



(21) 申请号 202210322871.X

(22) 申请日 2022.03.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114686762 A

(43) 申请公布日 2022.07.01

(73) 专利权人 鞍钢股份有限公司

地址 114000 辽宁省鞍山市铁西区环钢路1号

(72) 发明人 高磊 王尊呈 李庆贤 杨哲懿

王帅 马小军 景鹤 曲帅

刘志伟 邢津铭

(74) 专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所

(普通合伙) 21224

专利代理师 白楠

(51) Int.Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/22 (2006.01)

G22C 38/26 (2006.01)

G22C 38/28 (2006.01)

G22C 38/32 (2006.01)

G21D 1/18 (2006.01)

G21D 1/42 (2006.01)

G21D 6/00 (2006.01)

G21D 8/02 (2006.01)

B23P 15/00 (2006.01)

审查员 王心怡

权利要求书1页 说明书8页

(54) 发明名称

布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法

(57) 摘要

本发明涉及布氏硬度500HBW钢板的生产方法,尤其涉及布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法。厚度 $\leq 10\text{mm}$,由如下重量百分含量的化学元素组成:C:0.21~0.26%,Si:0.60~0.80%,Mn:0.90~1.30%, $P\leq 0.015\%$, $S\leq 0.003\%$,Al:0.10~0.13%,Cr:0.70~0.90%,B:0.0010~0.0025%, $N\leq 0.0040\%$, $H\leq 0.00020\%$,Nb:0.020~0.040%,Ti:0.020~0.050%,Mo:0.20~0.50%,并满足 $Ti/N\geq 5$, $Ceq\leq 0.68$,其中 $Ceq=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15$,其余为Fe和不可避免杂质。本发明采用经济的C-Mn成分设计,辅以少量的Nb、Ti、Mo微合金元素,不需要加入Ni等贵重合金元素,淬火加热升温过程采取中频快速加热,进一步降低微合金元素加入,实现了钢种的高强度、高硬度、良好的低温冲击韧性和冷弯加工性能,并且钢板具有优良的板形。

1. 一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法,其特征在于, $2\text{mm} \leq$ 钢板厚度 $\leq 10\text{mm}$, 由如下重量百分含量的化学元素组成:

C: $0.24\% \sim 0.26\%$, Si: $0.74\% \sim 0.80\%$, Mn: $0.90\% \sim 1.30\%$, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$, Al: $0.10\% \sim 0.13\%$, Cr: $0.73\% \sim 0.90\%$, B: $0.0010\% \sim 0.0025\%$, $N \leq 0.0040\%$, $H \leq 0.00020\%$, Nb: $0.020\% \sim 0.040\%$, Ti: $0.020\% \sim 0.050\%$, Mo: $0.22\% \sim 0.50\%$, 并满足 $Ti/N \geq 5$, $C_{eq} \leq 0.68$, 其中 $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$, 其余为Fe和不可避免杂质;

具体包括:

1) 冶炼、铸造

按上述成分冶炼、铸造成坯;

2) 板坯再加热

板坯热装入炉, 装炉温度 $\geq 500^\circ\text{C}$, 加热温度 $1220 \sim 1270^\circ\text{C}$, 保温时间 $2.5 \sim 4\text{h}$, 其中均热保温时间不小于 45min ;

3) 控制轧制

轧制分为粗轧和精轧两个阶段, 粗轧阶段采用大压下量轧制, 控制道次压下率在 20% 以上或道次压下量 45mm 以上, 同时要求中间坯与成品的厚度比 ≥ 5 , 并控制精轧最后一道次压下率不低于 12% ; 终轧温度控制在 $900 \sim 950^\circ\text{C}$;

4) 卷取

卷取温度控制在 $700 \sim 750^\circ\text{C}$ 之间;

5) 热处理采用整卷连续热处理方式, 淬火 $\rightarrow$ 回火 $\rightarrow$ 矫直 $\rightarrow$ 切板;

