

· 工艺技术 ·

1Mn15Cr17Ni2N 高氮奥氏体不锈钢的研制

陈 列^{1,2} 佐 辉² 任元和² 李 硕² 周志刚² 吴玉飞²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 西宁特殊钢股份有限公司,西宁 810005)

摘 要 采用 25 t EAF-VOD + LF-680 kg 铸锭工艺冶炼 0.14% C-0.35% N 的奥氏体不锈钢 1Mn15Cr17Ni2N。VOD 精炼后, [N] 为 0.040%, [O] 为 0.015 8%; 通过 LF 吹氮 45 min, 吹氮量 50 m³, 分析得出 [N] 为 0.139%, [O] 为 0.003 3%, 吹入氮气平均回收率为 33.07%。再加入 500 kg 氮化铬(8.60% N) 和 150 kg 氮化锰(5.13% N), 取样分析 [N] 为 0.35%, [O] 为 0.002 9%, 加氮化铬和氮化锰的氮综合回收率为 87.41%。

关键词 高氮 奥氏体不锈钢 VOD LF

Development of High Nitrogen Austenite Stainless Steel 1Mn15Cr17Ni2N

Chen Lie^{1,2}, Zuo Hui², Ren Yuanhe², Li shuo², Zhou Zhigang² and Wu Yufei²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Xining Special Steel Corp, Xining 810005)

Abstract 0.14C-0.35N austenite stainless steel 1Mn15Cr17Ni2N melted by 25 t EAF - VOD + LF - 680 kg ingot process. [N] was 0.040% and [O] was 0.015 8% at end of VOD refining, and the analysis results indicated [N] 0.139% and [O] 0.003 3% after nitrogen blown for 45 min in LF with blown nitrogen amount 50 m³ with blown nitrogen average yield 33.07%. Then added 500 kg chromium nitride (8.60% N) and 150 kg manganese nitride (5.13% N), with sampled analysis the [N] was 0.35% and the [O] was 0.002 9%, the comprehensive yield for added chromium nitride and manganese nitride was 87.41%.

Material Index High Nitrogen, Austenite Stainless Steel, VOD, LF

1 1Mn15Cr17Ni2N 钢的冶炼工艺

1Mn15Cr17Ni2N 热轧扁钢工艺流程为: 25 t EAF 初炼→VOD + LF 精炼→模铸 680 kg 方锭→5 t 蒸汽锤开 135 mm × 135 mm 坯→500 mm/300 mm 横列式轧机生产 16 mm × 65 mm 扁钢。

1Mn15Cr17Ni2N 是一种高氮、高锰、高铬节镍型奥氏体不锈钢, 在室温下的组织为纯奥氏体组织, 其化学成分列于表 1。

表 1 1Mn15Cr17Ni2N 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 1Mn15Cr17Ni2N/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
0.14	0.39	15.20	0.040	0.010	16.70	1.94	0.35

1Mn15Cr17Ni2N 高氮奥氏体不锈钢和常规奥氏体不锈钢相比, 冶炼工艺的主要特点为: (1) VOD 吹炼结束后需加入大量的金属锰进行锰的合金化; (2) VOD 吹炼结束后 LF 精炼时, 搅拌气体由氩气改为氮气, 进行钢液增氮; 冶炼后期再加入适量的氮化铬和氮化锰对钢中的氮含量进行微调。

1.1 锰合金化工艺

VOD 后, 将有 5 t 左右的金属锰加入到约 21 t

的钢液中, 这一过程中钢液温降约 300 ℃。为确保 LF 精炼的需要, VOD 吹炼结束后钢液的温度和成分必须合适, 因此该钢冶炼的关键在于控制 VOD 入罐成分、钢水量和控制 VOD 吹炼终点。

电弧炉出钢时钢液的成分(%)为: 0.48C、0.28Si、0.15Mn、0.030P、0.030S、20.30Cr、2.59Ni, 钢液的氧含量为 0.004 5%。电弧炉出钢后, 将电弧炉的炉渣全部除去, 入 VOD 吹炼, 吹炼结束后钢液的成分(%)为: 0.12C、0.16Si、0.10Mn、0.030P、0.018S、17.67Cr、2.19Ni, 钢液的氧含量为 0.015 8%。转入 LF 精炼, 加入造渣用石灰 500 kg、萤石 100 kg, 硅钙粉及铝粉混合脱氧剂 40 kg, 测钢液温度为 1726 ℃, 此时是加入金属锰的最佳时机, 为防止金属锰的加入造成钢液温降过大和钢包底部粘结, 金属锰分两次加入到钢液中, 随着金属锰的加入, 硅铁和铝锭也分别加入到钢液中进行合金化。

电弧炉提供的初炼钢液中, 合理控制 Cr、Ni 含量, 可使 LF 精炼时基本不再调整, 直接命中成分。

为提高和稳定金属锰的回收率, 以及提高钢液的纯净度, LF 精炼时要充分的脱氧、还原。

1.2 钢液增氮工艺

因 1Mn15Cr17Ni2N 钢中氮含量高,因此,氮含量的控制是生产这一钢种的关键之一。

含氮钢在电弧炉冶炼工艺中氮的合金化,一般是在冶炼后期加入氮化合金来实现的。由于氮化合金价格昂贵,而且钢中氮含量不易控制,因此,利用资源丰富且廉价的氮气作原料,通过前期向钢液吹氮,后期补加氮化合金的方法进行氮的合金化,可大幅度降低含氮钢生产成本。

