



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109536846 B

(45) 授权公告日 2020.12.08

(21) 申请号 201710861264.X

(22) 申请日 2017.09.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109536846 A

(43) 申请公布日 2019.03.29

(73) 专利权人 上海梅山钢铁股份有限公司
地址 210039 江苏省南京市雨花台区中华
门外新建

(72) 发明人 段争涛 裴新华 郭园园 孙明军

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司
32206

代理人 顾进

(51) Int. Cl.

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/12 (2006.01)

G22C 38/14 (2006.01)

G21D 8/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105154769 A, 2015.12.16

JP 2015063732 A, 2015.04.09

CN 1263168 A, 2000.08.16

CN 101153367 A, 2008.04.02

CN 1756853 A, 2006.04.05

CN 106244931 A, 2016.12.21

CN 104060170 A, 2014.09.24

CN 107385319 A, 2017.11.24

KR 20140118310 A, 2014.10.08

CN 101910438 A, 2010.12.08

CN 105695870 A, 2016.06.22

JP 2006265583 A, 2006.10.05

US 6475306 B1, 2002.11.05

JP 2012172203 A, 2012.09.10

CN 101310032 A, 2008.11.19

CN 107109579 A, 2017.08.29

CN 106591716 A, 2017.04.26

CN 1257933 A, 2000.06.28

审查员 韩强

权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板及其制
造方法

(57) 摘要

本发明公开了屈服强度700MPa级高韧性热
轧钢板及其制造方法,解决现有屈服强度700MPa
级热轧钢板的韧性低、制造成本高的技术问题。
本发明提供的屈服强度700MPa级高韧性热轧钢
板,其化学成分重量百分比为:C:0.06~0.10%,
Si≤0.10%,Mn:1.20~1.80%,P≤0.012%,S≤
0.006%,N≤0.0040%,Al:0.015~0.040%,Mo:
0.10~0.30%,Ti:0.06~0.12%,余量为铁和不
可避免夹杂。本发明1.5~14.0mm厚热轧钢板的-
40℃冲击功值Ak_v≥120J。可用于工程机械、汽
车、铁路、管线、集装箱等领域。



1. 一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板,其化学成分重量百分比为:C:0.06~0.10%,Si \leq 0.10%,Mn:1.20~1.80%,P \leq 0.012%,S \leq 0.006%,N \leq 0.0040%,Al:0.015~0.040%,Mo:0.10~0.30%,Ti:0.06~0.12%,余量为铁和不可避免夹杂;热轧钢板的金相组织为细晶粒铁素体和极少量的珠光体,所述组织中铁素体的晶粒度为10~13级;1.5mm~14.0mm厚热轧钢板的上屈服强度 $R_{eH} \geq 700$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 750$ MPa,断后伸长率 $A \geq 18\%$, -40°C 冲击功值 $A_{kv} \geq 120$ J。

2. 一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板的制造方法,其特征是,该方法包括:

钢水经连铸得到连铸板坯,其中所述钢水化学成分的重量百分比为:C:0.06~0.10%,Si \leq 0.10%,Mn:1.20~1.80%,P \leq 0.012%,S \leq 0.006%,N \leq 0.0040%,Al:0.015~0.040%,Mo:0.10~0.30%,Ti:0.06~0.12%,余量为铁和不可避免夹杂;

连铸板坯于 $1230 \sim 1270^\circ\text{C}$,加热150~240min后进行热轧,所述的热轧为两段式轧制工艺,粗轧为6道次连轧,在奥氏体再结晶温度以上轧制,粗轧结束温度为 $1050 \sim 1100^\circ\text{C}$;中间坯厚度为34~55mm,精轧为7道次连轧,在奥氏体未再结晶温度区轧制,精轧入口温度为 $1020 \sim 1060^\circ\text{C}$,精轧结束温度为 $810 \sim 880^\circ\text{C}$;精轧后,层流冷却采用前段冷却,层流冷却速度为 $50 \sim 100^\circ\text{C}/\text{s}$,卷取温度为 $520 \sim 600^\circ\text{C}$ 时卷取得热轧钢卷。

