

唐钢 FTSR 连铸薄板坯热连轧低碳钢板的组织和性能

冯运莉 王岭娥* 陈华辉

(中国矿业大学(北京校区)材料科学与工程系,北京 100083;

*河北理工大学,唐山 063009)

摘要 试验了唐钢 FTSR(Flexible Thin Slab Rolling)薄板坯连铸连轧生产线从 70 mm 薄板坯生产 3.5 mm SS330 低碳钢带(0.04%~0.07%C)的组织和性能。结果表明,FTSR 热轧 3.5 mm 板带 SS330 钢组织均匀,平均晶粒尺寸为 6.2~7.0 μm ,其屈服强度为 284~293 MPa,抗拉强度 369~375 MPa,延伸率 38%~42%。

关键词 FTSR 工艺 薄板坯 SS330 低碳钢 组织 力学性能

Structure and Properties of Low Carbon Sheet produced by FTSR Concasting Thin Slab Continuous Rolling Process at Tangshan Iron and Steel

Feng Yunli, Wang Linge* and Chen Huahui

(Material Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083;

*Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

Abstract The structure and properties of 3.5 mm strip of steel SS330 (0.04~0.07C) produced by FTSR (Flexible Thin Slab Rolling) process from 70 mm thin slab at Tangshan Iron and Steel. The results showed that the structure of FTSR hot rolled SS330 steel strip was uniform, the average grain size was 6.2~7.0 μm , yield strength 284~293 MPa, tensile strength 369~375 MPa, elongation 38%~42%.

Material Index FTSR Process, Thin Slab, SS330 Low Carbon Steel, Structure, Mechanical Properties

自世界上第 1 条薄板坯连铸连轧生产线于 1989 年 7 月在美国纽柯克拉福兹维莱厂(Nucor Steel Crop. Crawfordsville)投入工业化生产以来,因其显著的经济效益,优越的产品质量而得到飞速的发展。截止到 2004 年 3 月,世界上已有七八种薄板坯连铸连轧工艺技术,建成投产的生产线达 38 条。其中 CSP(Compact Strip Production)线 24 条,FTSR(Flexible Thin Slab Rolling)线 3 条(美国、加拿大、中国唐钢)。已开发出的各种薄板坯连铸连轧技术各具特色,同时又相互影响,互相渗透,并在不断地发展和完善^[1]。

CSP 技术设备相对简单,流程通畅,生产比较稳定,技术工艺相对成熟^[2]。而 FTSR 薄板坯连铸连轧生产线采用了薄板坯连铸连轧第 3 代技术,是继 CSP 连铸连轧后又一种新的生产工艺。该工艺特点是连铸采用 H² 结晶器、动态液芯压下、轧制部分能进行半无头轧制和铁素体轧制、铸坯厚度增加到 70~90 mm、三点除鳞等^[3]。该生产工艺不仅为生产高质量的超薄带钢提供了技术保

证,同时也达到了环保、节能降耗和降低生产成本等目的。

薄板坯连铸连轧与传统热连轧在坯料制造过程、加热制度、轧制过程及板带在传输辊道上的传输速度等方面有显著差异^[4],因此最终产品的力学性能、组织状态和晶粒度大小方面也存在较明显的差异。

1 唐钢 FTSR 热轧 SS330 带钢的成分及工艺特点

唐钢按内控标准生产的 SS330 带钢的化学成分见表 1。

由表 1 可见,唐钢用于生产 SS330 带钢的化学成分 C、S、P、Si 控制范围均较低,在实际生产中完全可以控制。

表 1 SS330 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of SS330 steel /%

C	Si	Mn	P	S	Als
0.04~0.07	≤0.10	0.20~0.40	≤0.015	≤0.008	0.025~0.045

唐钢生产 SS330 钢板的工艺路线为:

一炼钢 150 t 转炉冶炼钢水→LF 精炼→大包回转台及钢包→大包长水口→中间包→进入式水口→H² 结晶器→扇形 0~9 段→70 mm 厚板坯→旋转除鳞→起停式摆剪→辊底式加热炉→立辊轧机→高压水除鳞→两架粗轧机→中间温度控制→切头飞剪→高压水除鳞→五架精轧机→层流冷却→高速飞剪/填充辊道→1# 地下卷取机/2# 地下卷取机→取样检验→包装入库。

唐钢薄板坯连铸连轧生产线由于所采用的坯料与传统的冷装工艺有较大的不同,轧机的布置也不同,因而压下规程的安排与传统的冷装工艺有较大不同,其工艺特点是大压下和高刚度的轧制,表 2 是这条生产线生产 SS330 钢板的典型压下规程。

