

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710093823.3

[51] Int. Cl.

C22C 38/18 (2006.01)

C22C 38/20 (2006.01)

C22C 38/24 (2006.01)

C22C 33/04 (2006.01)

C21C 7/00 (2006.01)

B22D 11/16 (2006.01)

[43] 公开日 2008年11月26日

[11] 公开号 CN 101311288A

[51] Int. Cl. (续)

B21B 37/00 (2006.01)

C21D 8/06 (2006.01)

C21D 11/00 (2006.01)

[22] 申请日 2007.5.24

[21] 申请号 200710093823.3

[71] 申请人 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 周金芳

[74] 专利代理机构 上海三和万国知识产权代理事务所

代理人 章鸣玉

权利要求书1页 说明书8页

[54] 发明名称

一种 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条及其制造方法

[57] 摘要

本发明提供一种 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条, 包括以下化学元素 (wt%): C: 0.85 - 0.9, Si: 0.12 - 0.32, Mn: 0.6 - 0.9, $P \leq 0.025$, $S \leq 0.025$, Cr: 0.1 - 0.25, $V \leq 0.06$, $Cu \leq 0.1$, 其余为不可避免的杂质元素。本发明还提供这种盘条的制造方法。本发明提供的这种盘条抗拉强度 R_m : 1300 ~ 1400MPa; 断后伸长率 $A \geq 8\%$; 断面收缩率 $Z \geq 30\%$ (经过时效后的断面收缩率 $\geq 35\%$), 用其生产的镀锌钢丝完全满足 1770Mpa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝的高动载疲劳试验 (≥ 200 万周次)、高韧性、高扭转 (≥ 11 次) 等技术要求。

1. 一种 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条, 其特征在于, 包括以下化学元素 (wt%): C: 0.85-0.9, Si: 0.12-0.32, Mn: 0.6-0.9, $P \leq 0.025$, $S \leq 0.025$, Cr: 0.1-0.25, $V \leq 0.06$, $Cu \leq 0.1$, 其余为不可避免的杂质元素。

2. 权利要求 1 所述 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条的制造方法, 包括冶炼及浇铸、初轧、高线轧制, 其特征在于, 冶炼步骤中的炉外精炼步骤采用钢包精炼炉法和真空循环脱气法相结合, 其中真空循环脱气法中真空度 $< 2 \tau$ 、保持 18 分钟以上、纯脱气时间大于 8 分钟、终温度为 $1510 \pm 10^\circ\text{C}$; 浇铸步骤中本体注速 ≥ 10 分钟、补注时间 ≥ 3 分钟; 高线轧制步骤中斯太尔摩线控制冷却采用快速冷却方式。

3. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述浇铸步骤中注余残钢量 ≥ 5 吨。

4. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述钢包精炼炉法中纯吹 Ar 渣洗时采用底吹 Ar 方式, 纯渣洗时间为 ≥ 10 分钟, F(O) 控制在 $\leq 5\text{ppm}$ 。

5. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述高线轧制步骤中精轧机组进口温度为 $960 \pm 25^\circ\text{C}$ 、减定径机组进口温度为 $930 \pm 25^\circ\text{C}$ 、吐丝温度为 $930 \pm 20^\circ\text{C}$ 。

6. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述斯太尔摩线控制冷却中斯太尔摩辊式运输线采用辊子直径为 $\Phi 14 - \Phi 11\text{mm}$ 、每段辊道速度控制为 $0.79-1.39\text{m/s}$ 、每台风机风量控制为 $0-100\%$ 。

7. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述冶炼步骤中转炉冶炼过程中留钢操作后渣厚 $< 80\text{mm}$, 炉后配碳目标为 $0.65-0.85\%$ 。

8. 如权利要求 2 所述的制造方法, 其中所述初轧步骤中待轧时间控制在 2 小时内、大剪切头率 $\geq 15\%$ 、单锭大剪收得率 $\leq 82.5\%$ 。

