

促进410S不锈钢再结晶轧制工艺研究*

陈培敦,王宏霞,李志平,马正伟,张正法

(山东泰山钢铁集团有限公司,山东 莱芜 271100)

摘要:对实验室和工业生产的410S热轧钢带进行金相组织、拉伸性能和断口形貌对比分析,认为通过改变热轧轧制工艺,即降低后几道次轧制温度、增加道次变形量,促使热轧钢带再结晶,这种再结晶组织可明显提高钢带的性能,达到软化钢带的目的。工艺改进后生产的热轧钢带组织为大部分再结晶铁素体和部分沿晶界析出的颗粒状碳化物。

关键词:410S不锈钢;热轧;再结晶;终轧温度;道次变形量

中图分类号:TC335.5*6

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2012)03-0023-02

1 前言

410S 不锈钢是一种低铬含量的铁素体不锈钢,多以板材形式用于制造汽车消声器和排气系统部件等结构零件,同时还广泛应用于集装箱、热交换器、地下管道等^[1]。传统的生产工艺为:铸坯经过加热、除鳞、粗轧、除鳞、精轧、层流冷却、卷取、退火、酸洗、冷轧。410S 不锈钢自身固有特性使之在热轧工序阶段很难实现良好的再结晶,热轧带钢主要表现为典型的热轧变形组织,带钢强度、硬度较高。在冷轧工序前需要进行退火酸洗,目的是使其被拉长的变形晶粒转变为在再结晶等轴晶粒,使带钢软化,同时使形成的马氏体分解为铁素体和颗粒状或球状碳化物。

近年来,为降低生产成本,部分冷轧市场取消了410S 热轧卷退火工序,采用热轧黑皮卷直接进行酸洗冷轧的工艺。在减少一道退火工序、降低生产成本的情况下,为保证产品质量,避免冷轧过程中出现轧制困难、边裂等缺陷,迫切需要改进生产工艺。本研究通过对实验室和工业生产的热轧钢带进行对比分析,确定通过改变热轧工艺可促使钢带获得再结晶组织,达到软化钢带的目的。

2 试验材料及方法

材料分别取自采用GOR 炉冶炼、炉卷轧机轧制和利用50 kg 真空感应炉冶炼、四辊轧机轧制的热轧410S 铁素体不锈钢,其生产工艺见表1。所取试样的化学成分见表2(标准为GB/T 4237-2007)。

将热轧态试样加热到850 ℃,保温1 h,随炉冷却。对热处理后的试样进行拉伸试验和金相检

*国际科技合作资助项目(2009DFR70190)。

收稿日期:2012-01-31;修回日期:2012-05-29

作者简介:陈培敦,男,1972年生,1997年毕业于首钢工学院钢铁冶金专业;2009年毕业于北京科技大学钢铁冶金专业,工程硕士。现为山东泰山钢铁集团有限公司技术总监,高级工程师,从事钢铁冶金和钢铁材料加工方面的研究工作。

表1 试验材料生产工艺参数

项目	厚度/mm		温度/℃			压下率/%		总变形率/%
	板坯	成品	加热	初轧	终轧	中间道次	末道次	
工业生产	200	3.5	1 170	1 100	880	25~45	20	98.3
实验室	130	3.0	1 150	1 122	780	20~40	16	97.7

表2 试验材料化学成分 %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
工业生产	0.04	0.34	0.37	0.022	0.003	13.12	0.15	0.018
实验室	0.05	0.43	0.39	0.011	0.007	12.57	0.11	0.028
标准要求	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.5~13.5		

验。按GB/T 228-2002 加工试样,利用WAW-600C 万能试验机进行拉伸试验;利用奥林巴斯GX51 显微镜进行金相检验,试样经磨平、抛光后,用盐酸氯化铁水溶液侵蚀,观察工业生产试样和实验室轧制试样的组织再结晶差别。

