



P110钢级光管产品研发*

王金海, 尚明

(山东寿光巨能特钢有限公司, 山东 寿光 262711)

摘要:采用25Mn2V钢、BOF→LF+VD→连铸→轧制→调质处理工艺,通过设计优化钢的化学成分及热处理工艺等,控制C含量在0.23%~0.26%,热轧使用高质量石墨润滑剂、Φ180 mm圆管坯,开发生产了Φ177.8 mm×10.36 mm规格P110钢级套管,产品屈服强度903.8 MPa,性能合格率100%,超声波探伤L2合格,几何尺寸、外表质量良好,产品质量满足API 5CT规范及用户要求。

关键词:石油套管用钢;P110钢级;产品开发;力学性能;超声波探伤

中图分类号: TG335.7

文献标识码: B

文章编号: 1004-4620(2013)02-0009-03

1 前言

石油套管作为采油设备中不可缺少的管材,一直受到石油行业和钢管生产企业的重视。特别像中石化和中石油这些石油行业的领军企业,一直都采用供应商先评定、后采购的原则。山东寿光巨能特钢有限公司是一家集烧结、炼铁、炼钢、轧钢、钢管于一体的特钢企业,具有管坯和钢管生产能力。巨能特钢为中石油和中石化的一级供应商,但进入钢管行业仅3 a时间,仅向两家大型石油企业供应大量的低钢级钢管J55,而从未供应像进行调质处理附加值高的P110钢级等钢管。在国内市场上P110钢级产品用量大,巨能特钢决定开发P110钢级光管。本着降低成本以及技术储备的考虑,对P110钢级采用25Mn2V进行工厂化试验生产。

2 产品设计

2.1 设计目标

产品性能设计应符合API 5CT要求^[1]。为保证用户车削需求,产品外形加严控制要求。外径由API 5CT要求的 $-0.5%D \sim +1%D$ (D 为管体名义外径)加严至 $+0 \sim +1%D$;壁厚由API标准要求的管体壁厚公差为 $-12.5\%t$ (t 为管体名义壁厚),加严至 $\pm 10\%t$ 。美国API标准中要求钢管采用一种或多种方法检测内、外表面纵向和横向缺陷,P110验收水平L4,巨能特钢将验收级别控制在L2水平。

2.2 成分设计

用户要求成分按美国石油学会API Spec 5CT《套管和油管规范》执行。而美国出于技术保密考

虑,在API Spec 5CT中仅规定了影响钢管使用性能的有害元素P和S的含量,产品主要控制成分没有涉及。P110钢级产品的强度要求高,低温性能要求也很高。因此巨能特钢设计了25Mn2V这一钢种进行调质生产P110钢级钢管。主要设计依据有:

1)C元素是钢中最基本元素,同时也是提高产品强度的最廉价元素。对于P110钢级来说,由于要求低温冲击性能,钢中的C元素不宜过多,应控制在中低碳的范围内。

2)对于Mn含量低于2.0%的中低碳钢来说,随Mn含量的增加,韧脆转变温度降低^[2]。另外Mn含量较高时,有使钢晶粒粗化的倾向,并增加钢的回火脆性敏感度^[3]。

3)V是强化铁素体和 γ 相形成元素之一,它和C、N、O都有极强的亲和力,与之形成相应的极为稳定的化合物,在低合金含量的钢中有着细化晶粒、增加钢的强度的作用^[4]。基于成本的考虑,V元素控制范围较窄,波动控制在0.06%(绝对量)以内。

2.3 冶炼工艺设计

主成分控制:主成分不仅影响产品性能,同时也影响着热处理工艺的稳定性,为此严格控制浇铸前后炉的主成分偏差。C成分偏差在0.02%以内,合金元素偏差在0.05%以内。

夹杂物控制:API Spec 5CT标准中虽然对夹杂物没有明确要求,但通过水压试验和探伤两种手段控制钢中的夹杂物。因此冶炼工艺设计过程中要考虑钢的纯净度问题。

低倍质量控制:设计符合该钢种特性的配水参数,同时采用电磁搅拌技术破坏柱状晶,防止产生枝晶偏析。

根据上述控制要求,冶炼时采用经预处理的高质量铁水,通过顶底复吹工艺,降低其中的P含量,保证出钢 $P \leq 0.012\%$;另外出钢过程中严格控制主

*山东省2012年度第三批技术创新项目,项目编号:201230607006。

收稿日期:2013-01-22

作者简介:王金海,男,1958年生,1982年毕业于马鞍山钢铁学院轧钢专业。现为山东寿光巨能特钢技术部部长,高级工程师,从事产品、工艺开发和质量管理工。

要化学元素C、Mn和Si的加入量,按照C 0.21%、Mn 1.45%、Si 0.25%进行成分配比。

70 t LF炉精炼过程中采用白渣工艺,保证钢水的还原性,降低钢水中的S和O含量,从而降低钢水中的氧化物夹杂和硫化物夹杂;同时配合吹氩工艺,促进钢水中的夹杂物上浮;使用硅钙钡铝脱氧和在线喂丝技术,采用Al+CaSi复合脱氧工艺,保证夹杂物控制在设计目标范围内。另外,为保证浇铸温度稳定,严格控制精炼出钢温度在1 650~1 680℃。

