



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101775552 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 13

(21) 申请号 200910045146. 7

行, 138 页右下栏第 1-3, 13-15 行, 表 1 中 B 例, 表 2 中 B1 例.

(22) 申请日 2009. 01. 09

审查员 王燕

(73) 专利权人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路果园

(72) 发明人 温东辉 胡晓萍 李自刚 宋凤明

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 陈文平 楼仙英

(51) Int. Cl.

C22C 38/50 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 昭 59-211528 A, 1984. 11. 30, 说明书第 137 页左下栏第 3-11 行, 第 138 页左下栏第 10-17

权利要求书 1 页 说明书 7 页

(54) 发明名称

一种高强度高韧性低屈强比耐火钢及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供了一种室温屈服强度大于 460MPa, 屈强比小于 0. 80, 600℃ 高温屈服强度大于室温屈服强度的 2/3 (即 $\geq 307\text{MPa}$), 并且具有良好冲击韧性的高强度耐火钢, 其成分和重量百分含量为: C: 0. 05 ~ 0. 14、Si: 0. 15 ~ 0. 50、Mn: 0. 5 ~ 1. 2、P $\leq$ 0. 025、S $\leq$ 0. 015、Cu: 0. 10-0. 40、Ni: 0. 10-0. 50、Nb: 0. 015-0. 050、Ti: 0. 005-0. 040、V: 0. 010-0. 050、Cr: 0. 10-0. 50、Mo: 0. 20-0. 50、Al: 0. 015-0. 05、余量为 Fe 及不可避免的夹杂。本发明还提供了所述耐火钢的制造方法, 包括: 采用真空冶炼获得钢水, 并浇铸成钢坯; 将钢坯再加热到 1150-1250℃ 保温 1. 5-2. 5h 后, 控制轧制至成品板厚, 终轧温度控制约为 820-950℃, 轧后钢板空冷或快速水冷至 450 ~ 650℃ 后空冷。

1. 一种耐火钢的制造方法,其成分和重量百分含量为 :C :0.05 ~ 0.14、Si :0.15 ~ 0.50、Mn :0.5 ~ 1.2、 $P \leq 0.025$ 、 $S \leq 0.015$ 、Cu :0.10-0.40、Ni :0.10-0.50、Nb :0.015-0.050、Ti :0.005-0.040、V :0.010-0.050、Cr :0.10-0.50、Mo :0.20-0.50、Al :0.015-0.05、余量为 Fe 及不可避免的夹杂 ;

所述钢的制造法包括 :

采用真空冶炼得钢水,并浇铸成钢坯 ;将钢坯再加热到 1150-1250℃ 保温 1.5-2.5h 后,控制轧制至成品板厚,终轧温度控制为 820-950℃,轧后钢板空冷或快速水冷至 450 ~ 650℃ 后空冷。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征是,其成分和重量百分含量为 :C :0.06 ~ 0.09、Si :0.25 ~ 0.35、Mn :0.8 ~ 1.0、 $P \leq 0.025$ 、 $S \leq 0.015$ 、Cu :0.20-0.30、Ni :0.15-0.35、Nb :0.025-0.035、Ti :0.015-0.025、V :0.025-0.045、Cr :0.25-0.40、Mo :0.20-0.40、Al :0.025-0.045、余量为 Fe 及不可避免的夹杂。

3. 如权利要求 1 或 2 所述方法制造的耐火钢。

一种高强度高韧性低屈强比耐火钢及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于低合金钢制造领域,涉及一种室温屈服强度大于 460MPa,屈强比小于 0.80,600℃高温屈服强度大于室温屈服强度的 2/3(即 $\geq 307\text{MPa}$),并且具有良好冲击韧性的高强度耐火钢及其生产方法。

