



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102851622 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201210348440. 7

(22) 申请日 2012. 09. 19

(73) 专利权人 南京钢铁股份有限公司
地址 210035 江苏省南京市六合区卸甲甸 1 号

(72) 发明人 吴年春 尹雨群 刘朝霞 崔强
李恒坤 车马俊

(74) 专利代理机构 南京汇盛专利商标事务所
(普通合伙) 32238

代理人 陈扬

(51) Int. Cl.

C22C 38/58 (2006. 01)

C22C 38/50 (2006. 01)

C21D 8/02 (2006. 01)

C21D 1/25 (2006. 01)

C21D 1/18 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102337460 A, 2012. 02. 01, 权利要求 1、2.

JP 2001064725 A, 2001. 03. 13, 全文.

CN 102168227 A, 2011. 08. 13, 全文.

JP 2004217980 A, 2004. 08. 05, 全文.

审查员 党兴

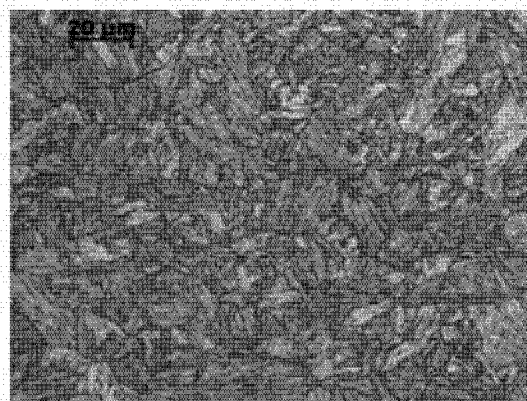
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种超高强高韧性海洋工程用钢板及其生产方法

(57) 摘要

本发明公开了一种超高强高韧性海洋工程用钢板及其生产方法,该超钢板化学成分按重量百分比计,C :0. 06 ~ 0. 10%, Si :0. 20 ~ 0. 40%, Mn : 1. 10 ~ 1. 65%, P :≤ 0. 010%, S :≤ 0. 0020%, Nb : 0. 030 ~ 0. 050%, V :0. 020 ~ 0. 060%, Ti :0. 006 ~ 0. 015%, Ni :0. 60 ~ 1. 30%, Cr :0. 30 ~ 0. 60%, Cu : 0. 20 ~ 0. 60%, Mo :0. 40 ~ 0. 60%, Al t :0. 020 ~ 0. 040%,余量为 Fe 及不可避免的杂质。通过转炉冶炼,炉卷可逆轧机上轧制,通过 TMCP 工艺,最后进行调质热处理。本发明钢板性能良好,抗拉强度为 770 ~ 840MPa,屈服强度为 710 ~ 800MPa,延伸率为 16 ~ 19%, -40℃低温横向冲击、以及低温时效冲击性能≥ 90J,冷弯性能合格,超高强度、低温冲击及低温时效冲击性能优异,生产工艺稳定。



1. 一种超高强高韧性海洋工程用钢板的生产方法,其特征在于该生产方法包括如下工序:

冶炼连铸工艺:采用铁水预处理脱硫-转炉冶炼-LF精炼-RH真空处理-喂钙线-静搅-板坯连铸工艺;脱硫处理后,铁水中硫含量控制为 $[S] \leq 0.002\%$,转炉终点温度控制为 $1600^{\circ}\text{C} - 1660^{\circ}\text{C}$,到LF温度 $1540 - 1600^{\circ}\text{C}$,采用铝脱氧方法脱氧;LF炉中停留时间大于30分钟;采用微正压操作控制包内气氛;RH真空处理,真空度 $\leq 5.0\text{mbar}$ 条件下保持时间 ≥ 25 分钟;RH破真空后进行喂纯钙线处理,喂线长度180-220米;钙线处理后进行静搅,静搅处理时间 $\geq 12\text{min}$,随后进行连铸;中包温度控制在液相线温度以上 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$;连铸坯切割后,用热连铸坯下铺上盖,堆垛缓冷72小时以上;该连铸坯的化学成分按重量百分比计,C:0.06~0.10%,Si:0.20~0.40%,Mn:1.10~1.65%,P: $\leq 0.010\%$,S: $\leq 0.0020\%$,Nb:0.030~0.050%,V:0.020~0.060%,Ti:0.006~0.015%,Ni:0.60~1.30%,Cr:0.30~0.60%,Cu:0.20~0.60%,Mo:0.40~0.60%,Al:0.020~0.040%,余量为Fe及不可避免的杂质;该钢板的化学成分中的杂质元素控制如下: $0 \leq 0.0018\%$,N $\leq 0.0040\%$,H $\leq 0.00015\%$,As $\leq 0.012\%$,Pb $\leq 0.010\%$,Sn $\leq 0.010\%$,Sb $\leq 0.010\%$;

