



# (12)发明专利



(10)授权公告号 CN 107988548 B

(45)授权公告日 2019.06.25

(21)申请号 201610951583.5

C22C 38/14(2006.01)

(22)申请日 2016.10.27

C22C 38/16(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

C22C 38/18(2006.01)

申请公布号 CN 107988548 A

C21D 8/02(2006.01)

C21D 1/25(2006.01)

(43)申请公布日 2018.05.04

(73)专利权人 鞍钢股份有限公司

地址 114021 辽宁省鞍山市铁西区鞍钢厂区内

(72)发明人 任毅 张帅 王爽 刘文月 高红 李新玲

(51)Int.Cl.

C22C 38/02(2006.01)

C22C 38/04(2006.01)

C22C 38/06(2006.01)

C22C 38/08(2006.01)

C22C 38/12(2006.01)

(56)对比文件

CN 104372261 A,2015.02.25,权利要求1-2,说明书第0004-0022段.

CN 105624585 A,2016.06.01,说明书第0017-0019,0026-0027段.

JP S589925 A,1983.01.20,

CN 104250713 A,2014.12.31,

CN 102021497 A,2011.04.20,

CN 102021499 A,2011.04.20,

CN 101768703 A,2010.07.07,

审查员 王冬妮

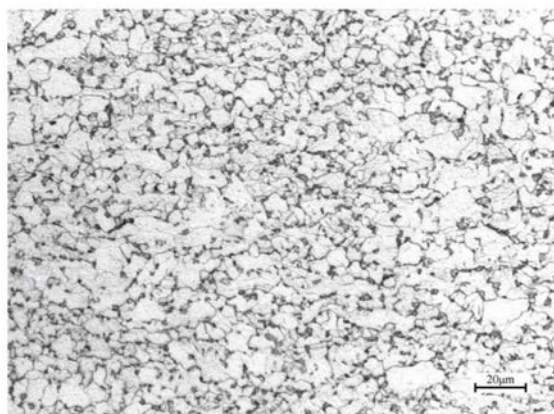
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种适应低温裸露环境的X80管线钢板及其生产方法

(57)摘要

本发明公开一种适应低温裸露环境的X80管线钢板及其生产方法。钢中化学成分为C:0.03%~0.06%、Si:0.20%~0.35%、Mn:0.45%~0.75%、Nb:0.02%~0.03%、Ti:0.011%~0.029%、Ni:1.50%~2.0%、Cr:0.60%~1.0%、Cu:1.10%~1.40%、Mo:0.20%~0.30%、Als:0.015%~0.040%、N:0.0020%~0.0049%、P≤0.010%、S≤0.002%、H≤0.00015%、O≤0.0020%,Ti/N:3.42~6.00,余量为Fe和不可避免的杂质,钢板厚度≥35mm。铸坯加热分4个阶段,总加热时间1.0~1.3min/mm;采用横纵轧制方式,粗轧总变形量≥51%,精轧温度770~850℃,水冷后堆垛缓冷,轧后进行调质处理,该钢板用于低温油气输送管道。



1. 一种适应低温裸露环境的X80管线钢板的生产方法,其特征在于,钢中化学成分按重量百分比为:C:0.03%~0.06%、Si:0.20%~0.35%、Mn:0.45%~0.75%、Nb:0.02%~0.03%、Ti:0.011%~0.029%、Ni:1.60%~2.0%、Cr:0.60%~1.0%、Cu:1.10%~1.40%、Mo:0.20%~0.30%、Als:0.015%~0.040%、N:0.0020%~0.0049%、P≤0.010%、S≤0.002%、H≤0.00015%、O≤0.0020%,Ti/N:3.42~6.00,余量为Fe和不可避免的杂质;

钢板的生产工艺为:铁水预处理、转炉冶炼、炉外精炼、连铸、板坯加热、轧制、冷却、调质热处理,钢水精炼后连铸前吹氩镇静时间不少于15min,连铸坯浇注过热度为12~30℃,连铸坯厚度/成品钢板厚度控制在6.1~8.6;

连铸坯经清理后装炉加热,加热过程分为4个阶段:预热段、加热段1和加热段2、均热段,预热段加热温度为400~700℃,加热段1加热温度为1000~1150℃,加热段2加热温度为1170~1210℃,均热段加热温度为1160~1190℃,预热段加热时间不低于50min,加热段1和加热段2的加热时间为0.5~0.9min/mm,均热段加热时间为40~70min,加热总时间1.0~1.3min/mm;