淬火: 加热温度控制在钢种 A_{c3} 点以上 $55 \sim 100^\circ\text{C}$, 加热温度 $900 \sim 930^\circ\text{C}$; 钢带首先采用中频感应以 $5 \sim 20\text{Hz}$ 的频率加热到 $650 \sim 700^\circ\text{C}$, 然后采用电阻炉加热到淬火温度并保温; 钢带出炉后直接水淬至室温, 形成马氏体组织, 冷速 $\geq 40^\circ\text{C/s}$;

回火: 钢带淬火后随即进入回火炉, 在 $190 \sim 230^\circ\text{C}$ 进行回火处理并保温;

矫直: 钢板的不平度控制在 $\leq 4\text{mm/m}$;

切板: 钢板的对角线切斜不超过 10mm ;

淬火保温时间为 T_1 , $T_1 = \text{钢板厚度} \times (3.0 \sim 3.5) \text{min}$, 钢板厚度单位为 mm , T_1 单位为 min ;

回火保温时间为 T_2 , $T_2 = \text{钢板厚度} \times (5.0 \sim 5.5) \text{min}$, 钢板厚度单位为 mm , T_2 单位为 min 。

布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及布氏硬度500HBW钢板的生产方法,尤其涉及布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法。

背景技术

[0002] 在绿色制造、低碳环保的大背景下,国内工程机械、商用车等行业越来越重视以高强减重、绿色长寿为方向的产品结构升级,对钢铁材料提出了更高强、更耐磨、更耐蚀等要求。

[0003] 近年来我国在高强钢研发生产方面进展明显,工程机械用户开始采用屈服960MPa以上的超高强结构钢制造起重机吊臂和泵车布料杆。自卸车用户开始使用屈服强度700Mpa甚至1000Mpa级以上钢板替代345MPa级别产品。但在冶金、矿山、建材、运输等领域中,许多工件及设备由于磨损而迅速失效,造成材料、能源的巨大浪费,需要钢板还具备高硬度、高耐磨性,降低钢板磨损,延长钢板使用寿命。

[0004] CN102943212A公开了《一种NM500高强度耐磨钢板及其热处理工艺》,其化学成分组成为C0.25~0.28%,Mn0.80~1.20%,Si0.20~0.40%,S≤0.010%,P≤0.020%,Cr0.45~0.70%,Mo0.10~0.30%,Ti0.010~0.030%,B0.0010~0.0030%,Als0.015~0.045%,Nb0.015~0.050%,其余为Fe和不可避免的杂质。淬火温度偏低,会影响钢板的淬透性,影响产品的硬度。

[0005] CN105385951A公开了《兼具高硬度高韧性的NM500耐磨钢板及其生产方法》,其化学成分组成为C0.25-0.30%、Si0.10-0.30%、Mn0.10-0.60%、P≤0.015%,S≤0.005%、Als0.020-0.035%、Ti0.010-0.020%、Cr0.5-1.0%、Mo0.2-0.5%、Ni0.3-0.5%,其余为Fe和不可避免的杂质;热处理包括淬火和回火,淬火温度为880-910℃,淬火保温时间为15-25分钟,回火温度为220-290℃,回火保温时间为25-40分钟;此技术添加了Ni等贵合金元素,成本较高。

[0006] CN102943212A公开了《一种NM500高强度耐磨钢板及其热处理工艺》,其化学成分组成为C0.25~0.28%,Mn0.80~1.20%,Si0.20~0.40%,S≤0.010%,P≤0.020%,Cr0.45~0.70%,Mo0.10~0.30%,Ti0.010~0.030%,B0.0010~0.0030%,Als0.015~0.045%,Nb0.015~0.050%,其余为Fe和不可避免的杂质。淬火温度偏低,会影响钢板的淬透性,影响产品的硬度。

发明内容

[0007] 为了克服现有技术的不足,提供一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法,按照本发明钢的化学成分及生产工艺要求生产的产品具有高强度、高韧性、低成本,且布氏硬度500HBW,同时具有良好耐磨性。

[0008] 为了达到上述目的,本发明采用以下技术方案实现:

[0009] 一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板,厚度≤10mm,由如下重量百分

含量的化学元素组成:

[0010] C:0.21%~0.26%, Si:0.60%~0.80%, Mn:0.90%~1.30%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.003\%$, Al:0.10%~0.13%, Cr:0.70%~0.90%, B:0.0010%~0.0025%, $N \leq 0.0040\%$, $H \leq 0.00020\%$, Nb:0.020%~0.040%, Ti:0.020%~0.050%, Mo:0.20%~0.50%, 并满足 $Ti/N \geq 5$, $Ceq \leq 0.68$, 其中 $Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$, 其余为Fe和不可避免杂质。

[0011] 一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法,具体包括:

[0012] 1) 冶炼、铸造

[0013] 按上述成分冶炼、铸造成坯;

[0014] 2) 板坯再加热

[0015] 板坯热装入炉,装炉温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$,加热温度 $1220 \sim 1270^{\circ}\text{C}$,保温时间 $2.5 \sim 4\text{h}$,其中均热保温时间不小于 45min ;

[0016] 3) 控制轧制

[0017] 轧制分为粗轧和精轧两个阶段,粗轧阶段采用大压下量轧制,控制道次压下率在20%以上或道次压下量 45mm 以上,同时要求中间坯与成品的厚度比 ≥ 5 ,并控制精轧最后一道次压下率不低于12%;终轧温度控制在 $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$;

[0018] 4) 卷取

[0019] 卷取温度控制在 $700 \sim 750^{\circ}\text{C}$ 之间;

[0020] 5) 热处理采用整卷连续热处理方式,淬火→回火→矫直→切板;

[0021] 淬火:加热温度控制在钢种 A_{c3} 点以上 $55 \sim 100^{\circ}\text{C}$,加热温度 $900 \sim 930^{\circ}\text{C}$;钢带首先采用中频感应以 $5 \sim 20\text{Hz}$ 的频率加热到 $650 \sim 700^{\circ}\text{C}$,热后采用电阻炉加热到淬火温度并保温;淬火保温时间为 T_1 , $T_1 = \text{钢板厚度} \times (3.0 \sim 3.5)\text{min}$,钢板厚度单位为 mm , T_1 单位为 min ;带出炉后直接水淬至室温,形成马氏体组织,要求冷速 $\geq 40^{\circ}\text{C/s}$;

[0022] 回火:钢带淬火后随即进入回火炉,在 $190 \sim 230^{\circ}\text{C}$ 进行回火处理并保温;回火保温时间为 T_2 , $T_2 = \text{钢板厚度} \times (5.0 \sim 5.5)\text{min}$,钢板厚度单位为 mm , T_2 单位为 min ;

[0023] 矫直:回火后采用强力矫直机对钢板进行矫直,保证钢板板形及不平度,钢板的不平度控制在 $\leq 4\text{mm/m}$;

[0024] 切板:钢板的对角线切斜不超过 10mm 。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0026] 采用本发明方法可以实现 $\leq 10\text{mm}$ 厚度高硬度高耐磨性钢板的生产,屈服强度在 1250MPa 以上,抗拉强度超过 1450MPa ,延伸率 $\geq 8\%$,硬度 $500 \pm 20\text{HBW}$, -40°C 冲击功值超过 20J 。

[0027] 本发明采用经济的C-Mn成分设计,辅以少量的Nb、Ti、Mo微合金元素,不需要加入Ni等贵重合金元素,淬火加热升温过程采取中频快速加热,进一步降低微合金元素加入,实现了钢种的高强度、高硬度、良好的低温冲击韧性和冷弯加工性能,并且钢板具有优良的板形。

具体实施方式

[0028] 本发明公开了一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板的生产方法。本

领域技术人员可以借鉴本文内容,适当改进工艺参数实现。特别需要指出的是,所有类似的替换和改动对本领域技术人员来说是显而易见的,它们都被视为包括在本发明。本发明的方法及应用已经通过较佳实施例进行了描述,相关人员明显能在不脱离本发明内容、精神和范围内对本文所述的方法和应用进行改动或适当变更与组合,来实现和应用本发明技术。