轧制工艺:采用控轧控冷工艺,轧前连铸坯加热温度介于 $1200^{\circ}\text{C} \sim 1220^{\circ}\text{C}$,采用奥氏体再结晶区和奥氏体未再结晶区两阶段控制轧制,粗轧每道次压下率 $\geq 12\%$,粗轧终轧温度 $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$,粗轧成1.5~2.5倍成品厚度的中间坯;精轧开轧温度为 $830 \sim 870^{\circ}\text{C}$,轧后采用层流冷却,终冷温度 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$,冷却速率 $8 \sim 15^{\circ}\text{C}/\text{s}$,随后空冷;

热处理工艺:将空冷后的钢板再进行加热,加热温度在铁素体奥氏体平衡相变点 Ac_3 之上进行奥氏体相区淬火处理,淬火温度在 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$,淬火保温时间为 $2\text{min}/\text{mm} \times$ 板厚,淬火后钢板获得了均匀淬火板条状马氏体,原始奥氏体晶粒细小,淬火后在 $600 \sim 630^{\circ}\text{C}$ 回火,回火时间为 $(1.5 \sim 2.5)\text{min}/\text{mm} \times$ 板厚+30min;得到超高强高韧性海洋工程用钢板。

一种超高强度高韧性海洋工程用钢板及其生产方法

技术领域

[0001] 本发明属于钢铁领域,尤其是一种超高强度高韧性海洋工程用钢板及其生产方法。

背景技术

[0002] 人类的不断开发使陆地不可再生资源日趋枯竭,海洋日渐成为满足各国需要的宝藏。海洋油气产业、海洋旅游产业、现代海洋渔业、海洋交通运输业已成为目前海洋经济的四大支柱产业,其中海洋油气产业是全球最大的海洋产业。而作为海上油气钻采作业的支撑结构物海洋工程装备前景广阔,发展势头强劲。由海洋工程装备制造衍生而来的海洋工程配套设施的进一步发展,将拉动海洋工程用钢向更高强度发展,如作为海洋石油平台及船舶等货物装卸和人员输送的设备海洋平台起重机,如吊臂和转台一般需 690MPa 以上高强度钢,这种高强度钢在需要有高强度的同时,还需要一定的耐寒冷气候,不同于普通的高强机械钢。目前,国内有一些钢铁企业已获得 550MPa 级以下海洋工程用钢已获得国际上主要船级社认证,并将产品推向市场。但是,超高强度高韧性的 690Mpa 级海洋工程用钢,目前市场上基本上以进口为主。为了进一步满足市场及钢铁企业产品多元化的需要,高附加值产品 690Mpa 级海洋工程用钢的研制与开发势在必行。

[0003] 生产海洋工程用钢通常用电炉或转炉两种方法冶炼,用模铸或者连铸方法进行铸坯。考虑到用转炉冶炼、连铸生产的方式生产海洋工程用钢的低廉成本,以及为了适应众多国内钢铁生产企业生产习惯。本发明选择连铸坯为 220mm,生产 690Mpa 级海洋工程用钢,成品钢板厚度介于 40 ~ 80mm 厚。对于 220mm 生产 40 ~ 80mm 的低压缩比钢来讲,连铸坯的质量,夹杂物的控制以及有害元素的控制显得尤为重要。另外,海洋工程用钢由于其服役环境恶劣性,要求钢不光具有超高强度、高韧性还有具有一定的应变时效性。通常来说,钢的强度越高,塑性与低温韧性越难提高。为了大幅度提高了海洋工程用钢的强度和低温韧性、时效性,及与之相匹配的良好塑性,需要合理的合金化,通过合理工艺,使钢材获得理想的组织形态,才能满足钢材能够在恶劣的海洋环境下应用。

