



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102644030 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201210119441. 4

CN 102212762 A, 2011. 10. 12, 权利要求 2.

(22) 申请日 2012. 04. 23

CN 102345054 A, 2012. 02. 08, 权利要求 1、

具体实施例 2.

(73) 专利权人 武汉钢铁(集团)公司

CN 102304668 A, 2012. 01. 04, 全文.

地址 430080 湖北省武汉市武昌区友谊大道
999 号

审查员 马娜

(72) 发明人 李德发 王世森 熊玉彰 董汉雄
陆在学 熊涛 陈勇 余宏伟
易勋 洪君

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限
公司 42102

代理人 段姣姣

(51) Int. Cl.

C22C 38/38 (2006. 01)

C22C 38/32 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102162065 A, 2011. 08. 24, 摘要.

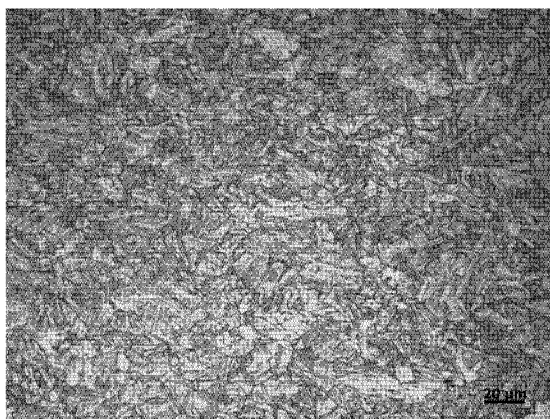
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢及其生
产方法

(57) 摘要

本发明涉及用于环境温度在 -60°C 的屈服
强度为 800MPa 级低温用钢及其生产方法。其
组分及重量百分比含量 :C : $0.04\sim 0.14\%$, Si :
 $0.20\sim 0.50\%$, Mn : $1.0\sim 1.80\%$, Al : $0.015\sim 0.05\%$,
P : $\leq 0.01\%$, S : $\leq 0.008\%$, Cr : $0.10\sim 0.50\%$, Ti :
 $0.01\sim 0.03\%$, Nb : $0.10\sim 0.50\%$, B : $0.0008\sim 0.0020$,
其余为 Fe 和微量杂质元素, 并满足 $P_{cm} = C + Si / 30$
 $+ (Mn + Cu + Cr) / 20 + Mo / 15 + Ni / 60 + V / 10 + 5B \leq 0.25\%$;
其生产步骤 : 冶炼并连铸成坯 ; 对铸坯加热 ; 在线
进行淬火 ; 自然冷却至室温 ; 进行回火 ; 待用。本
发明具有更优良的 -60°C 冲击功 $\geq 160\text{J}$ 的冲击韧
性, 工艺简单, 生产效率高, 性能更加优良。



1. 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢,其组分及重量百分比含量 :C :0.04%, Si : 0.37%, Mn :1.80%, Als :0.015%, P :0.01%, S :0.0078%, Cr :0.42 %, Ti :0.01%, Nb :0.026 %, B :0.0008%,其余为 Fe 和微量杂质元素,并满足 $P_{cm}=C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Mo/15+Ni/60+V/10+5B=0.167$;

生产步骤 :

1) 冶炼并连铸成坯,并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.5 级,其余杂质重量百分比含量控制在 : O :0.0024%, N :0.003%, H :0.0002% ;按常规喂入 Si-Ca 线,并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级,中心疏松在 0.5 级 ;

2) 对铸坯进行加热,加热温度控制在 1170~1180℃ ;

3) 进行分段轧制 :控制第一段开轧温度在 1072~1075℃,累计压下率为 55% ;控制第二段开轧温度在 890~895℃,末三道累计压下率为 35%,终轧温度在 840~845℃ ;

4) 在线进行淬火,开冷温度在 810~815℃,冷却速度控制在 15℃ / 秒,终冷温度在 295~299℃ ;并控制金相组织为贝氏体及马氏体,且贝氏体在 30% ;

5) 自然冷却至室温 ;

6) 进行回火,回火温度控制在 550~555℃ ;