粗轧温度区间为1090~1170℃,采用横纵轧制方式,粗轧总变形量不小于51%,其中,纵轧最后2道次每道次变形量不小于20%,且2道次间的间隔时间不超过20s,待温中间坯厚度为2.8t~3.4t,t为成品钢板厚度;精轧温度区间为770~850℃,轧后钢板开始水冷冷却温度为740~780℃,终冷温度为510~590℃,上下冷却水量比为3.0~3.6,之后堆垛缓冷,缓冷冷速为0.3~0.9℃/s;

调质热处理时,淬火温度为870~920℃,保温时间为1.0~1.4min/mm,淬火冷却速度≥20℃/s,冷却至室温,回火温度为480~650℃,保温时间为1.5~4.0min/mm。

2. 如权利要求1所述的一种适应低温裸露环境的X80管线钢板的生产方法,其特征在于,钢板的厚度≥35mm。

## 一种适应低温裸露环境的X80管线钢板及其生产方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于低碳低合金钢技术领域,尤其涉及一种低温油气输送用厚度 $\geq 35\text{mm}$ 的X80级高塑性、高韧性、低屈强比、裸露环境钢管用管线平板及其生产方法。

### 背景技术

[0002] 国内已建天然气管道最大口径为1219mm,最高设计压力12MPa,采用X80钢级。由于管道口径大、压力高、材料强度高,站场地上钢管和管件的低温性能无法达到技术要求,因此均采用电伴热保温措施解决钢管和管件低温适用性的问题。中俄东线天然气管道起于黑龙江省黑河市中俄边境,管道沿途经过的黑龙江省、吉林省、辽宁省均位于我国东北寒冷地区,最冷月平均气温约 $-14\sim -24^{\circ}\text{C}$ ,极端最低温 $-48.1^{\circ}\text{C}$ ,部分寒冷地区站场钢管、管件的设计温度将达到 $-45^{\circ}\text{C}$ 。中俄东线管道口径已经达到1422mm,材料等级X80,目前国内对于如此大口径、高钢级的钢管、弯管和管件的加工制造及管道环焊缝焊接工艺还不能覆盖到 $-45^{\circ}\text{C}$ 。在已建的西二线、西三线西段工程,部分站场设计温度也超过 $-40^{\circ}\text{C}$ ,但都采取了保温伴热措施来解决适用温度问题。保温伴热方案一方面能耗高,另一方面需要经常维护。中国东北地区及俄罗斯地区冬季时间漫长,有必要研究开发满足寒冷地区使用的裸露环境钢管用钢及其质量控制方法。

[0003] 目前,国内外对低温油气输送用管线钢有一些研究,经检索发现了部分有关的专利和文献。但其所记载的内容与本发明的技术方案及所述产品性能等方面存在明显差异。

[0004] CN201410665149.1公开了一种用于高寒地区的高韧性X80管线钢板及其生产方法。涉及一种X80级别管线钢板,钢板厚度 $26.4\sim 33\text{mm}$ ,该专利所述管线钢厚度小,同时,性能也无法满足厚度 $\geq 35\text{mm}$ 的X80级高塑性、高韧性、低屈强比、裸露环境管线要求。

[0005] CN102676925A公开了一种大壁厚海底管线钢板及其生产方法。涉及一种X65级别海底管线钢板,钢板厚度 $25\sim 30.2\text{mm}$ ,采用控轧控冷工艺生产,成分中同样以C、Mn、Nb为基础,采用Ni、Mo强化;同样存在钢板厚度偏小,无法满足裸露环境管线要求。

[0006] CN104357766A公开了用于超深海的高强度高韧性海底管线钢及其制造方法,涉及一种X70级别深海海底管线钢板,采用控轧控冷工艺生产。其合金设计、工艺及组织性能都无法满足裸露环境管线要求。

[0007] JP2006291349A公开了一种高变形性能的管线钢板及其制造方法,涉及一种高级别管线钢,成分上采用Mn ( $1.8\%\sim 2.5\%$ )、V ( $0.01\%\sim 0.10\%$ )及Ni、Mo、Cu等元素强化,生产工艺上采用TMCP+控冷+等温处理工艺,该专利产品厚度小,工艺及组织性能都无法满足裸露环境管线要求。