[0004] 现有的涉及海洋工程用钢的生产方法的专利,主要是通过控轧控冷或热处理方法获得海洋工程用钢板,具体生产方法如下:

[0005] 中国专利 CN 102400043 提供了一种大厚度海洋工程用钢板及其生产方法,它通过微合金化,通过电炉冶炼、VD 炉真空脱氧,拉成 330mm 厚坯,随后进行两阶段轧制,最后进行调质处理,获得了钢板厚度为 150mm 的大厚度海洋工程用钢板,屈服强度在 460MPa 以上,抗拉强度介于 530 ~ 650MPa 之间,-40℃ 的冲击功优异。但是该钢种强度偏低,并且是电炉冶炼,产能较低。

[0006] 中国专利 CN 101709432 公开了一种大厚度调质型海洋平台用钢,钢中碳成分设计为 0.16 ~ 0.18%,通过电炉冶炼、VD 炉真空处理,送入 LF 处理,随后浇铸。没说明以何种方式浇铸,获得了大厚度的超高强度,高韧性海洋工程用钢。但是由于钢板较厚,钢中碳成分设计为 0.16 ~ 0.18%,且加入大量的影响焊接性能的合金及微合金元素,碳当量较高,恶化钢板的焊接性能。

[0007] 中国专利 CN 102392192 提供了一种 80mm 厚低压缩比海洋工程用钢板及制造方法,采用控轧控冷工艺结合正火处理,最终组织级别为铁素体与珠光体。由于其钢中碳、锰含量相对高,从提供的组织图来看,存在一定的带状组织。且强度较低,屈服强度介于 360~370 MPa 之间。

发明内容

[0008] 鉴于以上现有技术的不足,考虑到海洋工程用钢板的超高强度、高韧性、可焊性及可生产性,本发明的目的是提供一种超高强高韧性海洋工程用钢板及其生产方法,该方法通过合理的化学成分设计,轧制阶段的合理压缩比 TMCP 工艺控制,及合理的调质工艺,获得了性能优异的超高强海洋工程用钢板。

[0009] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0010] 一种超高强高韧性海洋工程用钢板,其特征在于:该超高强度海洋工程用钢板的化学成分按重量百分比计,C:0.06~0.10%,Si:0.20~0.40%,Mn:1.10~1.65%,P: \leq 0.010%,S: \leq 0.0020%,Nb:0.030~0.050%,V:0.020~0.060%,Ti:0.006~0.015%,Ni:0.60~1.30%,Cr:0.30~0.60%,Cu:0.20~0.60%,Mo:0.40~0.60%,Al:0.020~0.040%,余量为 Fe 及不可避免的杂质。

[0011] 由于钢的化学成分是影响连铸坯内部质量与高强钢板性能的关键因素之一,本发明为了使所述钢获得优异的综合性能,对所述钢的化学成分进行了限制,原因在于:

[0012] C:碳是影响超高强度钢力学性能的主要元素,通过间隙固溶提高钢的强度,提高钢的淬透性。当碳含量较低则强度低,当含量过高,则存在韧性和可焊性变差的缺点。另外,当碳含量介于 0.10~0.13% 时,钢处于包晶区,增大冶炼控制难度,故本发明中碳含量控制在 0.06~0.010%。

[0013] Si:硅是炼钢脱氧的必要元素,也具有一定的固溶强化作用,但硅含量过高,对钢板表面质量及韧性存在较大影响,故本发明中将硅限定在 0.20~0.40% 的范围内。

[0014] Mn:锰对细化组织,提高强度和韧性有利。在调质钢中可以增加钢的淬透性,并且成本低廉。锰含量过高时,则会在实际生产中引起连铸坯偏析。对于本发明钢,为了适应在炉卷轧机上生产,锰含量控制在 1.10~1.50% 的范围内。