连铸过程中采用合适的保护渣进行保护浇铸,防止钢水二次氧化;采用挡渣墙使整个中间包的温度场均匀,同时保证夹杂物有充足的上浮时间,进一步降低钢中的夹杂物。另外设计合适的配水工艺,1至4段二冷段分别采用50%、25%、15%和10%的配水比例进行浇铸。

2.4 轧制工艺设计

为保证用户的切割需求,加严了外形尺寸的控制要求,另外产品还需要进行热处理,会有一定的烧损,为此轧制工艺设计时按照尺寸中上限控制。为降低轧制阻力,同时减少热应力,坯料加热温度逐步提高,均热段温度控制在1 260~1 280℃。为保证产品外形尺寸,严格执行各工序轧制变形工艺要求。另外为了消除因非工艺设计因素导致产品外形尺寸不合,要求生产操作人员每30 min从生产线上取样进行检测。

2.5 热处理工艺设计

对于P110钢级产品,巨能特钢没有进行过热处理生产。为摸清该钢种热处理的规律,利用试制的热轧光管进行了一组实验室热处理工艺试验。淬火温度分别为850、870和890℃,淬火时间分别为20和30 min;回火温度分别为540和560℃,回火时间均为40 min。试验结果见表1。

表2 试制产品的化学成分 %

项目	C	Si	Mn	P	S	V
设计值	0.22~0.27	0.20~0.35	1.45~1.65	≤0.020	≤0.020	0.09~0.14
实际值	0.22~0.24	0.25~0.28	1.55~1.61	0.01~0.012	0.006~0.008	0.09~0.11

2) 夹杂物:夹杂物控制情况见表3。

表3 夹杂物控制情况 级

A粗	A细	B粗	B细	C粗	C细	D粗	D细	DS
≤0.5	≤1	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤1	≤0.5	≤0.5	≤1

3) 低倍质量:连铸坯低倍中心疏松控制在2级以内,没有其他缺陷。

4) 外形尺寸和壁厚:控制情况见表4。

表4 外形尺寸和壁厚控制情况 mm

项目	要求	控制目标	实测值
外径	177.8~179.57	177.8~180.17	177.9~179.32
壁厚	9.32~11.39	9.53~11.46	9.56~11.32

表1 实验室试验结果

温度/℃	淬火 时间/min	回火 温度/℃	拉伸性能			冲击值 (5-T-0)/J
			R _m /MPa	R _{eL} /MPa	A/%	
850	20	540	874	916	22	32/34/35
850	20	560	850	900	24	34/38/36
850	30	540	874	919	19	35/34/34
850	30	560	841	895	23	35/36/36
870	20	540	830	923	20	39/37/38
870	20	560	856	899	20	35/37/36
870	30	540	830	885	18	36/36/36
870	30	560	820	883	21	36/37/38
890	20	540	832	928	21	36/36/36
890	20	560	809	915	21	36/36/38
890	30	540	804	933	21	36/38/36
890	30	560	761	908	22	36/35/37

根据实验室试验结果,同时考虑热处理后产品性能的稳定性,制定热处理工艺:加热段温度(860±10)℃,保温段温度(880±10)℃;回火均热、保温段温度(570±10)℃。另外,为了降低因热处理造成的管体弯曲,采用31.3°的辊转角进行矫直。

3 产品试制

试制工艺路线:BOF冶炼→LF精炼+VD→连铸→蓄热式环形炉加热→Φ273锥形辊穿孔→Φ273狄塞尔轧管→(再加热炉)→微张力三辊定径→步进式冷床冷却→六辊矫直→吸灰→锯切→漏磁探伤→检查→淬火炉加热→淬火机淬火→回火→定径→热矫→冷却→检查(取样)→冷矫→吸灰→涂色标→超声波探伤→水压试验→通径检查→涂色环→测长、称重→压印→喷印→涂漆→包装→入库。

3.1 产品质量控制情况

1) 主要化学成分:为保证产品的热处理稳定以及产品的最终性能,严格控制25Mn2V各元素的范围,具体控制情况见表2。

5) 性能:产品性能指标不是很理想,调质热处理共19个批次(含重新调质1批),其中有两个批次初验抗拉强度(845 MPa、859 MPa)低于标准下限(862 MPa)。这两批的C含量均为0.23%。有1批C含量为0.22%的抗拉强度为871 MPa,紧靠下限,其他批次抗拉强度合格,但富裕量不大。

6) 无损检测:热处理后成品采用L2级超探,探伤质量水平为API 5CT标准中最高等级,探伤设备为相控阵超探,灵敏度很高。探伤过程中出现较多的钢管内表面报警。经解剖后用手持式超声波探

