



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111235489 A

(43)申请公布日 2020.06.05

---

(21)申请号 202010096717.6 *C22C 38/06*(2006.01)  
(22)申请日 2020.02.17 *C22C 38/04*(2006.01)  
(71)申请人 柳州钢铁股份有限公司 *C22C 38/02*(2006.01)  
地址 545002 广西壮族自治区柳州市北雀路117号 *C22C 33/04*(2006.01)  
*B22D 11/16*(2006.01)  
*C21D 8/00*(2006.01)  
(72)发明人 刘川俊 邓深 樊雷 袁勤攀  
陈利 杨跃标 赵忠云 吴海林  
周从锐 潘刚 张广川  
(74)专利代理机构 北京卓岚智财知识产权代理  
事务所(特殊普通合伙)  
11624  
代理人 李景辉  
(51)Int.Cl.  
*C22C 38/50*(2006.01)  
*C22C 38/48*(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

---

(54)发明名称

X65MS抗酸管线钢制造方法

(57)摘要

本发明提供了一种X65MS抗酸管线钢制造方法,所述制造方法的工艺路线为依次进行的以下工序:高炉铁水冶炼、铁水脱硫预处理、转炉钢水冶炼、LF钢水精炼处理、RH钢水精炼处理、全程保护浇铸、送热轧生产、铸坯加热、粗轧、精轧、卷取、钢卷检验包装、送钢管厂进行焊接制管。本发明没有采用Mo、V、Cu、等贵重合金,具有较低的生产成本,采用的工艺还能避免出现带状组织和减少偏析区硬度,提高了管线钢抗H IC和SCC(应力腐蚀断裂)性能,提高了管线钢的冲击韧性,完全满足标准及用户的使用需求。

1. 一种X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,所述制造方法的工艺路线为依次进行的以下工序:高炉铁水冶炼、铁水脱硫预处理、转炉钢水冶炼、LF钢水精炼处理、RH钢水精炼处理、全程保护浇铸、送热轧生产、铸坯加热、粗轧、精轧、卷取、钢卷检验包装、送钢管厂进行焊接制管;

所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.03%~0.05Wt%,Si $\leq$ 0.15Wt%,Mn:1.25%~1.35Wt%,P $\leq$ 0.015Wt%,S $\leq$ 0.0015Wt%,Alt:0.020%~0.040Wt%,Ti:0.010%~0.020Wt%,Nb:0.040%~0.050Wt%,Cr:0.20%~0.25Wt%,Ni:0.10%~0.20Wt%,O $\leq$ 0.0020%Wt%,N $\leq$ 0.0040Wt%,Ca/S比 $\geq$ 1.5;余量为Fe和不可避免的微量元素。

2. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,转炉钢水冶炼中:入炉铁水控制S $\leq$ 0.005Wt%;为控S含量,使用一类专用废钢;冶炼过程采用全程底吹氩气;终渣碱度R设定值:4.0~4.5;终点控制设定目标参考:C $\leq$ 0.035%、P $\leq$ 0.013%。

3. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,转炉钢水冶炼:合金使用金属锰,Mn $\geq$ 98%,和低碳铬铁C $\leq$ 0.25%。

4. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:LF钢包顶渣控制目标为CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1.4~2.5;CaO/SiO<sub>2</sub>:7~15;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> $\leq$ 35%;Tfe+MnO $\leq$ 1.0%。

5. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:当S>0.0015%时,Ca/S $\geq$ 1.5。

6. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:精炼结束钢水镇静时间 $\geq$ 18分钟。

7. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,浇铸:要求投用钢包自动下渣检测控制;采用全程保护浇铸工艺;中间包浇注过热度按10~30℃,中包使用碱性覆盖剂,使用低碳钢保护渣,铸坯拉速为1.20~1.45m/min,采用结晶器液面波动自动控制,结晶器钢水液面波动范围控制在 $\pm$ 3mm。

8. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,铸坯加热、粗轧和精轧中:为充分发挥Nb的作用,控制铸坯加热温度为1150 $\pm$ 20℃;加热在炉时间为150~180min;粗轧出口晶粒尺寸小于25微米。

9. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,精轧中:终轧温度控制在810 $\pm$ 20℃,防止温度过低出现混晶,造成强度韧性下降;卷取温度460 $\pm$ 20℃。

10. 如权利要求1所述的X65MS抗酸管线钢制造方法,其特征在于,粗轧和精轧中:采用铌微合金化与热机械轧制工艺相结合,进行细晶强化、固溶强化、析出强化和相变强化。

## X65MS抗酸管线钢制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及冶金领域,具体涉及一种经济型X65MS抗酸管线钢制造方法,或者是一种X65MS抗酸管线钢制造方法。

### 背景技术

[0002] 管线钢是指用于输送石油、天然气等的大口径焊接钢管用热轧卷板或宽厚板,管线钢在使用过程中,除要求具有较高的耐压强度外,还需具有良好的强韧性、抗疲劳性能、低温韧性、焊接性能。

[0003] 而抗酸管线钢主要用于酸性环境下的输油输气管线;酸性环境中的管线钢腐蚀主要有氢致开裂(HIC)和硫化物应力腐蚀开裂(SSC)。当管线钢在富含H<sub>2</sub>S的油气环境中处于无应力或非拉应力状态下,受腐蚀产生的氢进入钢内造成的开裂称为HIC,一般指氢致鼓泡(表面裂纹)和氢致台阶式开裂(内部裂纹)。SSC则是指H<sub>2</sub>S产生的氢原子渗透到钢的内部,并溶解于晶格中,导致钢脆性增大,在外加拉应力或残余应力作用下形成的开裂。因此在原管线钢性能要求的基础上,抗酸管线钢还要求具有较强的抗氢致裂纹和抗硫化物应力腐蚀能力。

[0004] 目前国内外钢企生产X65MS抗酸管线钢的常用工艺为采用低碳、高锰、铌钒微合金化并添加较多Mo、Cu、V等贵重合金,生产成本较高。

[0005] 综上所述,现有技术中存在以下问题:现有的X65MS抗酸管线钢添加了较多Mo、V、Cu、等贵重合金,生产成本较高。

### 发明内容

[0006] 本发明提供一种经济型X65MS抗酸管线钢制造方法,即一种X65MS抗酸管线钢制造方法,以解决现有的X65MS抗酸管线钢生产成本较高的问题。

[0007] 为此,本发明提出一种X65MS抗酸管线钢制造方法,所述制造方法的工艺路线为依次进行的以下工序:高炉铁水冶炼、铁水脱硫预处理、转炉钢水冶炼、LF钢水精炼处理、RH钢水精炼处理、全程保护浇铸、送热轧生产、铸坯加热、粗轧、精轧、卷取、钢卷检验包装、送钢管厂进行焊接制管;

[0008] 所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.03%~0.05Wt%,Si≤0.15Wt%,Mn:1.25%~1.35Wt%,P≤0.015Wt%,S≤0.0015Wt%,Al:0.020%~0.040Wt%,Ti:0.010%~0.020Wt%,Nb:0.040%~0.050Wt%,Cr:0.20%~0.25Wt%,Ni:0.10%~0.20Wt%,O≤0.0020%Wt%,N≤0.0040Wt%,Ca/S比≥1.5;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0009] 进一步地,转炉钢水冶炼中:入炉铁水控制S≤0.005Wt%;为控S含量,使用一类专用废钢;冶炼过程采用全程底吹氩气;终渣碱度R设定值:4.0~4.5;终点控制设定目标参考:C≤0.035%、[P]≤0.013%。

[0010] 进一步地,转炉钢水冶炼:合金使用金属锰,Mn≥98%,和低碳铬铁C≤0.25%。

[0011] 进一步地,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:LF钢包顶渣控制目标为CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1.4~2.5;CaO/SiO<sub>2</sub>:7~15;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤35%;Tfe+MnO≤1.0%。

[0012] 进一步地,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:当S>0.0015%时,Ca/S≥1.5。

[0013] 进一步地,LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理中:精炼结束钢水镇静时间≥18分钟。