[0015] Nb:微量铌的溶质拖曳作用和铌对奥氏体晶界的钉扎作用,均抑制形变奥氏体的再结晶,并在冷却或调质处理的回火时形成析出物,从而使强度和韧性均得到提高。本发明钢中,添加量小于 0.030% 时效果不明显,大于 0.050% 时韧性降低,促进连铸坯产生表面裂纹,此外对焊接性能也有恶化作用。因此,铌含量应控制在 0.030~0.050% 的范围内。

[0016] V:钒是钢的优良脱氧剂。钢中加入钒可细化组织晶粒,提高强度和韧性。回火时或焊接后冷却时形成碳化物,有利于增加强度。添加量小于 0.020% 时效果不明显,大于 0.060% 时,钢的韧性与可焊接性降低。因此,钒含量应控制在 0.020~0.060% 的范围内。

[0017] Ti:钛是用来固定钢中的氮元素,在适当条件下,钛、氮形成氮化钛,阻止钢坯在加热、轧制、焊接过程中晶粒长大,改善母材和焊接热影响区的韧性。钛低于 0.006% 时,固氮效果差,超过 0.015% 时,固氮效果达到饱和,过剩的钛会使钢的韧性恶化。故在本发明中,结合实际生产中钢中氮含量控制范围,将钛成分控制在 0.006~0.015%。

[0018] Ni:镍在钢中能提高钢的强度、韧性、耐性以及空气、海水和某些酸中的耐腐蚀

性。镍能抑制碳从奥氏体中脱溶,降低晶界碳化物析出倾向,显著减少晶间碳化物数量。但是钢中镍含量增高,生产成本会显著增加,故本发明中镍含量控制在 0.60 ~ 1.30%。

[0019] Cr、Cu:铬与铜是提高钢淬透性的元素,能够抑制多边形铁素体和珠光体的形成,促进低温组织贝氏体或马氏体的转变,是调质钢常加入的元素。但 Cr 与 Cu 含量过高将影响钢的韧性,并引起回火脆性,本发明中铬含量控制在 0.30 ~ 0.60%,铜含量控制在 0.20 ~ 0.60%。

[0020] Mo:提高钢的淬透性,大量添加时会增加成本,并降低韧性和可焊性。回火时,形成碳化物颗粒,有利于析出强化。一般限制在 0.40 ~ 0.60%。

[0021] Al:铝是炼钢过程中一种重要的脱氧元素,即使在钢水中加入微量的铝,也可以有效减少钢中的夹杂物含量,并细化晶粒。但过多的铝,会促进连铸坯产生表面裂纹,产生内部铝系夹杂物,降低板坯质量,因此,全铝含量应控制在 0.020 ~ 0.040%。

[0022] 钢中的杂质元素,如 S、P 等,会严重损害所述钢和焊接近焊缝区的低温韧性,增加连铸坯偏析程度。因此,硫、磷含量应分别控制在 $\leq 0.0020\%$ 和 $\leq 0.010\%$ 以下。并控制其它不可避免的杂质元素如 O、N、H、As、Pb、Sn、Sb 分别控制如下: $O \leq 0.0018\%$, $N \leq 0.0040\%$, $H \leq 0.00015\%$, $As \leq 0.012\%$, $Pb \leq 0.010\%$, $Sn \leq 0.010\%$, $Sb \leq 0.010\%$ 。

[0023] 一种超高强度高韧性海洋工程用钢板的生产方法,其特征在于该生产方法包括如下工序:

[0024] 冶炼连铸工艺:采用铁水预处理脱硫-转炉冶炼-LF 精炼-RH 真空处理-喂钙线-静搅-板坯连铸。脱硫处理后,铁水中碳含量控制为 $[S] \leq 0.002\%$,转炉终点温度控制为 $1600^{\circ}\text{C} - 1660^{\circ}\text{C}$,到 LF 温度 $1540 - 1600^{\circ}\text{C}$,采用铝脱氧方法脱氧。LF 炉中停留时间大于 30 分钟。采用微正压操作控制包内气氛。RH 真空处理,高真空度 ($\leq 5.0\text{mbar}$) 条件下保持时间 ≥ 25 分钟。RH 破真空后进行喂纯钙线处理,喂线长度 180-220 米。钙线处理后进行静搅,静搅处理时间 $\geq 12\text{min}$ 。随后进行连铸。中包温度控制在液相线温度以上 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 。连铸坯切割后,用其他炉号的热连铸坯下铺上盖,堆垛缓冷 72 小时以上。

