



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103233183 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 30

(21) 申请号 201310136229. 3

JP H07233437 A, 1995. 09. 05,

(22) 申请日 2013. 04. 18

JP 2002256380 A, 2002. 09. 11,

(73) 专利权人 南京钢铁股份有限公司

JP 2005256037 A, 2005. 09. 22,

地址 210035 江苏省南京市六合区卸甲甸

审查员 胡晓笑

(72) 发明人 车马俊 崔强 吴年春 尹雨群

雍岐龙 孙新军 李昭东 邓伟

李恒坤

(74) 专利代理机构 南京苏科专利代理有限责任

公司 32102

代理人 任立 姚姣阳

(51) Int. Cl.

C22C 38/54(2006. 01)

C22C 38/58(2006. 01)

C21D 8/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102618793 A, 2012. 08. 01,

CN 101935810 A, 2011. 01. 05,

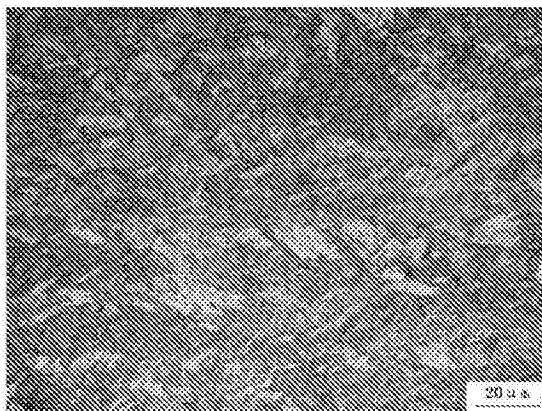
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板及其
制造方法

(57) 摘要

本发明是一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板及其制造方法, 其化学成分:C:0.06 ~ 0.11%, Si:0.10 ~ 0.50%, Mn:1.20 ~ 1.60%, P:<0.015%, S:<0.005%, Cr:0.20 ~ 0.50%, Ni:0.10 ~ 0.30%, Mo:0.10 ~ 0.30%, Nb:0.02 ~ 0.05%, V:0.02 ~ 0.06%, Ti:0.008 ~ 0.03%, B:0.0005 ~ 0.003%, Al:0.02 ~ 0.05%, 余为 Fe。通过两阶段控制轧制、直接淬火和回火, 获得细化的回火马氏体或下贝氏体组织, 克服了传统调质工艺流程长、能耗高、合金加入量大等不足, 而且钢板具有良好的韧性和冷弯性能。



2013.8

1. 一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板的制造方法, 所述的屈服强度 960MPa 级超高强度钢板的化学成分重百分比为 :

C : 0.06 ~ 0.11%, Si : 0.10 ~ 0.50%, Mn : 1.20 ~ 1.60%, P : < 0.015%, S : < 0.005%, Cr : 0.20 ~ 0.50%, Ni : 0.10 ~ 0.30%, Mo : 0.10 ~ 0.30%, Nb : 0.02 ~ 0.05%, V : 0.02 ~ 0.06%, Ti : 0.008 ~ 0.03%, B : 0.0005 ~ 0.003%, Al : 0.02 ~ 0.05%, 余为 Fe 和不可避免的杂质 ;

其特征在于 :

所述的屈服强度 960MPa 级超高强度钢板的制造方法包括以下步骤 :

(一) 采用转炉或电炉冶炼及炉外精炼, 钢水浇注成连铸坯 ;

(二) 将连铸坯装入加热炉中加热, 加热温度为 1150~1280℃, 时间为 1~5 小时 ; 在铸坯加热阶段, 控制奥氏体化温度, 高于微合金元素 Nb、V 的固溶温度但低于奥氏体发生反常晶粒长大温度, 获得细小均匀的原始奥氏体组织 ;