[0014] 进一步地,浇铸:要求投用钢包自动下渣检测控制;采用全程保护浇铸工艺;中间包浇注过热度按10~30℃,中包使用碱性覆盖剂,使用低碳钢保护渣,铸坯拉速为1.20~1.45m/min,采用结晶器液面波动自动控制,结晶器钢水液面波动范围控制在±3mm。

[0015] 进一步地,铸坯加热、粗轧和精轧中:为充分发挥Nb的作用,控制铸坯加热温度为1150±20℃;加热在炉时间为150~180min;粗轧出口晶粒尺寸小于25微米。

[0016] 进一步地,精轧中:终轧温度控制在810±20℃,防止温度过低出现混晶,造成强度韧性下降;卷取温度460±20℃。

[0017] 进一步地,粗轧和精轧中:采用铌微合金化与热机械轧制工艺相结合,进行细晶强化、固溶强化、析出强化和相变强化。

[0018] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.038%Wt%,Si:0.12Wt%,Mn:1.30Wt%,P:0.007Wt%,S:0.0009Wt%,Al:0.025Wt%,Nb:0.049Wt%,Ti:0.013%Wt%,Cr:0.22Wt%,Ca:0.0023Wt%,N:0.0031Wt%,Ni:0.18Wt%,O:0.0019%Wt%,;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0019] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.036%Wt%,Si:0.13Wt%,Mn:1.28Wt%,P:0.008Wt%,S:0.0008Wt%,Al:0.032Wt%,Nb:0.047Wt%,Ti:0.015%Wt%,Cr:0.21Wt%,Ca:0.0019Wt%,N:0.0036Wt%,Ni:0.19Wt%,O:0.0012%Wt%,;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0020] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.035%Wt%,Si:0.13Wt%,Mn:1.30Wt%,P:0.007Wt%,S:0.0010Wt%,Al:0.027Wt%,Nb:0.046Wt%,Ti:0.013%Wt%,Cr:0.22Wt%,Ca:0.0027Wt%,N:0.0035Wt%,Ni:0.176Wt%,O:0.0011%Wt%,;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0021] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.038%Wt%,Si:0.13Wt%,Mn:1.29Wt%,P:0.007Wt%,S:0.0009Wt%,Al:0.031Wt%,Nb:0.047Wt%,Ti:0.017%Wt%,Cr:0.23Wt%,Ca:0.0033Wt%,N:0.0033Wt%,Ni:0.175Wt%,O:0.0013%Wt%,;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0022] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢化学成分重量百分比为C:0.041%Wt%,Si:0.13Wt%,Mn:1.26Wt%,P:0.005Wt%,S:0.0010Wt%,Al:0.029Wt%,Nb:0.045Wt%,Ti:0.017%Wt%,Cr:0.23Wt%,Ca:0.0036Wt%,N:0.0030Wt%,Ni:0.169Wt%,O:0.0011%Wt%,;余量为Fe和不可避免的微量元素。

[0023] 进一步地,所述X65MS抗酸管线钢经过转炉炼钢工艺和热连轧工艺制成,所述转炉炼钢工艺中:LF钢包顶渣控制目标,CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1.4~2.5;CaO/SiO<sub>2</sub>:7~15;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤35%;Tfe+MnO≤1.0%。

[0024] 本发明没有采用Mo、V、Cu、等贵重合金,具有较低的生产成本,采用的工艺还能避免出现带状组织和减少偏析区硬度,提高了管线钢抗H IC和SCC(应力腐蚀断裂)性能,提高

了管线钢的冲击韧性,完全满足标准及用户的使用需求。

### 具体实施方式

[0025] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对说明本发明。

[0026] 本发明采用的钢种化学成分重量百分比为C:0.03%~0.05Wt%, $Si \leq 0.15Wt\%$ , $Mn:1.25\% \sim 1.35Wt\%$ , $P \leq 0.015Wt\%$ , $S \leq 0.0015Wt\%$ , $Al:0.020\% \sim 0.040Wt\%$ , $Ti:0.010\% \sim 0.020Wt\%$ , $Nb:0.040\% \sim 0.050Wt\%$ , $Cr:0.20\% \sim 0.25Wt\%$ , $Ni:0.10\% \sim 0.20Wt\%$ , $[O] \leq 0.0020\%Wt\%$ , $N \leq 0.0040Wt\%$ ,Ca/S比 $\geq 1.5$ 。