背景技术

[0002] 普通建筑用钢,如 JIS 标准中 SN400 和 SN490 钢,中国国标中的 Q235 和 Q345 等,在 350℃以上高温时屈服强度迅速下降到其室温屈服强度的 2/3 以下,到 600℃时几乎不具有承载能力,不能满足现代钢结构高层建筑的设计要求。为了提高钢结构的耐火能力,80 年代日本研究人员提出了耐火钢的概念。通过在钢中添加少量的铬(Cr)、钼(Mo)、铌(Nb)等合金元素开发出了耐火温度为 600℃的建筑用耐火钢,600℃的屈服强度保持在室温值的 2/3 以上。钢结构建筑的繁荣发展,促进了耐火钢的研发。目前,耐火钢主要以屈服强度 235MPa 和 345MPa 为主(日本 400MPa 级钢和 490MPa 级钢),它主要通过加入较多的 Mo 来保证高温时的强度,通常 Mo 含量超过 0.50%。近年来,日本研制开发了屈服强度 440MPa 级的耐火钢(590MPa 级别),其钢中的 Mo 含量达到了 0.7%,钢种的焊接性很差且成本较高,严重制约了其应用。目前,耐火钢研究前沿主要有:

[0003] (1) 提高屈服强度、降低屈强比;(2) 降低合金元素的含量。

[0004] 鞍山钢铁公司申请的专利 CN 1524976A “耐火钢及其制造方法”提供了强度级别 235MPa 和 345MPa 的高性能耐火钢,它以 Cr、Mo 合金元素为主,辅以铜(Cu)、铌(Nb)、钒(V)、镍(Ni)、钛(Ti)、铝(Al)、硼(B)和稀土(RE)等元素,采用控制轧制和控制冷却工艺生产。该专利提供的耐火钢强度级别较低,且合金元素含量较高。新日铁在中国申请的专利 CN 101111621A “焊接性和气割性优良的高强度耐火钢及其制造方法”提供了一种屈服强度 440MPa 以上的高强度耐火钢,它主要通过 Mo 和 Nb 的复合强化作用,达到提高强度到 440MPa 以上,并将 Mo 含量降低到 0.70% 以下。其制造工艺为在线直接淬火回火或者离线淬火回火工艺。该耐火钢的合金元素含量较高,Mo 含量为 0.5% 左右甚至更高,且屈强比较高,大于 0.80。新日铁申请的专利 JP 2077523 “Production of building low yield ratio steel having excellent fire resistance and building steel material using same steel”提供了一种低屈强比耐火钢及其制造方法,钢板室温屈服强度从 235MPa 到 440MPa,屈强比 ≤ 0.80 ,600℃屈服强度/室温屈服强度 $\geq 2/3$ 。其制造方法为 1100–1300℃加热,终轧温度 800–1000℃,随后空冷到室温。该耐火钢板屈服强度相对较低,而合金元素含量较高。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种高强度高韧性低屈强比的高性能耐火钢及其制造方法。这种耐火钢具有优良的力学性能:屈服强度 $\geq 460\text{Pa}$,屈强比 ≤ 0.80 ,600℃高温屈服强度大于 2/3 室温屈服强度($\geq 307\text{MPa}$),并且具有良好冲击韧性。适用领域主要是钢结构建筑

及其它要求耐火性能的钢结构领域,如立体车库、超市等。

[0006] 本发明提供的耐火钢,其化学成分(按重量百分比)为:C:0.05~0.14、Si:0.15~0.50、Mn:0.5~1.2、 $P \leq 0.025$ 、 $S \leq 0.015$ 、Cu:0.10-0.40、Ni:0.10-0.50、Nb:0.015-0.050、Ti:0.005-0.040、V:0.010-0.050、Cr:0.10-0.50、Mo:0.20-0.50、Al:0.015-0.05、余量为Fe及不可避免的夹杂。

[0007] 本发明的耐火钢中C含量控制在0.05~0.14%。C是钢中廉价的强化元素之一,为保证钢材的高强度,C含量下限定为0.05%。但是,C含量过多时,将对钢材的强韧性匹配以及焊接性等产生不利影响,因而C含量的上限定为0.14%。

[0008] 本发明的耐火钢中Si含量控制在0.15~0.50%。Si是炼钢脱氧的必要元素之一,而且Si通过固溶强化方式可以提高钢的强度。但Si对焊接性和韧性等有不利影响,必须限制上限值。

[0009] 本发明的耐火钢中Mn含量控制在0.5~1.2%,Mn也是炼钢脱氧的必要元素之一,而且Mn是确保强度不可缺少的,其下限为0.5%。但Mn含量过高对钢的焊接性能有不利影响,并可能使中心偏析更严重,其上限控制为1.2%。