(三) 加热后进行两阶段轧制工艺, 粗轧终轧温度为 1050~1150℃ ; 精轧开轧温度 880~980℃, 终轧温度为 750~880℃ ; 轧后直接淬火冷却, 冷速为 15~35℃/s, 终冷温度 ≤ 350℃ ; 淬火冷却后对钢板进行矫直 ; 采用两阶段控轧工艺, 在粗轧阶段, 适当降低粗轧温度、提高道次压下量, 实施再结晶控轧, 通过反复再结晶细化奥氏体, 精轧阶段在奥氏体未再结晶温度以下变形, 获得薄饼状奥氏体, 该薄饼状奥氏体内含有大量缺陷, 增加了后续马氏体相变阻力, 有助于马氏体亚结构的细化 ; 在线淬火阶段, 冷却速度高于形成板条马氏体或板条贝氏体临界冷速, 终冷温度低于钢的板条马氏体或板条贝氏体转变开始温度, 以获得细小、高位错密度的板条马氏体或板条贝氏体组织 ;

(四) 对轧后钢板进行回火处理, 回火加热温度为 450~650℃, 保温时间 20~100min ; 对轧后钢板在热处理炉中进行回火, 回火过程中发生微合金碳氮化物在马氏体或贝氏体基体中的沉淀析出。

一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高强度钢板及其制造方法,具体的说是一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板及其制造方法。

背景技术

[0002] 屈服强度 960MPa 级超高强度钢板已广泛应用于工程机械结构件,对于提高设备效率、降低能耗和减少自重起到了重要作用,适应了工程机械不断向高参数化、大型化和轻型化方向发展的要求。目前 960MPa 级钢板的主流生产工艺为离线调质处理,即热轧后进行离线淬火和回火,为保证钢板的淬透性,即在钢板整个厚度截面获得均匀的马氏体组织,钢中通常需添加较多碳和其它合金元素,这不仅提高了合金化成本,而且对于钢板韧塑性和焊接性不利。例如,申请专利“屈服强度 960MPa 级焊接结构钢”(申请号 :200810197585.5)采用离线调质工艺,钢中加入了 0.4~0.6wt%Mo 和 0.14~0.19wt%C;申请专利“屈服强度 960MPa 以上低成本工艺操作窗口宽的超高强度钢板制造方法”(申请号 :201010246776.3)也采用离线调质工艺,钢中加入了 0.38~0.42wt%Cr、0.28~0.32wt%Ni、0.35~0.45wt%Mo、0.35~0.41wt%Cu、0.28~0.42wt%Ni 及 0.12~0.14wt%C。另外,离线调质工艺流程长,生产效率低、能耗高,这导致钢板成本进一步提高。近些年来,采用控制轧制和在线淬火工艺生产超高强度钢板得到了冶金企业的重视。该工艺能够充分利用控轧时奥氏体形变对淬火马氏体组织的细化作用来提高钢板强韧性,因而与传统调质板相比可以减少合金元素加入量。同时,在线淬火工艺无需重新加热淬火,生产流程短,能耗低,代表了高强度钢板生产技术的发展方向。申请专利“一种屈服强度 960MPa 级钢板及其制造方法”(申请号 :201210090873.7)采用了在线淬火和在线回火工艺,钢中碳含量和贵重合金含量较低,焊接碳当量较低,钢板低温韧性优异, -40℃ 冲击功可达 80J 以上。然而,该专利存在如下不足之处:一是在钢板淬火后需要采用在线感应加热回火,该工艺是采用电磁感应原理实现钢板在线快速加热,可以细化回火过程中析出的碳化物粒子,改善钢板韧性。但迄今为止全球只有日本 JFE 钢铁公司配备中厚板在线感应加热装置,国内钢厂尚不具备生产条件;(2)钢中 Mn 含量较高,达到 1.60~2.20wt%,而相关高强度钢板标准中规定 Mn 含量通常不高于 1.6wt.%。这是因为 Mn 属于易偏析合金元素,提高 Mn 含量将恶化铸坯中心偏析和微观偏析程度,加剧带状组织、中心脆性相的形成倾向,不利于钢板的韧性和塑性。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板及其制造方法,采用低碳和多元少量合金成分设计,通过控轧轧制和在线淬火工艺生产 960MPa 超高强度钢板,克服传统调质工艺流程长、能耗高、合金加入量大的技术问题。

