



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113462980 B

(45) 授权公告日 2022.06.03

(21) 申请号 202110745456.0

(22) 申请日 2021.07.01

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113462980 A

(43) 申请公布日 2021.10.01

(73) 专利权人 中信金属股份有限公司  
地址 100004 北京市朝阳区新源南路6号京城大厦1901室  
专利权人 上海大学  
山西中设华晋铸造有限公司

(72) 发明人 刘中柱 陈湘茹 代保华 郭爱民  
翟启杰 田俊敏 陈杨珉

(74) 专利代理机构 北京智桥联合知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11560  
专利代理师 涂华明

(51) Int.Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/42 (2006.01)

G22C 38/44 (2006.01)

G22C 38/46 (2006.01)

G22C 38/48 (2006.01)

G22C 38/58 (2006.01)

G21D 1/18 (2006.01)

G21D 6/00 (2006.01)

G22C 33/04 (2006.01)

审查员 孔德明

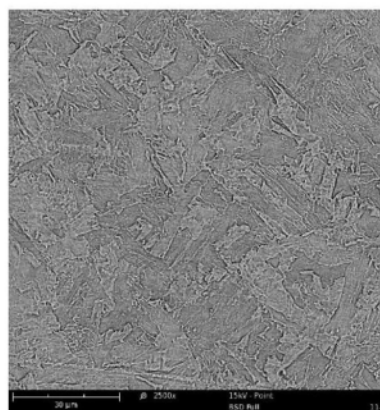
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢及其制备方法

(57) 摘要

一种低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢及其制备方法,按质量百分比计由以下组分组成:C 0.03-0.12%、Mn 1.0-2.0%、Si 0.4-0.6%、Ni 0.5-1%、Cr 0.3-0.5%、Mo 0.1-0.5%、Nb 0-0.2%、V 0.01-0.2%、Cu 0.01-0.05%、RE(稀土)≥0.1%、P≤0.03%、S≤0.02%及余量Fe和不可避免杂质,碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.56\%$ ;制备方法包括将所述铸造节点用钢进行淬火、回火热处理。所述钢材料在低温环境下具有优异的耐腐蚀性和低温韧性,同时体现出良好的强度;在降低铸钢整体重量,减少铸钢节点壁厚的同时,保证了良好的焊接性能。所述铸造节点能够一次成型,工艺更加简单,且大大降低了制造成本。



1. 一种低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢,其特征在于所述铸造节点用钢按质量百分比计由以下组分组成:C 0.03-0.12%、Mn 1.0-2.0%、Si 0.4-0.6%、Ni 0.5-1%、Cr 0.3-0.5%、Mo 0.1-0.5%、Nb 0-0.2%、V 0.01-0.2%、Cu 0.01-0.05%、稀土 $\geq 0.1\%$ 、 $P \leq 0.03\%$ 、 $S \leq 0.02\%$ 及余量Fe和不可避免杂质;碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.56\%$ ,所述碳当量 $C_{eq}$ 按照以下公式计算:

$$C_{eq} = C\% + (Mn\% + Si\%) / 6 + (Cr\% + Mo\% + V\%) / 5 + (Ni\% + Cu\%) / 15;$$

其中,C%表示碳的质量百分比,Mn%表示锰的质量百分比,Si%表示硅的质量百分比,Cr%表示铬的质量百分比,Mo%表示钼的质量百分比,V%表示钒的质量百分比,Ni%表示镍的质量百分比,Cu%表示铜的质量百分比;

铸造节点用钢屈服强度 $\geq 630\text{MPa}$ ,在 $-40^\circ\text{C}$ 低温环境下,冲击功 $\geq 34\text{J}$ ,抗拉强度 $\geq 715\text{MPa}$ ;

铁素体占比 $\geq 10\%$ ;

所述铸造节点用钢的制备方法,包括如下步骤:

炼钢步骤:利用电炉将炉料冶炼为钢水;

精炼步骤:利用精炼炉对所述炼钢步骤得到的钢水进行脱氧以及合金化处理;

浇铸步骤:将所述精炼步骤所得的钢水进行浇铸成型;

浇铸之后对铸件进行完全淬火和回火,其中:

(1) 淬火处理:将与所述低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢铸件升温至 $930-970^\circ\text{C}$ ,保温1-2h后以 $30-50\text{K/s}$ 速度水冷至室温;

(2) 回火处理:将上述水淬后的低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢升温至 $450-700^\circ\text{C}$ ,保温4-6h后空冷至室温。