[0027] 本发明的C:0.03%~0.05%,采用低碳含量,提高产品的韧性和延性,同时具有良好的焊接性能,提高管线钢抗HIC性能。

[0028] 本发明的Mn:1.25%~1.35%,适当降低锰含量,并防止偏析,避免出现带状组织和减少偏析区硬度。提高管线钢抗HIC性能。

[0029] 本发明采用纯净钢冶炼连铸工艺,降低S、P、H、O含量和进行夹杂物变性钙处理,可大幅度提高管线钢抗HIC和SCC(应力腐蚀断裂)性能,提高管线钢的冲击韧性。

[0030] 本发明采用微钛处理技术,改善管线钢焊接热影响区的韧性。

[0031] 本发明采用铌微合金化与热机械轧制工艺(TMCP)相结合,充分应用管线钢的细晶强化、固溶强化、析出强化和相变强化等机制,提高产品的强度和韧性。

[0032] 本发明适当添加Cr、Ni元素,在提高强度、韧性的同时,可形成钝化膜,防止氢的侵入。本发明不加Cu,因为考虑Cu对延展性能有影响。

[0033] 本发明的制造方法,其工艺路线为:高炉铁水冶炼→铁水脱硫预处理→转炉钢水冶炼→LF钢水精炼处理→RH钢水精炼处理→全程保护浇铸(+电搅+软压下)→送热轧生产→铸坯加热→粗轧→精轧→卷取→钢卷检验包装→送钢管厂进行焊接制管;

[0034] 转炉钢水冶炼:入炉铁水控制 $S \leq 0.005Wt\%$ ;为控S含量,使用一类专用废钢;冶炼过程采用全程底吹氩气;终渣碱度R设定值:4.0~4.5;终点控制设定目标参考:C $\leq 0.035\%$ 、 $[P] \leq 0.013\%$ ;为控C含量,合金使用金属锰(Mn $\geq 98\%$ )和低碳铬铁(C $\leq 0.25\%$ )。

[0035] LF钢水精炼处理和RH钢水精炼处理:LF钢包顶渣控制目标为CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1.4~2.5;CaO/SiO<sub>2</sub>:7~15;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> $\leq 35\%$ ;Tfe(全铁)+MnO $\leq 1.0\%$ 。

[0036] 精确控制化学成分,降低S、P、H、N、O含量,并进行夹杂物变性钙处理,当S $> 0.0015\%$ 时,Ca/S $\geq 1.5$ 。精炼结束钢水镇静时间 $\geq 18$ 分钟。

[0037] 板坯连铸:要求投用钢包自动下渣检测控制;采用全程保护浇铸工艺;中间包浇注过热度按10~30℃,中包使用碱性覆盖剂,使用低碳钢保护渣,铸坯拉速为1.20~1.45m/min,采用结晶器液面波动自动控制,结晶器钢水液面波动范围控制在 $\pm 3$ mm。

[0038] 热连轧:轧制工艺采用控轧控冷工艺。为充分发挥Nb的作用,加热温度不应太高,以发挥铌抑制晶粒长大的作用,加热时间也不用太长。按 $1150 \pm 20^\circ C$ ;加热在炉时间:150~180min控制;采用两阶段控制轧制工艺,分别在奥氏体再结晶区和未再结晶区轧制。粗轧阶段在奥氏体再结晶区轧制,晶粒要压得越扁越好;粗轧出口晶粒尺寸按小于25微米目标控制。粗轧未两道道次压下率 $\geq 25\%$ ,累计压下率 $\geq 70\%$ ,经过反复的静态再结晶充分细化奥氏体晶粒,出粗轧温度按990℃控制。精轧阶段在奥氏体未再结晶区轧制,开轧温度不超过950℃,累计压下率 $\geq 60\%$ ,通过未再结晶区轧制,使奥氏体晶粒被充分压扁,沿轧制方向伸

