(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103741057 A
(43)申请公布日 2014.04.23

(21)申请号 201410036990.4

(22)申请日 2014.01.26

(71)申请人 北京科技大学
地址 100083 北京市海淀区学院路30号

(72)发明人 于浩 周涛 李海旭

(74)专利代理机构 北京金智普华知识产权代理有限公司 11401
代理人 皋吉甫

(51)Int.Cl.
C22C 38/50(2006.01)
C21D 8/02(2006.01)

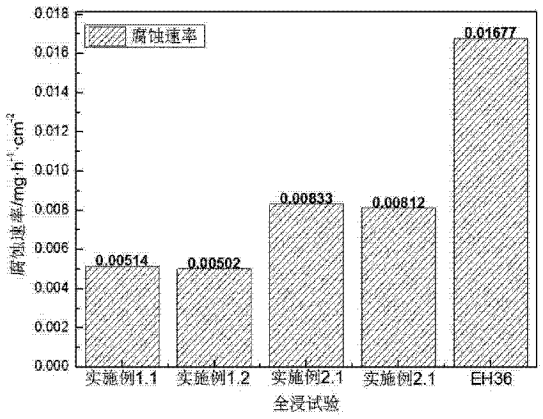
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种低密度高耐海洋环境腐蚀钢板及其生产工艺

(57)摘要

本发明提供了一种低密度高耐海洋环境腐蚀钢板及其生产工艺，其化学成分按重量百分比为：C0.03~0.10、Si0.1~0.8、Mn0.5~1.5、P≤0.015、S≤0.005、Als0.1~2.0、Sn0.01~0.30、Cr0.1~0.8、Ni0.1~0.5、Mo0.05~0.45、Ti0.01~0.05，余量为Fe和不可避免的杂质。生产工艺包括转炉冶炼工序，LF精炼工序，真空脱气工序，连铸工序，控轧控冷工序等。该钢板的组织类型理论上为单相多边形铁素体精细组织，在实际工业生产中不可避免的含有极少量的珠光体组织，其耐海洋环境(海洋大气、潮差、全浸等)腐蚀性能在相同服役环境下较EH36船体结构钢可提高近70%，而且具有良好的强韧性匹配及焊接性能。本发明生产工艺简单、生产成本低、性能稳定、表面质量优良、耐海洋环境腐蚀性能提高显著。



CN 103741057 A

1. 一种低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，其特征在于，所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，按重量百分比计其化学成分为：

C 0.03~0.10、Si 0.1~0.8、Mn 0.87、P 0.010、S ≤ 0.005、Als 0.1~2.0、Sn 0.01~0.30、Cr 0.1~0.8、Ni 0.1~0.5、Mo 0.05~0.45、Ti 0.01~0.05，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

2. 根据权利要求书 1 所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，其特征在于，按重量百分比计其化学成分为：

C 0.07、Si 0.18、Mn 0.92、P 0.010、S 0.003、Cu 0.04、Al 0.38、Sn 0.036、Cr 0.68、Ni 0.20、Mo 0.19、Ti 0.016、O 0.0019、N 0.0045，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

3. 根据权利要求书 1 所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板板，其特征在于，按重量百分比计其化学成分为：

C 0.08、Si 0.20、Mn 0.87、P 0.010、S 0.003、Cu 0.039、Al 0.45、Sn 0.036、Cr 0.71、Ni 0.20、Mo 0.21、Ti 0.015、O 0.0022、N 0.0050，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

4. 根据权利要求书 1-3 其中之一所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，其特征在于，该钢板的组织类型为单相多边形铁素体精细组织或含有极少量的珠光体组织，后续不需回火处理。

5. 根据权利要求书 1-3 其中之一所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，其特征在于，所述钢板满足船体用结构钢 EH36 的力学性能标准：屈服强度≥ 355MPa，抗拉强度为 490~630MPa，断后伸长率≥ 21%，-40℃ V 型夏比冲击功≥ 34J。

6. 根据权利要求书 1-3 其中之一所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板的生产工艺，包括转炉冶炼和连铸工艺以及控轧控冷工序，其特征在于，

所述冶炼和连铸工序包括：

1）转炉采用单渣工艺冶炼，终渣碱度控制在 R=3.0 ～ 4.0，采用有效的挡渣操作，杜绝大量下渣，放钢时间不小于 4min；

2）LF 精炼过程采用铝粒、碳化硅、碳化钙调渣，终渣碱度控制在 2.2 以上；

3）连铸过程采用含铝钢保护渣，过热度控制在 20℃以内，二冷采用弱冷，浇铸过程按温度、拉速匹配操作；

4）连铸坯切定尺后进行堆垛缓冷至室温；

所述控轧控冷工序包括：

1）板坯在加热炉内均热段时间不低于 40min，出炉温度控制在 1200±10℃；

2）采用两阶段轧制，在再结晶区轧制时，保证粗轧最后两道次的压下率均＞ 20%，再结晶区终轧温度＞ 970℃，中间坯厚度选择 3 倍的待温坯；在未再结晶区轧制时，开始温度控制在 940±10℃，终止温度控制在 910±10℃；