2. 如权利要求1所述的铸造节点用钢,其特征在于所述铸造节点用钢按质量百分比计由以下组分组成:C 0.05-0.10%、Mn 1.2-1.8%、Si 0.45-0.55%、Ni 0.6-0.9%、Cr 0.35-0.45%、Mo 0.2-0.4%、Nb 0.05-0.15%、V 0.015-0.15%、Cu 0.01-0.05%、稀土 $\geq 0.15\%$ 、 $P \leq 0.02\%$ 、 $S \leq 0.015\%$ 及余量Fe和不可避免杂质。

3. 根据权利要求1所述的铸造节点用钢,其特征在于所述稀土是La、Ce中的一种或多种。

4. 根据权利要求1所述的铸造节点用钢,其特征在于铸造节点用钢屈服强度 $\geq 680\text{MPa}$ ,在 $-40^\circ\text{C}$ 低温环境下,冲击功 $\geq 45\text{J}$ ,抗拉强度 $\geq 750\text{MPa}$ 。

5. 根据权利要求1所述的铸造节点用钢,其特征在于碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.52\%$ ,铁素体占比 $\geq 12\%$ 。

6. 如权利要求1所述的铸造节点用钢,其特征在于步骤(2)中钢铸件回火温度为 $550-650^\circ\text{C}$ 。

## 一种低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明专利属于海洋钢制备领域,尤其涉及一种低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 海洋平台是人类进行海洋开发的基础,节点是海洋平台中一个关键组件。平台需要有大量的节点连接,节点的稳定性对于平台安全至关重要,除了满足强度要求以外,还需满足疲劳性能要求。海洋工程结构用钢根据其最小屈服强度划分钢材等级,最小屈服强度320-400MPa为高强度钢,大于400MPa为超高强度钢,目前我国平台大多使用高强度钢。随着海洋油气开发的迅速发展,海洋平台逐渐用于较深水域,对于平台结构件的规格和质量的要求随着水深增加而急剧增加。

[0003] 焊接节点内应力高,低温冷脆问题严重,在外力作用下容易发生应力集中导致节点破坏,危害平台的安全性。铸造节点刚性大,应力集中系数仅为焊接节点的二分之一,疲劳寿命高,抗极端环境能力强,同时,铸钢各向同性,厚度方向具有较高的韧性。

[0004] 由于平台所述环境恶劣,开发具有耐低温型、高强度、高韧性、较强的抗层状撕裂性能、抗腐蚀性能及海洋生物附着的高性能钢材是平台用钢的发展趋势。

### 发明内容

[0005] 鉴于上述的分析,本发明的目的是提供一种用于低温环境下的高耐腐蚀性、高强度、高韧性铸造节点用钢及其制备方法。

[0006] 本发明公开了一种用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢,按质量百分比计由以下组分组成:C 0.03-0.12%、Mn 1.0-2.0%、Si 0.4-0.6%、Ni 0.5-1%、Cr 0.3-0.5%、Mo 0.1-0.5%、Nb 0-0.2%、V 0.01-0.2%、Cu 0.01-0.05%、RE(稀土)  $\geq 0.1\%$ 、 $P \leq 0.03\%$ 、 $S \leq 0.02\%$ 及余量Fe和不可避免杂质。

[0007] 其中所述稀土元素是La、Ce中的一种或多种。

[0008] 其中碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.56\%$ 。所述碳当量 $C_{eq}$ 按照以下公式计算:

[0009]  $C_{eq} = C\% + (Mn\% + Si\%) / 6 + (Cr\% + Mo\% + V\%) / 5 + (Ni\% + Cu\%) / 15$ ;

[0010] 其中,C%表示碳的质量百分比,Mn%表示锰的质量百分比,Si%表示硅的质量百分比,Cr%表示铬的质量百分比,Mo%表示钼的质量百分比,V%表示钒的质量百分比,Ni%表示镍的质量百分比,Cu%表示铜的质量百分比。

[0011] 优选的,所述用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢,按质量百分比计由以下组分组成:C 0.05-0.10%、Mn 1.2-1.8%、Si 0.45-0.55%、Ni 0.6-0.9%、Cr 0.35-0.45%、Mo 0.2-0.4%、Nb 0.05-0.15%、V 0.015-0.15%、Cu 0.01-0.05%、RE(稀土)  $\geq 0.15\%$ 、 $P \leq 0.02\%$ 、 $S \leq 0.015\%$ 及余量Fe和不可避免杂质。