[0010] 本发明的耐火钢中P含量 $\leq 0.025\%$ 、S含量 $\leq 0.015\%$ 。S和P是钢中的有害杂质元素,含量过高会恶化钢的韧性,因此应尽量降低钢中的硫、磷含量。

[0011] 本发明的耐火钢中Cu含量控制在0.10-0.40%。Cu通常以细小析出粒子状态存在于钢中,产生析出强化作用。Cu不仅可以提高强度,而且还可提高钢材的耐大气腐蚀性能。但Cu含量高时将引起钢坯加热或热轧过程中产生裂纹,恶化钢材表面性能,因此上限控制在0.40%。

[0012] 本发明的耐火钢中Ni含量控制在0.10-0.50%。Ni在提高钢强度的同时能够改善其低温韧性。为了使Ni的效果得以发挥,需至少0.10%。同时Ni可以降低含Cu钢产生钢材表面缺陷的倾向。但Ni为贵重元素,故Ni含量上限控制在0.50%。

[0013] 本发明的耐火钢中Nb含量控制为0.015-0.05%。Nb是强碳氮化合物形成元素,通过在轧后冷却过程中析出碳氮化合物,产生细晶强化和析出强化作用来提高钢的强度。此外,Nb的析出物溶解温度较高,能够提高钢材在600℃的强度,提高耐火性能,但Nb含量过高也可能产生不利影响。

[0014] 本发明的耐火钢中Ti含量控制为0.005-0.040%。Ti是一种强碳氮化合物形成元素,其碳氮化合物具有较高的熔点,对加热时奥氏体晶粒的长大有阻碍作用。而且在轧后冷却过程中的析出将提高钢的屈服强度,并对钢材的高温强度有利。但Ti含量过高可能出现粗大的析出粒子,其上限控制为0.040%。

[0015] 本发明的耐火钢中V含量控制为0.010-0.050%。V是强碳氮化合物形成元素,强化作用与Nb相似,但效果相对较小。V含量较高时明显恶化钢的低温韧性,尤其是焊接热影响区的韧性,其上限控制为0.050%。

[0016] 本发明的耐火钢中Cr含量控制在0.10-0.50%。Cr是提高淬透性的元素,能够使钢的强硬度增加。但Cr含量过高将影响钢的韧性,并引起回火脆性,其上限控制为0.50%。

[0017] 本发明的耐火钢中Mo含量控制在0.20-0.50%。Mo是提高钢材高温强度的最有效元素,Mo含量越高,其高温强度越高。但Mo成本较高,且引起钢可焊性降低,因而Mo含量最大控制在0.50%。

[0018] 本发明的耐火钢中 Al 含量控制在 0.015-0.05%，Al 是有效脱氧元素之一，而且可形成氮化物来细化晶粒。Al 含量过高将损害钢的韧性，而且焊接热影响取得韧性也变差。

[0019] 本发明的耐火钢，其成分优选的含量范围是 C : 0.06 ~ 0.09、Si : 0.25 ~ 0.35、Mn : 0.8 ~ 1.0、P ≤ 0.025、S ≤ 0.015、Cu : 0.20-0.30、Ni : 0.15-0.35、Nb : 0.025-0.035、Ti : 0.015-0.025、V : 0.025-0.045、Cr : 0.25-0.40、Mo : 0.20-0.40、Al : 0.025-0.045、余量为 Fe 及不可避免的夹杂。

[0020] 本发明还提供了该高强度高韧性低屈强比耐火钢的生产方法，基本工艺流程包括：

[0021] 采用真空冶炼获得具有本发明成分和含量的钢水，并浇铸成钢坯；将钢坯再加热到 1150-1250℃保温 1.5-2h 后，控制轧制至成品板厚，终轧温度控制约为 820-950℃，轧后钢板空冷或快速水冷至 450 ~ 650℃后空冷。

[0022] 本发明的耐火钢具有如下特点：

[0023] 1) 较贵的合金元素含量少，成本较低；

[0024] 2) 采用控扎控冷工艺进行生产，无需轧后热处理。生产工艺简单，易于生产操作；

[0025] 3) 具有高强度、低屈强比、良好的韧性和焊接性，并且具有优良的高温强度，能够满足钢结构对低屈强比高强耐火钢的要求。

[0026] 本发明的耐火钢与现有技术中钢种的成分范围、工艺制度及力学性能的对比见下表：

[0027]

