

高氮双相不锈钢 6.2 t 扁锭电渣重熔的工艺实践

王新鹏 陈帅超 罗利阳 宁天信 张春林
(洛阳双瑞特种装备有限公司, 洛阳 471039)

摘要 2205 双相不锈钢 6.2 t 200 mm × 1 250 mm 扁锭(∕% : 0.015 ~ 0.016C, 0.15 ~ 0.16Si, 1.35 ~ 1.39Mn, 0.005 ~ 0.006S, 0.023 ~ 0.024P, 22.78 ~ 22.95Cr, 5.40Ni, 3.15 ~ 3.17Mo, 0.193 ~ 0.194N) 由 20 t 双极串联抽锭电渣重熔炉生产。通过采用 50CaF₂-19Al₂O₃-19CaO-6MgO-6SiO₂ 液态熔渣, 控制抽锭速度 12 mm/min, 电极熔化速度 1 100 ~ 1 200 kg/h 等工艺措施, 扁锭表面质量良好, 表面修磨量 ≤ 3 mm, 满足轧制要求。

关键词 2205 双相不锈钢 200 mm × 1 250 mm 电渣重熔扁锭 工艺实践

Practice of Electro-Slag Remelting Process for 6.2 t Slab Ingot of High Nitrogen Dual-Phase Stainless Steel

Wang Xinpeng, Chen Shaichao, Luo Liyang, Ning Tianxin and Zhang Chunlin
(Luoyang Shuangrui Special Equipment Co Ltd, Luoyang 471039)

Abstract The 6.2 t 200 mm × 1 250 mm slab ingot of 2205 dual-phase stainless steel (∕% : 0.015 ~ 0.016C, 0.15 ~ 0.16Si, 1.35 ~ 1.39Mn, 0.005 ~ 0.006S, 0.023 ~ 0.024P, 22.78 ~ 22.95Cr, 5.40Ni, 3.15 ~ 3.17Mo, 0.193 ~ 0.194N) is produced by a 20 t duplex electrode series drawing ingot elector-slag remelting unit. With the process measures including using 50CaF₂-19Al₂O₃-19CaO-6MgO-6SiO₂ liquid slag series, controlling ingot drawing speed 12 mm/min and electrode melting rate 1 100 ~ 1 200 kg/h, the surface quality of slag ingot is better, the surface grinding amount is ≤ 3 mm to meet the requirement for rolling.

Material Index 2205 Dual-Phase Stainless Steel, 200 mm × 1 250 mm Electro-Slag Remelting Slab Ingot, Practice of Process

目前,耐蚀合金扁锭的成型方法主要采用固定式电渣重熔方式生产。宝钢特殊钢有限公司、德国蒂森克虏伯公司、美国特殊钢公司、美国 ATI 公司等单位均采用固定式电渣重熔方式生产规格为(mm) 350 × 1 250 × 2 000 的耐蚀合金扁锭。产品生产流程为:首先将扁锭从 350 mm 厚开坯至 200 mm 厚以下,然后进炉卷轧机轧制成耐蚀合金热轧卷,最后将热轧卷冷轧成带、箔等产品。

为了缩短生产流程,降低生产成本,本文采用 T 型结晶器抽锭电渣重熔方式生产出 200 mm 厚、1 250 mm 宽、3 200 mm 长的双相不锈钢电渣扁锭,该扁锭可以直接进入炉卷轧机热轧成卷,节省中间的锻造开坯工序,降低了生产成本和能耗。

1 实验过程及方法

1.1 电极冶炼

电极采用 3 t 中频感应 + 3 t AOD 精炼工艺冶炼,电极规格为(mm) 90(厚) × 1 320(宽) × 3 500(长),共两支,电极的化学成分如表 1 所示。

1.2 电渣重熔

利用东北大学设计的 20 t 双极串联抽锭电渣重

表 1 2205 双相不锈钢电极分析成分 / %

Table 1 Analysis of electrode of 2205 dual-phase stainless steel / %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
0.016	0.28	1.40	0.013	0.024	22.7	5.33	3.14	0.198

熔炉生产,工艺原理为^[1]:将自耗电极插入水冷 T 型结晶器的渣池中,自耗电极被通过电流的渣池加热并逐渐熔化,形成金属熔滴,然后金属熔滴从自耗电极顶部脱落,穿过渣池形成金属熔池,由于水冷结晶器的冷却作用,液态金属逐渐凝固形成铸锭,自耗电极一边熔化形成金属熔池,金属熔池一边凝固被连续地拉出结晶器。

