

12Cr1MoV 锅炉吊杆用钢的开发生产实践

袁淑君,任琪,刘兵,范黎明,梁娜

(山钢股份莱芜分公司,山东 莱芜 271104)

摘要:通过低C,较高Cr、Mo、V,较低Si、Al,极低的P、S以及气体含量的成分优化设计,采用50 t电炉→LF精炼+VD真空脱气→连铸(电磁搅拌)→轧制工艺流程,严格各工序参数控制,开发生产了12Cr1MoV锅炉吊杆用热轧圆钢。产品质量检验表明,成品圆钢成分波动小、洁净度高、晶粒细小均匀、强韧性匹配较好,B级超声波探伤合格,各项性能指标满足标准及用户使用要求。

关键词:锅炉吊杆用钢;12Cr1MoV热轧圆钢;高洁净度;力学性能

中图分类号: TG142.41

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2018)05-0004-03

1 前言

12Cr1MoV钢合金元素总量不超过2%,是一种较经济、工艺性能好的低合金锅炉用钢,具有良好的高温力学性能、组织稳定性以及抗腐蚀、抗氧化能力^[1]。12Cr1MoV钢最高使用温度可达580℃,是国内亚临界及以下级别电站锅炉过热器、再热器、集箱、主蒸汽管道、吊杆使用最广泛的钢种。采用12Cr1MoV热轧圆钢通过热处理+矫直(或热弯)+端部螺纹加工工艺制成直条状或U型锅炉吊杆,此工艺中圆钢为通条使用,且未有锻造等热加工变形过程,圆钢的内外部质量将直接影响到成品吊杆的质量,因此对圆钢的质量要求十分严格,需满足GB/T 4162—2008标准中超声波探伤B级质量等级要求。

本研究主要是结合12Cr1MoV锅炉吊杆用钢钢种特性、性能要求以及加工方式,探讨了电炉+LF精炼+VD真空脱气+连铸+轧制工艺的关键控制点,成功开发生产了12Cr1MoV锅炉吊杆用热轧圆钢。

2 技术要求

12Cr1MoV锅炉吊杆用钢主要化学成分按GB/T 3077标准要求执行。为满足材料高洁净度的要求,对有害元素以及非金属夹杂物的技术标准提出更高的要求: $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.010\%$ 、 $[O] \leq 25 \times 10^{-6}$ 、 $[N] \leq 100 \times 10^{-6}$ 、 $[H] \leq 2.0 \times 10^{-6}$,夹杂物中A细、B细 ≤ 2.0 级,A粗、B粗 ≤ 1.5 级。为保证钢材心部致密、组织均匀细小,技术标准中要求低倍组织允许存在的各项缺陷级别 ≤ 2.0 级,钢材横截面酸浸低倍组织不得有肉眼可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻

皮、白点、晶间裂纹。要求晶粒度 ≥ 6.0 级,金相组织为铁素体+珠光体。钢材经正火($1\ 000 \pm 20$)℃/空冷+回火(750 ± 50)℃/处理,对热处理后材料的力学性能也提出了要求,同时要求硬度 ≤ 187 HBW。

3 生产试制

3.1 技术难点

1) 12Cr1MoV锅炉吊杆用钢在580℃及以下高温环境下使用,需合理优化成分,保证成品较好的高温性能以及抗氧化性能;2) 12Cr1MoV钢C含量较低,且要求 $P \leq 0.015\%$ 、 $[O] \leq 25 \times 10^{-6}$,电炉冶炼工艺存在一定难度;3) 12Cr1MoV钢为包晶钢,在连铸过程中极易产生纵向裂纹;4) 圆钢需逐根进行超声波探伤,符合GB/T 4162中B级质量等级要求,对圆钢的洁净度、组织均匀性等内部质量要求十分严格。

