳定的回路,有稳定的基态电流产生。当 H 由钢板扩散至阳极表面时, H 失去电子生产 H^+ ,此过程会在基态电流的基础上产生一个电流增量,经仪器检测并记录为电流 I ,直至达到稳态,获得 $I-t$ 图。将电流 I 换算成氢渗透通量 J , $J=I/F$,其中 F -法拉第常数,为 96 500 A·s/mol。稳态氢渗透通量 $J_{\infty}=I_{\infty}/F$ 。归一化氢渗透通量为 J/J_{∞} ,当 $J/J_{\infty}=0.096$ 时,其所

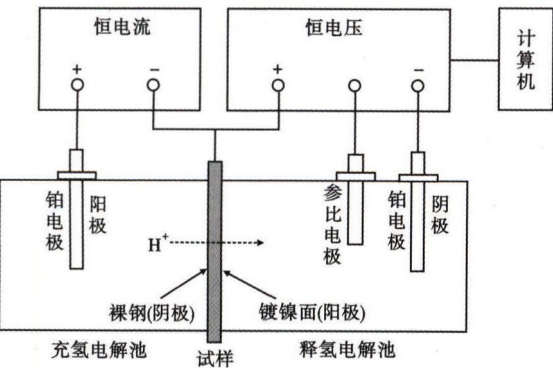


图 1 电化学氢渗透实验装置原理图
Fig. 1 Principle diagram of electrochemical hydrogen permeation experimental device

表 2 试验钢 TC330 的力学性能
Table 2 Mechanical properties of tested steel TC330

项目	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	断后延伸率/ %
技术要求	≥330	400~520	≥22
试验钢性能	385	448	37

对应时间为试样钢板的氢渗透时间。该结果除以相对厚度($L/0.1\text{ cm}$)换算得 0.1 cm 钢板的氢渗透时间。氢扩散系数 $D=0.138\text{ L}^2/t_{1/2}$,其中 L -试样厚度(cm), $t_{1/2}$ -即当 $J/J_{\infty}=0.5$ 时所对应的时间(s)。

2 试验结果

2.1 热轧搪瓷钢 TC330 组织性能

图 2 和表 2 分别为热轧搪瓷钢 TC330 的组织性能分析测试结果。试验钢力学性能良好,满足技术要求,显微组织主要为铁素体和珠光体(图 2a)。试验钢中除硫化锰夹杂物外还存在一定量的碳氮化钛夹杂物及钛的碳氮化物与铝镁氧化物的复合夹杂物,其中硫化锰轧制过程中被压至长条状(图 2c),含钛的碳氮化物和复合夹杂物为块状的脆硬性夹杂物,轧制过程中未变形(图 2b)。

2.2 模拟平整后试验钢的显微组织

图 3 为试验钢经不同工程应变后在扫描电镜下观察到的显微组织变化情况。随工程应变增加,基体中铁素体组织未见明显变化,但珠光体组织则出现不同程度的变化。当工程应变增加至 2% 时,珠光体内部渗碳体片层开始出现细小的显微裂纹,并随着工程应变增加至 5% 时显微裂纹更加明显。此外在 5% 工程应变下,一些脆硬 $Ti(C,N)$ 夹杂物和三叉晶界位置处出现微型的孔洞裂纹。

2.3 模拟平整试验钢的氢渗透性能

试验过程中电脑记录原始数据为电流和时间的 $I-t$ 图,将纵坐标电流 I 的数据进行整合成氢渗透通量 J , $J=I/F$,其中 F -法拉第常数,为 96 500 A·s/mol。

稳态时电流 I_{∞} ,此时氢渗透通量为 $J_{\infty}=I_{\infty}/F$ 。将纵坐标进行归一化,即纵坐标数值 J 均除以 J_{∞} ,量程变为 0~1。此时数据为归一化后的关系图即 J/J_{∞} 与时间 t 的关系图。

图 4 和图 5 为采用电化学氢渗透试验方法测得的不同工程应变样品氢渗透试验结果。由图 5 可知,随着工程应变的增加,单位厚度(1 mm 厚)钢板氢渗透时间逐渐增加,氢扩散系数逐渐减小。当工程应变由 1% 增加至 2% 时单位厚度钢板的氢渗透时间由原来 4.62 min 显著提高至 17.23 min,其氢