一种 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条及其制造方法

技术领域

本发明属于焊接材料领域，更具体地，本发明涉及桥梁缆索镀锌钢丝。

背景技术

悬索桥和拉索桥是现代大跨桥梁的重要的结构形式，特别是在跨越峡谷、海湾、大江、大河等不易修筑桥墩的地方架设大跨径的特大桥梁时，往往都选择悬索桥和斜拉桥的桥型。

悬索桥由悬索、塔架、锚碇、吊杆、加劲梁和桥面组成，桥面荷载经加劲梁、吊杆传给悬索，再由悬索传至塔架和两端的锚碇。斜拉桥由拉索、索塔、主梁、和桥面组成，桥面荷载经主梁传给拉索、再由拉索传到索塔。

悬索桥和斜拉桥的受力体系主要包括：①桥面体系；②支承桥面体系的缆索系统；③支承缆索系统的桥塔；④对于悬索桥，还包括固定缆索系统的锚碇。

支承桥面体系的缆索系统中的桥梁斜拉索（悬索）镀锌钢丝是整个桥梁的关键承重部件，必须具备高强度、高动载疲劳寿命(≥ 200 万周次)、高韧性、高扭转性能 (≥ 11 次)，要达到上述要求，盘条必须满足以下几点：第一，盘条成分设计必须合理；第二，盘条成分要均匀；第三，夹杂物级别（含量）尽可能低；第四，严格控制 S、P、H、O、N 含量及残余元素；第五，盘条索氏体含量要高；第六，严格控制盘条的脱碳层深度。

$\Phi 7.0\text{mm}$ 1770Mpa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条，国外能生产并用于工程实例的国家只有日本，而在我国，此类盘条的生产尚为空白。

通过检索国内外专利数据库，用于桥梁缆索镀锌钢丝用材料的化学元素主要有以下几种，如表 1 所示：

表 1: 主要化学元素(wt%)

	文献 1	文献 2	文献 3	文献 4	文献 5	文献 6	文献 7
C	0.7/1.2	0.7/1.2	≤0.95	0.9/1.2	0.8/1.1	0.9/1.25	0.90/1.25
Si	0.6/1.5	0.35/1.5	-	0.2/1.5	0.5/2.0	0.15/1.5	0.15/1.5
Mn	0.1/1.0	0.1/1.0	-	0.2/1.0	0.2/1.0	0.3/1.0	0.3/1.0
P	-	-	-	≤0.02	-	-	-
S	-	-	-	≤0.02	-	-	-
Cr	-	-	-	0.1/0.5	-	0.1/1.0	0.1/1.0
Ni	0.001/0.006	0.001/0.006	-	0.1/0.5	-		0.1/0.5
Al	0.005/0.1	0.005/0.1	-	-	0.005/0.1		
B	0.009/0.006	0.0004/0.006	-	-	-	V: 0.02/0.3	V: 0.02/0.3
Zr	-	-	10/500ppm	-	-		
Cu	-	-	-	0.1/0.5	-		

在中国国内桥梁工程竞标过程中, 日本新日铁盘条的主要主要化学元素如表 2:

表 2: 日本新日铁桥梁斜拉索 (悬索) 镀锌钢丝用盘条主要化学元素(wt%)

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
日本高碳高	0.87~	0.90~	0.30~			0.20~	
硅盘条	0.92	1.30	0.60	≤0.025	≤0.025	0.30	≤0.20

本发明者对日本新日铁高碳高硅盘条的化学成份、尤其是对合金元素在钢中的作用进行了分析。由于硅是非碳化物形成元素, 主要溶于铁素体而形成合金铁素体而达到强化目的, 但硅的石墨化倾向较大, 促进渗碳体形成石墨碳而使钢的韧塑性和疲劳强度下降, 因此作为强化高碳钢的添加元素极少应用。合金化概论普遍认为, 当 Si 的含量超过 0.6% 时, 其冲击韧性就有下降趋势。因而含硅钢多数用于低碳低合金结构钢和合金弹簧钢。就合金弹簧钢而言, 美、英、法、德、日和 ISO, 其最高含碳量为 0.55~0.65%, 相当于中国 60Si2MnA、日本 JIS G4801 《Spring steel》SUP7。同时, 硅含量高, 对高线控轧控冷工艺控制难度高, 容易造成盘条内部存在马氏体等有害组织。作为桥梁缆索镀锌钢丝的钢种选用, 应以成熟的纳标钢种较为稳妥, 对于含硅 1.2% 已超过“微合金化”添加的范畴。