3）轧后开冷温度控制在 890±10℃，终冷温度控制在 730±10℃，冷却速度为 7~9℃ / s；

4）热矫直后进行堆垛缓冷，堆垛钢板数量不少于 10 张，开始缓冷温度不能低于 250℃，缓冷 15h。

一种低密度高耐海洋环境腐蚀钢板及其生产工艺

技术领域

[0001] 本发明属于低合金耐蚀钢中厚板(60mm)的制造领域,特别涉及一种低密度高耐海洋环境(海洋大气、潮差、全浸)腐蚀钢板及其生产工艺。

背景技术

[0002] 党的十八大报告提出,“提高海洋资源开发能力,发展海洋经济,保护海洋生态环境,坚决维护国家海洋权益,建设海洋强国。”这是党中央准确把握时代发展趋势、深刻分析国内外政治经济形势作出的重要战略决策,为我国海洋事业发展指明了方向。在《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》的高端装备制造业中提出了“面向海洋资源开发,大力发展海洋工程装备。”“十二五”发展规划也已将海洋工程装备制造列为战略性新兴产业加以扶持,预计“十二五”期间,我国对海工装备制造的投入将达 2500 亿～ 3000 亿元。海洋工程装备是指用于海洋资源勘探、开采、加工、储运、管理及后勤服务等方面的大型工程装备和辅助性装备。随着未来我国海洋工程装备制造业的快速发展,与之相配套的海洋工程用钢必然会成为钢铁需求的新亮点,海洋工程用钢的研发与生产也将成为大家关注的热点。因此开发海洋工程用钢新产品具有显著的经济效益和社会效益。

[0003] 在海洋环境中,腐蚀是船舶与海洋工程结构钢主要的破坏形式。根据海洋环境腐蚀特点的不同,可把其划分为海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区、水 / 泥界面区、海底泥土区,不同区域的腐蚀类型不同,相应不同腐蚀因素对腐蚀影响程度亦相差甚远。海洋环境腐蚀的影响因素众多,受材料组成、海水化学性质、海水 PH 值、溶氧量、海水盐度、海水温度、海水流速、微生物的种类及数量等多种因素复合影响。海洋如此复杂的服役环境以及人们对船舶与海洋工程用钢使用寿命的要求对适用于不同海洋环境的工程用钢提出了巨大的挑战。

[0004] 在已公开的有关耐海洋环境腐蚀用钢的专利中,2008 年 12 月 10 日公开的 CN 101319293A 介绍了一种耐海水腐蚀钢及其生产工艺,按重量百分比计,其钢水的化学组成为 :C 0.070~0.120、Mn 0.500~0.650、P 0.000~0.020、S 0.000~0.015、Si 0.250~0.450、Cr 0.800~1.200、Mo 0.200~0.300、Alt 0.450~0.600、Ti 0.006~0.020,余量为 Fe 和不可避免的杂质,该钢种的耐海水腐蚀蚀合金体系为法国的 APS 系列,其主要耐蚀成分为 Cr-Mo-Al,其问题在于该钢种强度级别较低,而且其耐蚀性能受耐蚀元素种类及含量的限制,耐海洋环境腐蚀性能提高并不明显。

[0005] 2009 年 3 月 18 日公开的日本杰富意钢铁株式会社的 CN 101389782A 和 2012 年 4 月 4 日申请公布的中国专利 CN 102400059A,均公开了一种适用于船舶压载舱用耐蚀钢板,两个专利中的 Al 元素最高含量均为 0.1%,其中中国专利 CN 102400059A 在 Cr-Mo-Al 系列的基础上添加了 Ni 元素,日本杰富意的 CN 101389782A 耐蚀元素种类较多,涉及 Cr-Al-W-Sn-Sb-Ni-Mo-Co,此两专利发明的耐蚀钢适用于船舶压载舱用腐蚀环境,一般情况下,压载舱下底板会被一层油膜所覆盖,成分为油泥和积水,通常油膜的存在对底板具有保护作用,会降低腐蚀速率。其与本发明的耐海洋环境腐蚀钢的服役环境不同,合金系统亦