综合考虑技术难点、客户需求以及现有工艺装备情况,决定采用“50 t电炉→LF精炼+VD真空脱气→连铸(电磁搅拌)→轧制”工艺路线进行本品种的开发生产。

3.2 成分优化设计

12Cr1MoV钢种成分优化设计的思路为控制低的C,使钢具有良好的加工性能和焊接性能;控制较高的Cr、Mo、V合金元素,使钢在高温下具有较好的性能以及一定的抗氧化性;控制较低的Si、Al,降低钢材在高温下发生组织石墨化的概率;控制极低的P、S以及气体含量,保证钢材在高温下的疲劳性能。在此基础上制定了化学成分内控标准。

Mn可以弥补低C时钢的强度,为不影响钢的焊接性能,Mn控制在标准中限水平。

Cr可以提高钢的抗氧化性、耐腐蚀性;Mo可以提高钢的高温蠕变强度、消除钢的回火脆性,降低热脆性,同时提高抗蒸汽腐蚀能力;V主要起沉淀强化作用,其V的碳化物为均匀弥散分布,可强化

收稿日期:2018-01-23

作者简介:袁淑君,女,1987年生,2008年毕业于西安建筑科技大学金属材料专业。现为山钢股份莱芜分公司技术中心工程师,从事优特钢新产品开发及工艺研究工作。

铁素体基体,使钢在高温下更为稳定,同时V是强碳化物形成元素,可降低Cr、Mo元素由铁素体向碳化物中转移的速度,更好地发挥Cr、Mo提高耐热性的作用。Cr、Mo、V均控制在标准中上限水平。

Si、Al是炼钢过程中的主要脱氧剂,同时可显著提高钢的抗氧化性,但会加速促进钢材在高温下组织石墨化,因此Si、Al控制较低。

P、S等有害元素会在晶界聚集,导致晶界弱化,显著降低中高温合金钢的疲劳强度、抗应力腐蚀强度和热蠕变性能,同时增大回火脆性倾向,使钢材表面易出现裂纹,严格控制;O、N、H在钢中均为有害元素:O在钢中会形成氧化物杂质,对钢的强度、塑性、疲劳强度等有严重的影响;N在铁素体中的溶解能力差,在长时间及高温条件下,易发生时效,从而降低钢的塑性;氢会引起氢脆、白点等缺陷;因此需加严气体含量的控制。

3.3 电炉初炼

电炉初炼过程主要目的是脱磷、脱碳以及去除部分气体和夹杂物;要达到较好的脱磷效果必需具备高碱度、高氧化性、低温和大渣量4个条件^[2],脱磷主要是在炉料熔化后的前期完成,[P]先被氧化剂(FeO)氧化成 P_2O_5 ,再与渣中的脱磷剂(CaO)结合,形成稳定的磷酸钙类化合物,然后溶解于渣中。脱碳与脱磷是同时进行的,会产生争氧的情况,因此在本钢种冶炼中,应按先脱磷再脱碳步骤进行^[3];另为了防止钢水过氧化,需保证终点C含量。

实际生产中,充分利用熔化期温度较低的有利条件,提前造渣(碱度4.5~6.5)脱磷;温度超过1450℃时,保证炉门口自动流渣,及时放掉P含量高的初渣。全过程泡沫渣操作,保证良好的氧化沸腾;合理控制脱碳及升温速度,控制碳氧反应搅拌熔池,确保碳氧反应增加钢渣界面的脱磷效果,利于进一步脱磷;在P未达到要求之前,炉中C不得 $<0.15\%$,渣中全铁不得 $>30\%$,温度不得超过1600℃;严格控制终点[C]0.06%~0.08%,终点[P] $\leq 0.008\%$;控制出钢温度在1620~1640℃之间,避免出现高温回磷现象;出钢时随钢流加入低磷合金以及钢芯铝,做好钢水预脱氧,降低溶解氧含量在 20×10^{-6} 以下,为LF精炼为深脱硫创造条件;出钢进行留钢、留渣操作,严禁下氧化渣,为精炼创造好的钢水条件。