为了能在确保镀锌钢丝抗拉强度的前提下, 确保镀锌钢丝的高动载疲劳寿命 (≥200 万周次)、高韧性、高扭转性能 (≥11 次), 且降低成本, 本发明者采用微合金化

技术,通过对各合金元素在钢中的作用分析,并改进了制造工艺,从而完成了本发明。

因此,本发明的第一个目的在于提供一种 1770MPa 级桥梁缆索镀锌钢丝用盘条。

本发明的第二个目的在于提供这种 1770MPa 级桥梁缆索镀锌钢丝用盘条的制造方法。

发明内容

一种 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条,其特征在于,包括以下化学元素 (wt%): C: 0.85-0.9, Si: 0.12-0.32, Mn: 0.6-0.9, $P \leq 0.025$, $S \leq 0.025$, Cr: 0.1-0.25, $V \leq 0.06$, $Cu \leq 0.1$, 其余为不可避免的杂质元素。

各合金元素含量及其作用:钢中的化学元素是确保材料力学性能的基本保证。本发明通过添加微量合金元素 Cr、V 来提高盘条的原始强度。

铬是强碳化物形成元素,它基本上是置换渗碳体内的铁原子而形成合金渗碳体 $(Fe, Cr)_3C$ 。增强了 Fe 和 C 的亲合力,从而提高奥氏体的稳定性,阻止热轧时晶粒长大,提高索氏体形成能力。

钒也是强碳化物形成元素,与铬具有相近的特性,钒的添加含量甚微,一般都在 0.01~0.08% 范围内。但其与氮的亲合力大于铝。因而炼钢时 N 与 Al 含量必须严格控制,控制不当会减少阻止晶粒长大的氮化铝,形成实际粗晶粒,尤其共析钢左右的含碳量,使其韧性下降。

钢中碳元素的均匀性:对高碳钢而言,碳在钢中的均匀性,对材料力学性能、金相组织的均匀性至关重要,因此对钢坯中心碳和中心碳偏析(钢坯中心碳/钢水熔炼碳)作如下控制:钢坯中心碳: $\leq 0.94\%$; 钢坯中心碳偏析(钢坯中心碳/钢水熔炼碳): ≤ 1.05 。

夹杂物(含量)控制:夹杂物是影响钢材疲劳寿命的主要因素之一,为此,对钢中夹杂物的控制要求如下:按 GB/T10561 标准检验: A ≤ 2.0 级、B ≤ 1.5 级、C ≤ 1.5 级、D ≤ 1.5 级;按 JISG0555 标准检验:夹杂物含量总和 $\leq 0.1\%$ 。

控制 S、P、H、O、N 含量及残余元素:对钢水的 S、P、H、O、N 含量及残余元素控制如下: $S \leq 0.002\%$ 、 $P \leq 0.012\%$ 、 $H \leq 2PPm$ 、 $O \leq 20PPm$ 、 $N \leq 40PPm$ 、 $Cu \leq 0.05\%$ 。