3 试验结果及分析

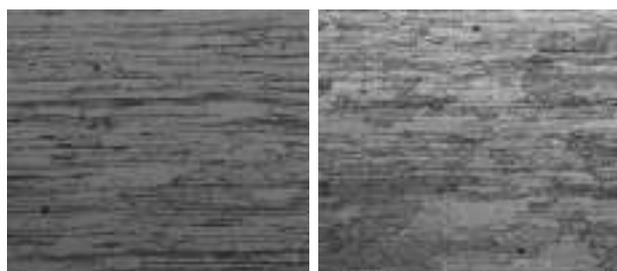
3.1 金相分析

工业化生产的410S 热轧钢带表层是细小的等轴铁素体晶粒,中心层组织是被拉长了的粗大多边化铁素体晶粒和条带分布的碳化物(见图1a)。经850 ℃保温1 h 处理后,钢带组织为未完全再结晶铁素体和弥散分布的碳化物颗粒(见图1b)。

实验室轧制的410S 热轧钢带组织为绝大部分发生再结晶的铁素体晶粒和不均匀分布的碳化物(见图2a),经850 ℃保温1 h 处理后,组织为完全再结晶铁素体和弥散分布的碳化物颗粒(见图2b)。

3.2 拉伸试验

将经850 ℃保温1 h 随炉冷却的热处理试样和未热处理的试样加工成拉伸试样,进行拉伸试验,试验结果见表3。由表3可知,实验室轧制的钢带各项性能指标较好,不经热处理就已达到标准要求,而工业化生产的热轧钢带塑性低、强度高。工业生产的热轧钢带和实验室轧制的钢带热处理后均有强度显著降低,塑性升高的现象。



a 热轧钢带 b 热处理后

图1 工业生产钢带的金相组织

表3 不同生产方式及状态试样的机械性能

试样	生产方式	状态	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
1 [#]	工业生产	热轧	765	825	18
2 [#]		热处理	285	505	32
3 [#]	实验室轧制	热轧	408	510	24
4 [#]		热处理	285	440	36
标准要求			≥205	≥415	≥20



a 热轧钢带 b 热处理后

图2 实验室轧制钢带的金相组织

3.3 断口分析

对拉伸试样的断口进行扫描电镜分析,各断口试样的电镜形貌见图3。由图3可知,1[#]、2[#]、3[#]试样的断口有分层现象,进一步放大发现断口主要有光滑的条带和韧窝两种形态。分析认为,光滑的条带为先断裂区域,是断裂后继续拉伸变形所致。而4[#]试样没有分层现象,断口主要形态为韧窝。

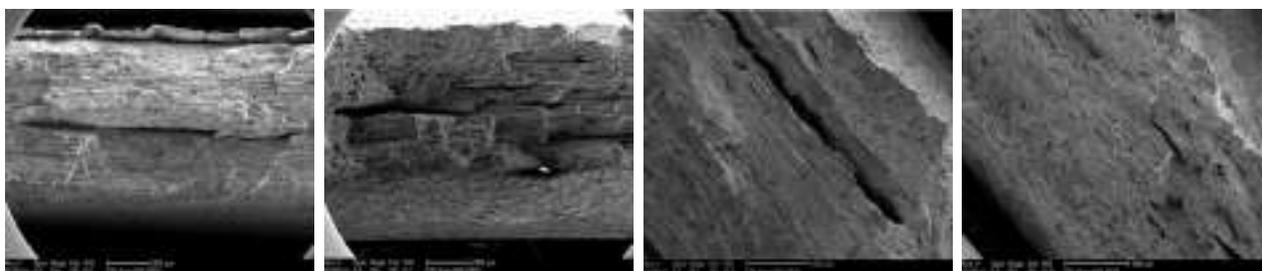
1[#]试样2[#]试样3[#]试样4[#]试样

图3 拉伸试样断口扫描电镜形貌

3.4 综合分析

工业化批量生产的钢带与实验室轧制钢带的对比分析可知,无论金相组织、拉伸性能还是断裂形态,实验室轧制的钢带均好于工业化批量生产的钢带,其主要原因是轧制温度低,带钢组织发生了再结晶。这与有关文献的观点:即终轧温度是影响热轧钢带再结晶的主要工艺参数相一致,控制最后几道次轧制温度和变形程度具有决定性意义^[2]。