[0029] 一种布氏硬度500HBW高强度、高韧性热连轧薄钢板,厚度 $\leq 10\text{mm}$,由如下重量百分含量的化学元素组成:

[0030] C:0.21%~0.26%,Si:0.60%~0.80%,Mn:0.90%~1.30%, $P\leq 0.015\%$, $S\leq 0.003\%$,Al:0.10%~0.13%,Cr:0.70%~0.90%,B:0.0010%~0.0025%, $N\leq 0.0040\%$, $H\leq 0.00020\%$,Nb:0.020%~0.040%,Ti:0.020%~0.050%,Mo:0.20%~0.50%,并满足 $Ti/N\geq 5$, $Ceq\leq 0.68$,其中 $Ceq=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15$,其余为Fe和不可避免杂质。

[0031] 在本发明钢的成分设计中:

[0032] C:0.21-0.26%。碳可提高钢板的淬透性,具有强烈的固溶强化作用,显著提高高耐磨性的马氏体耐磨钢板的强度和硬度;适当含量的碳与钛结合形成TiC粒子,可显著改善耐磨性。C重量百分含量过高,形成的TiC粒子的体积分数过高,高耐磨性的马氏体耐磨钢板的延伸率、冲击功性能降低,焊接性能变差。

[0033] Si:0.60-0.80%。Si在钢种起固溶强化的作用,在金属材料中添加Si元素可以明显的提高材料的强度和硬度。Si还可以提高材料的抗回火性能,因此可以使材料在较高的温度下进行使用。

[0034] Mn:0.90-1.30%。在金属材料中添加Mn元素可以起到是扩大奥氏体区的作用,除此之外该元素还可以明显的提高钢的淬透性,因此,在相同的冷却速度下可以得到更多的马氏体组织。Mn含量的增多会加重钢的高温回火脆性以及热敏性。

[0035] $P:\leq 0.015\%$, $S\leq 0.003\%$ 。硫在钢中与锰等化合形成塑性夹杂物硫化锰,尤其对钢的横向塑性和韧性不利,因此硫的含量应尽可能地低。磷也是钢中的有害元素,严重损害钢板的塑性和韧性。对于本发明而言,硫和磷均是不可避免的杂质元素,应该越低越好。

[0036] Cr:0.70-0.90%。可以缩小奥氏体相区。由于铬原子与碳原子的结合能力突出,能与钢中的碳形成不同的碳化物。与此同时,铬有时可以将渗碳体中的一些铁原子进行置换,从而形成含铬原子的渗碳体。Cr还可以将钢的淬透性提高,这是因为该元素在渗碳体中的量要大于在固溶体中的量,因此在发生相变的时候Cr会必然的从渗碳体往固溶体中扩散,然而由于奥氏体晶间间隙小,扩散较为困难,而在扩散过程中Cr要与C原子进行结合,这就导致C元素扩散速度也将减慢,最终导致奥氏体分解时间延迟。

[0037] Al:0.10-0.13%。通常在炼钢过程中作为脱氧剂在钢中添加,微量的Al同时有利于细化晶粒,改善钢材的强韧性能。但过高的Al将使钢中铁素体脆性增加而导致钢韧性的降低。

[0038] B:0.0010-0.0025%。钢中固溶的B偏聚到奥氏体晶界处使界面能降低,阻碍了铁素体晶核的形成,从而延长先共析铁素体和上贝氏体转变的孕育期,而对下贝氏体和马氏体转变基本上没有什么影响,因而B在低合金耐磨钢的主要作用是极大地提高钢的淬透性。同时以微量B替代部分Ni、Cr和Mo等贵重合金元素,有利于节约合金成本。当B含量过高后,

奥氏体晶界上过量的固溶B与C结合,降低钢的淬透性和冲击韧性,钢的断裂方式也从解理断裂逐渐转变为沿晶断裂。

[0039] Ti:0.020-0.050%,Ti/N $\geq$ 5。是非常活泼的金属元素,与O、N和C等元素都有极强的亲和力。在熔炼过程中,Ti可以优先与N结合形成TiN,能够抑制BN的形成,保证B元素固溶于基体中。另外,在凝固过程中,析出的TiN能作为初生相 δ -铁素体的异质形核核心,并可降低铁素体与液相向奥氏体转变的包晶反应速率,阻碍随后的奥氏体枝晶长大,从而明显细化凝固组织。