长,同时由于变形使奥氏体晶粒内导入大量的变形带,两者的作用使得奥氏体向铁素体相变的形核点大幅度增加,充分细化相变后的铁素体晶粒。终轧温度控制 $810\pm 20^{\circ}\text{C}$ ,防止温度过低出现混晶,造成强度韧性下降。轧后采用层流冷却,控制在 $460\pm 20^{\circ}\text{C}$ 较低的卷取温度,保证冷却速度在 $10\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,并尽量保证通卷的终轧温度和卷取温度均匀稳定。通过加速冷却,降低相变温度,促进铁素体晶内形核,阻止相变后铁素体晶粒长大,进一步细化铁素体晶粒。最终保证组织均匀,晶粒细小,带状组织实现0级控制。

[0039] 本发明的各实例的成分,见表1

实例	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	Cr	Ca	N	Ni	[O]
1	0.038	0.12	1.30	0.007	0.0009	0.025	0.049	0.013	0.22	0.0023	0.0031	0.180	0.0019
2	0.036	0.13	1.28	0.008	0.0008	0.032	0.047	0.015	0.21	0.0019	0.0036	0.190	0.0012
3	0.035	0.13	1.30	0.007	0.0010	0.027	0.046	0.013	0.22	0.0027	0.0035	0.176	0.0011
4	0.038	0.13	1.29	0.007	0.0009	0.031	0.047	0.013	0.21	0.0022	0.0033	0.175	0.0013
5	0.039	0.15	1.27	0.005	0.0013	0.032	0.049	0.016	0.23	0.0033	0.0035	0.166	0.0016
6	0.038	0.15	1.31	0.005	0.0005	0.029	0.046	0.017	0.23	0.0033	0.0035	0.163	0.0015
7	0.041	0.13	1.26	0.005	0.0010	0.029	0.045	0.017	0.23	0.0036	0.0030	0.169	0.0011

[0040] 表1产品化学成分(wt%)

[0041] 本发明各实例的转炉冶炼工艺参数见表2

实例	镇静时间/min	LF 精炼炉顶渣成分/%							
		TFe	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R	CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	22	0.26	60.6	4.88	4.34	0.23	29.55	12.42	2.05
2	23	0.3	59.42	4.68	4.05	0.23	30.94	12.70	1.92
3	20	0.34	59.35	6.36	4.17	0.24	28.21	9.33	2.10
4	21	0.36	62.85	6.28	3.44	0.22	26.77	10.01	2.35
5	25	0.21	61.21	4.92	5.66	0.16	27.63	12.44	2.22
6	28	0.45	55.94	5.05	6.0	0.38	32.01	11.08	1.75
7	25	0.33	59.75	5.26	4.23	0.26	30.03	11.36	1.99

[0042] 表2各实例转炉冶炼工艺参数

[0043] 本发明各实例的热连轧工艺参数见表3

[0045]

实例	成品厚度/mm	加热温度/°C	在炉时间/min	粗轧未两道道次压下率/%		粗轧累计压下率/%	精轧累计压下率/%	粗轧出口温度/°C	精轧入口温度/°C	终轧温度/°C	卷取温度/°C
				未二道	未道						
1	16	1170	167	28.91	26.31	80.90	61.90	1005	877	818	455
2	16	1168	156	29.12	26.53	80.90	61.90	1001	864	808	444
3	16	1169	163	27.43	27.35	80.90	61.90	980	843	802	438
4	16	1161	170	27.61	28.49	80.90	61.90	1004	872	798	445
5	15.45	1154	173	29.45	33.20	81.81	61.37	1008	882	808	457
6	15.45	1157	177	28.71	30.62	81.81	61.37	1004	873	806	461
7	15.45	1167	168	26.66	31.32	81.81	61.37	990	881	811	463

[0046] 表3各实例热连轧工艺参数

[0047] 本发明各实例的性能参数见表4

[0048]

实例	成品厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比	延伸率 $A_{50}$ /%	落锤-15°C/%		-20°C冲击功(平均)/J	-40°C冲击功(平均)/J
1	16	523	585	0.89	45	93	95	382	339
2	16	526	590	0.89	44	95	95	387	353
3	16	537	597	0.9	43	95	96	395	358
4	16	510	585	0.86	46	94	95	376	345
5	15.45	548	608	0.9	40	98	98	403	389
6	15.45	537	601	0.89	44	97	97	395	384
7	15.45	526	592	0.89	41	96	96	384	375
标准及用户性能要求		450~600	535~650	≤0.93	≥24	≥85		≥100	