[0008] KR20140084891A公开了一种管线钢板及其制造方法,涉及一种X70级高延伸率管线钢板,合金成分主要采用C、Mn、V、Ni强化,该专利也存在组织性能都无法满足裸露环境管线要求的问题。

[0009] 文献“南海荔湾X70和X65大壁厚海洋管线的开发与应用研究”(《焊管》,2013年9期,张备,杨剑峰,王波),文中主要介绍了厚度 $28.6\sim 31.8\text{mm}$ ,X65、X70海底管线钢,其产品

的厚度较小, 屈服比高且成分设计和生产工艺未明确。

[0010] 综上所述, 现有技术对厚壁低温管线用平板的研究尚有不足。

## 发明内容

[0011] 本发明的目的在于克服现有技术的不足, 解决低温厚壁管线钢低温冲击性能、组织均匀性、抗应变、性能控制问题, 提供一种低温油气输送用厚度 $\geq 35\text{mm}$ 的X80级高塑性、高韧性、低屈服比、适于裸露环境的管线平板及其生产方法。

[0012] 本发明所述一种适应低温裸露环境的X80管线钢板的厚度 $\geq 35\text{mm}$ ; 成分设计以低C、低Mn为基础, 重点是添加了较高的Cu元素, 可以通过时效过程中大量的 $\epsilon\text{-Cu}$ 析出来弥补低C、低Mn的强度缺失, 配以相应的冶炼、轧制、冷却、调质等生产工艺获得低温管线钢所需的性能。

[0013] 具体的技术方案是:

[0014] 一种适应低温裸露环境的X80管线钢板的化学成分, 按重量百分比计为C:  $0.03\% \sim 0.06\%$ 、Si:  $0.20\% \sim 0.35\%$ 、Mn:  $0.45\% \sim 0.75\%$ 、Nb:  $0.02\% \sim 0.03\%$ 、Ti:  $0.011\% \sim 0.029\%$ 、Ni:  $1.50\% \sim 2.0\%$ 、Cr:  $0.60\% \sim 1.0\%$ 、Cu:  $1.10\% \sim 1.40\%$ 、Mo:  $0.20\% \sim 0.30\%$ 、Als:  $0.015\% \sim 0.040\%$ 、N:  $0.0020\% \sim 0.0049\%$ 、 $P \leq 0.010\%$ 、 $S \leq 0.002\%$ 、 $H \leq 0.00015\%$ 、 $O \leq 0.0020\%$ 、Ti/N:  $3.42 \sim 6.00$ , 余量为铁和不可避免的杂质。

[0015] 本发明成分设计理由如下:

[0016] C是钢中最有效的强化元素, 能够形成间隙固溶体, 还可以与合金元素作用形成碳化物, 对保证调质后强度有利, 因此, 碳含量不宜过低; 但是, 碳含量的增加对材料韧性不利, 所以, 碳含量也不能过高, 因此, 本发明将碳含量控制在 $0.03\% \sim 0.06\%$ 。

[0017] Si有固溶强化作用, 提高淬透性, 但其含量过高会使钢的塑性和韧性降低, 易引起冷脆, 因此, 本发明将Si含量的范围控制在 $0.20\% \sim 0.35\%$ 。

[0018] Mn具有固溶强化作用, 可有效提高强度, 对提高淬透性也有利, 可以增加奥氏体稳定性; 但是, 锰含量过高不利于焊接, 因此, 本发明将锰含量控制在 $0.45\% \sim 0.75\%$ 。

[0019] Nb有明显的固溶和析出强化作用, 细化晶粒, 改善强韧性, 同时, 降低调质后脆性, 但是, 增加Nb含量会使生产成本明显增加, 因此, 本发明将铌含量控制在 $0.02\% \sim 0.03\%$ 。

[0020] Ti可起到析出强化和固氮效果, 易形成碳氮化物, 且熔点高, 能抑制高温条件下的晶粒长大,  $\text{Ti}/\text{N} \geq 3.42$ 能够保证氮化钛析出, 有效减少和控制游离氮元素量; 因此, 本发明将钛含量控制在 $0.011\% \sim 0.029\%$ 。