7) 待用。

2. 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢,其组分及重量百分比含量 :C :0.063%, Si : 0.20%, Mn :1.720%, Als :0.026%, P : 0.009%, S :0.0075%, Cr :0.10 %, Ti :0.018%, Nb :0.010 %, B :0.00098%,其余为 Fe 和微量杂质元素,并满足 $P_{cm}=C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Mo/15+Ni/60+V/10+5B=0.166$;

生产步骤 :

1) 冶炼并连铸成坯,并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.5 级,其余杂质重量百分比含量控制在 : O :0.002%, N :0.0032%, H :0.00018% ;按常规喂入 Si-Ca 线,并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级,中心疏松在 0.5 级 ;

2) 对铸坯进行加热,加热温度控制在 1190~1200℃ ;

3) 进行分段轧制 :控制第一段开轧温度在 1095~1100℃,累计压下率为 57% ;控制第二段开轧温度在 900~905℃,末三道累计压下率为 33%,终轧温度在 860~865℃ ;

4) 在线进行淬火,开冷温度在 830~835℃,冷却速度控制在 17℃ / 秒,终冷温度在 290~295℃ ;并控制金相组织为贝氏体及马氏体,且贝氏体在 33% ;

5) 自然冷却至室温 ;

6) 进行回火,回火温度控制在 570~575℃ ;

7) 待用。

一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢及其生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低温环境设备的用钢及其生产方法,具体属于用于环境温度在 -60°C 的屈服强度为 800MPa 级低温用钢及其生产方法。

背景技术

[0002] 结构钢主要应用于原材料开采、能源开发、交通运输、农田水利建设、城乡建设等经济建设各个领域,已成为最为重要的结构材料。这些结构件承受的是复杂多变的周期载荷,某些情况下需要适应极端寒冷气候环境,从而对结构钢屈服强度和低温冲击韧性等基本指标提出了更高要求,同时包括焊接性能、冷成型性、耐磨性等方面。通过成分、轧制、热处理工艺的改进和创新,精确控制组织,从而获得更高的强韧性,兼顾其它性能要求。

[0003] 目前高强度高韧性结构钢板主要采用离线再加热淬火+高温回火的调质工艺生产,以获得强韧性优良的回火索氏体组织,不足之处在于能源消耗大、制造成本高、生产周期长,且在淬火工程中易出现裂纹和表面缺陷,降低了成材率。低碳贝氏体钢是国内外近年发展起来的高强度高韧性新钢种,钢板采用 TMCP 式生产,其优点在于生产工艺相对简化,但是对生产过程中各工艺参数,如加热温度、各阶段轧制温度、压下率及轧后冷却参数等均有较严格的要求,工艺控制困难,钢板性能不稳定,且目前低碳贝氏体钢屈服强度一般小于 600MPa,为提高强度级别需要大量加入贵重合金以增加固溶强化和析出强化作用,不仅成本大幅提高且对低温冲击韧性有很大损失,一般只能满足 -20°C 环境下设计要求。

[0004] CN101338400 提供了一种高强度低温用低碳贝氏体钢及其生产工艺,其成分重量百分比为:C:0.03~0.10%, Si:0.20~0.40%, Mn:1.00~1.80%, Nb:0.02~0.10%, Ti:0.01~0.03%, Ti:0.01~0.03%, Cr:0.05~0.50%, Mo:0.1~0.5%,其余为 Fe 和微量杂质元素。采用 TMCP+高温回火工艺生产。TMCP 工艺参数为:高温阶段轧制温度在 $1050\sim 1150^{\circ}\text{C}$,低温阶段轧制温度在 $800\sim 950^{\circ}\text{C}$,终轧温度 $800\sim 880^{\circ}\text{C}$;回火温度在 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。可生产屈服强度达 700MPa,且在 -40°C 的情况下能保持很高的冲击韧性。不足之处在于,化学成分同时添加了 Cr、Mo,成本相对较高;没有充分利用轧后冷却技术控制组织转变,导致强度和韧性指标不理想。