[0025] 轧制工艺:采用控轧控冷工艺,轧前连铸坯加热温度介于 $1200^{\circ}\text{C} \sim 1220^{\circ}\text{C}$,采用奥氏体再结晶区和奥氏体未再结晶区两阶段控制轧制,粗轧每道次压下率 $\geq 12\%$,粗轧终轧温度 $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$,粗轧成 1.5 ~ 2.5 倍成品厚度的中间坯;精轧开轧温度为 $830 \sim 870^{\circ}\text{C}$,轧后采用层流冷却,终冷温度 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$,冷却速率 $8 \sim 15^{\circ}\text{C}/\text{s}$,随后空冷。

[0026] 热处理工艺:将空冷后的钢板再进行加热,加热温度在 A_{c3} 之上 $30 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 进行奥氏体相区淬火处理,淬火温度在 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$,淬火保温时间为 $2\text{min}/\text{mm} \times \text{板厚}$,淬火后钢板获得了均匀淬火板条状马氏体,原始奥氏体晶粒细小,淬火后在 $600 \sim 630^{\circ}\text{C}$ 回火,回火保温时间为 $(1.5 \sim 2.5)\text{min}/\text{mm} \times \text{板厚} + 30\text{min}$ 。

[0027] 本发明通过合理的成分控制,利用合理的压下比分配制度的 TMCP 技术与调质热处理工艺获得了一种超高强度海洋工程用钢,组织为回火索氏体,片层间距较为细小,原奥氏体晶粒细小。本发明钢具有超高强度,具有低温韧性优异、塑性较高。通过本发明获得的超高强度钢具体性能为:抗拉强度为 $770 \sim 840\text{MPa}$,屈服强度为 $710 \sim 800\text{MPa}$,延伸率为 $16 \sim 19\%$, -40°C 低温横向冲击、以及低温时效冲击性能 $\geq 90\text{J}$,冷弯性能良好。满足 DNV、CCS、ABS 等船级社 E690 钢认证要求,并且具有批量化生产条件,生产工艺稳定,可操作性强等特点。

[0028] 本发明具有如下优点：

[0029] 1、本发明适应众多国内钢铁生产用转炉冶炼、连铸方式生产海洋工程用钢。本发明选择连铸坯为 220mm，生产 690Mpa 级海洋工程用钢，成品钢板厚度介于 40 ~ 80mm 厚，压缩比低，降低轧制成本。同时有利于指导其它大厚度、低压缩比类似钢种的开发。

[0030] 2、在利用合理的化学成分设计方式和易于在生产中实现的 TMCP 工艺的前提下，通过离线调质热处理方法，无需要增加其它特殊工艺，其它任何设备，便可获得低压缩比高强度高韧性的海洋工程用钢。

[0031] 3、通过简单的淬火处理方法，使原连铸坯中心存在的偏析得到进一步减轻。调过回火处理，得到钢铁材料中软硬相合理匹配，充分发挥钢在 TMCP 过程中来不及析出的微合金元素的强化作用，使钢材的抗拉强度上升，延伸率上升，低温冲击韧性提高。

[0032] 4、本发明制造方法，通过调质热处理，比常规钢板的调质热处理温度区间相近，便于与其它钢种统筹组织生产，节省工业排产时间。

[0033] 5、本发明制造方法，对于如此超高强度钢板制造，通过 Nb 微合金化技术，扩大奥氏体非再结晶区间，使得终轧温度可在较高的温度下进行，减少中间坯待温时间，减少轧制道次，加快生产节奏，节省能源，缩短生产周期，降低生产成本。