[0012] 本发明通过降低钢中C的含量,提高Mn的含量,扩大了奥氏体区,增大过冷奥氏体的稳定性,提高了韧塑性。控制碳含量满足 $C \leq 0.12\%$ ,碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.56\%$ ,可以在降低

铸钢整体重量、减少铸钢节点壁厚的同时,保证良好的焊接性能。降低钢中Si的含量,防止回火脆性。增加C的含量,可能导致韧性大幅度降低,若降低C的含量,会导致强度不足。Ni是唯一既可以提高强度又可以提高低温韧性的元素。将Cr的用量控制在0.3%-0.5%,使钢的强度、硬度和耐磨性显著提高,同时又能提高钢的抗氧化性和耐腐蚀性。加入的Mo主要是增加了二次硬化效应,适量的Mo可以使铸钢在低温条件下保持较高的硬度,在时效过程中析出相起到了强化作用,同时Mo还能够提高铸钢的耐海水腐蚀性能。微合金元素Nb的加入可以钉扎晶界,从而细化晶粒,Cr、V可以回火时形成析出相,起到第二相强化,第二相尺寸大,体积分数高、形态差会导致韧性下降,加入稀土可以细化夹杂物,提高韧性。

[0013] 本发明的另一方面,公开了所述的铸造节点用钢的制备方法,包括如下步骤:

[0014] 炼钢步骤:利用电炉将炉料冶炼为钢水;

[0015] 精炼步骤:利用精炼炉对所述炼钢步骤得到的钢水进行脱氧以及合金化处理;

[0016] 浇铸步骤:将所述精炼步骤所得的钢水进行浇铸成型。

[0017] 本发明的另一方面,公开了一种对所述的铸造节点用钢进行预处理的方法,包括如下步骤:

[0018] (1) 淬火处理:将与所述低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢铸件升温至930-970℃,保温1-2h后以30-50℃/s速度水冷至室温;

[0019] (2) 回火处理:将上述水淬后的低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢升温至450-700℃,保温4-6h后空冷至室温。

[0020] 优选的,步骤(2)中钢铸件回火温度为550-650℃。

[0021] 本发明在制备低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点时采用淬火+回火的热处理工艺,从而获得回火索氏体加少量残余奥氏体和铁素体的显微组织。组织中分布的残余奥氏体能够增强钢整体的强度以及韧性,且在形变过程中残余奥氏体可以有效地吸收应力,阻止微裂纹的产生;而回火索氏体是一种具有较好强韧性的基体组织;弥散分布的细小铁素体组织能够很好的阻抑裂纹扩展,同时可以在相变过程中阻止晶粒长大,在淬火和回火的过程中,铁素体沿淬火原奥氏体晶界将会形成一些极细的亚晶粒,从而增加晶界的比例,使得单位界面上有害杂质元素含量进一步降低,有利于增加合金的强韧性。

[0022] 本发明的另一方面,还公开了一种由所述节点用钢制备的铸件。

[0023] 优选的,碳含量满足C 0.05-0.10%,碳当量满足 $C_{eq} \leq 0.52\%$ ,降低铸钢整体重量,减少铸钢节点壁厚的同时,保证良好的焊接性能;

[0024] 优选的,所述制备用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢,铁素体占比 $\geq 12\%$ ;

[0025] 优选的,在-40℃低温环境下,所述制备用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢具有良好的耐腐蚀性;

[0026] 优选的,所述制备用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢屈服强度 $\geq 630\text{MPa}$ ,在-40℃低温环境下,冲击功 $\geq 34\text{J}$ ,抗拉强度 $\geq 715\text{MPa}$ 。更优选的,铸造节点用钢屈服强度 $\geq 680\text{MPa}$ ,在-40℃低温环境下,冲击功 $\geq 45\text{J}$ ,抗拉强度 $\geq 750\text{MPa}$ 。

[0027] 本发明的有益效果:本发明公开的耐腐蚀铸造节点用钢在低温环境下不仅耐腐蚀性好,屈服强度高,且低温冲击韧性良好,其中,屈服强度能够达到630MPa,同时,在-40℃具有较好的冲击韧性。这种用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢不仅大大节约了生

产成本,提高了海洋平台用钢的生产效率;同时,这种用于低温环境下耐腐蚀高强高韧铸造节点用钢生产工序更少,可操作性强,能更快更好的投入生产。

### 附图说明

[0028] 图1为实施例1得到的节点用钢的显微组织图,放大倍数为2500倍;