[0005] CN1786245 提供了一种高抗拉强度低碳贝氏体厚钢板及其生产方法,其化学成分含量为:C:0.052~0.08%, Si:0.10~0.50%, Mn:1.65~1.90%, Nb:0.015~0.060%, Ti:0.005~0.030%, B:0.0005~0.003%, Mo:0.25~0.50%, Ni:0.42~0.80%, Cu:0.62~0.85%, Al:0.015~0.050%,其余为 Fe 和微量杂质元素。采用 TMCP+RCP+T 工艺生产屈服强度大于 870MPa、抗拉强度 900MPa 级别以上的高强度、高韧性钢种。不足之处在于:化学成分中添加了大量的合金元素,用以促进贝氏体转变和增加强化作用,成本高;采用 TMCP+RCP+T 工艺比较复杂,增加了生产周期,不利于组织生产;性能方面强度级别较高,但是屈强比很高,用于工程机械存在安全隐患,另外冲击韧性只能达到 -20°C 水平。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于解决目前存在的采用 TMCP 工艺生产的低碳贝氏体钢屈服强度均小于 600MPa, 为提高强度级别需要大量加入贵重合金所存在的不足, 提供一种低成本、低能耗、短流程且能保证钢板屈服强度为 800MPa, 性能稳定性的生产工艺屈服强度为 800MPa 级低温用钢及其生产方法。

[0007] 实现上述目的的措施:

[0008] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢, 其组分及重量百分比含量: C: 0.04~0.14%, Si: 0.20~0.50%, Mn: 1.0~1.80%, Als: 0.015~0.05%, P: \leq 0.01%, S: \leq 0.008%, Cr: 0.10~0.50%, Ti: 0.01~0.03%, Nb: 0.10~0.50%, B: 0.0008~0.0020%, 其余为 Fe 和微量杂质元素, 并满足 $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5B \leq 0.25\%$ 。

[0009] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法, 其步骤:

[0010] 1) 冶炼并连铸成坯, 并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比不超过 1.5 级, 其余杂质重量百分比含量控制在: $0 \leq 0.0025\%$, $N \leq 0.0035\%$, $H \leq 0.0002\%$; 按常规喂入 Si-Ca 线, 并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级以下, 中心疏松在 0.5 级以下;

[0011] 2) 对铸坯进行加热, 加热温度控制在 1170~1220℃;

[0012] 3) 进行分段轧制: 控制第一段开轧温度不低于 1070℃, 累计压下率不低于 55%; 控制第二段开轧温度在 890~950℃, 末三道累计压下率不低于 35%, 终轧温度不低于 840℃;

[0013] 4) 在线进行淬火, 开冷温度不低于 810℃, 冷却速度控制在 15~20℃/秒, 终冷温度不超过 300℃; 并控制金相组织为贝氏体及马氏体, 且贝氏体不低于 30%;

[0014] 5) 自然冷却至室温;

[0015] 6) 进行回火, 回火温度控制在 550~650℃;

[0016] 7) 待用。

[0017] 本发明中各元素、主要工艺的作用及机理:

[0018] 在设计钢的合金成分时, 主要应考虑了以下两点: 即对普通合金元素 C、Mn、Cr 的成分最优化和微量添加元素 Nb、Ti、B 的有效利用, 其优点在于控制成本并满足钢种强度和低温韧性设计要求。

[0019] 普通合金元素降低了从奥氏体到铁素体的相变温度, Ar₃ 的降低扩大了奥氏体未再结晶加工区域, 有助于更有效的进行控制轧制。碳会降低焊接性能, 因此要尽可能降低碳的含量, 由此会引起 Ar₃ 的上升, 要依靠添加 Mn、Cr 等来控制。最佳合金成分设计应是尽可能同时降低 Ar₃ 和碳当量。Mn、Cr 具有较强的固溶强化作用, Cr 固溶对于韧性损失也较小。但 C、Mn、Cr 含量过高会导致焊接性能恶化以及冲击韧性大幅降低。综合考虑焊接性能和强韧性匹配, 设计了 C、Mn、Cr 的成分范围为: C: 0.04~0.14%, Mn: 1.0~1.80%, Cr: 0.10~0.50%。