附图说明

[0034] 图 1 为实施例 2 60mm 超高强高韧性海洋工程用钢热轧态沿厚度方向 1/4 处组织形貌，组织为贝氏体组织。

[0035] 图 2 为实施例 2 60mm 超高强高韧性海洋工程用钢调质态沿厚度方向 1/4 处组织形貌，组织为回火索氏体组织。

具体实施方式

[0036] 根据本发明的生产工艺，共冶炼两个炉次，冶炼流程为铁水预处理→转炉冶炼→LF 炉精炼→RH 真空处理→连铸机连铸→铸坯堆垛缓冷→铸坯检验→铸坯判定→铸坯验收。脱硫处理后，铁水中碳含量控制为 $[S] \leq 0.002\%$ ，吹炼后转炉终点温度分别为 1601 与 1620℃，到 LF 分别温度 1551、1569℃，采用铝脱氧方法脱氧。LF 炉中停留时间 40 ~ 50 分钟。采用微正压操作控制包内气氛。RH 真空处理，高真空度 ($\leq 5.0\text{mbar}$) 条件下保持时间为 30 分钟。RH 破真空后进行喂纯钙线处理，喂线长度 200 米。钙线处理后进行静搅，静搅处理时间 15min，随后进行连铸。中包温度控制在液相线温度以上 10 ~ 15℃。连铸坯切割后，连铸坯断面为 220mm×2260mm，用其他炉号的热连铸坯下铺上盖，堆垛缓冷 72 小时以上，尽可能的扩氢。经低倍检验，板坯内部质量存在轻度偏析，无裂纹、气泡、夹杂等其它缺陷，表面质量良好。冶炼的两炉实施例主要化学成分如表 1 所示。

[0037] 表 1 本发明实施例的主要化学成分 (wt%)

[0038]

实施例	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Alt
实施例 1、2	0.065	0.25	1.63	0.0080	0.0015	0.036	0.013	1.25	0.56	0.20	0.45	0.045	0.0039
实施例 3、4	0.095	0.26	1.48	0.0057	0.0010	0.030	0.015	0.90	0.29	0.29	0.48	0.032	0.0030

[0039] 采用控轧控冷工艺中厚板炉卷轧机上轧制，轧前连铸坯加热温度介于 1200℃ ~

1220℃,并且保证钢板在炉时间,总在炉时间为 220 ~ 264 分钟,采用奥氏体再结晶区和奥氏体未再结晶区两阶段控制轧制,粗轧每道次压下率 $\geq 12\%$,粗轧终轧温度 1050~1100℃,粗轧成 1.5 ~ 2.5 倍成品厚度的中间坯;精轧开轧温度为 830 ~ 870℃,轧后采用层流冷却,终冷温度 600 ~ 650℃,冷却速率 8 ~ 15℃ /s,随后空冷。

[0040] 表 2 轧制冷却工艺参数表

[0041]

实施例	厚度 mm	粗轧开轧温 度 ℃	中间坯厚度 mm	精轧开轧温度 ℃	终轧温度 ℃	总道次数	终冷温度 ℃
实施例 1	40	1088	100(2.5h)	870	850	8 (4+4)	605
实施例 2	60	1085	110(1.8h)	860	852	7 (4+3)	650
实施例 3	60	1079	110(1.8h)	870	840	7 (4+3)	632
实施例 4	80	1086	125(1.5h)	850	842	5 (3+2)	620

[0042] 随后在淬火机与回火炉上对实施例进行调质处理,对钢板再进行加热,淬火温度介于 900 ~ 920℃之间,淬火保温时间为 2min/mm× 板厚。淬火中再加热目的是将材料进行充分奥氏体化,使材料获得均匀等轴奥氏体晶粒。尽可能将其合金溶解,随后进行用水淬火,形成低碳板条状马氏体。淬火后在 580 ~ 630℃回火,回火时间为(1.5 ~ 2.5) min/mm× 板厚 +30min。热处理具体工艺参数如表 3 所示。

[0043] 表 3 热处理工艺参数表

[0044]

实施例	试样厚度 /mm	淬火		回火	
		淬火温度/℃	保温时间/min	回火温度/℃	回火时间/min
实施例 1	40	900	80	600	110
实施例 2	60	900	120	600	150
实施例 3	60	920	120	630	150
实施例 4	80	900	80	600	190

