



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102352469 B

(45) 授权公告日 2013.05.08

(21) 申请号 201110342720.2

G21D 11/00 (2006.01)

(22) 申请日 2011.11.03

(56) 对比文件

(73) 专利权人 江苏省沙钢钢铁研究院有限公司
地址 215625 江苏省张家港市锦丰镇永新路
沙钢科技大楼

CN 101649416 A, 2010.02.17, 权利要求 1.

CN 1417365 A, 2003.05.14, 实施例.

CN 102181786 A, 2011.09.14, 实施例 2、表

2、表 5、表 6、说明书第 14-20 段、第 38-56 段及权
利要求 1.

(72) 发明人 麻晗 王雷 李平

审查员 袁蕾

(74) 专利代理机构 北京华夏博通专利事务所
(普通合伙) 11264

代理人 孙东风

(51) Int. Cl.

C22C 38/50 (2006.01)

C22C 38/54 (2006.01)

C21C 5/52 (2006.01)

C21C 7/04 (2006.01)

C22C 33/06 (2006.01)

B22D 11/16 (2006.01)

G21D 8/06 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条及其
制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条及其制备方法。该盘条系采用钒钛复合微合金化工艺制成,其包含 C、Si、Mn、P、S、V、Ti、Cr、Cu、Ni、O、N 等基本成分,以及 Al、Ca、B、Mg 等可选择成分,同时还包含余量的铁和杂质;其制备方法包括依次进行的电炉冶炼、精炼、连铸、轧制和冷却工序。本发明盘条的直径为 11 ~ 15mm,抗拉强度 Rm 为 1330 ~ 1410MPa,平均为 1380MPa,断面收缩率 Z ≥ 32%。采用本发明低合金高碳钢盘条生产 15.2mm 预应力钢绞线的抗拉强度在 2140MPa 以上,15.2mm 镀锌钢绞线的抗拉强度在 1960MPa 以上,7mm 镀锌钢丝的抗拉强度在 1860MPa 以上。

1. 一种超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条,其特征在于,该盘条包含的组分及其重量百分比含量分别为:

基本成分 :C :0.86 ~ 0.90%, Si :0.70 ~ 1.20%, Mn :0.60 ~ 0.80%, $P \leq 0.020\%$, $S \leq 0.020\%$, V :0.05 ~ 0.09%, Ti :0.01 ~ 0.05%, Cr :0.15 ~ 0.35%, Cu :0.04 ~ 0.20%, Ni :0.01 ~ 0.05%, $O < 20\text{ppm}$, N :40 ~ 70ppm ;

可选择成分 :Al :0.01 ~ 0.05%, Ca :3 ~ 20ppm, B :5 ~ 20ppm 以及 $Mg < 5\text{ppm}$ 中的任意一种或两种以上的组合 ;

以及余量的铁和杂质 ;

该盘条的直径为 11 ~ 15mm, 抗拉强度 R_m 为 1330 ~ 1410MPa, 平均为 1380MPa, 断面收缩率 $Z \geq 32\%$, 断后伸长率 $A \geq 9\%$;

所述超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条的制备方法包括依次进行的电炉冶炼、精炼、连铸、轧制和冷却工序,其中 :

1) 在电炉冶炼工序中,铁水比控制在 40 ~ 50%, 出钢量至 1/4 时开始加入合金料 ;

2) 在精炼工序中,精炼合金及其加入顺序为锰铁 → 硅铁 → 铬铁 → 钛铁 → 钒铁 → 硼铁, 精炼终渣二元碱度控制在 3.5 ;

3) 在连铸工序中,连铸坯尺寸为 140cm × 140cm × 16m, 连铸中间包过热度控制在 15 ~ 30°C, 拉坯速率为 2.6 ~ 2.7 米 / 分钟 ;

4) 在轧制工序中,高线轧制时,吐丝温度为 $880 \pm 10^\circ\text{C}$;

5) 在冷却工序中,斯太尔摩控冷采用快冷 → 保温 → 缓冷工艺,珠光体相变前冷却速率控制在 11 ~ 14°C /s, 相变后冷速为 1.5 ~ 2.5°C /s。

2. 权利要求 1 所述超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条在制备 2100MPa 级超高强度预应力钢绞线、1960MPa 级镀锌钢绞线以及 1860MPa 级镀锌钢丝中的应用。

超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明特别涉及一种超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条,适用于生产超高强度预应力钢绞线、镀锌钢绞线以及镀锌钢丝系列产品,属于钢铁冶金技术领域。