[0020] 微量添加元素在控制轧制中对下述四个参数, 即加热时的奥氏体晶粒、对再结晶的抑制、相变行为和析出强化有很大的影响。加热时, 微细的合金析出物 Nb(CN)、TiN 等通过阻止晶界移动而细化晶粒, 并且, 微量的 TiN 析出物可以有效的控制再结晶后的晶粒成长。固溶在奥氏体中的 Nb、Ti 能很好的控制加工后的再结晶, 还能将再结晶温度提高 100℃ 以上。这一作用使一般程度的控制轧制在较高的温度也可以获得。固溶在奥氏体中的 Nb、Ti 在相变时或相变后作为极微细的碳化物、碳氮化物析出, 使强度升高。所以, 如上所述, 微量添加元素是控制轧制所不可缺少的成分。因此 Nb、Ti 的最低含量分别控制在 0.1%

和 0.01%。Nb、Ti 含量过高可能会导致析出相过分长大，析出强化作用将减弱且冲击韧性会恶化，因此控制 Nb、Ti 的最高含量分别控制在 0.3% 和 0.05%。

[0021] 为了提高淬透性向钢中加入微量的 B 元素。固溶的 B 向淬火前的奥氏体晶界处偏析，通过抑制铁素体相变，提高了淬透性。由于在奥氏体中 B 会以 BN 的形式析出而影响提高淬透性的效果，因此，还要通过添加 Al 或 Ti 来固定 N。其它合金元素尤其是碳氮化物生成元素等在奥氏体中均匀固溶，也有助于提高淬透性，并可提高在高温回火过程中的软化抗力。当 B 含量达到 0.0008% 时可明显提高淬透性，但是当 B 含量高于 0.002% 时淬透性下降，钢的韧性恶化，且会形成低熔点共晶体，集中于晶粒的边界，这将引起热脆性，增加热加工的困难。故本发明中将 B 的含量限定在 0.0008~0.0020%。

[0022] 钢中 S、P 是有害杂质元素，钢中 P、S 含量越低越好。当钢中 S 含量较多时，热轧时容易产生热脆等问题；而钢中 P 含量较多时，钢容易发生冷脆，此外，磷还容易发生偏析。

[0023] 在冶炼工序中之所以控制钢坯内部 A、B、C、D 类夹杂物总量不超过 1.5 级，其中不允许出现 A、B 两类夹杂，气体含量严格控制， $[O] \leq 0.0025\%$ 、 $[N] \leq 0.0035\%$ 、 $[H] \leq 0.0002\%$ ；中心偏析 C 类 1.5 级及以下，中心疏松 0.5 级及以下；在冶炼工艺中，喂入 CaSi 线使夹杂物钙化处理及采用心部质量控制的方法，以降低夹杂物对低温冲击韧性损害。

[0024] 控制轧制工艺和在线淬火工艺 (CR+DQ)，是本发明的关键技术，在于获得具有形变热处理效果的马氏体 / 贝氏体组织，同时控制奥氏体晶粒度及马氏体 / 贝氏体组织比例，以满足钢板强韧性要求。其优点在于相对再加热淬火缩短了工艺流程、降低能耗，同时能够获得比再加热淬火马氏体更加优良的钢板强韧性能。

[0025] 在线淬火工艺中，控制开冷温度采取不低于 810℃，终冷温度不超过 300℃，冷却速率为 15~20℃/s，就是为获得马氏体和贝氏体的混合组织，其中贝氏体组织约占 30%，以利用贝氏体对马氏体的分隔效应。优点在于与全马氏体组织相比具有更加细小的断裂面，进一步提高了韧性。与在加热淬火工艺相比热处理后的奥氏体相变成含有高密度位错的微细的马氏体和贝氏体，将会出现强度提高、韧性改善的过冷奥氏体形变热处理效果。