将最后几道次的轧制温度降低并增大变形量,即可使钢板中心形成再结晶组织,这样可确保钢带具有足够的塑性和韧性储备,易于对轧件进行进一步的深加工和改善产品的机械性能。

4 工艺改进措施

根据试验结果确定的工艺优化方向,并结合前期热轧板边裂缺陷攻关工艺,制定获得再结晶组织、提高热轧钢带塑性的工艺改进措施:

1)加热温度。由于410S高温下处于奥氏体和铁素体两相区,控制加热温度使奥氏体相为主导,避免两相变形不协调产生裂纹,均热段温度均控制在 $(1160 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。

2)粗轧工艺。粗轧采用7道次轧制,轧制压下

率先减小后增大再减小,使负荷向后分配,增加粗轧阶段的畸变能储存。粗轧初道次相对压下率从现有的20%~25%调整为15%~20%,粗轧终道次相对压下率从现有的18%~23%调整为23%~30%。

3)热轧精轧。精轧采用炉卷轧机轧制,精轧轧制5道次,终轧温度控制在 $800 \sim 860^\circ\text{C}$,避免终轧温度过低钢带厚度偏差大、轧制不稳定及头尾温差过大等不良影响。精轧初道次相对压下率从现有的30%~48%调整为30%~43%,中间道次相对压下率先平滑递增后降低,末道次相对压下率由15%~23%调整为10%~18%,以免明显改变所形成的再结晶组织,轧后钢带按实际温度进行卷取、堆冷。

5 改进效果

对试验钢卷取15炉试样分别做热处理前后性能检测,各指标平均值见表4。

表4 工艺改进后钢带的性能

项 目	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	冷弯
热轧钢带	380	600	22	合格
钢带经热处理后	240	450	35	合格
标准要求	205	415	20	合格

由表4可知,热轧钢带的性能较稳定,达到了标准要求的退火后性能指标,完全能适(下转第28页)

坯壳厚度。试验条件下,采用30 mm内径的水口、100 mm浸入深度较为合理。

参考文献:

- [1] Thomas BG, Zhang LF. Mathematical modeling of fluid flow in continuous casting[J]. ISIJ International, 2001, 41(10): 1 181-1 193.
- [2] Janik M, Dyja H. Modeling of three-dimensional temperature field inside the mould during continuous casting of steel[J]. Mater. Processing Tech., 2004, 157-158: 177-182.
- [3] Aboutalebi MR, Hasan M, Guthrie RIL. Coupled turbulent flow, heat, and solute transport in continuous casting processes [J]. Metal. Mater. Trans. B, 1995, 26: 731-744.
- [4] 高泽平, 苏振江. 大方坯连铸结晶器浸入式水口结构优化[J]. 炼钢, 2008, 24(2): 42-45.
- [5] 刘坤, 任子平, 关勇, 等. 280 mm × 380 mm 方坯连铸结晶器钢水流场的数值模拟[J]. 特殊钢, 2007, 28(1): 16-18.
- [6] 王维维, 张家泉, 陈素琼, 等. 水口侧孔倾角对大方坯结晶器流

场和液面波动的影响[J]. 北京科技大学学报, 2007, 29(8): 816-821.