[0004] 本发明解决以上技术问题的技术方案:

[0005] 一种屈服强度 960MPa 级超高强度钢板,其化学成分重百分比为:C:0.06~0.11%,Si:0.10~0.50%,Mn:1.20~1.60%,P:<0.015%,S:<0.005%,Cr:0.20~0.50%,

Ni :0.10 ~ 0.30%, Mo :0.10 ~ 0.30%, Nb :0.02 ~ 0.05%, V :0.02 ~ 0.06%, Ti :0.008 ~ 0.03%, B :0.0005 ~ 0.003%, Al :0.02 ~ 0.05%, 余为 Fe 和不可避免的杂质。

[0006] 本发明各元素的作用及配比依据如下：

[0007] 碳：具有显著的固溶强化作用，提高钢的淬透性，但碳对钢的冲击韧性尤其是上平台冲击功非常不利，还明显损害焊接性能，因此，本发明涉及的钢板采用低碳成分设计，碳含量范围为 0.06 ~ 0.11wt.%。

[0008] 硅：钢中脱氧元素之一，同时具有较强的固溶强化作用，但过量的 Si 将恶化钢的韧性及焊接性能，综合上述考虑，本发明钢硅含量范围为 0.10 ~ 0.50wt.%。

[0009] 锰：明显提高钢的淬透性，具有一定的固溶强化作用，但 Mn 含量过高时，其在铸坯中的偏析倾向增加，另外对焊接性能不利，基于上述原因，本发明钢 Mn 含量范围为：1.20~1.60wt.%。

[0010] 钼：显著提高钢的淬透性，抑制 P、S 等杂质元素在晶界的偏聚而降低回火脆性；回火过程中 Mo 还与微合金元素共同析出形成复合微合金碳氮化物，能够提高析出物的热稳定性，细化其尺寸，从而提高沉淀强化作用。Mo 含量太低时，上述作用效果不明显，超过 0.30wt.% 时，成本较高。因此，本发明钢 Mo 含量范围为 0.10~0.30wt.%。

[0011] 铌：轧制过程中固溶于奥氏体中的 Nb 和形变诱导析出碳氮化铌粒子显著提高奥氏体未再结晶温度，Nb 是获得薄饼状未再结晶奥氏体的最有效元素，固溶于奥氏体的 Nb 还能够提高淬透性，回火过程中沉淀析出的碳氮化铌粒子具有沉淀强化作用，Nb 含量应控制在 0.02~0.05wt.% 以内，低于 0.02wt.% 则上述作用不明显，高于 0.05wt.% 则上述作用达到饱和。

[0012] 钒：轧钢过程中 V 主要以固溶态存在于奥氏体中，具有一定的提高淬透性作用，回火过程中析出的碳氮化钒粒子还具有明显沉淀强化作用，根据本发明钢的强度水平和需要提供的沉淀强化增量，V 含量范围为 0.02 ~ 0.06wt.%。

[0013] 铬：提高钢的淬透性和耐大气腐蚀性能，但较高的 Cr 将降低焊接性能，应控制在 0.20 ~ 0.50wt.% 范围内。

[0014] 镍：提高钢的淬透性，改善低温韧性，提高钢的抗大气腐蚀性能，但其价格高，应控制在 0.10 ~ 0.30wt.% 范围内。

[0015] 硼：偏聚于奥氏体晶界及其它晶体缺陷处，加入微量 B 即可显著提高淬透性，但硼含量超过 0.003% 后上述作用饱和，而且还可能形成各种对热加工性能和韧性不利的含 B 析出相，因此硼含量应控制在 0.0005~0.003wt.% 范围内。

[0016] 钛：本发明钢中加入少量 Ti 是为了形成纳米级尺寸的 TiN 粒子，可以细化铸坯加热过程中奥氏体晶粒；Ti 含量应控制在 0.008~0.03wt.% 范围内，低于 0.008wt.% 所形成 TiN 数量较少，细化晶粒作用很小；Ti 含量较高将形成微米级尺寸的液析 TiN，不仅不能起到细化晶粒作用，而且对钢板韧性有害。