[0026] 本发明与国内外同等屈服强度级别钢种相比，具有更优良的低温冲击韧性 (-60℃ 冲击功 $\geq 160J$)，适用于制造在极端寒冷环境中工作的钢铁设备，扩大了产品应用领域，且从工艺角度弥补了传统低温用高韧性钢普遍添加 Ni 的局限，成本大幅降低；采用控制轧制 + 在线淬火 + 高温回火工艺 (CR+DQ+T)，相对同级别钢种普遍采用的调质工艺，流程简单，生产效率高，性能更加优良。

附图说明

[0027] 图 1 为直接淬火后的金相组织结构图

[0028] 图 2 为高温回火后的金相组织结构图。

具体实施方式

[0029] 下面对本发明予以详细描述：

[0030] 实施例 1

[0031] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢，其组分及重量百分比含量：C:0.04%，Si:

0.37%, Mn :1.80%, Als :0.015%, P :0.01%, S :0.0078%, Cr :0.42 %, Ti :0.01%, Nb :0.026 %, B :0.0008%, 其余为 Fe 和微量杂质元素, 并满足 $P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Mo / 15 + Ni / 60 + V / 10 + 5B = 0.164 \leq 0.25\%$ 。

[0032] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法, 其步骤:

[0033] 1) 冶炼并连铸成坯, 并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.5 级, 其余杂质重量百分比含量控制在: O :0.0024%, N :0.003%, H :0.0002%; 按常规喂入 Si-Ca 线, 并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级, 中心疏松在 0.5 级;

[0034] 2) 对铸坯进行加热, 加热温度控制在 1170~1180℃;

[0035] 3) 进行分段轧制: 控制第一段开轧温度在 1072~1075℃, 累计压下率为 55%; 控制第二段开轧温度在 890~895℃, 末三道累计压下率为 35%, 终轧温度在 840~845℃;

[0036] 4) 在线进行淬火, 开冷温度在 810~815℃, 冷却速度控制在 15℃ / 秒, 终冷温度在 295~299℃; 并控制金相组织为贝氏体及马氏体, 且贝氏体在 30%;

[0037] 5) 自然冷却至室温;

[0038] 6) 进行回火, 回火温度控制在 550~555℃;

[0039] 7) 待用。

[0040] 实施例 2

[0041] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢, 其组分及重量百分比含量: C :0.063%, Si :0.20%, Mn :1.720%, Als :0.026%, P :0.009%, S :0.0075%, Cr :0.10 %, Ti :0.018%, Nb :0.010 %, B :0.00098%, 其余为 Fe 和微量杂质元素, 并满足 $P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Mo / 15 + Ni / 60 + V / 10 + 5B = 0.161 \leq 0.25\%$ 。

[0042] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法, 其步骤:

[0043] 1) 冶炼并连铸成坯, 并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.5 级, 其余杂质重量百分比含量控制在: O :0.002%, N :0.0032%, H :0.00018%; 按常规喂入 Si-Ca 线, 并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级, 中心疏松在 0.5 级;

[0044] 2) 对铸坯进行加热, 加热温度控制在 1190~1200℃;

[0045] 3) 进行分段轧制: 控制第一段开轧温度在 1095~1100℃, 累计压下率为 57%; 控制第二段开轧温度在 900~905℃, 末三道累计压下率为 33%, 终轧温度在 860~865℃;

[0046] 4) 在线进行淬火, 开冷温度在 830~835℃, 冷却速度控制在 17℃ / 秒, 终冷温度在 290~295℃; 并控制金相组织为贝氏体及马氏体, 且贝氏体在 33%;

[0047] 5) 自然冷却至室温;

[0048] 6) 进行回火, 回火温度控制在 570~575℃;

[0049] 7) 待用。

[0050] 实施例 3

[0051] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢, 其组分及重量百分比含量: C :0.082%, Si :0.38%, Mn :1.45%, Als :0.026%, P :0.0089%, S :0.0073%, Cr :0.25 %, Ti :0.026%, Nb :0.031 %, B :0.0013%, 其余为 Fe 和微量杂质元素, 并满足 $P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Mo / 15 + Ni / 60 + V / 10 + 5B = 0.181 \leq 0.25\%$ 。

[0052] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法, 其步骤:

[0053] 1) 冶炼并连铸成坯, 并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.0 级, 其

余杂质重量百分比含量控制在：O:0.0015%，N:0.0031%，H:0.00015%；按常规喂入 Si-Ca 线，并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.0 级，中心疏松在 0.5 级；

[0054] 2) 对铸坯进行加热，加热温度控制在 1205~1215℃；

[0055] 3) 进行分段轧制：控制第一段开轧温度在 1090~1095℃，累计压下率为 59%；控制第二段开轧温度在 920~925℃，末三道累计压下率为 35%，终轧温度在 850~855℃；

[0056] 4) 在线进行淬火，开冷温度在 820~825℃，冷却速度控制在 19℃/秒，终冷温度在 280~285℃；并控制金相组织为贝氏体及马氏体，且贝氏体在 38%；

[0057] 5) 自然冷却至室温；

[0058] 6) 进行回火，回火温度控制在 590~595℃；

[0059] 7) 待用。

[0060] 实施例 4

[0061] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢，其组分及重量百分比含量：C:0.11%，Si:0.50%，Mn:1.3%，Als:0.05%，P:0.0091%，S:0.0075%，Cr:0.39%，Ti:0.03%，Nb:0.04%，B:0.0015%，其余为 Fe 和微量杂质元素，并满足 $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5B = 0.211 \leq 0.25\%$ 。

[0062] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法，其步骤：

[0063] 1) 冶炼并连铸成坯，并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.0 级，其余杂质重量百分比含量控制在：O:0.0019%，N:0.0029%，H:0.00016%；按常规喂入 Si-Ca 线，并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.0 级，中心疏松在 0.5 级；

[0064] 2) 对铸坯进行加热，加热温度控制在 1215~1220℃；

[0065] 3) 进行分段轧制：控制第一段开轧温度在 1100~1105℃，累计压下率为 60%；控制第二段开轧温度在 930~935℃，末三道累计压下率为 36%，终轧温度在 870~875℃；

[0066] 4) 在线进行淬火，开冷温度在 830~835℃，冷却速度控制在 20℃/秒，终冷温度在 285~290℃；并控制金相组织为贝氏体及马氏体，且贝氏体在 40%；

[0067] 5) 自然冷却至室温；

[0068] 6) 进行回火，回火温度控制在 610~615℃；

[0069] 7) 待用。

[0070] 实施例 5

[0071] 一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢，其组分及重量百分比含量：C:0.14%，Si:0.39%，Mn:1.0%，Als:0.045%，P:0.0094%，S:0.0076%，Cr:0.50%，Ti:0.018%，Nb:0.05%，B:0.002%，其余为 Fe 和微量杂质元素，并满足 $P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5B = 0.228 \leq 0.25\%$ 。

[0072] 生产一种屈服强度为 800MPa 级低温用钢的方法，其步骤：

[0073] 1) 冶炼并连铸成坯，并控制 A、B、C 及 D 类夹杂物含量总重量百分比为 1.0 级，其余杂质重量百分比含量控制在：O:0.0019%，N:0.003%，H:0.00013%；按常规喂入 Si-Ca 线，并控制铸坯中心偏析 C 类在 1.5 级，中心疏松在 0.5 级；

[0074] 2) 对铸坯进行加热，加热温度控制在 1215~1220℃；

[0075] 3) 进行分段轧制：控制第一段开轧温度在 1105~1110℃，累计压下率为 63%；控制第二段开轧温度在 945~950℃，末三道累计压下率为 35%，终轧温度在 865~870℃；

[0076] 4) 在线进行淬火, 开冷温度在 $825\sim 830^{\circ}\text{C}$, 冷却速度控制在 $18^{\circ}\text{C}/\text{秒}$, 终冷温度在 $265\sim 270^{\circ}\text{C}$; 并控制金相组织为贝氏体及马氏体, 且贝氏体在 38%;

[0077] 5) 自然冷却至室温;

[0078] 6) 进行回火, 回火温度控制在 $645\sim 650^{\circ}\text{C}$;

[0079] 7) 待用。

[0080] 表 1 为上述各实施例经检测后的力学性能情况列表。

[0081] 表 1 各实施例经检测后力学性能结果列表

[0082]