[0029] 图2为实施例1得到的节点用钢显微组织图,放大倍数为5000倍;

[0030] 图3为实施例1得到的节点用钢显微组织图,放大倍数为10000倍;

### 具体实施方式

[0031] 下面结合实施例对本发明专利的技术方案做进一步详细说明。实施例的作用仅限于对本发明的技术方案作出说明而非限定本发明的保护范围。

[0032] 实施例1

[0033] 低温环境下耐腐蚀铸造节点用钢的化学成分和重量百分比为:C:0.06%、Mn:2%、Si:0.5%、Ni:0.68%、Cr:0.5%、Mo:0.2%、Nb:0.2%、V:0.2%、Cu 0.01-0.05%、La:0.1%、P:0.009%、S:0.008%及余量Fe和不可避免的杂质。

[0034] 该节点用钢的制备方法包括如下步骤:

[0035] (1) 炼钢步骤:利用电炉将炉料冶炼为钢水;

[0036] (2) 精炼步骤:利用精炼炉对所述炼钢步骤得到的钢水进行脱氧以及合金化处理,将所述钢水成分调整为按质量百分比计包括C:0.06%、Mn:2%、Si:0.5%、Ni:0.68%、Cr:0.5%、Mo:0.2%、Nb:0.2%、V:0.2%、Cu 0.01-0.05%、La:0.1%、P:0.009%、S:0.008%及余量Fe和不可避免的杂质;

[0037] (3) 浇铸步骤:将所述精炼步骤所得的钢水进行浇铸成型。

[0038] (4) 淬火处理:将铸件升温至970℃,保温1.5h后进行水淬至室温;

[0039] (5) 回火处理:将上述水淬后的产品升温至450℃,保温4.5h后空冷至室温。

[0040] 实施例2

[0041] 低温环境下耐腐蚀铸造节点用钢的化学成分和重量百分比为:C:0.10%、Mn:2%、Si:0.48%、Ni:0.66%、Cr:0.5%、Mo:0.2%、Nb:0.2%、V:0.2%、Cu 0.01-0.05%、Ce:0.1%、P:0.009%、S:0.008%及余量Fe和不可避免的杂质。

[0042] 该节点用钢的制备方法包括如下步骤:

[0043] (1) 炼钢步骤:利用电炉将炉料冶炼为钢水;

[0044] (2) 精炼步骤:利用精炼炉对所述炼钢步骤得到的钢水进行脱氧以及合金化处理,将所述钢水成分调整为按质量百分比计包括C:0.10%、Mn:2%、Si:0.48%、Ni:0.66%、Cr:0.5%、Mo:0.2%、Nb:0.2%、V:0.2%、Cu 0.01-0.05%、Ce:0.1%、P:0.009%、S:0.008%及余量Fe和不可避免的杂质;

[0045] (3) 浇铸步骤:将所述精炼步骤所得的钢水进行浇铸成型。

[0046] (4) 淬火处理:将铸件升温至970℃,保温1.5h后进行水淬至室温;

[0047] (5) 回火处理:将上述水淬后的产品升温至450℃,保温4.5h后空冷至室温。

[0048] 对比例1

[0049] 现有低温环境下节点用钢为低温X80管线钢,化学成分按质量百分比计为,C:

0.039%、Mn:1.68%,Si:0.31%,S:≤0.001%,P:≤0.010%,Nb+Ti+V:0.081%,Al:≤0.06%,N:≤0.010%,O:≤0.006%,Mo:0.29%,Cu:0.13%、Ni:0.26%,Cr:0.23%,Ca:≤0.01%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0050] 其制备工艺是:洁净钢冶炼、模铸、一火轧制、一火坯精整、二火轧制、钢板精整,关键工艺步骤包括:

[0051] 模铸:采用下注法保护浇铸成扁锭,上大下小,锭重20-50kg,宽厚比2.5-3.0,高厚比2.5-3.5,锥度4.0-6.5%;过热度40-55℃,锭身浇注时间5-15min,冒口浇注时间8-10min,压缩比≥15;

[0052] 一火轧制:模铸锭加热至850-900℃时,保温15-20min,随后以≤20℃/min的加热速度加热至1050-1100℃,保温10-20h,再加热至1280-1350℃,保温20-30min后出炉;轧制采用高温纵轧,不展宽,终轧温度≥1180℃;轧后堆冷至室温;一火坯厚度=(3~4)×钢板厚度×展宽比;