3. 如权利要求2所述的屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板的制造方法,其特征是,精轧后,控制钢板厚度为1.5~14.0mm。

屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高强度热轧钢板,特别涉及一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板及其制造方法,属于铁基合金技术领域。

背景技术

[0002] 热轧高强钢能够发挥高强减薄、降低设备自重、减少能源消耗的作用,热轧高强钢广泛应用于工程机械、汽车、铁路、管线、集装箱等行业。一般的热轧低合金钢高强钢主要采用单一或复合添加Nb、V、Ti等微合金元素来提高强度,在屈服强度700MPa以上级别钢中,往往还需要进一步添加Cr、Ni、Mo、B等合金元素,来提高强度,而随着合金元素种类和含量的增加,在提高钢材强度的同时,会带来韧性的降低,尤其是低温冲击韧性。高强钢在生产工艺上,除了常规的控制轧制工艺外,较为常见的还有控制轧制+回火工艺(TMCP+回火工艺)、控制轧制+调质工艺。从工艺控制角度及成本方面考虑,采用较少的合金和工序,对降低制造成本有利。因此如何在少添加合金元素的前提下,使用控制轧制工艺,在保证钢板的强度同时,又能保证塑性、韧性指标,是钢铁企业研发新的低成本高韧性高强钢板面临的技术难题。

[0003] 申请公布号CN105200332A的中国专利申请文件公开了700MPa级薄规格高强钢带及其生产方法,成分设计上采用Nb($\leq 0.065\%$)、Ti(0.045~0.06%)和Cr(0.25~0.5%),合金成本相对较低,但增加了退火工艺,且成品厚度仅为1.2~2.5mm,显然该成分仅适用于薄规格。

[0004] 申请公布号CN106591714A的中国专利申请文件公开了屈服强度700MPa级工程机械用钢板及其制备方法,成分设计上采用Nb(0.055~0.065%)、Ti(0.095~0.105%)和Mo(0.1~0.15%)微合金化。未说明具体适用厚度范围,仅在实施例中提及6、8和10mm,也没说明钢板韧性情况,且钢板卷取后需要放入卷取炉,合金和工序成本均较高。

[0005] 申请公布号CN104018087A的中国专利申请文件公开了一种屈服强度700MPa以上汽车大梁用钢及其制造方法,成分设计上采用Nb(0.03~0.06%)、Ti(0.06~0.2%)、Cr(0.35~0.55)和Mo($\leq 0.25\%$)微合金化,使用厚度2~8mm,屈强比在0.9以下,也未提及韧性情况,层流冷却需要采用三段式冷却。

[0006] 申请公布号CN106756564A的中国专利申请文件公开了一种屈服强度700MPa级钢带及其生产方法,采用Nb(0.05~0.07%)、Ti(0.08~0.13%)微合金化设计,生产上采用了TMCP工艺,显然合金成本较低、工艺简单,但其产品厚度为1.2~4.0mm,仅适用于薄规格产品。

[0007] 申请公布号CN102226250A的中国专利申请文件公开了一种屈服强度700MPa的热轧钢板及其制备方法,其成分设计采用Nb(0.06~0.08%)、Ti(0.09~0.12%)、B(0.0008~0.005)微合金化,此外Si含量为(0.15~0.3%),使用厚度为5.0~10.0mm,其半尺寸-60℃冲击功 > 79 。由于钢板加入一定量的B,显然会存在冲击功值波动较大的问题。

[0008] 申请公布号CN103014539A的中国专利申请文件一种屈服强度700MPa级高强度高

韧性钢板及其制造方法,所制备的钢板-60℃冲击功值在150J以上,具有较高的韧性,但其成分设计采用了Ti(0.01-0.25%)、Cr(0.3-0.75%)、Mo(0.1-0.3%)、Ni(0.1-0.4%)等多种合金复合添加,合金成本也较高,此外在工艺上采用了回火处理。