渣料采用 CaF₂、Al₂O₃、CaO、MgO、SiO₂ 五元渣系,渣系的比例为 CaF₂: Al₂O₃: CaO: MgO: SiO₂ = 50:19:19:6:6,渣量为 290 kg。渣料在 800 °C,烘烤 8 ~ 10 h 后加入到化渣炉内熔化,当液态熔渣温度达到 1 600 ~ 1 700 °C 时,将液渣倒入结晶器内,电极插入渣池中,电极的插入深度为 15 ~ 20 mm,开始重熔,先大功率化钢,形成金属熔池,使钢凝固在引锭板上,开始抽锭,抽锭速度从 1.5 mm/min 逐渐提高至目标抽锭速度 12 mm/min,炉口电压为 62 V,

二次电流为 19 kA, 电极的熔化速度为 1 100 ~ 1 200 kg/h。

通过对 UNS S32205 双相不锈钢进行多次工艺试制, 控制电渣重熔工艺参数, 解决了双相不锈钢电渣扁锭的表面质量和化学成分问题, 生产出表面质量好、化学成分合格、规格为 (mm) 200 (厚) × 1 250 (宽) × 3 200 (长)、6.2 t 重的扁锭。

2 实验结果分析

2.1 扁锭表面质量

UNS S32205 双相不锈钢电渣扁锭的表面质量如图 1 所示, 扁锭表面质量良好, 没有出现因漏钢、漏渣造成的表面夹渣、重皮缺陷, 表面修磨量小于 3 mm, 可以满足下道工序轧制要求。

2.2 扁锭的化学成分

从电渣扁锭的头部、尾部取化学碎屑样进行分析, 分析结果见表 2, 扁锭化学成分满足标准要求, 且头、尾部成分均匀性较好。

2.3 扁锭的结晶组织

对 UNS S32205 双相不锈钢电渣扁锭的结晶组织进行分析, 结晶组织由边缘处细等轴晶区, 中间柱状晶区, 心部粗大等轴晶区组成, 由文献[2]可知,



图 1 2205 双相不锈钢 6.2 t 电渣重熔扁锭形貌

Fig. 1 Morphology of 6.2 t electro-slag remelting slab ingot of 2205 dual-phase stainless steel

表 2 2205 双相不锈钢电渣扁锭化学成分 / %

Table 2 Chemical composition of electro-slag remelting slag ingot of 2205 dual-phase stainless steel / %

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
头部	0.016	0.16	1.39	0.005	0.024	22.95	5.4	3.15	0.193
尾部	0.015	0.15	1.35	0.006	0.023	22.78	5.4	3.17	0.194
标准	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.020	≤ 0.030	22.0 ~ 23.0	4.5 ~ 6.5	3.0 ~ 3.5	0.140 ~ 0.200

柱状晶生长方向与轴向的夹角约为 43°, 结晶夹角小于电渣锭的理想组织夹角为 45°。

2.4 扁锭的奥氏体形貌

在电渣扁锭角部和心部分别取样, 将试样加热至 1 250 °C, 保温 3.5 h, 水冷快速冷却, 保留高温组织状态, 观察试样沿扁锭长度方向的奥氏体相形貌、分布。电渣扁锭心部奥氏体形貌如图 2(a) 所示, 电渣扁锭角部的奥氏体形貌如图 2(b) 所示。由图 2 可以看出, 扁锭心部的奥氏体形貌大部分呈颗粒状, 扁锭角部的奥氏体形貌大部分呈板条状, 平行度较高。

UNS S32205 双相不锈钢凝固模式为: $L \rightarrow L + \delta \rightarrow L + \delta + \gamma \rightarrow \delta + \gamma$ 。δ 铁素体作为领先析出相从液相中直接析出, 随后会发生复杂的共晶反应或者包晶反应以及随后发生的固态相变形成 γ, 而没有来得及转变的 δ 铁素体会残留在枝晶主干中心形成残留铁素体存在于室温组织中。在电渣重熔扁锭凝固过程中, 奥氏体的析出长大是扩散型相变, 主要受冷却速率和晶体缺陷的数量影响, 冷却速率直接决定了元素能够迁移的时间, 而晶体缺陷则决定了原子迁移的能垒^[3]。

在电渣扁锭心部, 金属熔池距离发热区最近, 液固两相区释放的凝固潜热使液相区处温度梯度逐渐减小, 热量的散失不再具有方向性, 在中心位置形成粗大的等轴晶区, 生长速度低, 凝固的铁素体缺陷少, 奥氏体形核的阻力非常大, 需要很大的过冷度才能形核, 而该处的冷却条件最差, 不利于奥氏体的长大, 因此奥氏体含量会比较低, 奥氏体形貌以球状、岛状为主。

在电渣扁锭角部, 距离发热区最远, 同时受到结晶器宽面和窄面的冷却, 冷却条件最好, 金属凝固速度快, 先析出铁素体的晶界等缺陷增多, 元素扩散通道多, 奥氏体析出后可以沿柱状晶生长方向较快长大, 奥氏体形貌和柱状晶区类似, 为粗大的板条状, 平行度较高。