		本发明	对比 1 鞍钢 CN1524976A	对比 2 新日铁 CN 101111621A	对比 3 新日铁 JP 2077523A
化 学 成 分 ， %	C	0.05-0.14	0.01-0.12	0.04-0.14	0.04-0.15
	Si	0.15-0.50	0.05-0.55	≤0.50	≤0.60
	Mn	0.5-1.2	0.30-1.20	0.50-2.0	0.5-1.6
	P	≤0.015	≤0.030	≤0.020	≤
	S	≤0.010	≤0.015	≤0.010	
	Cu	0.10-0.40	0.25-0.50	0.05-1.0	0.05-1.0
	Cr	0.10-0.50	0.30-0.60	0.05-1.0	0.05-1.0
	Ni	0.10-0.50	≤0.20	0.05-1.0	0.005-0.5
	Mo	0.20-0.50	0.20-0.50	0.30-0.70	0.4-0.7
	Nb	0.015-0.050	0.01-0.04	0.01-0.05	0.005-0.04
	V	0.020-0.050	0.02-0.05	0.01-0.06	0.005-0.10
	Ti	0.010-0.030	≤0.015	0.005-0.025	0.005-0.10
	Al	≥0.015	≤0.045		≤0.1
	B	/	≤0.0035	0.0002-0.0030	0.0003-0.002
	RE	/	0.02-0.20	0.0005-0.01	0.001-0.02
	Mg	/		0.0002-0.0050	/

[0028]

		本发明	对比 1 鞍钢 CN1524976A	对比 2 新日铁 CN 101111621A	对比 3 新日铁 JP 2077523A
	Zr	/			0.005-0.03
加工工艺	轧制	钢坯加热到 1150℃， 精轧开始温度 850-1000℃，精轧终 止温度 850-950℃，轧 后空冷或水冷	加热到 1100 - 1300℃，进行控制 轧制，终轧温度 840-890℃，控制冷 却	加热到 1100-1300℃， 800-950℃控制轧制 后，直接淬火；或者 不控轧轧制并空冷	加热到 1100-1300℃， 终轧温度 800-1000℃，轧后空 冷
	热处理	无	无	直接淬火后的钢板进 行回火处理，或者不 控轧钢板 900-950℃ 淬火+回火	无
屈服强度， MPa		≥460	270-455	≥440	235-470
抗拉强度， MPa		≥590	390-570	≥570	400-650
延伸率，%		≥15	12-39	/	/
屈强比		≤0.80	≤0.80	≥0.80	≤0.80
冲击功 (0℃)，J		≥47	≥34	韧脆转变温度-40℃	/
600℃屈服 强度，		≥307	173-350	≥294	170-350

[0029] 实施例

[0030] 按照本发明耐火钢的化学成分要求，采用 500kg 真空感应炉冶炼，获得钢的化学成份见下表，余量为 Fe 和不可避免的夹杂。将钢水浇筑成钢坯，随后将钢坯加热到 1150-1250℃，保温 2h，将钢锭在 1000℃ 以上轧制成 60mm 的中间板坯，板坯带温至 850-980℃，将钢坯最终轧制成 20mm 厚钢板，终轧温度控制为 820-950℃。钢板轧后直接空冷至室温，或采取快速水冷至 450～650℃（冷速约 10-30℃/s）后空冷至室温。具体的工艺参数和力学性能见下表。表中同时列出了前述的对比钢种的化学成份、加工工艺及其对应的力学性能。

[0031] 钢板的室温拉伸强度测量依照 GB/T 228-2002《金属材料室温拉伸试验方法》进行，试样尺寸为 M16Φ10L120；钢板的高温拉伸强度测量依照 GB/T 4338-2006《金属材料高温拉伸试验方法》进行，试样尺寸 M16Φ10L112，试样加热到 600℃ 后保温 15 分钟，随后开始拉伸试验，拉伸过程中试样保持 600℃。钢板的冲击韧性测量依照 GB/T 229-2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》进行，试样尺寸 10*10*55，V 型缺口。