[0009] 申请公布号CN104694822A的中国专利申请文件公开了一种屈服强度700MPa级高强度热轧钢板及其制造方法,采用Nb(0.024~0.07%)、Ti(0.08~0.15%)微合金化设计,生产上采用了TMCP工艺,具有合金成本低的优点,其-40℃低温冲击功在 ≥ 80 J,适用厚度3.0~12mm。

[0010] 因此,现有技术中公开有关屈服强度700MPa热轧高强钢板的技术方案大部分采用Nb-Ti微合金为主,适当添加V、Cr、Mo、Ni等合金元素中的一种或者几种复合添加来提高强度,合金添加量较大,造成资源消耗大,且制造成本较高。极少部分Nb-Ti微合金化为屈服强度700MPa级热轧钢板,又存在韧性不高,或者适用厚度较薄的问题。此外还有一部分屈服强度700MPa级热轧钢产工序较多,也使得制造成本较高。

发明内容

[0011] 本发明的目的是提供一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板及其制造方法,解决现有屈服强度700MPa级热轧钢板的韧性低、制造成本高的技术问题,满足工程机械、汽车、铁路、管线、集装箱等行业对低成本高韧性高强度热轧钢板的需求。

[0012] 本发明的技术思路是,通过采用适量Mo-Ti微合金化,结合合适的成分和热轧工艺设计,在保证材料强度的前提下,提高了热轧钢板的低温冲击韧性。

[0013] 本发明采用的技术方案是,一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板,其化学成分重量百分比为:C:0.06~0.10%, $Si \leq 0.10\%$, $Mn:1.20 \sim 1.80\%$, $P \leq 0.012\%$, $S \leq 0.006\%$, $N \leq 0.0040\%$, $Al:0.015 \sim 0.040\%$, $Mo:0.10 \sim 0.30\%$, $Ti:0.06 \sim 0.12\%$,余量为铁和不可避免夹杂。

[0014] 本发明屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板的金相组织为细晶粒铁素体和极少量的珠光体,所述组织中铁素体的晶粒度为10~13级,1.5~14.0mm厚热轧钢板的上屈服强度 $R_{eH} \geq 700$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 750$ MPa,断后伸长率 $A \geq 18\%$, -40°C 冲击功值 $A_{kv} \geq 120$ J,180°弯曲试验,d=a合格。

[0015] 本发明所述的屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板的化学成分限定在上述范围内的理由如下:

[0016] 碳:碳含量对提高强度有利,但过高的碳含量会在钢中形成较多粗大脆性的碳化物颗粒,对塑性和韧性不利,碳含量过高还会在钢板中心偏析带,对弯曲性能不利,同时过高的碳含量增加焊接碳当量,不利于焊接加工。而碳含量过低必须要添加大量的合金来提高强度,成本较高,本发明设定的C含量为0.06~0.10%。

[0017] 硅:硅固溶在钢板基体中有明显的强化效果,但是硅含量过高对钢板塑性和韧性不利,同时会在热轧板表面形成严重的难以去除的锈红铁皮,影响产品外观及后续表面处理。本发明限定 $Si \leq 0.10\%$ 。

[0018] 锰:锰一方面可以起到固溶强化的作用,同时可提高材料淬透性,是提高材料强度重要元素之一,同时能扩大 γ 区,降低 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变温度,扩大轧制工艺窗口。但Mn含量高,容易产生偏析并会降低材料韧性,恶化性能,也会增加碳当量,不利于焊接,进一步增加合金