3.4 LF精炼+VD真空脱气

LF精炼的主要目的为脱氧、脱硫、去除夹杂物,调节成分和温度等。钢包到位后,在包中C允许的条件下尽量使用增碳剂调渣,禁止加入大量碳

化硅调渣降低炉渣碱度,控制渣碱度为2.5~3.5;保持炉渣合适的流动性,白渣保持时间 >20 min;按内控要求加入低磷合金进行成分微调;出钢前,按照1.5~3.0m/t喂入钙线进行夹杂物变性处理,降低大颗粒夹杂物量。

钢水进行VD真空脱气处理,控制好精炼渣的流动性和真空温度,真空度 <67 Pa下保持15min,VD处理过程中合理控制氩气流量,防止钢液裸露吸气、氧化,破空后软吹氩时间 ≤ 15 min,提高钢水纯净度。

3.5 连铸工艺

本钢种为包晶钢,选用包晶钢专用保护渣,其具有高碱度、高黏度的物理特性,其热阻更高,达到降低和均匀传热速度的作用,从而使铸坯初生坯壳均匀、稳定生长,降低出现表面纵向裂纹的倾向。做好全程保护浇注工作,大包采用长水口,中间包采用整体式,以防止钢水二次氧化污染。稳定“三恒”操作,采用低过热度浇注技术,中包钢水过热度控制为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$,采用结晶器+末端双电磁搅拌技术以及动态二冷配水,使铸坯冷却均匀,保证铸坯内外部质量。

3.6 轧制工艺

钢坯加热采用三段式加热炉,预热段温度550~850℃,加热段温度1100~1220℃,均热段温度1170~1220℃,总加热时间 ≥ 3.5 h。控制好轧制节奏,保证开轧温度为1100~1180℃,终轧温度为850~900℃。加强过程控制,提高钢材表面质量,确保钢材定尺交货。钢材进行堆垛缓冷,24h后方可运出车间。

4 产品实物质量分析

12Cr1MoV锅炉吊杆用钢开发生产近500炉次,为了解钢材批量化性能稳定性,现随机抽取100炉产品进行质量分析。

4.1 钢材化学成分及钢中气体

12Cr1MoV钢标准要求化学成分、内控成分及钢材实测成分及气体含量见表1。

从表1可以看出,实物化学成分基本控制在内控要求内且波动较小,C含量控制在 $\pm 0.01\%$ 以内,合金元素含量控制在 $\pm 0.03\%$ 以内,整体控制水平较好;钢中P、S有害元素以及残余元素含量低,氧含量控制在 $(11 \sim 18) \times 10^{-6}$,氮含量控制在 $(56 \sim 74) \times 10^{-6}$,氢含量控制在 $(0.8 \sim 1.2) \times 10^{-6}$,保证了钢材的洁净度。

4.2 低倍组织

钢材的酸浸低倍试样中,未发现肉眼可见的缩

表1 12Cr1MoV钢化学成分及气体含量

项目	化学成分/%										气体含量×10 ⁻⁶			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Al	[O]	[N]	[H]
标准	0.08~0.15	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.015	≤0.010	0.90~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30	≤0.25	≤0.20		≤20	≤100	≤2.0
内控	0.10~0.12	0.20~0.28	0.55~0.60	≤0.012	≤0.006	1.10~1.15	0.30~0.32	0.25~0.28	≤0.20	≤0.10	0.010~0.020	≤20	≤80	≤1.5
实测	0.10~0.12	0.20~0.25	0.55~0.58	0.008~0.011	0.002~0.005	1.11~1.15	0.31~0.32	0.26~0.27	≤0.05	≤0.08	0.011~0.019	11~18	56~74	0.8~1.2

孔、皮下气泡、裂纹、过烧、有害夹杂物、翻皮、白点等缺陷。实物酸浸低倍组织检验级别见表2。

表2 12Cr1MoV圆钢酸浸低倍组织 级

项目	一般疏松	中心疏松	偏析	中心偏析
标准	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
实测	0~0.5	0.5~1.0	0~0.5	0~0.5