[0053] 二火轧制:一火坯再加热温度1020-1080℃,均热时间20-30min;轧制采用两阶段控制轧制,横轧展宽纵轧成形,粗轧结束温度980~1020℃,精轧开始温度≤880℃,终轧温度700-760℃,中间坯厚度=(2~3)×钢板厚度;轧后加速冷却速率1018℃/s,返红温度300~500℃。

[0054] 将该实施例1-2和对比例1制备的钢材显微组织进行扫描电镜分析,获得的结果如图1至3所示。通过扫描电镜分析可知,采用本发明所述方法制备的材料表面所得组织为回火索氏体,同时保留着部分马氏体的板条状及残余奥氏体形貌,有少量白色球状碳化物的析出。同时将对制备的节点用钢进行-40℃环境下性能检测,获得的结果如表1所示。

[0055] 表1

	屈服强度(MPa)	-40℃冲击韧性 (J/cm <sup>2</sup> )	抗拉强度(MPa)	腐蚀速率(g/m <sup>2</sup> ·h)
[0056] 实施例 1	630, 630, 635	37, 41, 43	710, 715, 715	0.405, 0.382, 0.381
实施例 2	645, 655, 640	35, 37, 37	710, 720, 725	0.369, 0.381, 0.395
对比例 1	560, 565, 565	30, 33, 36	645, 660, 670	0.754, 0.631, 0.634

[0057] 低温冲击试验根据机械行业标准JB/T6865-93摆锤式高低温冲击试验机技术条件进行,得到-40℃冲击韧性性能;室温拉伸试验根据国家标准GB/T 228-2015金属材料室温拉伸试验方法进行,得到屈服强度及抗拉强度性能;金属腐蚀实验根据国标GB/T 24195-2009金属和合金的腐蚀试验方法进行,得到腐蚀速率,反映金属的抗腐蚀性能。对实施例及对比例得到的铸件进行了三次重复实验,以确保数据的准确性,得到表1中的性能数据。通过上述表1可知,本发明专利的低温耐腐蚀性、屈服强度、低温冲击韧性性能均优。

[0058] 对比例现有的X80管线钢,成分工艺较为复杂,对于工艺要求较高,制备难度较大,成本高。而相比本发明专利的铸造节点用钢,对比例仅仅低温冲击韧性略优,屈服强度和耐腐蚀性能均较差,对比可知,本发明专利相对现有的X80管线钢工艺简单,成本更低,强度高,低温韧性优,耐腐蚀性能好。

[0059] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明

的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

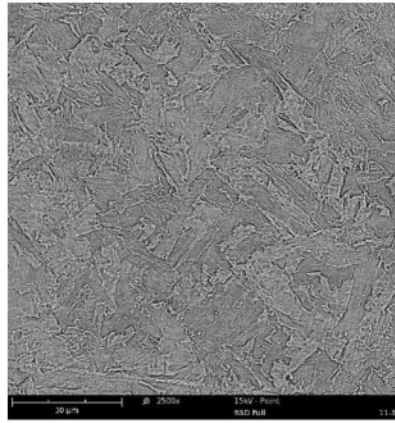


图1

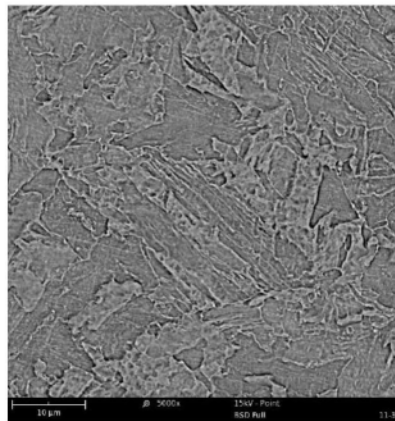


图2

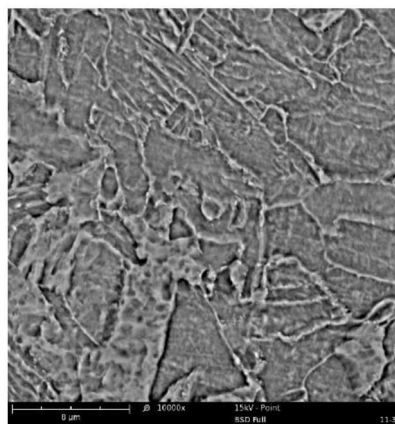


图3