成本。本发明限定Mn含量为1.20~1.80%。

[0019] 硫和磷：硫和磷元素过高会对材料韧性和塑性有不利影响。为此，本发明限定 $S \leq 0.006\%$ ， $P \leq 0.012\%$ 。

[0020] 铝：铝在本发明中的作用是起到脱氧的作用，铝是强氧化性形成元素，和钢中氧形成 Al_2O_3 在炼钢时去除。铝过高会形成过多的 Al_2O_3 夹杂，并且连铸浇注是容易堵塞浇注水口。本发明限定Al含量为0.015~0.040%。

[0021] 钼：钼是本发明的主要合金元素，钼在钢中可固溶于铁素体中，起到固溶强化作用，还可以与碳形成碳化物，发挥析出强化作用，提高钢的强度。此外钼显著增加钢的淬透性及淬硬性，细化显微组织，并能显著改善钢的韧性。本发明限定Mo含量为0.10~0.30%。

[0022] 钛：钛是本发明重要的微合金元素，钛在高温时形成TiN析出相有效细化奥氏体晶粒，在低温时形成TiC析出相，比较容易得到细小、弥散的析出相，能够有效提高强度，极少量的Ti就能得到明显的强化效果。Ti加入量过多，对钢板的冲击韧性不利，尤其在折弯时易产生开裂。本发明限定Ti含量为0.06~0.12%。

[0023] 氮：氮含量过高会严重恶化材料的塑性和韧性，特别是对于Ti微合金化高强钢，由于N与Ti在高温下结合生产较大尺寸的TiN，一方面对材料的韧性产生影响，另一方面会降低钢种与C结合生产细小TiC的有效钛含量，从而导致强度降低。鉴于N对韧性的不利影响，本发明限定 $N \leq 0.0040\%$ 。

[0024] 一种屈服强度700MPa级高韧性热轧钢板的制造方法，该方法包括：

[0025] 钢水经连铸得到连铸板坯，其中所述钢水化学成分的重量百分比为：C:0.06~0.10%， $Si \leq 0.10\%$ ，Mn:1.20~1.80%， $P \leq 0.012\%$ ， $S \leq 0.006\%$ ， $N \leq 0.0040\%$ ，Al:0.015~0.040%，Mo:0.10~0.30%，Ti:0.06~0.12%，余量为铁和不可避免夹杂；

[0026] 连铸板坯于1230~1270℃，加热150~240min后进行热轧，所述的热轧为两段式轧制工艺，粗轧为6道次连轧，在奥氏体再结晶温度以上轧制，粗轧结束温度为1050~1100℃；中间坯厚度为34~55mm，精轧为7道次连轧，精轧入口温度为1020~1060℃，精轧结束温度为810~880℃；精轧后，控制钢板厚度为1.5~14.0mm，层流冷却采用前段冷却，层流冷却速度为50~100℃/s，卷取温度为520~600℃时卷取得热轧钢卷。

[0027] 本发明采取的热轧工艺制度的理由如下：

[0028] 1、连铸板坯加热温度和加热时间的设定

[0029] 连铸板坯加热温度和时间的设定在于保证连铸坯中粗大的TiN、TiC等颗粒的溶解，由于存在一定量的Ti，连铸板坯冷却过程中会析出TiN、TiC等颗粒。板坯加热过程中，需要将粗大的TiN、TiC等粒子充分溶解，保证在轧后的冷却过程能够析出足够数量的、弥散的、细小的TiC等粒子，有效发挥Ti的析出强化效果，因此加热温度对于本发明技术方案非常重要，温度过低或加热时间过短，连铸板坯中原始粗大的TiN、TiC等粒子不能充分溶解，而温度过高，加热时间过长，板坯原始组织粗大、加上表面氧化脱碳严重，不利于钢板最终性能和表面质量，同时也消耗能源。本发明设定连铸板坯加热温度为1240~1270℃，加热时间为150~240min。