不相同。

发明内容

[0006] 根据国家海洋战略及市场的急切需求，本专利的目的在于提供一种低密度高耐海洋环境（海洋大气、潮差、全浸）腐蚀钢板及其生产工艺，通过合理的合金成分设计及有效的工艺控制，使其产品满足 EH36 船体结构钢的力学性能标准，在相同海洋服役环境下，其耐蚀性能提高近 70%，并具有良好的焊接性能。

[0007] 为达到上述发明的目的，本发明采用了如下技术方案：

一种低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，所述的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板，按重量百分比计其化学成分为：C 0.03~0.10、Si 0.1~0.8、Mn 0.5~1.5、P ≤ 0.015、S ≤ 0.005、Als 0.1~2.0、Sn 0.01~0.30、Cr 0.1~0.8、Ni 0.1~0.5、Mo 0.05~0.45、Ti 0.01~0.05，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

[0008] 根据实施例，所述低密度高耐海洋环境腐蚀钢板按重量百分比计，其所包含的化学成分具体为：C 0.07、Si 0.18、Mn 0.92、P 0.010、S 0.003、Cu 0.04、Al 0.38、Sn 0.036、Cr 0.68、Ni 0.20、Mo 0.19、Ti 0.016、O 0.0019、N 0.0045，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

[0009] 根据实施例，所述低密度高耐海洋环境腐蚀钢板按重量百分比计，其所包含的化学成分具体为：C 0.08、Si 0.20、Mn 0.87、P 0.010、S 0.003、Cu 0.039、Al 0.45、Sn 0.036、Cr 0.71、Ni 0.20、Mo 0.21、Ti 0.015、O 0.0022、N 0.0050，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

[0010] 本发明提供的低密度高耐海洋环境腐蚀钢板的生产工艺，其基本生产工艺流程包括转炉冶炼和连铸工艺以及控轧控冷工序；

所述冶炼和连铸工艺包括：

1）转炉采用单渣工艺冶炼，终渣碱度控制在 R=3.0 ～ 4.0，采用有效的挡渣操作，杜绝大量下渣，放钢时间不小于 4min；

2）LF 精炼过程采用铝粒、碳化硅、碳化钙调渣，终渣碱度控制在 2.2 以上；

3）连铸过程采用含铝钢保护渣，过热度控制在 20℃以内，二冷采用弱冷，浇铸过程按温度、拉速匹配操作；

4）连铸坯切定尺后进行堆垛缓冷至室温；

所述控轧控冷工艺包括：

1）板坯在加热炉内均热段时间不低于 40min，出炉温度控制在 1200±10℃；

2）采用两阶段轧制，在再结晶区轧制时，保证粗轧最后两道次的压下率均＞ 20%，再结晶区终轧温度＞ 970℃，中间坯厚度选择 3 倍的待温坯；在未再结晶区轧制时，开始温度控制在 940±10℃，终止温度控制在 910±10℃；

3）轧后开冷温度控制在 890±10℃，终冷温度控制在 730±10℃，冷却速度为 7~9℃ / s；

4）热矫直后进行堆垛缓冷，堆垛钢板数量不少于 10 张，开始缓冷温度不能低于 250℃，缓冷 15h。

[0011] 该钢板的组织类型为单相多边形铁素体精细组织或含有极少量的珠光体组织，后续不需回火处理。

[0012] 该钢板满足船体用结构钢EH36的力学性能标准：屈服强度≥355MPa，抗拉强度为490~630MPa，断后伸长率≥21%，-40℃ V型夏比冲击功≥34J。

[0013] 本发明与现有技术相比，具有以下优点和积极效果：

（1）本发明制造出来的钢板Al元素最高可达2.0%，钢板密度明显降低，由于Al元素本身耐蚀性能显著，使得本发明制造出的钢板耐海洋不同区域（海洋大气、潮差、全浸等）的腐蚀性能均得到大幅提高；

（2）本发明制造出来的钢板组织类型为单相多边形铁素体精细组织或含有极少量的珠光体组织，其耐蚀性能较常规的铁素体+珠光体组织具有明显优势；

（3）本发明制造出来的钢板生产成本低，性能稳定，具有优良的强韧性匹配、焊接性能和表面质量。

附图说明

[0014] 图1,2,3分别为实施例钢种的实验室模拟海洋环境不同区域的腐蚀试验结果。其中对比钢EH36按重量百分比计的化学成分为：C 0.14、Si 0.30、Mn 1.20、P 0.017、S 0.003、Nb 0.022、Al 0.038、Ti 0.015。