[0017] 铝：铝是强脱氧元素，还可与 N 结合形成 AlN，能够起到细化晶粒作用。

[0018] 磷和硫：钢中杂质元素，显著降低塑韧性和焊接性能，其含量应分别控制在 0.015wt.% 和 0.005wt.% 以内。

[0019] 屈服强度 960MPa 级超高强度钢板的制造方法，包括以下步骤：

[0020] (→)采用转炉或电炉冶炼及炉外精炼，钢水浇注成连铸坯；

- [0021] (二)将连铸坯装入加热炉中加热,加热温度为1150–1280℃,时间为1–5小时;
- [0022] (三)加热后进行两阶段轧制工艺,粗轧终轧温度为1050–1150℃;精轧开轧温度880–980℃,终轧温度为750–880℃;轧后直接淬火冷却,冷速为15–35℃/s,终冷温度≤350℃;淬火冷却后对钢板进行矫直;
- [0023] (四)对轧后钢板进行回火处理,回火加热温度为450–650℃,保温时间20–100min。
- [0024] 本发明在化学成分上,采用低碳和多元少量合金设计以降低钢板合金化成本和提高其韧性;在生产工艺上,采用高效、节能的控制轧制和在线淬火工艺,充分利用控轧轧制对奥氏体状态的调节作用,获得具有高缺陷密度的扁平化奥氏体,进而在后续直接淬火过程中获得细化的板条马氏体组织。控制轧制和在线淬火工艺控制原理如下:
- [0025] 在铸坯加热阶段,控制奥氏体化温度,高于微合金元素Nb、V的全固溶温度但低于奥氏体发生反常晶粒长大温度,获得细小均匀的原始奥氏体组织。采用两阶段控轧工艺,在粗轧阶段,适当降低粗轧温度、提高道次压下量,实施再结晶控轧,通过反复再结晶细化奥氏体;精轧阶段在奥氏体未再结晶温度(T_{nr})以下变形,获得薄饼状奥氏体,该薄饼状奥氏体内含有大量缺陷,增加了后续马氏体相变阻力,有助于马氏体亚结构的细化。在线淬火阶段,冷却速度要高于形成板条马氏体或板条贝氏体(下贝氏体)临界冷速,终冷温度低于钢的板条马氏体或板条贝氏体(下贝氏体)转变开始温度(M_s 或 B_s),以获得细小、高位错密度的板条马氏体或板条贝氏体(下贝氏体)组织。
- [0026] 对轧后钢板在热处理炉中进行回火,回火过程中发生微合金碳氮化物在马氏体或贝氏体基体中的沉淀析出。这些析出相一方面阻碍位错回复,使基体中位错密度保持在较高水平,另一方面起到沉淀强化作用,因此能够显著提高钢板的回火稳定性。
- [0027] 总之,本发明采用低碳和多元少量合金成分设计,通过控轧轧制和在线淬火工艺生产960MPa超高强度钢板,克服了传统调质工艺流程长、能耗高、合金加入量大等不足,而且所生产钢板具有良好的韧性和冷弯性能。

附图说明

- [0028] 图1是实施例1的光学微观组织图。
- [0029] 图2是实施例1的EBSD晶界图。

具体实施方式

- [0030] 实施例1–3
- [0031] 本发明涉及的960MPa级超强度钢板的化学成分如表1所示。按表1所示化学成分进行转炉冶炼和炉外精炼并浇注成连铸坯,将连铸坯加热后进行中厚板轧机轧制,轧后对钢板进行直接淬火。铸坯加热温度、粗轧终轧温度、精轧开轧温度、精轧终轧温度等主要工艺参数见表2。实施例钢板强度、–40℃冲击功、延伸率等性能指标在表3中列出。
- [0032] 表1本发明实施例1–3的960MPa级超强度钢的化学成分(wt.%)
- [0033]