[0030] 2、粗轧结束温度设定

[0031] 粗轧轧制过程控制在奥氏体再结晶温度以上轧制，确保得到均匀细小的奥氏体晶粒。因此本发明设定粗轧结束温度为1050~1100℃。

[0032] 3、中间坯厚度和精轧入口温度设定

[0033] 为了获得良好的冲击韧性,尤其对于厚度 $\geq 8\text{mm}$ 的热连轧钢板,需要控制精轧阶段的有效压下率。有效压下率为精轧阶段发生在奥氏体未再结晶区温度区间变形的压下率,其与精轧入口中间坯厚度和温度有关。因此本发明设定中间坯厚度为 $34\sim 55\text{mm}$,精轧入口温度为 $1020\sim 1060^\circ\text{C}$ 。

[0034] 4、精轧结束温度设定

[0035] 终轧温度设定有两方面的作用,一方面通过奥氏体未再结晶区轧制,得到内部有变形带的扁平状奥氏体晶粒,在随后的层流冷却过程中转变成细小的铁素体晶粒,发挥细晶强化的作用。另一方面,精轧温度设定还要防止TiC等粒子大部分提前在变形奥氏体内析出,造成在铁素体中再析出减少,无法发挥析出强化的作用。为了保证厚规格低温韧性,本发明设定精轧终轧温度与热连轧钢板最终成品厚度相关,。因此本发明设定精轧结束温度为 $810^\circ\text{C}\sim 880^\circ\text{C}$ 。

[0036] 5、层流冷却速度设定

[0037] 本发明设定的精轧后的层流冷却速度非常关键,采用快的冷却速度来抑制铁素体晶粒的长大和TiC在高温阶段的析出。快速冷却使得在较低温度下的铁素体内析出细小弥散的TiC等粒子成为可能。冷却速度过慢,无法抑制TiC在高温变形奥氏体中的提前析出;冷却过快,会对对钢板韧性不利,也会对板形带来很大影响。本发明层流冷却采用前段冷却方式,冷却速度为 $50\sim 100^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

[0038] 6、卷取温度设定

[0039] 卷取温度主要影响带钢的组织 and 性能。卷取温度过高或过低,都不利于TiC等粒子的析出,不能较好的发挥析出强化效果。综合考虑,本发明设定热轧卷取温度为 $520\sim 600^\circ\text{C}$ 。

[0040] 本发明方法生产的屈服强度 700MPa 级高韧性热轧钢板的金相组织为细晶粒铁素体和极少量的珠光体,所述组织中铁素体的晶粒度为 $10\sim 13$ 级, $1.5\text{mm}\sim 14.0\text{mm}$ 厚热轧钢板的上屈服强度 $R_{eH}\geq 700\text{MPa}$,抗拉强度 $R_m\geq 750\text{MPa}$,断后伸长率 $A\geq 18\%$, -40°C 冲击功值 $A_{kv}\geq 120\text{J}$, 180° 弯曲试验, $d=a$ 合格。

[0041] 本发明相比现有技术具有如下积极效果:1、本发明采用低碳、高Mn、Mo、Ti微合金化成分设计,未添加昂Cr、Ni、Nb、V、B等合金元素,获得的钢板具有较低的碳当量;根据不同厚度等级设计的中间坯厚度、终轧和卷取温度,充分利用控轧控制工艺,发挥细晶强化和析出强化作用;生产的热轧钢板具备良好加工与焊接性能,制造成本低。2、本发明得到的屈服强度 700MPa 级热轧钢板具有优异的冲击韧性, $1.5\sim 14.0\text{mm}$ 厚热轧钢板的 -40°C 冲击功值 $A_{kv}\geq 120\text{J}$; 180° 弯曲试验, $d=a$ 合格。