[0015] 其中，图1为模拟潮差区，周期浸润168h后的试验结果，试验方案参考标准GBT 19746-2005；图2为模拟海洋大气区，盐雾腐蚀168h后的试验结果，试验方案参考标准GB/T 10125-1997；图3为模拟全浸区，全浸腐蚀168h后的试验结果，试验溶液与周浸相同，试验温度25±1℃。

[0016] 图4为实施例1.1和1.2钢板的金相组织；

图5为实施例1.1和1.2钢板的SEM组织；

图6为实施例2.1和2.2钢板的金相组织；

图7为实施例2.1和2.2钢板的SEM组织。

具体实施方式

[0017] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合附图和具体实施例，对本发明进一步详细说明。

[0018] 本发明在法国APS的Cr-Mo-Al合金体系的基础上，添加了耐蚀元素Sn和Ni，Sn元素本身自腐蚀电位较高，能够显著抑制阴极和阳极反应，并且Sn形成耐蚀氧化膜的比率更大，从而能够大大降低钢板的腐蚀速率，Ni能够明显提高耐海水腐蚀性及腐蚀的均匀性，此外Ni能够提高钢板的低温韧性和降低相变温度继而细化晶粒，此外本发明大大提高了Al元素的含量，Al元素自腐蚀电位很高，投资成本低，耐蚀性能提升显著，受冶炼连铸水平的限制，目前Al元素最高添加量为2.0%。

[0019] 本发明的钢板按重量百分比计的化学成分为：

C 0.03~0.10、Si 0.1~0.8、Mn 0.5~1.5、P ≤ 0.015、S ≤ 0.005、Als 0.1~2.0、Sn 0.01~0.30、Cr 0.1~0.8、Ni 0.1~0.5、Mo 0.05~0.45、Ti 0.01~0.05，余量为Fe和不可避免的杂质。

[0020] 以下对本发明中所含组分的作用及用量的选择做出具体说明：

C：是低碳钢传统、经济的强化元素，钢的强度随碳含量的增加而提高，但它对钢的焊

接性能、力学性能及耐蚀性能影响很大，从国际焊接学会规定的碳当量 Ceq 和裂纹敏感指数 Pcm 可以看出碳是影响焊接性能最敏感的一个元素，而且冲击韧性随碳含量的增加也会明显下降，采用低的碳含量设计，可提高钢板的韧性和延性，并具有良好的焊接性和耐蚀性能。因此，为满足高强度与高韧性的良好匹配，最根本的途径是降低碳含量，并通过其它手段提高强度，因此本发发明中的 C 含量控制在 0.03~0.10% 之间。

[0021] Si：是钢中的基本元素，主要是在炼钢过程中起脱氧作用，一般情况下，镇静钢中的 Si 含量都在 0.1% 以上。但是，钢中含 Si 量偏高，会使钢的韧性，尤其使低温韧性明显降低，而且含量过高时对钢的焊接性能不利，综合钢的强度、韧性、耐腐蚀性能和焊接性能等诸多考虑，本发明中的 Si 含量控制在 0.1~0.8% 之间。

[0022] Mn：作为碳素钢和低合金结构钢的基本组成元素，它在炼钢过程中起到了脱氧剂的作用，此外 Mn 在钢中起固溶强化作用，由于要使钢具有良好的可焊性则要求其有较低的碳含量，因此通常靠提高锰含量来保证其强度，但有资料显示 Mn 含量过高（＞ 1.5%）对钢的焊接性能不利，并可能加重中心偏析，并且锰元素偏高易形成 MnS 夹杂，对钢的耐蚀性产生不利影响，因此本发明中的 Mn 含量控制在 0.5~1.5% 之间。

[0023] P：被认为是廉价的提高耐海水腐蚀性元素，但其会给母材的低温韧性和焊接热影响区韧性带来不利的影响，综合考虑，各国海洋平台用钢的 P 含量都有较严格的上线控制，一般不超过 0.030%，本发明中的 P 含量上线定为 0.015%。

[0024] S：是钢中的有害元素，在钢中易形成 MnS 夹杂，其对钢的横向性能、Z 向性能、耐海水腐蚀性能等均有害，在实际生产中应尽量控制在最低含量，本发明中的 S 含量上线定位 0.005%。

[0025] Al：在冶炼过程中主要起固氮和脱氧的作用，也是最经济的细化晶粒的元素，在耐腐蚀性上的作用主要是它能够在一定环境下生成氧化铝保护膜，对基体产生一定的保护作用。并且固溶在基体中的 Al 会提高基体的电极电位，提高耐腐蚀性，但受目前冶炼连铸水平的限制，钢铁材料工业生产中 Al 元素的最大添加量为 2.0%。因此本发明中的 Als 含量控制在 0.1~2.0% 之间。