实施例	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Mo	V	Ti	B	Al

1	0.06	0.45	1.60	0.011	0.004	0.50	0.10	0.02	0.3	0.055	0.008	0.0005	0.05
2	0.09	0.3	1.40	0.013	0.003	0.20	0.26	0.05	0.1	0.035	0.015	0.0018	0.04
3	0.11	0.2	1.20	0.012	0.002	0.35	0.35	0.04	0.2	0.025	0.025	0.0028	0.02

[0034] 表 2 本发明实施例 1-3 的 960MPa 级超高强度钢板的主要生产工艺参数

[0035]

实施例	加热温度(℃)	粗轧终轧温度(℃)	精轧开轧温度(℃)	精轧终轧温度(℃)	终冷温度(℃)	冷却速度(℃/s)	回火温度(℃)/保温时间(min)
1	1150	1060	920	830	340	18	450/100
2	1200	1070	940	850	220	20	550/50
3	1220	1075	960	860	150	23	650/20

[0036] 表 3 本发明实施例 1-3 的 960MPa 级超高强度钢板的力学性能

[0037]

实施例	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率, A5(%)	-40℃冲击功(J)	冷弯性能(180℃, d=4a)
1	985	1017	16.5	136	合格
2	980	1020	15.5	141	合格
3	1012	1044	13.5	125	合格

[0038] 由表 3 可以看出, 实施例 1-3 的力学性能远远优于标准对性能的要求, 屈服强度 ≥ 980 , 抗拉强度 ≥ 1020 , 延伸率 $\geq 13.5\%$, -40°C 冲击功 $\geq 125\text{J}$ 以上, 冷弯性能合格。具有生产工艺稳定、综合性能优良等特点。

[0039] 图 1-2 分别给出了实施例 1 钢的光学微观组织照片及背散射电子衍射(EBSD)取向成像晶界图, 可见钢板组织为回火马氏体, 马氏体内包含大量大角度界面, 为马氏体板条束界、板条块界及原奥氏体晶界。这些大角度界面能够阻碍位错的运动及解理裂纹的扩展, 对提高钢材强韧性起到重要作用。

[0040] 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

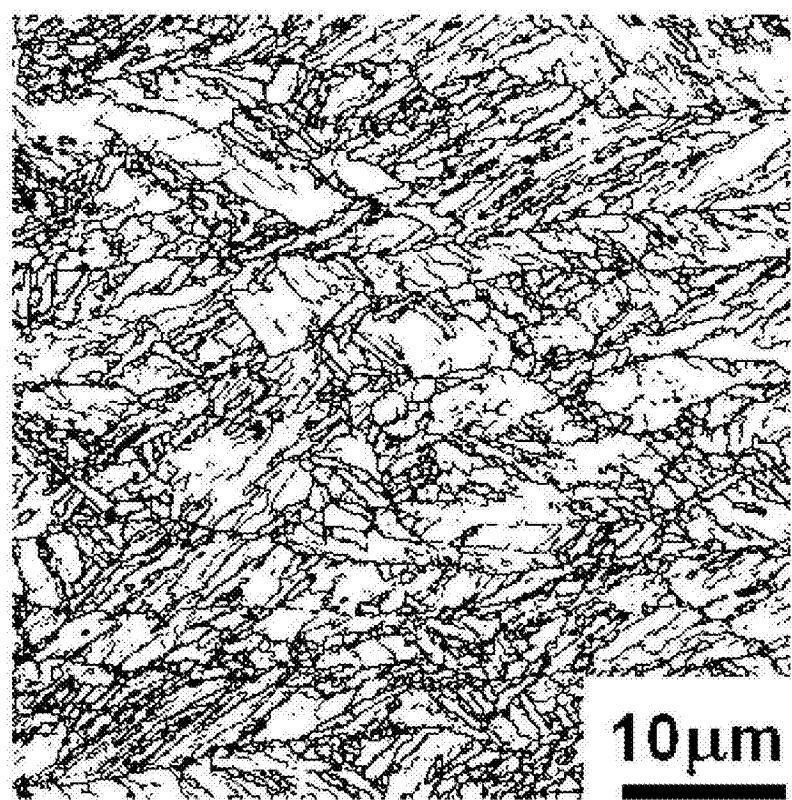


图 2