[0040] Nb:0.020-0.040%。是强烈的碳氮化物形成元素,在钢中的作用与Ti类似,主要是通过形成细小稳定的MX型析出相,起到高温下抑制晶粒长大和低温下沉淀强化的微合金化作用。尤其是与控轧控冷等热变形技术相结合时,Nb微合金化的作用效果更加明显。另外,在低温回火过程中,Nb可以延迟碳化物的析出和残余奥氏体的分解,提高回火组织的稳定性。

[0041] Mo:0.20-0.50%。Mo促进珠光体和贝氏体转变线分离,显著的右移先共析铁素体和珠光体开始转变线,对贝氏体的开始转变线影响不大,有利于贝氏体组织的获得,提高贝氏体的淬透性。加入Mo,可以细化组织,提高韧性,促进钢的强韧性匹配。为了大幅度提升钢板的淬透性。

[0042] 一种布氏硬度500HBW高强度高韧性连轧薄钢板的生产方法,其包括如下步骤:

[0043] 1) 冶炼、铸造

[0044] 按上述成分冶炼、铸造成坯;

[0045] 2) 板坯再加热

[0046] 板坯需要热装入炉,装炉温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$,加热温度 $1220\sim 1270^{\circ}\text{C}$,保温时间 $2.5\text{h}\sim 4\text{h}$,其中均热保温时间不小于45min;

[0047] 3) 控制轧制

[0048] 轧制分为粗轧和精轧两个阶段,粗轧阶段采用大压下量轧制,控制道次压下率在20%以上或道次压下量45mm以上,同时要求中间坯与成品的厚度比 ≥ 5 ,并控制精轧最后一道次压下率不低于12%;终轧温度控制在 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$;

[0049] 4) 卷取

[0050] 卷取温度控制在 $700\sim 750^{\circ}\text{C}$ 之间;

[0051] 5) 热处理采用整卷连续热处理方式,淬火 $\rightarrow$ 回火 $\rightarrow$ 矫直 $\rightarrow$ 切板。

[0052] 淬火,加热温度控制在钢种Ac3点以上 $55^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$,加热温度 $900^{\circ}\text{C}\sim 930^{\circ}\text{C}$;钢带首先采用中频感应以10Hz的频率快速加热到 $650\sim 700^{\circ}\text{C}$,热后采用电阻炉加热到淬火温度并保温。保温时间 $T1_{\min} = \text{钢板厚度} \times (3.0\sim 3.5)\text{min}$,钢带出炉后直接水淬至室温,形成马氏体组织,要求冷速 $\geq 40^{\circ}\text{C/s}$;

[0053] 回火,钢带淬火后随即进入回火炉,在 $190\sim 230^{\circ}\text{C}$ 区间进行回火处理,回火保温时间 $T1_{\min} = \text{钢板厚度} \times (5.0\sim 5.5)\text{min}$ 。回火后钢板基体为回火马氏体组织,具有合适的硬度及良好的低温冲击韧性,同时改善冷弯性能。

[0054] 回火后线利用强力矫直机对钢板进行矫直,保证钢板板形及不平度,钢板的不平度控制在4mm/m,最后对钢板切板,要求钢板的对角线切斜不超过10mm。

[0055] 在本发明钢板的生产方法中:

[0056] 控制C、Mn等碳当量元素的最大加入量,使最大碳当量限制在0.68以内,使钢板具有一定的焊接性。

[0057] 板坯需要热装入炉,装炉温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$,一是铸坯放冷至常温后,发生开裂的倾向就会大幅增加,威胁生产安全,二是可以能够降低能源消耗。加热温度 $1220\sim 1270^{\circ}\text{C}$,保温时间 $2\text{h}\sim 4\text{h}$,其中均热保温时间不小于 45min ,是为保证铸坯烧均烧透,为轧制提供有力条件,但又不至于出现过烧情况而造成脱碳现象发生。轧制分为粗轧和精轧两个阶段,为获得细的原始奥氏体晶粒度,铸坯在粗轧阶段采用大压下量轧制,控制道次压下率在20%以上或道次压下量 45mm 以上。为获得细的晶粒度及良好的板形,同时要求中间坯与成品的厚度比 ≥ 5 ,并控制精轧最后一道次压下率不低于12%,以保证变形超过临界变形量,从而获得良好的板形及均匀的基体组织。