[0026] Sn：能够抑制阳极反应，同时 Sn 可以降低硫化物的显微偏析程度，原因是部分 Sn 溶解在硫化物中，硫化物颗粒会为 Sn 的分配提供更多的界面。此外，Sn 元素的自腐蚀电位较高，生成耐蚀性氧化膜的比率更大，而且 Sn 能够抑制钢板表面阳极等 PH 值降低部位处的腐蚀，因此其具有提高裸板和环氧涂膜存在情况下的耐腐蚀性能，这些效果在 Sn 超过 0.001% 时即可显现出来，但 Sn 含量过高，易发生元素偏聚，降低母板和焊接热影响区的低温韧性，因此本发明中的 Sn 含量控制在 0.01~0.30% 之间。

[0027] Cr：可以提高钢的钝化性能，在钢材表面以钝化膜的形式产生腐蚀，从而可大大提高钢板的耐海水腐蚀性能，由于单独添加 Cr 元素对钢板的耐海水腐蚀性能具有“逆转效应”，因此本发明中采用 Cr-Mo 复合添加，利用合金元素的协同作用可有效抑制腐蚀性能的“逆转效应”，并控制 Cr/Mo 比例在 3.0~5.0 范围内，本发明中的 Cr 含量控制在 0.1~0.8% 之间。

[0028] Ni：通过 Cr 的添加可使耐海水腐蚀性能提高，但进一步添加 Ni 可得到使耐蚀性能提高的同时获得腐蚀面均匀的效果，但 Ni 的含量超出范围会使钢板的强度、硬度大幅上升，继而影响焊接性能，而且考虑到生产成本，本发明中的 Ni 含量控制在 0.1~0.5% 之间。

[0029] Mo：具有优异的耐点蚀作用，提高基体的耐点蚀能力，Mn-Mo 复合添加可明显提高钢板的强度，弥补降碳造成的强度损失，另外，根据上述 Cr-Mo 存在的比例关系，本发明中的 Mo 含量控制在 0.05~0.45 之间。

[0030] Ti：是微合金化元素，在钢中加少量的 Ti 可以提高钢的强度，改善钢的冷成形性能和焊接性能，也可产生强烈的沉淀强化及中等程度的晶粒细化作用。Ti 的化学活性很强，易与钢中的 C、N、O、S 形成化合物，TiN 可有效阻止奥氏体晶粒在加热过程中的长大，起到细化奥氏体晶粒的作用，并能改善焊接热影响区的韧性，此外，Ti 还可作为钢中硫化物变性元素使用，以改善钢板的纵横性能差异。但 Ti 的添加不足 0.005%，效果不明显，添加量过多易产生连铸坯缺陷。综上考虑，本发明中的 Ti 含量控制在 0.01~0.05% 之间。

[0031] 实施例 1.1：20mm 厚钢板及其生产工艺：

按照本发明中钢的化学成分要求，获得的化学成分（wt%）见下表 1：

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn
NHYBE36	0.07	0.18	0.92	0.010	0.003	0.04	0.036
	Als	Cr	Ni	Mo	Ti	O	N
	0.83	0.68	0.20	0.19	0.016	0.0019	0.0045

。

[0032] 将钢水浇铸成 250mm 厚板坯，切定尺后进行堆垛缓冷至室温，将板坯加热到 1200℃，在炉时间 4.5h。

[0033] 采用控轧控冷的工艺为：

粗轧开轧温度为 1000~1010℃，采用三倍中间坯厚度，250mm → 60mm，保证粗轧最后两道次压力率均大于 20%，粗轧结束后 60mm 中间坯进行待温处理，精轧开始温度为 940~950℃时，精轧终止温度为 910~920℃，轧成 20mm 厚钢板，轧后开冷温度为 880~890℃，终冷温度为 730~740℃，热矫直后进行堆垛缓冷，其力学性能见表 2。

[0034] 实施例 1.2：16mm 厚钢板及其生产工艺

采用与实施例 1.1 相同的化学成分和板坯浇铸工艺，其控轧控冷的工艺为：

将粗轧开轧温度为 1000~1010℃，采用三倍中间坯厚度，250mm → 48mm，保证粗轧最后两道次压力率均大于 20%，粗轧结束后 48mm 中间坯进行待温处理，精轧开始温度为 940~950℃时，精轧终止温度为 910~920℃，轧成 16mm 厚钢板，轧后开冷温度为 880~890℃，终冷温度为 730~740℃，热矫直后进行堆垛缓冷，其力学性能见表 2。