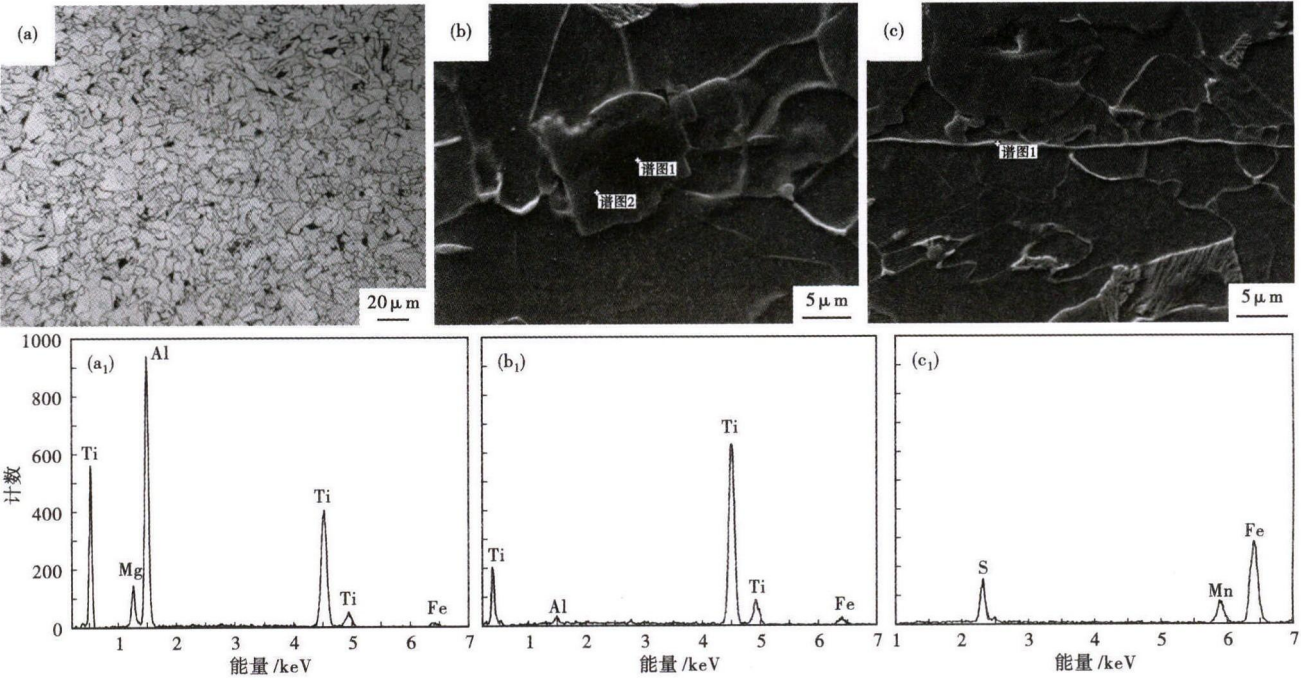


图 2 热轧试验钢 TC330 组织形貌(a)(b)(c)及相应的能谱图(a₁)(b₁)(c₁)

Fig. 2 Morphology of structure (a), (b), (c) and corresponding energy dispersive spectrum analysis (a₁), (b₁) and (c₁) of hot-rolled tested steel TC330