温度、氮分压、钢液的化学成分均影响氮在不锈钢液中溶解度。在大气中冶炼氮分压是恒定不变的,因此氮在不锈钢液中的溶解度除与钢液温度有关外,还与钢液的化学成分有很大的关系。氮与大部分合金元素都可形成氮化物,钢液中的 Cr、Mn 等合金元素可提高氮的溶解度^[1],所以随着 Cr、Mn 等元素含量的增加,氮的溶解度也增加;在高铬、高锰钢中,氮在钢液中的溶解度随温度升高而降低^[2],因此保持钢液合适的温度,有利于稳定和提高氮的溶解度。钢液中氧、氮含量存在平衡关系,氧含量越高,则氮的溶解度就越低。钢液中氮含量的变化,除了热力学条件外,还将受到动力学条件的影响,实际生产中,钢液的脱氮和吸氮两个过程同时存在。

1Mn15Cr17Ni2N 钢 VOD 吹炼结束后,钢液中氮含量仅为 0.040%,氧含量为 0.015 8%。在 LF 精炼时,由于钢液中加入金属锰、硅铁和铝锭,渣中的氧化铬大部分被还原,使得钢液中 Mn、Cr 含量增加,钢液中的温度和氧含量显著降低,此时钢液的动力学条件和热力学条件都十分有利于钢液增氮。

LF 吹氮 45 min、吹入氮气 50 m³ 后,分析钢液中氮含量为 0.139%,氧含量为 0.003 3%,氮气平均回收率 33.07%。在出钢前钢液中补加氮化铬 500 kg(N% = 8.60%)和氮化锰 150 kg(N% = 5.13%)后,取样分析钢液的氮含量为 0.35%,氧含量为 0.002 9%,氮化铬和氮化锰中氮的综合回收率为 87.41%。

吊钢包浇铸前钢液必须吹氩气搅拌 10 min,目的是清除钢液中游离氮,避免浇铸时在钢锭中形成气泡。浇铸采用低温快铸、氩气保护的浇铸工艺,浇铸的锭型为 680 kg 方锭。

2 锻轧工艺

在采用 5 t 蒸汽锤锻制开坯前,该钢需经高温均质处理,改善钢的铸态组织。在锻造过程中必须严格遵守先轻后重的原则,控制变形量,多次反复锻造,使钢中的原始铸态组织得到充分的破碎。在锻造过程中通过采用多火锻造并保证钢锭、钢坯透烧

均匀、控制加热温度在 1 100 °C 以下等技术来控制钢坯的加工性能、生产合格的钢坯。

1Mn15Cr17Ni2N 钢用于 100 万 kW 汽轮发电机组的压指材料,该扁钢为轧后状态使用,根据该钢的使用环境,对该钢的强韧性要求较高,要求其屈服强度 $R_{p0.2} \geq 700$ MPa。

为了确保 1Mn15Cr17Ni2N 钢轧后状态的机械性能,研究了该钢不同的终锻轧温度和锻轧后状态机械性能的对对应关系,结果见表 2。

表 2 终锻轧温度对 1Mn15Cr17Ni2N 钢机械性能的影响
Table 2 Effect of finishing forging and rolling temperature on mechanical properties of steel 1Mn15Cr17Ni2N

加工	规格/ mm	终锻轧温度/ °C	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A/ %	Z/ %
锻造	135 × 135	900	660	830	45	65
	25 × 55	940	615	955	44	66
轧制	25 × 55	900	675	950	44	69
	25 × 55	850	840	1 030	39	64
	16 × 65	850	840	1 010	36	62

通过对该钢不同终锻轧温度锻轧后状态机械性能的研究,在扁钢轧制时采用控温轧制的工艺,将终轧温度控制在 900 °C 以下,确保了扁钢热轧状态的屈服强度达到用户的要求。检验结果表明,扁钢非金属夹杂物级别为:A 类 0.5, B 类 1.0, C、D 类为 0;机械性能为: $R_{p0.2}$ 735 ~ 840 MPa, R_m 955 ~ 1 030 MPa, A 35% ~ 42%, Z 62% ~ 68%。

3 结论

1Mn15Cr17Ni2N 高氮奥氏体不锈钢采用电弧炉(EAF)初炼、VOD + LF 精炼的冶炼工艺,在冶炼过程中,通过对 VOD 入罐成分、钢水量和 VOD 吹炼终点、温度的控制,以及对锰合金化工艺、氮合金化和 LF 精炼工艺的控制,确保了钢的化学成分合格和纯净度。锻轧过程中通过控制加热温度、变形量及终锻轧温度等工艺,生产出的扁钢其轧后状态的机械性能完全达到了标准和用户的使用要求。

参考文献

- 刘守平,孙善长.含氮钢吹氮合金化.重庆大学学报,2002,25(5):
- 向大林,王克武,朱孝清,等.Cr18Mn18N 护环用钢电渣重熔技术的开发研究.上海金属,1996,18(4):

陈 列(1968-),男,在读博士研究生,1990年毕业于北京科技大学,从事特钢的工艺技术、质量及新产品研究。

收稿日期:2006-07-21