附图说明

[0042] 附图1是本发明实施例4热轧钢板的金相组织照片。

具体实施方式

[0043] 下面结合实施例1~5对本发明做进一步说明,如表1~表3所示。

[0044] 表1为本发明实施例钢的化学成分(按重量百分比计),余量为铁及不可避免杂质。

[0045] 表1本发明实施例钢的化学成分,单位:重量百分比。

元素	C	Si	Mn	Ti	Mo	P	S	Al	N
本发明	0.06 -0.10	≤0.1	1.20 -1.80	0.06 -0.12	0.10-0.3 0	≤0.012	≤0.006	0.015-0. 040	≤0.004
实施例 1	0.063	0.05	1.63	0.08	0.15	0.008	0.004	0.035	0.0033
实施例 2	0.075	0.03	1.72	0.1	0.20	0.006	0.005	0.030	0.0030
实施例 3	0.087	0.05	1.70	0.09	0.17	0.01	0.003	0.026	0.0027
实施例 4	0.072	0.06	1.6	0.08	0.16	0.006	0.003	0.033	0.0025
实施例 5	0.08	0.04	1.75	0.09	0.15	0.009	0.004	0.030	0.0024

[0047] 通过转炉熔炼,并经LF钢包精炼炉精炼工序吹Ar处理和RH炉进行真空循环脱气处理,以及成分微调,得到符合成分要求的钢水,通过连铸得到连铸板坯。连铸板坯厚度为210~230mm,宽度为900~1600mm,长度为8000~11700mm(长坯),或者4700~5300mm(短坯)。

[0048] 炼钢生产的定尺板坯送至加热炉进行加热,出炉除鳞后送至热连轧机组进行轧制。通过粗轧和精轧连轧机组控制轧制,经层流冷却后进行卷取,层流冷却采取前段冷却,产出合格热轧钢卷。热轧钢板的厚度为1.5~14.0mm。热轧工艺控制参数见表2。

[0049] 表2本发明实施例热轧工艺控制参数

热轧参数	板坯加热温度/°C	加热时间/min	粗轧结束温度/°C	中间坯厚度/mm	精轧入口温度/°C	精轧结束温度/°C	层流冷却速度/°C/s	卷取温度/°C
本发明	1230~1270	150~240	1050~1100	34-55	1020-1060	810-880	50~100	520~600
实施例 1	1253	215	1076	34	?	872	83	580
实施例 2	1261	180	1080	40	?	862	73	572
实施例 3	1247	158	1088	45	1041	855	75	566
实施例 4	1255	232	1082	50	1025	824	61	562
实施例 5	1260	220	1060	50	1020	815	45	545

[0051] 利用上述方法得到的热轧钢板,参见图1,热轧钢板的金相组织为细晶粒铁素体和极少量的珠光体,所述组织中铁素体的晶粒度为10~13级,1.5~14.0mm厚热轧钢板的上屈服强度 $R_{eH} \geq 700\text{MPa}$,抗拉强度 $R_m \geq 750\text{MPa}$,断后伸长率 $A \geq 18\%$, -40°C 冲击功值 $A_{kv} \geq 120\text{J}$, 180° 弯曲试验, $d=a$ 合格。

[0052] 将本发明得到的热轧钢板进行取样,拉伸、弯曲试验取横向试样,冲击试验取纵向试样,按照《GB/T228.1-2010金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》进行拉伸试验;按照《GB/T 232-2010《金属材料弯曲试验方法》进行弯曲试验;按照《GB/T 229-2007金属材料夏比摆锤冲击试验方法》进行冲击试验,其力学性能见表3。

[0053] 表3本发明实施例热轧钢板的力学性能

性能指标	钢板厚度/mm	上屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率A/%	180°弯曲试验, d=a	-40℃冲击功值Akv/J
[0054] 实施例1	1.5	817	850	20.7	合格	—
实施例2	5.0	788	832	23	合格	—
实施例3	8.0	737	830	21	合格	256
实施例4	12.0	722	785	20	合格	242
实施例5	14.0	710	780	25	合格	192

[0055] 由表3可见,本发明得到的热轧钢板具有高强度、高韧性的优点,同时具有良好冷弯成型性。

[0056] 除上述实施例外,本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案,均落在本发明要求的保护范围。



图1