[0021] Cr能提高奥氏体稳定性和淬透性, 有固溶强化作用, 对提高厚规格钢板强度和改善厚度方向组织均匀性发挥良好作用, 另外, Cr含量达到 $0.18\%$ 以上时可以改善钢的耐腐蚀性; 所以, 本发明将Cr含量控制在 $0.60\% \sim 1.0\%$ 。

[0022] Al有效的脱氧元素, 铝含量过高会使钢中的夹杂物增加, 焊接性能恶化, 因此, 本发明将酸溶铝的含量控制在 $0.015\% \sim 0.040\%$ 。

[0023] Ni提高强度, 有利于改善低温韧性和耐腐蚀性; Ni还可以延迟珠光体转变, 促进中温转变组织形成, 降低厚规格钢板冷速限制; 因此, 本发明将其含量控制在 $1.50\% \sim 2.0\%$ 。

[0024] Mo能够明显提高淬透性, 增加强度, 但是, 钼含量过高会增加成本, 对焊接性也有不利影响, 因此, 本发明控制Mo含量在 $0.20\% \sim 0.30\%$ 。

[0025] Cu可以通过时效过程中大量的 $\epsilon$ -Cu析出来弥补低C、低Mn的强度缺失,既可以保证钢板的强韧性,又能使钢板具有适宜的可焊性,为了获取能够弥补强度的 $\epsilon$ -Cu析出相,本发明将Cu含量控制在1.10%~1.40%。

[0026] P:P在钢中可以抑制渗碳体的析出,对铁素体有显著的固溶强化作用。但其含量过高,会影响钢的使用性能,如在低温时会产生冷脆效应,本发明主要是在寒冷地区裸露使用,所以P含量应该严格控制,控制在0.010%以下。

[0027] S:S在钢中与Mn结合形成MnS,降低Mn的有效含量,同时降低钢的抗HIC能力,钢中S的含量控制越低越好,考虑到脱S成本较高,所以本发明将S含量控制为 $S \leq 0.002\%$ 。

[0028] 管线钢的要求钢质纯净,尽量减少钢中杂质元素的含量(主要指H、O、N、P、S);同时严格控制钢中的夹杂物,包括夹杂物的数量、尺寸、分布、形状、类型。考虑到生产成本,本发明中将H、O含量分别控制为: $H \leq 0.00015\%$ 、 $O \leq 0.0020\%$ 。

[0029] Ti/N:Ti/N $\geq 3.42$ 能够保证氮化钛析出,有效减少和控制游离氮元素量,Ti/N过高,对钢的韧性不利,因此本发明将Ti/N控制在3.42~6.00;

[0030] 一种适应低温裸露环境的X80管线钢板的制造方法包括铁水预处理、转炉冶炼、炉外精炼、连铸、板坯加热、轧制、冷却、调质。钢水精炼后连铸前吹氩镇静时间不少于15min,连铸坯浇注过热度12~30℃,连铸坯厚度/成品钢板厚度控制在6.1~8.6;

[0031] 连铸前的吹氩镇静和对浇注温度的控制能够促进夹杂物去除,改善钢水成分、温度的均匀性,减少铸坯质量缺陷;控制连铸坯到成品钢板的压缩比有利于晶粒细化。

[0032] 连铸坯经清理后装炉加热,加热过程分为4个阶段,预热段、加热段1和2、均热段,预热段加热温度400~700℃,加热段1加热温度1000~1150℃,加热段2加热温度1170~1210℃,均热段加热温度1160~1190℃,预热段加热时间不低于50min,加热段1和加热段2的加热时间为0.5~0.9min/mm,均热段加热时间40~70min,加热总时间1.0~1.3min/mm。

[0033] 连铸坯清理可有效减少表面缺陷,分段加热过程可有效减少加热缺陷,提高加热效果和温度均匀性,采用该加热工艺可保证坯料温度均匀性,将奥氏体晶粒尺寸控制在理想范围内,同时,有效控制合金元素的固溶。

[0034] 粗轧温度区间为1090~1170℃,采用横纵轧制方式,粗轧总变形量不小于51%,其中,纵轧最后2道次每道次变形量不小于20%,且2道次间的间隔时间不超过20s。粗轧阶段的轧制温度和变形工艺使奥氏体晶粒再结晶,得到充分细化晶粒,同时又避免出现混晶造成性能损失,粗轧纵轧最后2道次采用大压下、短间隔能发挥变形叠加效果,有效细化晶粒;待温中间坯厚度为2.8t~3.4t(t为成品钢板厚度),精轧温度区间为770~850℃,精轧阶段促进奥氏体变形并积累形变能,增加形核位置。