[0058] 由于本发明涉及钢种在轧后采用离线热处理,对铸坯的轧制温度无特别要求。但为了降低轧制载荷,所以采用尽量高的终轧温度,较高的卷取温度也是为了降低卷取机载荷和保证良好的卷形。

[0059] 热处理采用整卷连续热处理方式具有处理效率高的优点,并且在热处理过程中,钢带一直在机组中一直是带张力运行,可以有效的保证钢板在热处理过程中和热处理后具有良好的原始板形。钢板采用中频快速加热,一个是可以提高钢板的升温速度,二是可以有效的避免晶粒长大,从而获得细的原始奥氏体晶粒度,有效的提高钢板淬火厚度强度和硬度,起到节约合金的作用。

[0060] 淬火加热温度直接影响后续马氏体组织的粒度,进而影响钢板的韧性。加热温度过高容易使奥氏体晶粒粗化,淬火后马氏体组织粗大,韧性恶化;而加热温度偏低则导致奥氏体化不充分,淬火后无法获得完全马氏体组织,并且避免由于薄钢板降温速度快,出保温炉进入淬火机前温降快不能保证淬火温度。保温时间对淬火性能也有类似的规律,时间过长容易使得晶粒粗大,同时增加能耗,提高成本,时间过短则奥氏体化不充分,淬火后硬度、强度达不到要求。淬火,加热温度控制在钢种 Ac_3 点以上 $55^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$,加热温度 $880^{\circ}\text{C}\sim 930^{\circ}\text{C}$;钢带首先采用中频感应以 10Hz 的频率快速加热到 $650\sim 700^{\circ}\text{C}$,热后采用电阻炉加热到淬火温度并保温。保温时间 $T_{1,\text{min}} = \text{钢板厚度mm} \times (3.0\sim 3.5)\text{min}$,钢带出炉后直接水淬至室温,形成马氏体组织,要求冷速 $\geq 40^{\circ}\text{C/s}$;

[0061] 回火主要是减缓、消除淬火应力,改善韧性和韧性。较高的回火温度容易使得钢板的强度、硬度降低过多,无法满足设计要求,同时成本增加。所以应对钢板的回火工艺参数加以限定。本发明中对钢板在 $190\sim 230^{\circ}\text{C}$ 区间进行回火处理,回火保温时间 $T_{1,\text{min}} = \text{钢板厚度mm min}$ 。对淬火、回火的钢板进行冷矫直,保证钢板板形及不平度,钢板的不平度控制在 4mm/m ,最后对钢板切板,要求钢板的对角线切协不超过 10mm 。

[0062] 采用本发明方法可以实现 $\leq 10\text{mm}$ 厚度高硬度高耐磨性钢板的生产,屈服强度在 1250MPa 以上,抗拉强度超过 1450MPa ,延伸率 $\geq 8\%$,硬度 $500\pm 20\text{HBW}$, -40°C 冲击功值超过 20J 。

[0063] 实施例:

[0064] 本发明实施例的化学成分见表1;相应实施例的轧制工艺见表2;相应实施例的热处理工艺见表3;相应实施例的力学性能和钢板不平度见表4。

[0065] 表1本发明实施例的化学成分wt%

[0066]