盘条金相组织:盘条索氏体含量 $\geq 90\%$, 不应有网状渗碳体和淬火组织(马氏体和屈氏体区域)。

盘条脱碳层深度:盘条应进行脱碳层深度检验,盘条一边总脱碳层(铁素体+过渡层)的深度不得大于 0.07mm。

本发明提供 1770MPa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝用盘条的制造方法，包括冶炼及浇铸、初轧、高线轧制，其特征在于，冶炼步骤中的炉外精炼步骤采用钢包精炼炉法和真空循环脱气法相结合，其中真空循环脱气法中真空度 $<2\tau$ 、保持 18 分钟以上、纯脱气时间大于 8 分钟、终温度为 $1510\pm 10^{\circ}\text{C}$ ；浇铸步骤中本体注速 ≥ 10 分钟、补注时间 ≥ 3 分钟；高线轧制步骤中斯太尔摩线控制冷却采用快速冷却方式。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为浇铸步骤中注余残钢量 ≥ 5 吨。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为钢包精炼炉法中纯吹 Ar 渣洗时采用底吹 Ar 方式，纯渣洗时间为 ≥ 10 分钟，F(O) 控制在 $\leq 5\text{ppm}$ 。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为高线轧制步骤中精轧机组进口温度为 $960\pm 25^{\circ}\text{C}$ 、减定径机组进口温度为 $930\pm 25^{\circ}\text{C}$ 、吐丝温度为 $930\pm 20^{\circ}\text{C}$ 。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为斯太尔摩线控制冷却中斯太尔摩辊式运输线采用辊子直径为 $\Phi 14-\Phi 11\text{mm}$ 、每段辊道速度控制为 $0.79-1.39\text{m/s}$ 、每台风机风量控制为 $0-100\%$ 。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为冶炼步骤中转炉冶炼过程中留钢操作后渣厚 $< 80\text{mm}$ ，炉后配碳目标为 $0.65-0.85\%$ 。

本发明所提供的制造方法中，一种优选的实施方式为初轧步骤中待轧时间控制在 2 小时内、大剪切头率 $\geq 15\%$ 、单锭大剪收得率 $\leq 82.5\%$ 。

综上所述，制造工艺可以采用如下流程：脱硫铁水、转炉、炉外精炼、钢锭浇注、初轧均热、开坯、大剪切头尾、6VH 连轧轧制 142^2 、飞剪定尺剪切、钢坯表面机械清理、高线加热炉加热、高线控制轧制、高线斯太尔摩线控制冷却、盘条表面检查、取样检验、盘条打捆、挂牌、入库、出厂。

其中，各主要步骤的工艺要求如下：

1. 冶炼及浇铸步骤中的要点如下：

1) 使用厂内返回废钢，控制 Cu、Ni、Mo 等混杂元素管理；

2) 入炉铁水控制扒渣等级；

3) 铁水量应保证注余残钢量 ≥ 4 吨；转炉温度按低[N]冶炼基准操作，吹止 $[\text{P}] \leq 0.009\%$ ；

4) 在转炉冶炼过程中为满足对[N]、[P] 的要求，应做到以下几点：吹炼过程中保证微正压操作；出钢进行留钢操作，渣厚 $< 80\text{mm}$ ；炉后配碳全部使用低氮碳粉；转炉出钢仅加脱氧铝。

6) 炉后配碳目标： $0.65\sim 0.85\%$ ；

7) 炉外精炼钢包精炼炉法 (LF) 炉处理要求: 分批加入石灰、脱硫渣、发泡剂等渣样, 确保炉渣流动性良好; 在 LF 操作过程中应造好泡沫渣埋弧, 防止增氮; 采用 Al 渣及钙质脱氧化剂强化脱氧, 按接近目标上限调整 AL 的成份; 在成份配好、温度调整好进行纯吹 Ar 渣洗时, 适当控制吹 Ar 压力及吹 Ar 流量, 以弱搅拌为准, 禁止钢水翻动至裸露, 确保炉渣脱氧效果; 采用底吹 Ar, 纯渣洗时间保持 10 分钟左右; Si、Mn、Cr 等可调整到目标范围内, 配碳应考虑电极增碳, 为保险起见, LF 炉可预留几个碳由 RH 调整; 在 LF 开始及结束测定自由 F(O), 使 LF 终 F(O) 控制在 $\leq 5\text{ppm}$;