[0035] 表 2 实施例 1.1 和实施例 1.2 钢板的力学性能

类别	屈服强度 Rp0.2/MPa	抗拉强度 Rm/MPa	断后伸长率 A/%	-40℃夏比冲击功 A_{kv}/J 试样 1	试样 2	试样 3	平均
实施例 1.1	444	541	26.4	197	203	212	204
实施例 1.2	439	537	27.2	215	194	215	208

。

[0036] 实施例 2.1：24mm 厚钢板及其生产工艺：

按照本发明中钢的化学成分要求，获得的化学成分（wt%）见下表 3：

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn
NHYBE36	0.08	0.20	0.87	0.010	0.003	0.039	0.036
	Als	Cr	Ni	Mo	Ti	O	N
	0.45	0.71	0.20	0.21	0.015	0.0022	0.0050

。

[0037] 将钢水浇铸成250mm厚板坯，切定尺后进行堆垛缓冷至室温，将板坯加热到1200℃，在炉时间4.5h。

[0038] 采用的控轧控冷工艺为：

粗轧开轧温度为1010~1030℃，采用三倍中间坯厚度，250mm → 72mm，保证粗轧最后两道次压力率均大于20%，粗轧结束后72mm中间坯进行待温处理，精轧开始温度为930~940℃时，精轧终止温度为900~910℃，轧成24mm厚钢板，轧后开冷温度为870~880℃，终冷温度为720~730℃，热矫直后进行堆垛缓冷，其力学性能见表4。

[0039] 实施例2.2：16mm厚钢板及其生产工艺，

采用与实施例2.1相同的化学成分和板坯浇铸工艺，其控轧控冷的工艺为：

粗轧开轧温度为1010~1030℃，采用三倍中间坯厚度，250mm → 48mm，保证粗轧最后两道次压力率均大于20%，粗轧结束后48mm中间坯进行待温处理，精轧开始温度为930~940℃时，精轧终止温度为990~910℃，轧成16mm厚钢板，轧后开冷温度为870~880℃，终冷温度为720~730℃，热矫直后进行堆垛缓冷，其力学性能见表4。

[0040] 表4 实施例2.1和2.2钢板的力学性能

类别	屈服强度 Rp0.2/MPa	抗拉强度 Rm/MPa	断后伸长率 A/%	-40℃夏比冲击功 A_{kv}/J			
				试样1	试样2	试样3	平均
实施例2.1	450	580	24.0	201	208	199	203
实施例2.2	435	590	23.5	189	176	183	183

。

[0041] 综上可见，本发明中的钢板具有优异的强韧性能，实验室模拟海洋环境不同区域(海洋大气、潮差、全浸)的加速腐蚀试验一周，结果显示实施例1和2钢板的腐蚀速率较常规船体结构钢降低近70%，实施例3和4钢板的腐蚀速率降低近50%，耐海洋环境腐蚀性能均显著提高，其服役寿命亦将大幅增加。

[0042] 以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步的详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，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。