[0035] 轧后钢板开始水冷冷却温度为740~780℃,终冷温度为510~590℃,上下冷却水量比为3.0~3.6,之后堆垛缓冷,缓冷冷速为0.3~0.9℃/s。

[0036] 调质时,控制淬火温度为870~920℃,保温时间为1.0~1.4min/mm,使钢板部分奥氏体化,淬火冷却速度 $\geq 20^\circ\text{C}/\text{s}$ ,冷却至室温,获得贝氏体、M/A硬相与铁素体软相复合组织;回火温度480~650℃,保温时间为1.5~4.0min/mm,促进大量的 $\epsilon$ -Cu析出来弥补低C、低Mn的强度缺失和M/A分解,降低残余应力,提高屈服强度。钢板最终微观组织以回火索氏体组织为主,其中分布大量的 $\epsilon$ -Cu析出相,使钢板具有适宜的横纵向强韧性、良好的塑性、低屈强比,同时,焊接性和成型性满足制作厚壁低温油气输送管道的要求。

[0037] 有益效果:

[0038] (1) 本发明以低C、低Mn为基础,充分利用 $\epsilon$ -Cu析出来弥补低C、低Mn的强度缺失,合理配置Cr、Mo、Ni元素并添加少量Nb、Ti等元素,严格控制有害元素含量,配以与之相应的独特的生产工艺,获得了综合性能优异的厚壁低温管线钢板。

[0039] (2) 本发明低C、低Mn及适宜合金元素,保证材料具有良好的可焊性。

[0040] (3) 本发明的精炼、连铸工艺方案有效改善了铸坯质量,从而提高最终产品性能。

[0041] (4) 本发明所述一种低温裸露环境的X80管线钢板的厚度 $\geq 35\text{mm}$ ,横向和纵向屈服强度可达到 $560\sim 630\text{MPa}$ ,横向和纵向抗拉强度达到 $670\sim 750\text{MPa}$ ,横纵向延伸率 $A_{50\text{mm}}\geq 40\%$ ,横纵向屈强比不超过0.88, $-45^{\circ}\text{C}$ 横向冲击功 $\geq 330\text{J}$ , $-84^{\circ}\text{C}$ 横向冲击 $\geq 180\text{J}$ ,微观组织以回火索氏体+ $\epsilon$ -Cu析出相组织为主,适用于作为X80级别大厚壁低温油气输送管道的原料。

## 附图说明

[0042] 图1为本发明实施例3钢板典型的金相组织,图中组织回火索氏体+ $\epsilon$ -Cu析出相。

## 具体实施方式

[0043] 本发明涉及的技术问题采用下述技术方案解决:一种适应低温裸露环境的X80管线钢板及其生产方法,其化学成分质量百分比为:C:0.03%~0.06%、Si:0.20%~0.35%、Mn:0.45%~0.75%、Nb:0.02%~0.03%、Ti:0.011%~0.029%、Ni:1.50%~2.0%、Cr:0.60%~1.0%、Cu:1.10%~1.40%、Mo:0.20%~0.30%、Als:0.015%~0.040%、N:0.0020%~0.0049%、 $P\leq 0.010\%$ 、 $S\leq 0.002\%$ 、 $H\leq 0.00015\%$ 、 $O\leq 0.0020\%$ 、Ti/N:3.42~6.00,其余为Fe和不可避免的杂质。管线钢板的制造方法包括铁水预处理、转炉冶炼、炉外精炼、连铸、板坯加热、轧制、冷却、调质。钢水精炼后连铸前吹氩镇静时间不少于15min,连铸坯浇注过热度 $12\sim 30^{\circ}\text{C}$ ,连铸坯厚度/成品钢板厚度控制在6.1~8.6;连铸坯经清理后装炉加热,加热过程分为4个阶段,预热段、加热段1和2、均热段,预热段加热温度 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ ,加热段1加热温度 $1000\sim 1150^{\circ}\text{C}$ ,加热段2加热温度 $1170\sim 1210^{\circ}\text{C}$ ,均热段加热温度 $1160\sim 1190^{\circ}\text{C}$ ,预热段加热时间不低于50min,加热段1和加热段2的加热时间为0.5~0.9min/mm,均热段加热时间40~70min,加热总时间1.0~1.3min/mm。粗轧温度区间为 $1090\sim 1170^{\circ}\text{C}$ ,采用横纵轧制方式,粗轧总变形量不小于51%,其中,纵轧最后2道次每道次变形量不小于20%且2道次间的间隔时间不超过20s。待温中间坯厚度为 $2.8t\sim 3.4t$ ( $t$ 为成品钢板厚度),精轧温度区间为 $770\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。轧后钢板开始水冷冷却温度为 $740\sim 780^{\circ}\text{C}$ ,终冷温度为 $510\sim 590^{\circ}\text{C}$ ,上下冷却水量比为3.0~3.6,之后堆垛缓冷,缓冷冷速为 $0.3\sim 0.9^{\circ}\text{C/s}$ 。调质时,淬火温度为 $870\sim 920^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为1.0~1.4min/mm,淬火冷却速度 $\geq 20^{\circ}\text{C/s}$ ;回火温度 $480\sim 650^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为1.5~4.0min/mm。