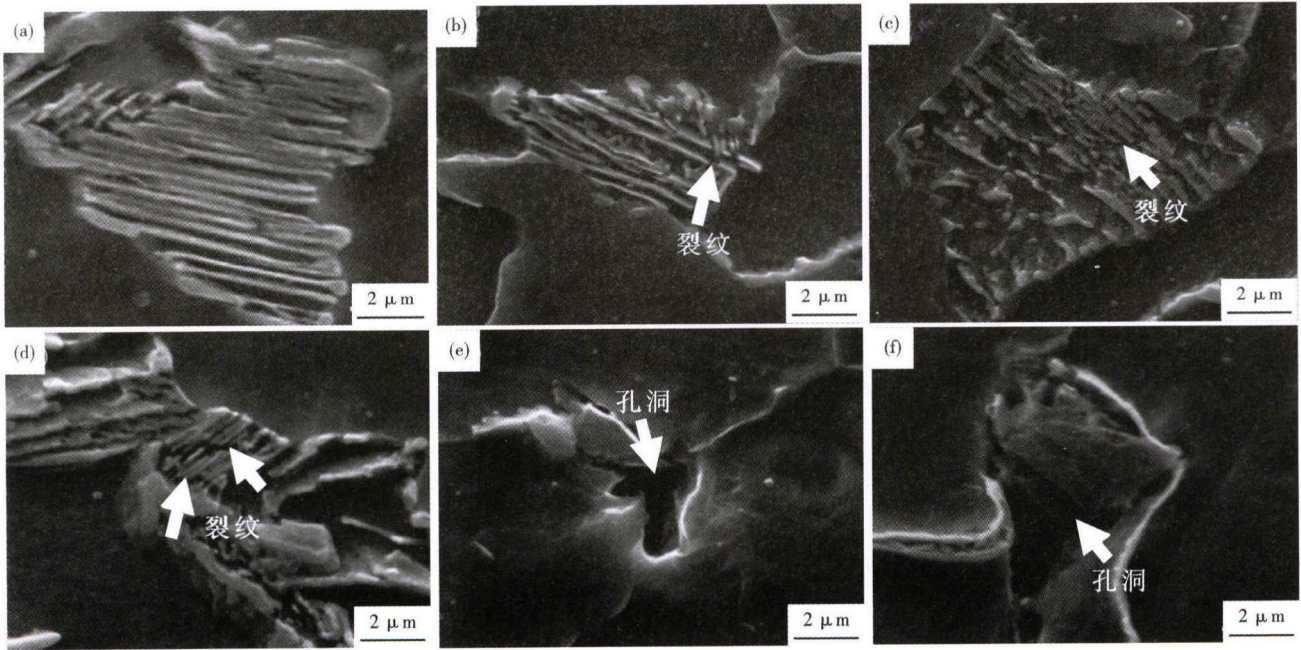


图 3 工程应变(a)0;(b)1%;(c)2%;(d)(e)(f)5%的热轧试验钢 TC330 组织形貌

Fig. 3 Morphology of structure of hot-rolled tested steel TC330 with engineering strain 0 (a); 1% (b); 2% (c); and 5% (d), (e) and (f)

扩散系数也有明显降低,而后随工程应变的增加氢渗透时间也有所增加,氢扩散系数也有所降低。

3 分析与讨论

模拟平整对热轧搪瓷钢氢渗透性能的影响主要是基于工程应变对钢中氢陷阱种类及数量的影响。

氢陷阱是指钢中能够储存氢原子的位置,它是影响搪瓷钢贮氢性能的关键因素。根据陷阱与氢之间结合能的大小,常将氢陷阱分为可逆陷阱和不可逆陷阱。当陷阱与氢结合能小,氢能够从陷阱中跑出而进入晶格间隙位置则称此类陷阱为可逆陷阱(如位

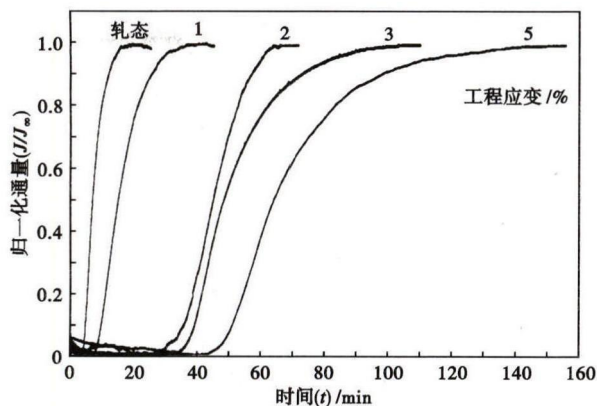
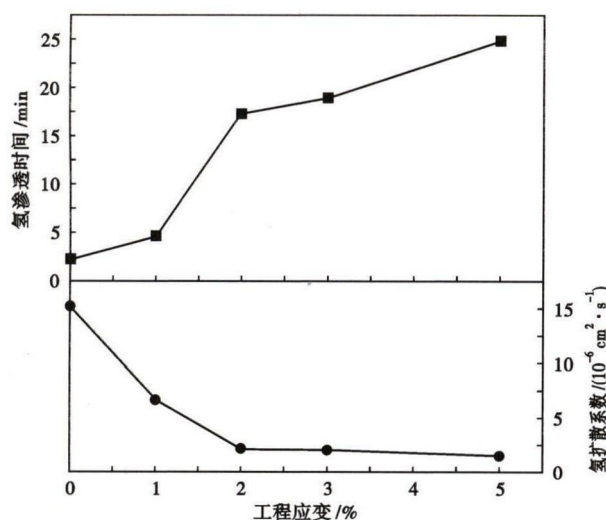
图4 试验钢 TC330 的归一化通量 J/J_{∞} -时间曲线Fig. 4 Normalized J/J_{∞} -time curves of tested steel TC330