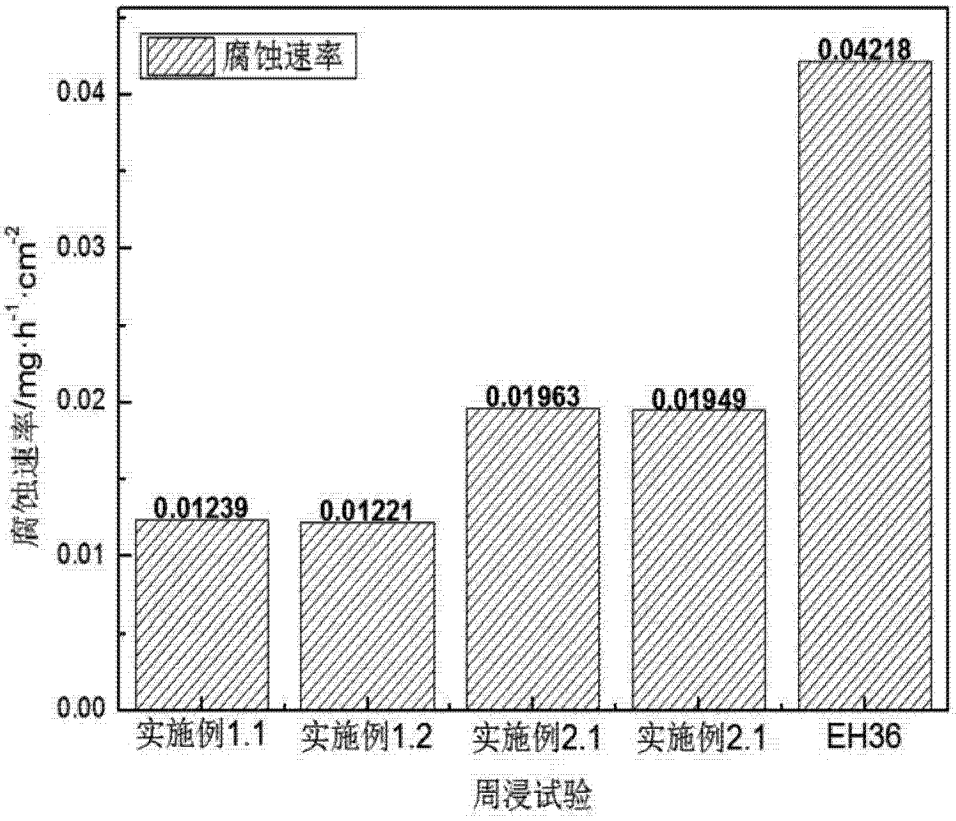

腐蚀速率
0.04218
0.01963
0.01949
0.01239
0.01221
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
腐蚀速率/mg·h-1·cm-2
实施例1.1
实施例1.2
实施例2.1
实施例2.1
EH36
周浸试验

图 1

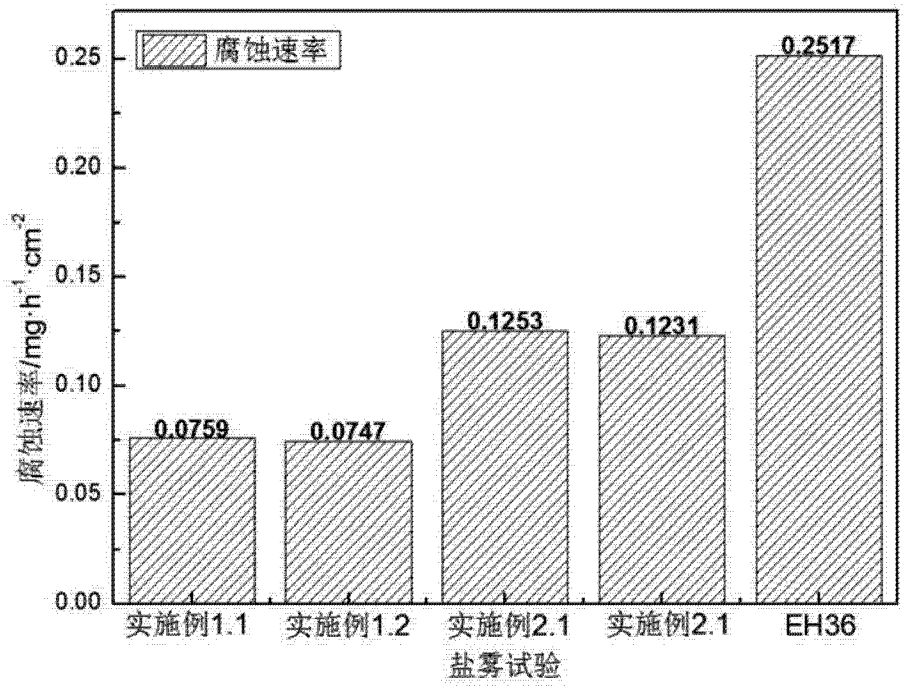

腐蚀速率
0.2517
0.1253
0.1231
0.0759
0.0747
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
腐蚀速率/mg·h-1·cm-2
实施例1.1
实施例1.2
实施例2.1
实施例2.1
EH36
盐雾试验