	化学成分, wt%														
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	B	N	H	Mo	Nb	Ti	Ti/N	Ceq
实施例 1	0.26	0.77	0.91	0.011	0.001	0.120	0.90	0.0021	0.0030	0.00020	0.43	0.033	0.044	15	0.68
实施例 2	0.22	0.62	0.78	0.014	0.001	0.115	0.75	0.0013	0.0025	0.00015	0.50	0.032	0.048	19	0.60
实施例 3	0.25	0.80	1.00	0.010	0.002	0.100	0.76	0.0023	0.0016	0.00012	0.48	0.040	0.050	31	0.66
实施例 4	0.23	0.69	0.97	0.011	0.003	0.127	0.70	0.0025	0.0034	0.00010	0.33	0.025	0.038	11	0.60
实施例 5	0.24	0.74	0.86	0.015	0.002	0.124	0.73	0.0010	0.0040	0.00018	0.22	0.020	0.020	5	0.57
实施例 6	0.21	0.71	0.73	0.012	0.002	0.130	0.87	0.0017	0.0022	0.00016	0.27	0.027	0.025	11	0.56

[0067]

实施例 7	0.21	0.65	0.60	0.011	0.003	0.118	0.84	0.0014	0.0038	0.00013	0.37	0.038	0.046	12	0.55
实施例 8	0.22	0.60	0.66	0.013	0.001	0.106	0.80	0.0018	0.0029	0.00014	0.20	0.021	0.032	11	0.53

[0068]

表2本发明实施例的轧制工艺

	轧制工艺									
	厚度, mm	装炉温度, °C	加热温度, °C	保温时间, min	均热时间, min	粗轧道次压下率, %	中间坯与成品厚薄比, %	精轧最后一道次压下率, %	终轧温度, °C	卷取温度, °C
实施例 1	10	537	1220	2.5	48	20	6	16	850	735
实施例 2	5	642	1240	3	56	23	8	13	906	722
实施例 3	8	500	1229	2.7	45	21	5	12	859	750
实施例 4	7	538	1236	2.9	50	22	6	12	917	743
实施例 5	6	628	1249	3.5	52	21	7	15	926	718
实施例 6	4	671	1255	3.6	54	20	9	14	933	727
实施例 7	3	533	1264	4	56	22	11	14	950	700
实施例 8	2	651	1270	3.8	59	23	15	13	947	739

[0070]

表3本发明实施例的热处理工艺

[0071]

	热处理工艺						
	厚度, mm	淬火温 度, °C	中频加热温 度, °C	保温时间 T1,min	淬火冷却速 度, °C/s	回火温度, °C	回火保温时 间 T2, min
实施例 1	10	930	700	35	62	186	50
实施例 2	5	899	663	17	48	211	23
实施例 3	8	922	692	28	60	180	39
实施例 4	7	915	689	24	55	191	34

[0072]

实施例 5	6	903	650	20	50	203	28
实施例 6	4	894	672	13	47	215	18
实施例 7	3	887	660	10	43	230	14
实施例 8	2	880	696	6	40	227	9

[0073] 表4本发明实施例的力学性能和钢板不平度

[0074]

	性能结果					钢板不平 度, mm/m
	屈服强度, Mpa	抗拉强度, Mpa	延伸率, %	布氏硬度 HBW	—40℃冲击功	
实施例 1	1303	1491	11	496	36	1
实施例 2	1280	1476	10	480	38	2
实施例 3	1317	1514	12	517	46	1
实施例 4	1325	1538	10	500	43	2
实施例 5	1278	1480	9	492	29	3
实施例 6	1304	1507	9	485	30	4
实施例 7	1298	1495	8	506	32	2
实施例 8	1266	1474	7	520	25	4

[0075] 本发明采用经济的C-Mn成分设计,辅以少量的Nb、Ti、Mo微合金元素,不需要加入Ni等贵重合金元素,淬火加热升温过程采取中频快速加热,进一步降低微合金元素加入,实现了钢种的高强度、高硬度、良好的低温冲击韧性和冷弯加工性能,并且钢板具有优良的板形。

[0076] 采用本发明方法可以实现 $\leq 10\text{mm}$ 厚度高硬度高耐磨性钢板的生产,屈服强度在1250MPa以上,抗拉强度超过1450MPa,延伸率 $\geq 8\%$,硬度 $500 \pm 20\text{HBW}$, -40°C 冲击功值超过20J。

[0077] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。