伤仪定位,发现报警原因是内麻面伴有内皱纹,而不是裂纹,这种细小“缺欠”通常是允许存在的,不是缺陷,漏磁探伤正常。

3.2 工艺改进

针对上述问题对产品的设计进行修改:1)优化用于生产P110钢级钢管的25Mn2V管坯化学成分,将C含量控制在0.23%~0.26%。2)为减少内皱纹缺陷,改进热轧芯棒润滑的喷涂系统,解决喷涂不均匀、运行不稳定的问题,并采用较高质量的石墨润滑剂;同时,改用Φ180 mm圆管坯,通过减少荒管定径量来减轻或防止内皱纹。3)热处理工艺的回火温度降低10℃。

改进前后的轧制变形工艺要求见表5。

表5 改进前后热轧钢管变形工艺

项目	产品/ mm	坯料/ mm	穿孔毛 管/mm	顶头/ mm	轧制荒 管/mm	芯棒/ mm	定径 孔型
改进前	Φ117.8	Φ220	Φ245	Φ204	Φ240	Φ204	C系列
改进后	Φ117.8	Φ180	Φ206	Φ160	Φ196	Φ160	C系列

3.3 工艺改进后产品质量控制情况

根据改进要求,在第2次试制过程中严格控制C含量。经检验,C含量满足改进控制要求,其中0.23%、0.24%各1炉,0.25%2炉,0.26%2炉;其他元素控制范围和前一批试制情况基本一致。产品性能初验合格率达到100%,全部经过超声波探伤L2合格,几何尺寸、外表质量良好。力学性能统计如表6所示。此次生产热处理工艺和化学成分进行了微调,平均屈服强度提高到了903.8 MPa,较改进前

表6 试制产品的力学性能

项目	R_m /MPa	$R_{0.2}$ /MPa	A/%	冲击功(5-T-0)/J
标准要求	758~965	≥862	≥13	≥13.2(平均) ≥9(单样)
检验结果	$\frac{854 \sim 942}{903.8}$	$\frac{922 \sim 988}{958.7}$	$\frac{16 \sim 22}{18.5}$	$\frac{20.7 \sim 38.7}{29.4}$ 20(最小20)

提高了60 MPa,性能处于标准规定的中上水平,达到了工艺调整的目标。

4 结 语

采用25Mn2V生产的两批P110钢管都比较成功。特别是经过成分、轧制工艺参数及热处理工艺微调后,各项技术性能完全达到API 5CT和技术协议对P110钢级的要求,性能合格率100%,且强度指标有较大富裕量。从第2批检验结果看,全部16批32个试样的力学性能,除1个试样稍低外,基本达到Q125钢级的性能水平,这就为开发Q125钢级套管打下了基础,积累了经验。该项目于2012年12月通过了山东省经信委技术创新项目鉴定验收,评价为国内领先水平。目前,巨能特钢开发的材质为25Mn2V的P110级石油套管已纳入正常生产供货。

参考文献:

- [1] 美国石油学会.API 5CT 套管和油管规范[S].9版.华盛顿:美国石油学会,2011:108.
- [2] 项程云.合金结构钢[M].北京:冶金工业出版社,2002:106.
- [3] 孙珍宝,朱谱藩,林慧国,等.合金钢手册(上册)[M].北京:冶金工业出版社,1984:50.
- [4] 孙珍宝,朱谱藩,林慧国,等.合金钢手册(上册)[M].北京:冶金工业出版社,1984:89.

Development of P110 Grade Plain-end Pipe Steel for Oil Casing

WANG Jinhai, SHANG Ming

(Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co., Ltd., Shouguang 262711, China)

Abstract: Using 25Mn2V steel and taking the process of BOF→LF+VD→Continuous Casting→Rolling→Heat treatment, designing and optimizing the chemical composition and heat treatment process to control carbon content between 0.23% and 0.26%, and using high quality graphite lubricant and Φ180 mm round billet in hot rolling procedure, P110 grade casing pipes of Φ177.8 mm × 10.36 mm specification were developed and produced. The yield strength of the product is 903.8 MPa, the property qualification rate is 100%, UT inspection meets the needs of L2 level and the physical dimensions and external quality are fine. The product qualities meet the requirements of API 5CT standard and customers.

Key words: steel for oil casing; P110 grade; product development; mechanical property; UT inspection

2013年炼铁及原料降本增效实用新技术新设备研讨会在浙江千岛湖镇举行

由河北、浙江、山东等九省金属(冶金)学会共同举办的“2013年炼铁及原料降本增效实用新技术新设备研讨会”于2013年4月16—18日在浙江省千岛湖镇召开,来自全国钢铁行业67个单位的130多名专家和技术人员参加会议。会议邀请北京科技大学张建良教授、东北大学沈峰满教授和中南大学范晓慧教授分别作了《炼铁原燃料技术经济评价、优化及低成本炼铁》、《MgO/Al₂O₃对高炉炼铁工艺的影响及其控

制》和《人工智能在铁矿烧结、球团中的应用》的讲座,首钢等部分钢铁企业的专家也分别就各自炼铁生产中降本增效的实践作了发言。会议还组织专家和技术人员就炼铁生产中影响成本的关键因素进行了研讨。

山东省泰钢、日钢、齐林傅山、青钢、富伦等钢铁企业的8名炼铁技术人员参加了会议。

(胡世杰)