实施例	规格 /mm	R_{el}/MPa	R_m/MPa	A/%	-60°C 冲击功 /J	冷弯 $d=3a$
1	12	835	875	19.0	190	合格
2	20	805	860	18.0	175	合格
3	30	820	855	18.5	170	合格
4	35	805	875	19.0	175	合格
5	40	800	860	19.5	180	合格

[0083] 从表 1 中可看出, 本发明生产厚度规格范围为 $12\sim 40\text{mm}$ 的钢板, 其屈服强度均大于 800MPa , 且延伸率大于 18.0%, 尤其具有优良的冲击韧性, -60°C 冲击功大于 170J。从实例可以看出, 采用 TMCP+ 回火工艺生产的钢板性能稳定。

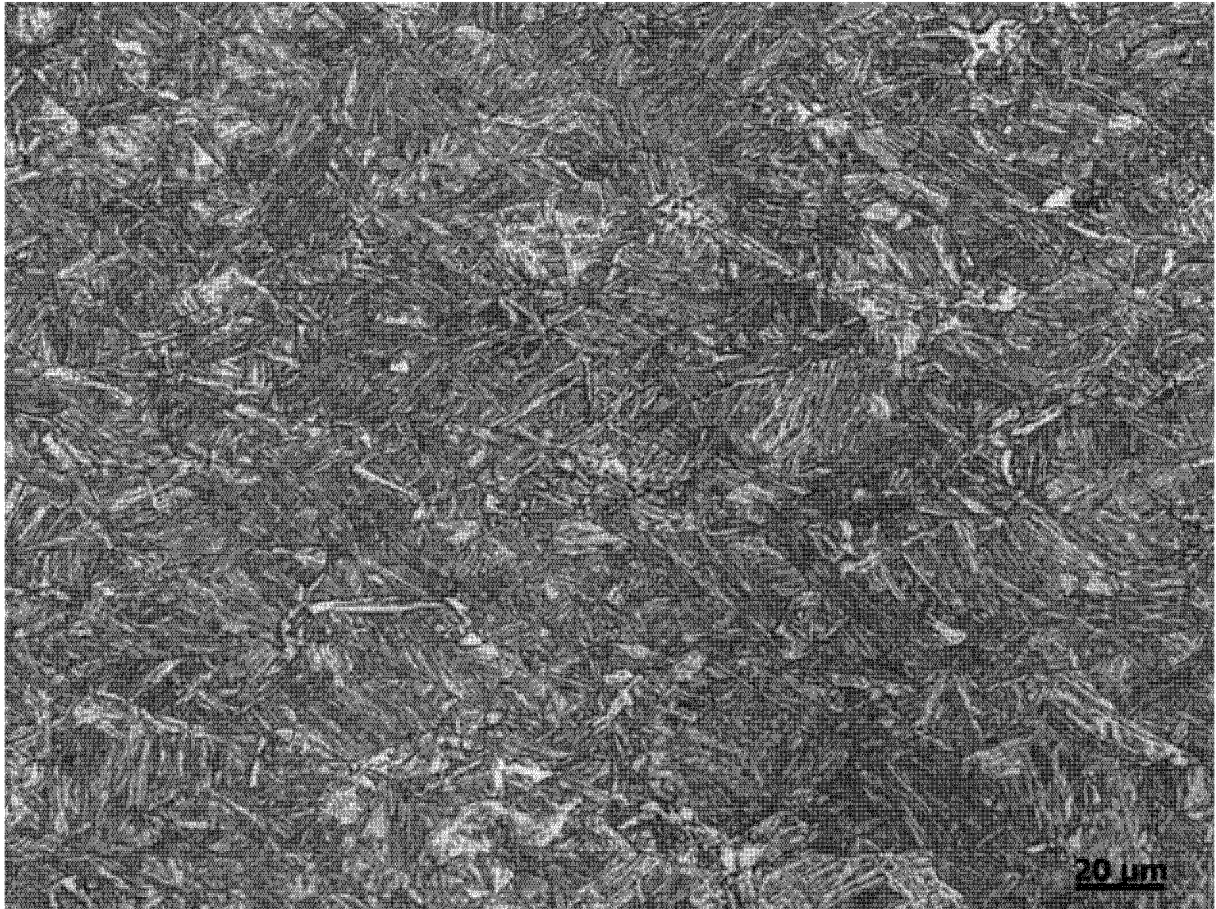


图 1

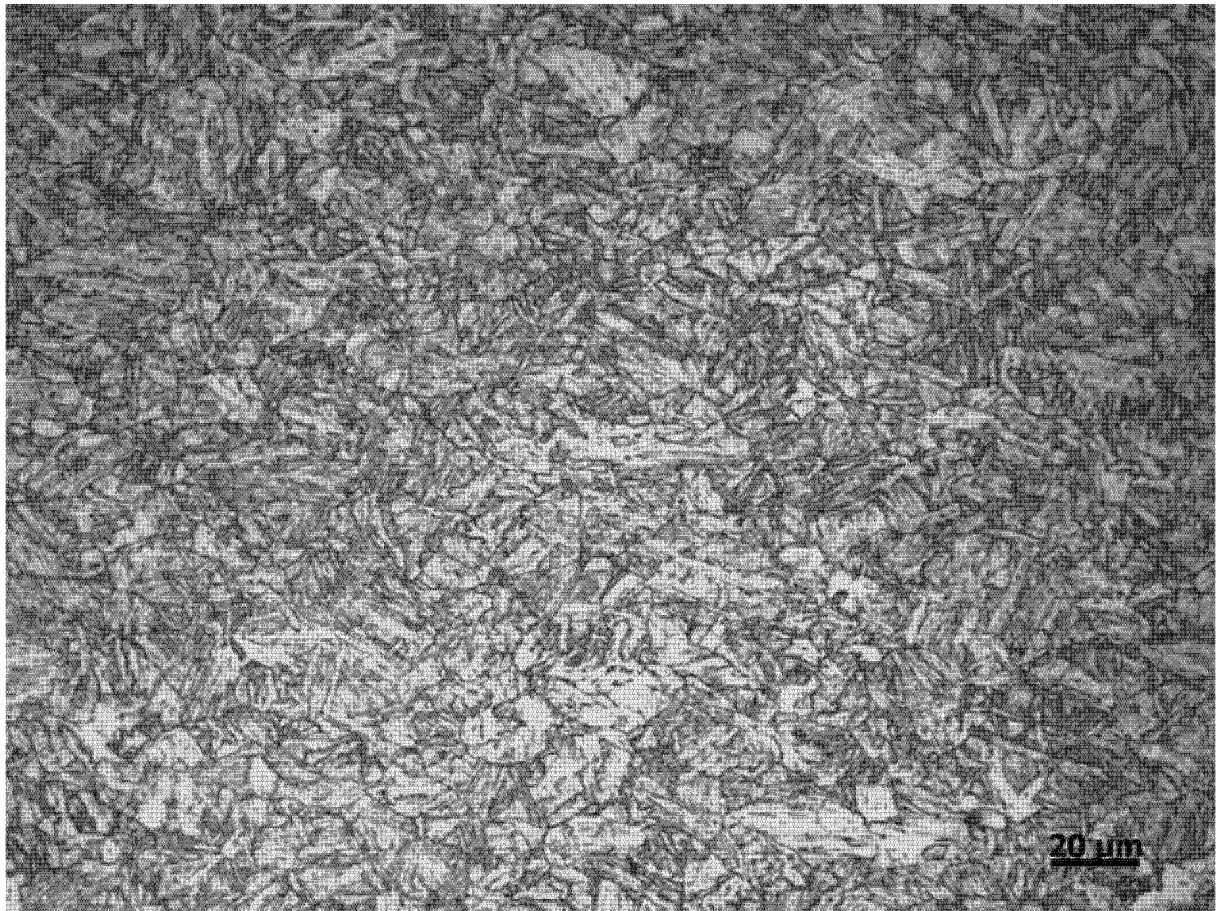


图 2