[0045] 实施例在热轧后组织为贝氏体,经调质处理后,组织为均匀的回火索氏体。图 1 为实施例 2 60mm 超高强高韧性海洋工程用钢热轧后沿厚度方向 1/4 处金相组织形貌,组织为贝氏体组织。图 2 为实施例 2 60mm 超高强高韧性海洋工程用钢热轧后再经调质沿厚度方向 1/4 处组织形貌,组织为回火索氏体组织,金相显微镜下可观察到回火索氏体组织规则,索氏体片层间距较为细小。原奥氏体晶粒细小、均匀,平均原奥氏体晶粒尺寸介于 20 ~ 30 μm 。

[0046] 按照本发明的工艺获得的板材拉伸性能如表 4 所示,低温冲击性能如表 5 所示及低温时效性能如表 6 所示。本发明实施例的性能结果良好,其中材料的抗拉强度为 770 ~ 840MPa,屈服强度为 710 ~ 800MPa,延伸率为 16 ~ 19%, -40℃低温横向冲击、以及低温时效冲击性能 $\geq 90\text{J}$,冷弯性能良好。满足 DNV、CCS、ABS 等船级社 E690 钢认证要求,并且具有批量化生产条件,生产工艺稳定,可操作性强等特点。

[0047] 表 4 本发明实施例调质热处理后获得的板材拉伸性能

[0048]

实施例	厚度/mm	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率%	屈强比	备注
实施例 1	40	797	836	17.9	0.95	全厚度
实施例 2	60	766	814	16.5	0.94	全厚度
实施例 3	60	718	773	18.1	0.93	全厚度
实施例 4	80	742	789	18.6	0.94	厚度 1/4 处
	80	716	772	17.8	0.93	厚度 1/2 处

[0049] 表 5 本发明实施例调质热处理后获得的板材低温冲击性能

[0050]

实施例	板厚 /mm	位置	温度 /°C	冲击 1/J	冲击 2/J	冲击 3/J	均值 /J
实施例 1	40	横向	-40	190	205	174	190
实施例 2	60	横向	-40	168	60	138	122
实施例 3	60	横向	-40	78	90	110	93
实施例 4	80	横向	-40	183	99	93	125

[0051] 表 6 本发明实施例调质热处理后获得的板材低温时效冲击性能

[0052]

实施例	板厚 /mm	位置	温度 /°C	时效冲击 1	时效冲击 2	时效冲击 3	均值
实施例 1	40	1/4 纵向	-40	61	183	111	98
实施例 2	60	1/4 纵向	-40	219	228	242	230
实施例 3	60	1/4 纵向	-40	224	210	230	221
实施例 4	80	1/4 纵向	-40	210	248	215	224

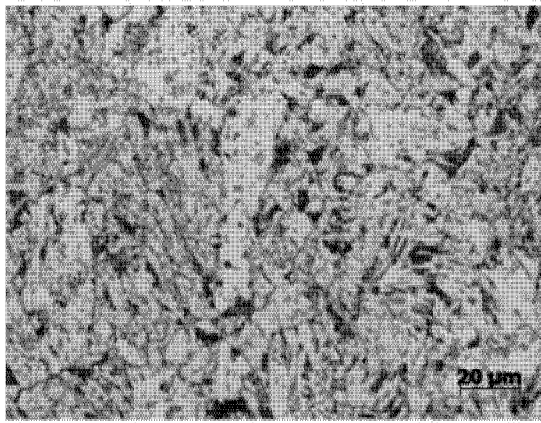


图 1

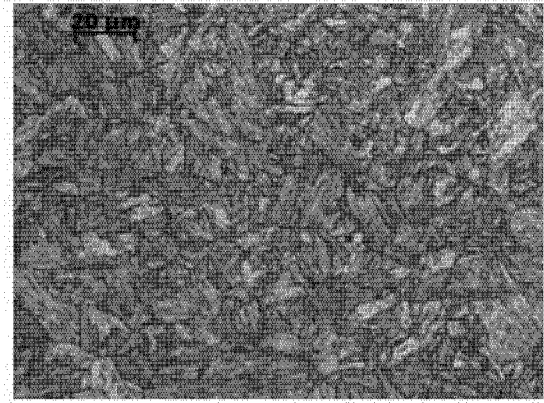


图 2