8) 炉外精炼真空循环脱气法 (RH) 处理要求: RH 处理模式为本处理, 真空度 $< 2\tau$, 保持 18 分钟以上; 控制 C-CR 加入量 $< 500\text{Kg}$, 力争在 RH 处理前期加入, 最后一批 C-CR 加入量 $< 300\text{Kg}$; 纯脱气时间大于 8 分钟; 进行 RH 终 F[O] 测定; RH 终温度控制为 $1510^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;

9) 浇注及整脱模: 锭模清扫干净, 禁止用新、锈及冷模; 浇注采用 $\Phi 50\text{mm}$ 水口, 控制本体注速 ≥ 10 分钟, 补注时间 ≥ 3 分钟; 注余残钢量 ≥ 5 吨; 钢锭严禁放冷; 整脱模应准备好 Ar 封砖, 浇钢时采用吹 Ar 保护, 并控制好 Ar 流量, 以防止卷渣, 以锭模内钢水不裸露为准。

2. 初轧步骤的要点如下: 1) 均热炉加热; 2) 待轧时间控制在 2 小时内; 3) 确保在线热火焰清理投入, 进行四面清理; 4) 确保大剪切头率 $\geq 15\%$, 单锭大剪收得率 $\leq 82.5\%$; 5) 钢坯进行表面机械清理。

3. 高线轧制步骤的要点如下: 1) 钢坯加热炉出炉温度: $1080 \pm 25^{\circ}\text{C}$; 2) 在线温度控制: 精轧机组进口温度: $960 \pm 25^{\circ}\text{C}$, 减定径机组进口温度: $930 \pm 25^{\circ}\text{C}$, 吐丝温度: $930 \pm 20^{\circ}\text{C}$; 3) 斯太尔摩线控制冷却: 采用快冷方式, 其中保温罩全部打开, 辊道速度控制和风机风量分别控制如下 (表 3、4):

表 3 辊道速度控制(米/秒)

规格	入口	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	集卷
$\Phi 14$ —	0.72-	0.79-	0.87-	0.96-	1.06-	1.17-	1.34-	1.26-	1.13-	1.02-	0.90-	0.82-
$\Phi 11$	0.94	1.04	1.14	1.25	1.38	1.39	1.26	1.10	0.95	0.89	0.80	0.72

表 4 风机风量控制(%)

规格	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
$\Phi 14$ —	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	100-	30-	30-
$\Phi 11$	80	80	80	80	80	80	70	70	50	50	00	00	00	00

有益效果:

通过对材料优化设计及制造工艺设计, 本发明所提供的钢丝盘条, 其力学性能如下: 抗拉强度 R_m : 1300~1400MPa; 断后伸长率 $A \geq 8\%$; 断面收缩率 $Z \geq 30\%$ (经过时效后的断面收缩率 $\geq 35\%$)。用其生产的镀锌钢丝完全满足 1770Mpa 级桥梁斜拉索镀锌钢丝的高动载疲劳试验 (≥ 200 万周次)、高韧性、高扭转 (≥ 11 次) 等技术要求 (表 5)。

表 5 某一在建的世界第一斜拉索大桥用 $\Phi 7.0\text{mm}$ 1770MPa 级镀锌钢丝主要技术指标

序号	项 目	主要技术指标
1	公称直径及允许偏差 (mm)	7.00±0.06
2	不圆度 (mm)	≤0.07
3	公称面积及允许偏差 (mm ²)	38.5±0.770
4	公称重量及允许偏差 (g/m)	301±6
5	抗拉强度 (MPa)	≥1770
6	屈服强度 (MPa)	≥1450
7	延伸率 (%), (L=250mm)	≥4.0
8	反复弯曲(次), (R=20mm)	≥5
9	缠绕 (圈)	3d×8
10	弹性模量 (GPa)	195~210
11	松弛率 (%), 初始负荷 0.7F _{me} , 1000h	≤2.5
12	锌层重量 (g/m ²)	≥300
13	附着力 (圈)	5d×8
14	硫酸铜试验 (次/60 秒)	≥4
15	自然矢高 (mm/m)	≤15
16	两端自由翘高 (mm)	≤150
17	疲劳性能 (上限应力 0.45σ _b , 应力幅 60MPa)	200 万次, 不断裂
18	扭转 (圈), (L ₀ =100d)	≥11
	盘重(kg) /比例(%)	大盘 ≥ 900kg / 97%
		小盘 ≥500kg / 3%