2.5 电渣扁锭轧制

UNS S32205 双相不锈钢电渣扁锭在 1 250 °C,

保温 4 h, 扁锭出炉后经高压水除鳞在 3300 四辊可逆轧机上直接进行热轧, 初轧温度约 1 100 °C, 道次压下量 10 ~ 11 mm, 终轧温度约 950 °C, 热轧板厚度为 100 mm, 轧后空冷。热轧后的板材如图 3, 除了边部出现轻微裂纹, 其它部位未见裂纹, 边裂形成的原因为^[3-5];

(1) 热轧变形过程中轧制速度过高, 变形速率太快, 导致合金两相中铁素体来不及回复软化, 奥氏体来不及发生动态再结晶软化, 加工过程中应变硬化积累造成裂纹产生, 随变形量增加裂纹扩展。

(2) 与奥氏体的形貌有关, 边部板条状的奥氏体从晶界析出并长到晶粒内部, 头部尖锐, 割裂了较软的铁素体基体的完整性, 引起钢的塑性降低。

3 结论

(1) 采用抽锭电渣重熔工艺生产出 UNS S32205 双相不锈钢电渣扁锭, 扁锭的规格为 (mm) 200 (厚) × 1 250 (宽) × 3 000 (长)。

(2) 电渣扁锭不同位置的奥氏体形貌不同, 扁锭角部奥氏体大部分呈板条状, 扁锭心部奥氏体形貌大部分呈颗粒状。

(3) 冷却条件影响奥氏体形貌, 随着冷却强度的增加, 奥氏体的形貌从颗粒状向板条状转变。

参考文献

[1] 藏喜民. 电渣连铸技术的开发及工艺研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
 [2] 李正邦. 电渣冶金理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
 [3] 陈湘茹. 2205 双相不锈钢连铸凝固组织热模拟研究[D]. 上海: 上海大学, 2013.
 [4] 陈兴润. 2205 双相不锈钢边裂缺陷形成原因分析[J]. 钢铁研究, 2013. 41(4): 33-36.

[5] 王晓峰. 影响双相不锈钢热塑性的诸因素讨论[J]. 上海金属, 2007, 29(6): 37-41.

王新鹏(1980-), 男, 硕士(2010年西北工业大学), 工程师, 2004年河南科技大学(本科)毕业, 特殊钢产品开发。
 E-mail: 50228667@qq.com

收稿日期: 2015-04-28

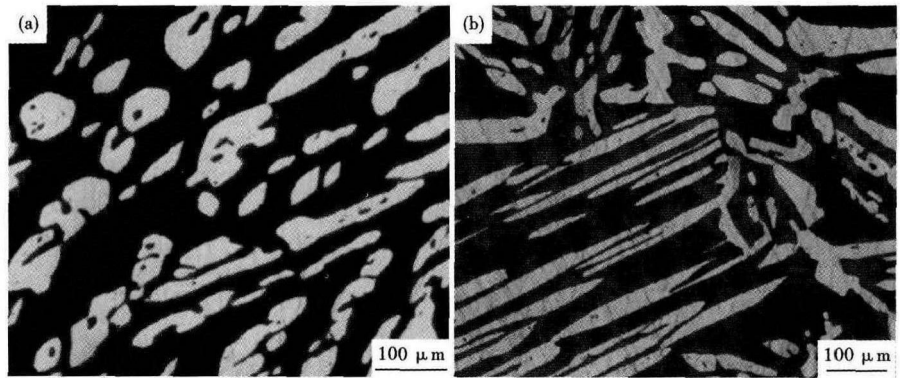


图 2 200 mm × 1 250 mm 2205 双相不锈钢电渣扁锭心部(a)和角部(b)奥氏体形貌
 Fig. 2 Morphology of austenite at center (a) and corner (b) of 200 mm × 1 250 mm electroslag remelting slab ingot of 2205 dual-phase stainless steel

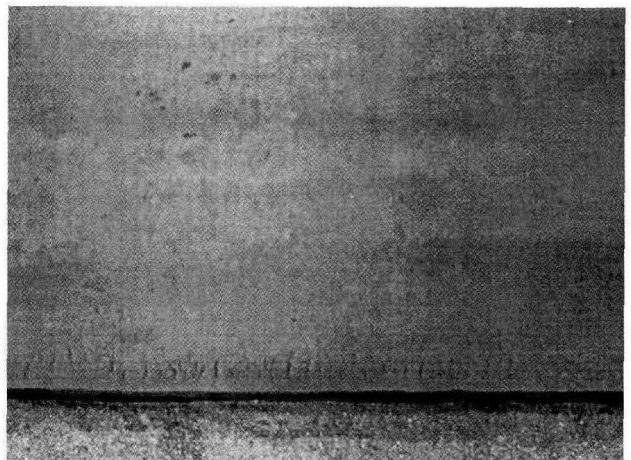


图 3 2205 双相不锈钢 100 mm 热轧板边裂形貌
 Fig. 3 Corner crack morphology of 2205 dual-phase stainless steel 100 mm hot-rolled plate