[0044] 以下实施例用于具体说明本发明内容,这些实施例仅为本发明内容的一般描述,并不对本发明内容进行限制。

[0045] 其中本发明实施例的化学成分见表1;本发明实施例的连铸工艺见表2;本发明实施例的加热工艺见表3;本发明实施例的轧制工艺见表4;本发明实施例的冷却工艺见表5;本发明实施例的调质工艺见表6;本发明实施例的力学性能见表7。

[0046] 表1本发明实施例的化学成分wt%

[0047]

实施例	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Cr
1	0.037	0.22	0.59	0.008	0.001	0.021	0.018	0.62
2	0.050	0.33	0.46	0.009	0.002	0.03	0.014	0.70
3	0.060	0.24	0.63	0.008	0.001	0.023	0.025	0.79
4	0.036	0.21	0.56	0.006	0.001	0.024	0.021	0.93
5	0.031	0.29	0.69	0.008	0.001	0.025	0.023	0.86
实施例	Als	N	H	O	Ti/N	Ni	Mo	Cu
1	0.027	0.0031	0.0001	0.0015	5.81	1.5	0.20	1.31
2	0.035	0.0041	0.0001	0.0018	3.42	2.0	0.22	1.19
3	0.018	0.0044	0.0001	0.0018	5.68	1.8	0.28	1.35
4	0.031	0.0041	0.0001	0.0015	5.12	1.6	0.23	1.39
5	0.026	0.0039	0.0001	0.0016	5.90	1.8	0.30	1.36

[0048] 表2本发明实施例的连铸工艺

[0049]

实施例	吹氩镇静时间/min	浇注过热度/℃	板坯厚度/成品厚度
1	21	20	7.1
2	18	25	7.1
3	27	15	6.2
4	21	18	8.2
5	23	20	7.0

[0050] 表3本发明实施例的板坯加热工艺

[0051]

实 施 例	预热段 温度 /℃	预热段 时间 /min	加热段 1温度 /℃	加热段 2温度 /℃	加热段1+加热 段2时间/ (min·mm <sup>-1</sup> )	均热 段温 度/℃	均热段时 间/min	加热总时间/ (min·mm <sup>-1</sup> )
1	540	71	1130	1190	0.58	1170	63	1.03
2	680	52	1100	1200	0.84	1180	45	1.23
3	660	61	1080	1180	0.66	1170	52	1.11
4	610	63	1020	1180	0.77	1170	52	1.15
5	610	61	1080	1190	0.82	1180	45	1.17

[0052] 表4本发明实施例的轧制工艺

[0053]

实施例	粗轧温度区间/℃		粗轧总变形量/%	粗轧纵轧最后 2 道次变形量/%	粗轧纵轧最后 2 道次间隔时间/s	中间坯厚度*	精轧温度区间/℃	
	开轧温度	终轧温度					开轧温度	终轧温度
1	1120	1170	56	20/23	10	3.2t	810	850
2	1100	1160	66	20/21	8	2.8t	780	830
3	1110	1150	55	20/21	8	2.8t	770	830
4	1090	1150	61	21/23	12	3.2t	790	840
5	1110	1160	60	21/23	15	3.0t	800	850