[0032]

	本发明 耐火钢 1	本发明 耐火钢 2	本发明 耐火钢 3	本发明 耐火钢 4	对比钢 1 CN1524976A	对比钢 2 CN101111621A	对比钢 3 CN101111621A	对比钢 4 JP 2077523	对比钢 5 JP 2077523	对比钢 6 JP 2077523	对比钢 7
化 学 成 分 , %	C	0.12	0.08	0.06	0.07	0.06	0.08	0.04	0.07	0.123	0.105
	Si	0.30	0.20	0.45	0.30	0.25	0.22	0.36	0.35	0.22	0.25
	Mn	1.0	0.73	1.0	0.74	0.48	0.86	1.98	1.46	1.26	0.57
	P	0.010	0.010	0.009	0.012	0.005	0.01	0.009	0.012	0.005	0.003
	S	0.003	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.005	0.002	0.002	0.002
	Cu	0.21	0.25	0.12	0.30	/	/	/	0.34	/	0.94
	Cr	0.30	0.31	0.48	0.15	0.38	0.47	/	/	0.45	/
	Ni	0.15	0.30	0.15	0.40	/	/	/	0.35	/	0.25
	Mo	0.40	0.38	0.25	0.41	0.24	0.30	0.68	0.48	0.52	0.45
	Nb	0.019	0.025	0.035	0.025	0.033	0.022	0.04	0.02	0.010	0.010
	V	0.045	0.025	0.022	0.035	/	0.035	/	/	/	/
	Ti	0.018	0.025	0.015	0.030	/	/	0.014	0.010	0.013	0.008
	B	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ca	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Al	0.035	0.033	0.045	0.038	/	/	0.031	0.002	0.024	0.025
	Mg	/	/	/	/	/	/	/	0.0013	/	/
	Zr	/	/	/	/	/	/	/	/	0.006	/
	RE	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.0036
加 工 工 艺	轧 制	加热温度 1180℃, 终 轧温度 轧 880℃, 轧 后空冷	加热温度 1250℃, 终 轧温度 轧 920℃, 轧 水冷至 600℃后空 冷	加热温度 1200℃, 终 轧温度 轧 860℃, 轧 水冷至 550℃后空 冷	终轧温度 控制在 840-890℃ , 轧后以 4-20℃/S 的速度冷 却到 650℃, 然 后空冷	加热 1150℃, 终轧温度 900℃, 冷 却开始温 度 850℃, 直接淬火	加热 1250℃, 终 轧温度 轧 914℃, 轧 后空冷	加热 1200℃, 终 轧温度 轧 918℃, 轧 后空冷	加热 1100℃, 终 轧温度 轧 832℃, 轧 后空冷	无	无
	热 处 理	无	无	无	无	淬火温度 900℃, 回 火温度 640℃	600℃回 火	无	无	无	无
板厚, mm		20	20	20	20	16	/	60	55	25	25

[0033]

	本发明 耐火钢 1	本发明 耐火钢 2	本发明 耐火钢 3	本发明 耐火钢 4	对比钢 1	对比钢 2	对比钢 3	对比钢 4	对比钢 5	对比钢 6	对比钢 7
					CN1524976A		CN101111621A			JP 2077523	
屈服强度, MPa	502	517	527	525	325	430	520	543	286	474	414
抗拉强度, MPa	703	695	708	700	415	550	623	628	440	641	560
延伸率, %	16.5	19.5	23	22	39	26	/	/	/	/	/
屈强比	0.72	0.74	0.75	0.75	0.78	0.78	0.83	0.86	0.65	0.74	0.74
600℃屈服强度	337	390	387	371	173	260	345	370	205	341	314
冲击功, J (0℃)	104	103	221	197	96	258	韧脆转变 温度-68℃	韧脆转变 温度-61℃	/	/	/

[0034] 由此可见,本发明通过添加较少的贵金属元素,采用控扎控冷工艺可以获得室温屈服强度超过 460MPa,屈强比低于 0.80%,600℃屈服强度大于 307MPa,并具有优良韧性的

高强度耐火钢。本发明的耐火钢可广泛应用于钢结构建筑及其它要求耐火性能的钢结构领域。