图5 工程应变对试验钢 TC330 的氢渗透时间和氢扩散系数的影响

Fig. 5 Influence of Engineering strain on hydrogen permeation time and hydrogen diffusion coefficient of tested steel TC330

参考文献

- [1] Okuyamas T, Nishimoto A, Kurokawa T. New Type Cold Rolled Steel Sheet for Enamelling Produced by the Continuous Casting Method [J]. The Viterous Enameller, 1990, 41(3): 49-60.
- [2] Otsuka T, Tanabe T. Hydrogen Diffusion and Trapping Process around MnS Precipitates in - Fe Examined by Tritium Autoradiography [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2007, 446: 655-659.
- [3] Bruno Charles De Cooman, John Gordon Speer, Igor Yu Pyshmintsev, et al. Materials Design the Key to Modern Steel Products [M]. Bad Harzburg: GRIPS Media GmbH, 2007.
- [4] 孙全社, 陆匠心, 金 蕾, 等. 加钛超低碳钢成形性能和贮氢性能的研究[J]. 钢铁, 2000, 35(1): 39-42.
- [5] 孙全社, 金 蕾, 张庆安, 等. 冷轧搪瓷钢板的抗鳞爆性能的研究[J]. 钢铁, 2000, 35(4): 44-46.
- [6] 孙全社, 王先进. 稀土、钛和铌对冷轧超低碳搪瓷钢性能的影响[J]. 钢铁, 2004, 39(5): 59-62.
- [7] 孙全社, 金 蕾. 含 Ti 超低碳钢的氢渗透实验研究[J]. 上海金属, 2004, 26(2): 9-11.
- [8] 董福涛, 杜林秀, 刘相华, 等. 连续退火工艺对含 B 搪瓷用钢组

织性能的影响[J]. 金属学报, 2013, 49(10): 1160-1168.

错), 反之则为不可逆陷阱(如夹杂物与基体间的微小孔隙)^[7-12]。

试验钢在进行小量工程应变(工程应变 1%) 时, 钢中氢陷阱的增加主要是由于位错密度增加^[7], 可逆陷阱数量增加, 试验钢的贮氢能力增强(即单位厚度钢板的氢渗透时间增加)。但在工程应变继续增加(工程应变大于 2%) 时试验钢的贮氢能力随工程应变的增加而增加。这是由于随着工程应变继续增加钢中开始出现因应变引起的新的不可逆陷阱。

在对相关试样进行显微组织观察时(图 2) 亦发现, 工程应变较大(工程应变大于 2%) 试样的珠光体组织开始形成微裂纹, 当工程应变达到 5% 的试样, 在三叉晶界处及脆硬性夹杂物附近均发现微型孔洞, 这些孔洞均是良好的不可逆贮氢陷阱, 阻碍氢的扩散, 氢扩散系数降低, 使试样的贮氢能力获得显著提升。

由于可逆陷阱中的氢能够重新逸出, 因此可逆陷阱对搪瓷钢贮氢的作用有限, 搪瓷钢的贮氢性能主要依靠钢中的不可逆陷阱。在对搪瓷钢进行模拟平整处理时, 随着工程应变的增加, 钢中的微型孔洞等不可逆陷阱的数量增加, 试验钢的贮氢性能增加。

4 结论

(1) 模拟平整可增加热轧搪瓷钢 TC330 中的贮氢陷阱, 提高钢板的贮氢性能。

(2) 随着工程应变的增加, TC330 钢板的贮氢性能随之增加, 当工程应变为 2% 左右时, 2.12 mm 钢板的贮氢性能满足要求。

张淑娟(1984-), 女, 硕士(2011 年东北大学), 助理研究员, 热轧板带材产品的开发。E-mail: zhangshujuanyang@163.com

收稿日期: 2016-12-22