具体实施方式

下面用实施例对本发明作进一步阐述，但这些实施例绝非对本发明有任何限制。本领域技术人员在本说明书的启示下对本发明实施中所作的任何变动都将落在权利要求书的范围内。

实施例 1

根据表 6 所示化学元素的含量进行脱硫铁水、转炉、炉外精炼、钢锭浇注，随后进行初轧均热、开坯、大剪切头尾、6VH 连轧轧制 142²、飞剪定尺剪切、钢坯表面机械清理、高线加热炉加热、高线控制轧制、高线斯太尔摩线控制冷却、盘条表面检查、取样检验、盘条打捆、挂牌、入库、出厂。随后进行元素含量测定（见表 8）、钢坯中心碳和中心碳偏析测定（见表 9）、夹杂物控制测定（见表 10）、索氏体含量与脱碳层深度控制测定（见表 11）。

表 6 高碳钢（0.87%）所含化学元素（wt%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	H	O	N
0.85-	0.12-	0.60-			0.10				≤	≤
0.90	0.32	0.90	≤0.025	≤0.025	0.25	≤0.06	≤0.10	≤0.0002	0.0020	0.0040

比较例 1

根据表 7 所示的化学元素比例，按实施例 1 所述的工艺流程进行生产。元素含量测定见表 8、钢坯中心碳和中心碳偏析测定见表 9、夹杂物控制测定见表 10、索氏体含量与脱碳层深度控制测定见表 11。

表 7 化学元素（wt%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	H	O	N
0.84-	0.12-	0.60-			0.22	0.07	≤		≤	≤
0.90	0.32	0.90	≤0.025	≤0.025	0.30	0.11	0.20	≤0.0002	0.0035	0.0060

测试结果

表 8 化学元素含量的测定（wt%）

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	H	O	N
比较例 1	0.87	0.24	0.75	0.012	0.0042	0.23	0.079	0.008	0.00015	0.0022	0.0043
实施例 1	0.883	0.252	0.80	0.007	0.0007	0.21	0.037	0.005	0.00012	0.0014	0.0039

表 9 钢坯中心碳和中心碳偏析

	钢坯中心碳(wt%)	中心碳偏析(钢坯中心碳/钢水熔炼碳)
比较例 1	0.923	1.132
实施例 1	0.891	1.009

表 10 夹杂物控制

	A	B	C	D
比较例 1	1.125	1.00	0.000	0.500
实施例 1	0.860	0.840	0.000	0.500

表 11 索氏体含量与脱碳层深度控制

	索氏体含量 (%)	脱碳层深度 (mm)
比较例 1	90	0.0083
实施例 1	91	0.0072

工业实用性

用本发明材料通过某金属制品有限公司试制成的 $\Phi 7.0\text{mm}$ 1770MPa 级镀锌钢丝，并委托某缆索有限公司编成 $\Phi 7.0\text{mm} \times 37$ 试验索股，通过了江苏省质量技术监督检验站 200 万周次的动载疲劳及静载试验。 $\Phi 7.0\text{mm} \times 223$ 试验索股也通过了静载试验。证明用本发明材料研制的高强度钢丝完全满足斜拉索的技术规范和设计要求，为本发明材料应用于大桥工程创造了条件。

用本发明材料通过某一金属制品有限公司制成的 $\Phi 7.0\text{mm}$ 1770MPa 级镀锌钢丝，已成功应用于我国在建的排名世界第一(镀锌钢丝强度级别最高、跨度最大)的某一斜拉索大桥，填补了中国国内生产空白。