- [7] 陶红标, 唐红伟, 仇圣桃, 等. 复式结晶器内钢液凝固过程的数值模拟[J]. 钢铁研究学报, 2004, 16(3): 9-14.
- [8] 崔小朝, 李朗, 晋艳娟, 等. 方坯连铸非稳态充型过程流场温度场耦合数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26(10): 634-636.
- [9] Wang ZY, Wang EG, Zhang XW, et al. Experiment study of magnetic field distribution in the intermediate frequency soft-contact electromagnetic continuous casting mold for round billets [J]. Iron and Steel, 2009, 44(10): 36-40.
- [10] 秦玲玲, 陈玉宝, 尹国才. 马钢圆坯结晶器水口改型流场和温度场的数值模拟[J]. 安徽冶金, 2008(4): 16-20.
- [11] 闫小林. 冶金传输原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 38-75.
- [12] 文光华, 唐萍, 苏振江, 等. 大方坯连铸结晶器伸入式水口结构类型研究[J]. 钢铁钒钛, 2002, 23(3): 21-24.

Numerical Simulation of Fluid Field and Temperature Field in the Billet Mold of R9 m Continuous Caster

XU Yong-bin, MA Chun-wu, XING Wei, XU Hai-lun

(Institute of Technology Research, WISDRI Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

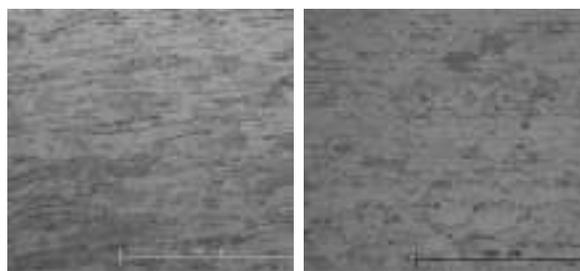
Abstract: The business software ANSYS CFX 12.1 was adopted to simulate the fluid field and temperature field in the mold with different nozzle size and submerged depth. The results show that scouring effect on outside mold is obvious and the mold life is falling with smaller inner diameter and deeper submerged depth. With increasing of the inner diameter and submerged depth, the fluctuation of mold level slows down, this is better for preventing slag entrapment. Finally, the submerged nozzle with the inner diameter of 30 mm and the submerged depth of 100 mm is more reasonable.

Key words: billet mold; submerged nozzle; fluid field; temperature field; numerical simulation

(上接第24页)应后续产品加工需求。

工艺改进后钢带的组织见图4。由图4可看出,工艺改进后生产的热轧钢带组织为大部分再结晶铁素体和部分沿晶界析出的颗粒状碳化物;热处理后钢带为等轴状铁素体和弥散分布的碳化物。采取改进的工艺措施促使热轧钢带再结晶,避免了轧制过程中形成多边化组织。

在保证板型和轧制稳定性的前提下,尽可能降低后几道次轧制温度和加大变形量,促使钢带心部多边形组织向再结晶组织转化,从而达到改善钢带性能的目的。所研究的工艺已在生产上成功应用,采用此工艺生产的热轧钢带性能指标完全能够满足后续冷轧要求。



a 热轧钢带 b 热处理后
图4 工艺改进后生产钢带的金相组织

参考文献:

- [1] 杨瑞成, 孟威. 铁素体不锈钢热轧板材的拉伸行为和断裂特征[J]. 兰州理工大学学报, 2008, 34(6): 26-29.
- [2] 刘锦华. 铁素体不锈钢热轧板的组织与性能(摘译)[J]. 太钢译文, 2001(4): 60-63.

Study on Rolling Process of Promoting 410S Stainless Steel Recrystallization

CHEN Pei-dun, WANG Hong-xia, LI Zhi-ping, MA Zheng-wei, ZHANG Zheng-fa

(Shandong Taishan Iron and Steel Group Co., Ltd., Laiwu 271100, China)

Abstract: The metallographic structure, tension test properties and fractography of 410S hot rolled strips produced in laboratory and of industrial production were analyzed and compared. The results showed that through changing the rolling process, that is, decreasing the rolling temperature of last passes and increasing the reduction in pass for promoting the strip recrystallization, the recrystallized structure increased the properties of the strip markedly and softening the strip. The structure of the strip produced by improved process was most recrystallized ferrite and part granule carbide separated along the grain boundary.

Key words: 410S stainless steel; hot-rolling; recrystallization; finishing temperature; reduction in pass