从钢材低倍组织检验数据来看,钢材一般疏松以及偏析均在0.5级以下,中心疏松别在1.0级以下。钢材组织致密性较好。

4.3 力学性能

按技术要求检验钢材的力学性能,见表3。从检验结果可看出,本钢种强度及塑韧性指标均达到技术要求,冲击功集中在140 J以上,表明钢种强韧性匹配良好。

表3 2Cr1MoV圆钢力学性能

项目	R _m /MPa	R _e /MPa	A/%	Z/%	KV ₂ /J
标准	≥255	≥470	≥21	≥50	≥27
实测	288~390	545~650	22.5~26.5	71~76	142~210
	332	586	24.6	73.4	174.6

圆钢取样经正火(1 000±20)℃/空冷+回火(750±50)℃/空冷处理后,硬度在143~178 HBW,满足技术要求。

4.4 非金属夹杂物

按照GB/T 10561标准要求检验钢材非金属夹杂物,结果见表4。检验结果表明,钢中非金属夹杂物控制较好,洁净度高。另外,圆钢按GB/T 4162标准要求组织逐支探伤,满足B级质量要求。

表4 2Cr1MoV圆钢非金属夹杂物 级

项目	A		B		C		D		Ds
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
标准	≤2.0	≤1.5	≤2.0	≤1.5	≤1.5	≤1.0	≤1.5	≤1.0	≤2.0
实物	1.0~1.5	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0	0	0~0.5	0	0~1.0

4.5 晶粒度及金相组织

按照GB/T 6394检验钢材晶粒度为7~8级;显微组织为铁素体+珠光体,见图1。

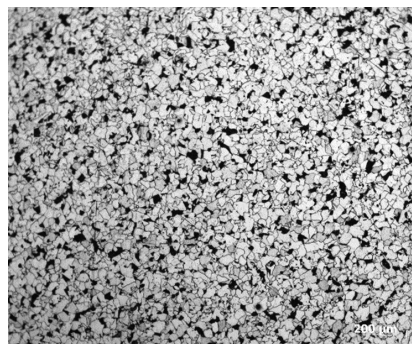


图1 2Cr1MoV圆钢金相组织 ×50

5 结 语

采用50 t电炉→LF精炼+VD真空脱气→连铸(电磁搅拌)→轧制工艺生产12Cr1MoV钢的工艺流程及各项工艺参数制定合理、可行;成品圆钢成分波动小、洁净度高、晶粒细小均匀、强韧性匹配较好,且满足GB/T 4162标准中B级超声波探伤质量等级要求。

12Cr1MoV锅炉吊杆用钢已实现批量化大生产,年均产销量在1万t左右,创造了较好的经济效益。下游用户采用本钢种加工成的锅炉吊杆性能稳定,耐热性高,已在壁温低于565℃环境下锅炉中装配使用。

参考文献:

- [1] 寄海明. 电站锅炉管用钢15CrMoG的生产实践[J]. 特殊钢, 2012, 33(5): 32-34.
- [2] 黄希古. 钢铁冶金原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 371-374.
- [3] 曲英. 炼钢学原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980: 164-171.

Development and Production Practice of 12Cr1MoV Steel for Boiler Hanger

YUAN Shujun, REN Qi, LIU Bing, FAN Liming, LIANG Na

(Laiwu Branch of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: By optimizing the composition design of low C, higher Cr, Mo and V, lower Si and Al and extremely low P, S and gas content, adopting the process flow of 50 t electric furnace → LF refining → VD vacuum degassing → continuous casting (with electromagnetic stirring) → rolling and strict control of process parameters, 12Cr1MoV hot rolled round steel for boiler hanger were developed and produced. The product quality inspection showed that the finished round steel has small fluctuation of composition, high cleanliness, fine and uniform grain size and good match of strength and toughness. The grade B ultrasonic flaw detection is qualified; all performance indexes meet standards and user requirements.

Key words: boiler hanger steel; 12Cr1MoV hot rolled round steel; high cleanliness; mechanical property