[0049] 表4各实例性能参数

[0050] 本发明各实例的金相组织见表5

[0051]

实例	厚度/mm	夹杂A(细)/级	夹杂B(细)/级	夹杂C(细)/级	夹杂D(细)/级	夹杂DS(细)/级	铁素体晶粒度/级	带状组织/级	显微组织
1	16	0	0	0	0.5	0	12.5	0	F+B
2	16	0	0	0	0.5	0	12.5	0	F+B
3	16	0	0	0	0.5	0	13.0	0	F+B
4	16	0	0	0	0.5	0	12.5	0	F+B
5	15.45	0	0	0	0.5	0	13.5	0	F+B
6	15.45	0	0	0	0.5	0	13.5	0	F+B
7	15.45	0	0	0	0.5	0	13.5	0	F+B

[0052] 表5本发明各实例的金相组织,注:A——硫化物夹杂;B——氧化铝夹杂;C——硅酸盐夹杂;D——球状氧化物夹杂;DS——单颗状球类夹杂;F——铁素体;P——珠光体;B——贝氏体。

[0053] 本发明各实例的HIC裂纹测量分析结果见表6

编号	实验室标记	试样截面	裂纹长度率 CLR/%	裂纹厚度率 CTR/%	裂纹敏感率 CSR/%	备注
[0054]	E1	截面 1	0	0	0	合格
		截面 2	0	0	0	合格
		截面 3	0	0	0	合格
		平均值	0	0	0	合格
	E2	截面 1	0	0	0	合格
		截面 2	0	0	0	合格
		截面 3	0	0	0	合格
		平均值	0	0	0	合格
	E3	截面 1	0	0	0	合格
		截面 2	0	0	0	合格
		截面 3	0	0	0	合格
		平均值	0	0	0	合格
验收要求：裂纹长度率 CLR≤15%，裂纹厚度率 CTR≤5%，裂纹敏感率 CSR≤2%。						

[0055] 表6本发明各实例的HIC裂纹测量分析结果

[0056] 本发明的铸坯质量控制较好。边角部裂纹:0;内裂纹:0;三角区裂纹:0;角部裂纹:0;中心偏析:C0.5级;中心疏松:0.5级;夹杂:0;气泡:0。从低倍样结果以及铸坯检查边角部表面质量的情况看,X65MS铸坯质量控制均正常。热轧试轧16mm、15.45mm厚钢卷。X65MS抗酸钢卷强度余量较高,屈服强度在510~540Mpa之间,抗拉强度在580~600Mpa之间。屈强比≤0.90,达到要求。冲击值较高,-20℃冲击功平均390J,-40℃冲击功平均360J。落锤性能良好,-15℃落锤平均95%以上。钢卷微观组织:组织主要为铁素体和贝氏体,晶粒总体较为均匀,铁素体晶粒度平均为12.5~13.5级,带状组织为0,整个钢质较为纯净。

[0057] 经帕博检测技术服务公司进行第三方抗酸检测,委托试样HIC试验报告。按标准NACE TM0284-2011 (HIC) 试验,经过96h的H<sub>2</sub>S饱和溶液浸泡试验后,所有试样表面均无出现氢鼓泡;所有试样的截面在100倍的显微镜下均没有裂纹。SSC试验报告。根据ASTM G39-99 (2011) 标准的4点弯曲法和NACE TM0177-2005标准的硫化物应力开裂 (SSC) 试验,进行720h试验后,在低倍显微镜下放大10倍检查试验的受拉伸面,所有试样均无开裂或裂纹,试样合格。

[0058] 以上所述仅为本发明示意性的具体实施方式,并非用以限定本发明的范围。为本发明的各组成部分在不冲突的条件下可以相互组合,任何本领域的技术人员,在不脱离本发明的构思和原则的前提下所作出的等同变化与修改,均应属于本发明保护的范围。