[0054] \*t为成品钢板厚度。

[0055] 表5本发明实施例的冷却工艺

[0056]

实施例	开始水冷温度/℃	终冷温度/℃	上下冷却水量比	堆垛缓冷冷速/(℃·s <sup>-1</sup> )
1	760	530	3.4	0.4
2	750	570	3.1	0.7
3	750	590	3.4	0.8
4	770	520	3.1	0.4
5	780	530	3.4	0.4

[0057] 表6本发明实施例的热处理工艺

[0058]

实施例	淬火加热温度/℃	淬火保温时间/(min·mm <sup>-1</sup> )	淬火冷速/(℃·s <sup>-1</sup> )	回火温度/℃	回火保温时间/(min·mm <sup>-1</sup> )
1	920	1.0	25	480	2.5
2	910	1.1	23	590	3.8
3	900	1.4	25	550	3.5
4	870	1.2	30	510	3.0
5	900	1.2	30	650	2.2

[0059] 表7本发明实施例的力学性能



[0060]

实 施 例	钢板 厚度/ mm	横向拉伸				纵向拉伸			
		R <sub>t0.5</sub> / MPa	R <sub>m</sub> / MPa	A <sub>50mm</sub> / %	R <sub>t0.5</sub> /R <sub>m</sub>	R <sub>t0.5</sub> / MPa	R <sub>m</sub> / MPa	A <sub>50mm</sub> / %	R <sub>t0.5</sub> /R <sub>m</sub>
1	35	570	695	58	0.82	560	685	59	0.82
2	35	585	675	54	0.87	580	710	56	0.81
3	40.5	565	675	58	0.84	575	680	57	0.85
4	36.5	585	685	54	0.85	560	690	55	0.81
5	36	575	695	52	0.83	565	680	60	0.83
实 施 例	钢板 厚度/ mm	横向KV <sub>8-45℃</sub> /J				纵向KV <sub>8-84℃</sub> /J			
		1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
1	35	411	373	369	384	211	203	199	204
2	35	390	374	363	376	190	234	183	202
3	40.5	377	396	401	391	277	196	201	225
4	36.5	341	346	389	359	241	246	189	225
5	36	381	366	384	377	181	266	184	210

[0061] 注：拉伸试样为全厚度矩形试样，平行测试段板宽38.1mm；冲击试样尺寸为10\*55\*55mm。

[0062] 从实施例可以看出，本发明钢的横向和纵向屈服强度可达到560MPa以上，横向和纵向抗拉强度达到670MPa以上，横纵向延伸率A<sub>50mm</sub>≥52%，横纵向屈强比不超过0.87，-45℃横向冲击功单值≥340J，-84℃横向冲击单值≥183J，具有优良的横纵向强度和低温韧性，良好的塑性、低屈强比，满足制作厚壁低温油气输送管道的要求。

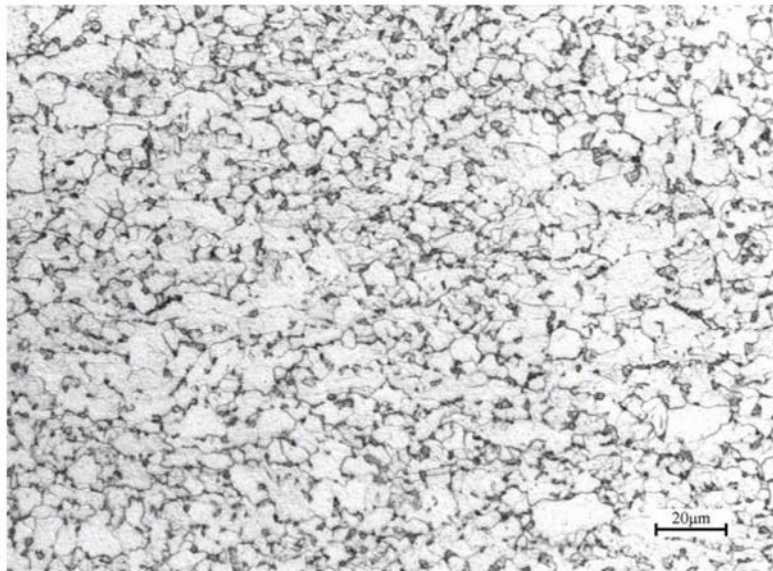


图1