表 2 FTSR 热轧 SS330 钢板的典型道次压下参数
Table 2 Typical parameters of reduction in pass for SS330 steel strip produced by FTSR process

机架号	R1	R2	F1	F2	F3	F4	F5
出口厚度/mm	39.54	22.32	11.81	7.17	5.26	3.99	3.27
辊缝/mm	41.38	23.96	11.19	6.62	5.33	3.76	3.27
压下率/%	44.41	43.56	47.07	39.35	26.52	24.23	18.03

板坯入加热炉温度 910~1 080 ℃,出加热炉温度 1 120±10 ℃,精轧出口温度 880±20 ℃,卷取温度为 620±20 ℃。

2 FTSR 热连轧 SS330 带钢的力学性能

从生产的 15 炉带卷中各取一块钢板,在每块钢板沿宽度方向不同位置取纵横向试样各 5 个,45°方向取 2 个,试样尺寸为 190 mm×25 mm 的矩形,厚度为 3.5 mm。

为了研究板带沿宽度方向上各个区域的纵向试样的力学性能,将板带相应区域的屈服强度、抗拉强度和延伸率的均值列于表 3。

由表 3 可见,SS330 带钢沿宽度方向纵向试样的力学性能比较均匀,各个区域的屈服强度均值

表 3 板带纵向试样相应区域的力学性能均值
Table 3 Average longitudinal mechanical properties of sample at different region of strip

项目	W 侧	W 侧 1/4	中心	D 侧 1/4	D 侧
屈服强度/MPa	287	286	293	289	284
抗拉强度/MPa	372	369	373	375	373
延伸率/%	38	41	40	42	40

为 284~293 MPa,最大相差仅为 9 MPa,抗拉强度均值为 369~375 MPa,最大相差仅为 6 MPa,延伸率均值为 38%~42%。

为了研究板带沿宽度方向的各个区域的横向试样的力学性能,将板带相应区域的屈服强度,抗拉强度和延伸率的均值列于表 4。

表 4 板带横向试样相应区域的力学性能均值
Table 4 Average transverse mechanical properties of sample at different region of strip

项目	W 侧	W 侧 1/4	中心	D 侧 1/4	D 侧
屈服强度/MPa	303	295	302	305	301
抗拉强度/MPa	380	369	374	381	374
延伸率/%	38	39	39	38	37

由表 4 可见,SS330 带钢沿宽度方向横向力学性能比较均匀,各个区域的屈服强度均值为 295~305 MPa,最大相差仅 10 MPa,抗拉强度均值为 369~381 MPa,最大相差为 12 MPa,延伸率均值为 37%~39%。

为了研究板带性能的各向异性,从板带宽度 1/4 出(包括 W 侧和 D 侧)分别取 3 个试样(纵向、横向、45°)进行力学性能检验,检验结果得出,3 个方向的屈服强度均值为 285~305 MPa,抗拉强度均值为 365~385 MPa,延伸率均值为 38%~42%。屈服强度和抗拉强度最大相差均为 20 MPa,延伸率最大相差 4%,在合理范围内,总的来说比较均匀。

3 SS330 带钢的显微组织

SS330 热轧钢板的金相显微组织如图 1 所示,图 1(a)为纵向试样显微组织,图 1(b)为横向试样显微组织,图 1(c)为 45°试样显微组织。

图 1 可见,SS330 热轧钢板的显微组织为大量细晶粒铁素体加少量珠光体。无论是纵向试样、横向试样还是 45°方向试样的显微组织,其形貌基本上都为等轴晶粒,纵向试样晶粒尺寸平均为 6.5 μm,横向试样晶粒尺寸平均为 6.2 μm,45°试样晶粒尺寸平均为 7.0 μm。

4 分析讨论

由上述力学性能实验统计数据可以看出,唐钢薄板坯连铸连轧 SS330 钢板沿宽度方向纵横向力学性能均匀,分析原因是:

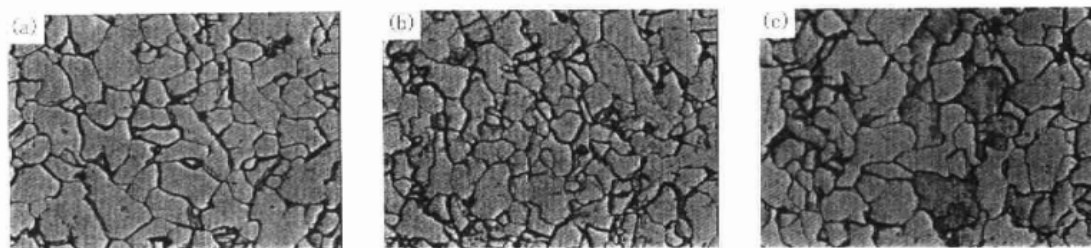


图 1 SS330 热轧钢板的显微组织 $\times 500$: (a) 纵向; (b) 横向; (c) 45°
Fig. 1 Structure of SS330 hot rolled plate $\times 500$: (a) longitudinal; (b) sectional; (c) 45°

(1) 薄板坯连铸连轧过程具有极快的冷却效果,薄板坯在结晶器内的冷却强度远大于传统的板坯,其二次、三次枝晶间距极短,使得薄板坯晶粒更细、更均匀;

(2) 辊底式加热炉与轧机同在生产线上,板坯头部进入轧机时其它部分仍在加热炉内保温,出炉后的板坯与空气接触的时间极短,保证了板坯断面及长度方向温度的均匀分布。

实验检测数据表明,板坯横断面及纵向温度差在 $\pm 10^\circ\text{C}$ 之内。这种原始组织的均匀和轧制过程温度的均匀,保证了薄板坯连铸连轧 SS330 钢板力学性能的均匀。

FISR 热轧 SS330 钢板的强度和延伸率均高于以传统冷装工艺生产的 Q195 钢。从 FISR 热轧 SS330 钢板金相组织看,铁素体晶粒平均大小只有 $6.2 \sim 7.0 \mu\text{m}$,比同样成分和普通板带的晶粒细小。

从唐钢薄板坯连铸连轧 SS330 钢板的轧制工艺看,两架粗轧的总变形量大于 50%,变形温度较高,在 1000°C 以上,符合发生奥氏体再结晶的临界条件。从工艺布置上来看,两架粗轧与五架精轧之间有 24.22 m 的距离,中间轧件在这段距离上的运行保证了奥氏体进行充分的再结晶,得到均匀、细小的再结晶晶粒。

在精轧的前几个道次,温度降低,变形量较小,道次间隔时间很短,回复和再结晶进行的不充分,应变会在变形道次中积累。

在精轧的最后几个道次,温度降至再结晶温度以下,随着轧件的变形,应变不断积累,奥氏体晶粒不断拉长而使晶界面积增加,同时晶内积累有大量的畸变能和畸变带。这些原因都增加了 α 在单位体积 γ 内的形核数量和成核速率。变形后轧件较薄,再经精轧出口层流冷却段的强力冷却,

很快发生相变,铁素体在奥氏体晶界和晶粒内部大量形核,从而得到非常均匀、细小的铁素体晶粒。

5 结论

(1) FISR 热轧板带 SS330 钢的力学性能(无论横向试样还是纵向试样)沿带钢宽度方向的分布比较均匀,这与带钢成分均匀、温度均匀及冷却制度均匀有关。

(2) FISR 热轧板带 SS330 钢各向异性值在合理的范围内,基本上不存在各向异性。

(3) FISR 生产的 3.5 mm 低碳板 SS330 成品的组织很细,不同区域的平均晶粒尺寸在 $6.2 \sim 7.0 \mu\text{m}$ 之间,且晶粒的大小在不同位置组织结构的变化不大,表现出组织的均匀一致。

(4) FISR 生产的 SS330 钢板的屈服强度和抗拉强度大大高于以传统冷装工艺生产的 Q195 钢,延伸率也较高,这与轧制过程中的大压下和轧后的强力冷却导致成品组织比传统冷装工艺大为细化有关。

参考文献

- 1 田乃媛.薄板坯连铸连轧.北京:冶金工业出版社,1998
- 2 康永林,于 浩,王克鲁,等.CSP 低碳钢薄板组织演变及强化机理研究.钢铁,2003,38(8):23
- 3 Francesco Stella, Paolo Bobing, etc. 优质超薄产品用的 FISR 技术发展.钢铁,2003,38(4):44
- 4 热轧超薄带生产中若干技术问题分析.2000 年轧钢生产技术工作会议资料汇编,2000:107

冯运莉(1965-),女,副教授,在读博士,河北工业大学毕业,从事钢的组织性能研究和新产品开发。工作单位:河北理工大学冶金与能源学院,唐山 063009。

收稿日期:2005-03-09