图 2

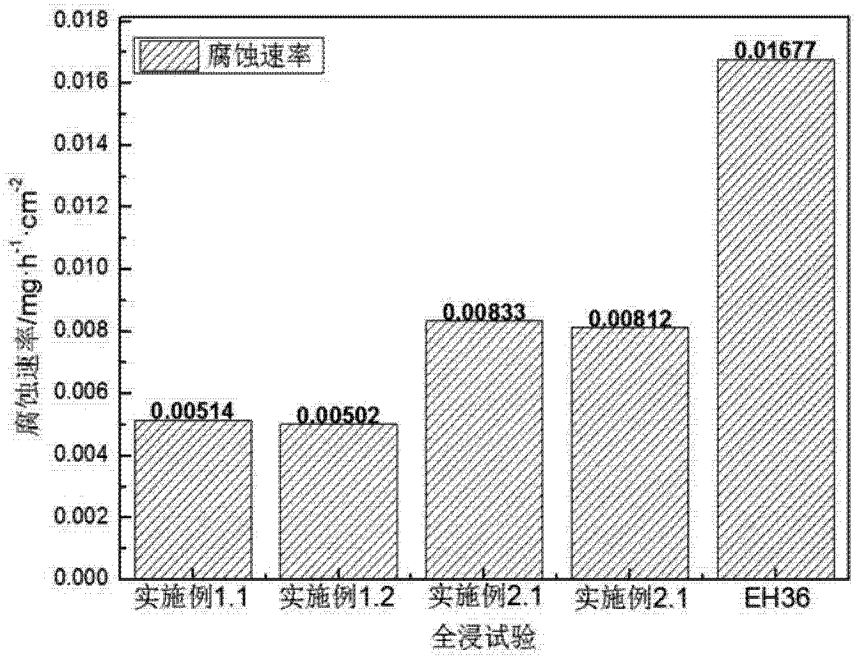

腐蚀速率
腐蚀速率/mg·h⁻¹·cm⁻²
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
0.00514
0.00502
0.00833
0.00812
0.01677
实施例1.1
实施例1.2
实施例2.1
实施例2.1
EH36
全浸试验

图 3

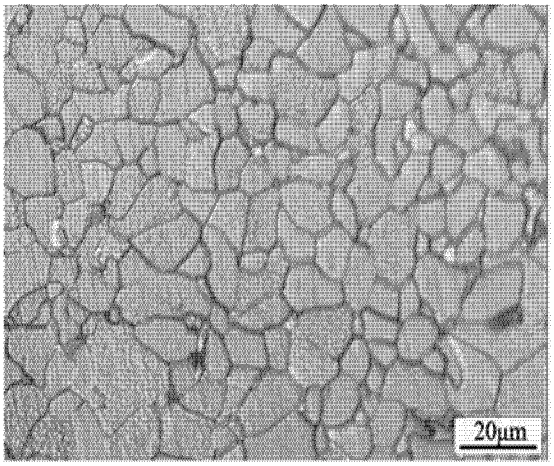

20μm

图 4

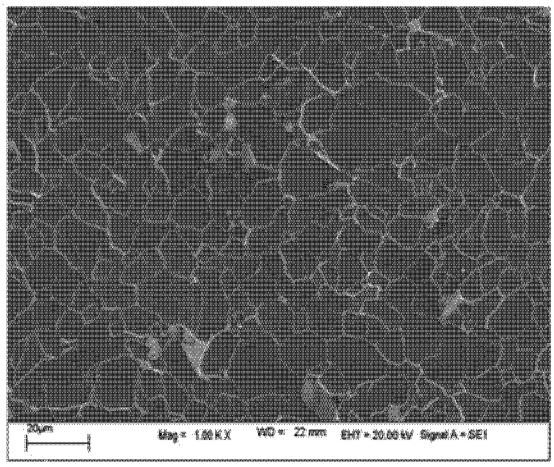


图 5

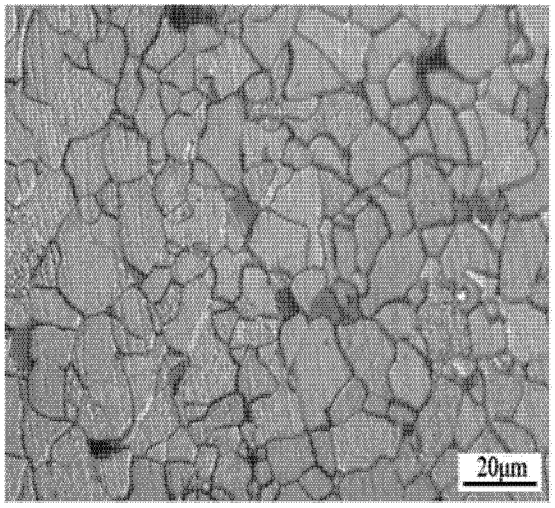


图 6

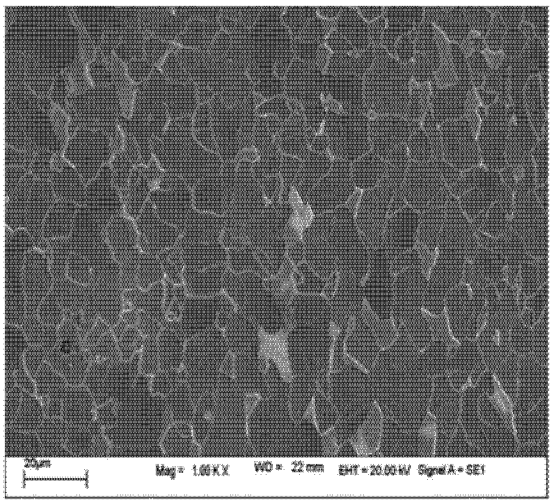


图 7