背景技术

[0002] 高碳钢线材主要用于生产预应力钢绞线、镀锌钢丝、钢芯铝绞线、钢丝绳、弹簧钢丝、琴钢丝等产品,在钢丝生产过程中需要对高碳钢盘条进行多道次拉拔,减面率达 64 ~ 96%,因此,对原始盘条的强度、面缩率、伸长率、表面质量、纯净度等均有很高的要求。目前国内市场的预应力钢绞线以 1860MPa 级产品为主,所用材料主要是日标 JIS G3506-2004 中的 SWRH82B,规格以 11 ~ 13mm 为主,盘条强度为 1150 ~ 1200MPa。高强度、大规格是近期该领域的重要发展方向。与市场主流的 1860MPa 级预应力钢绞线相比,2100MPa 级钢绞线不仅具有更大的承载能力,还可以减少材料用量 13%,简化预应力结构,减少施工成本,具有显著的经济和社会效益。

[0003] 提高原始盘条强度是获得超高强度钢绞线的最佳途径,可以避免增大减面率引起的塑性损失。而提高盘条强度主要有两种途径:强冷与微合金化。强冷可细分为离线热处理和在线强冷。离线热处理的代表工艺是铅浴淬火,将奥氏体加热后的盘条直接放入 550℃ 左右的熔融铅液中,使盘条快速冷却至相变温度,并发生等温相变,所得盘条具有组织均匀、珠光体片层细小、强度高、塑性好等优点,但由于严重的环境污染问题,目前已很少用于盘条的热处理。在线热处理的代表技术是新日铁公司开发的在线盐浴淬火工艺,在线材生产过程中,将吐丝后的盘条直接导入 550 ~ 600℃ 的熔融盐熔液中实现等温相变,获得了很好的效果,有效提高了盘条的均匀性和综合性能;最近,鞍钢开发出了在线水浴冷却设备,并初步应用于线材生产,该技术使用水溶液作冷却介质,环保又廉价,有望在更大范围内得到推广。

[0004] 微合金化是应用更广泛的一种盘条强化方法,主要利用微合金元素的析出强化和固溶强化,达到细化珠光体片层结构、提高强度与塑性的目的,高碳钢中常用的微合金元素有 V、Al、Cr、Si、Ti 等。析出强化时,合金元素与钢中的碳氮结合,形成纳米级的碳氮化物,起到钉扎晶界、细化奥氏体晶粒的作用;固溶强化时,合金元素融入铁素体或渗碳体中,造成晶格畸变,增大了位错运动的阻力,使滑移难以进行,从而提高钢材强度。现有高碳钢盘条的微合金元素主要采用 V、Al 和 Cr,对于小方坯连铸,Al 容易引起水口结瘤,影响正常生产,电炉冶炼过程中增氮比较严重。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种超高强度钒钛复合微合金化高碳钢盘条,其特征在于,该盘条包含的组分及其重量比为:

[0006] 基本成分:C:0.84 ~ 0.90%, Si:0.70 ~ 1.20%, Mn:0.60 ~ 0.80%,
 $P \leq 0.020\%$, $S \leq 0.020\%$, V:0.05 ~ 0.09%, Ti:0.01 ~ 0.05%, Cr:0.15 ~ 0.35%, Cu:

0.04 ~ 0.20%, Ni :0.01 ~ 0.05%, O < 20ppm, N :40 ~ 70ppm ;

[0007] 可选择成分 :Al :0.01 ~ 0.05%, Ca :3 ~ 20ppm, B :5 ~ 20ppm 以及 Mg < 5ppm 中的任意一种或两种以上的组合 ;

[0008] 以及余量的铁和杂质。

[0009] 以下具体说明各元素的作用及原理 :

[0010] 钒钛复合微合金化是本发明的重要特征,在高碳钢中, V 是重要的微合金化元素,能够推迟珠光体转变,降低相变温度,而且 V 在奥氏体中的固溶度适中,强化效果明显。但 V 很容易和钢中的自由氮结合,形成 VN,削弱 V 的作用。加入适量的 Ti 可以固定自由 N,形成细小的 TiN 颗粒,细化组织结构,提高产品性能。此外, (Ti, V)C 颗粒优先在奥氏体晶界上析出,消耗了部分晶界能,能够有效减少晶界渗碳体的析出,防止形成网状渗碳体。

[0011] C 是钢材中最基本的强化元素, C 含量每增加 0.01%, 盘条强度约增加 10MPa, 但过量的 C 会促进中心偏析处先共析渗碳体的析出, 严重时会形成网状渗碳体, 降低盘条的塑性, 造成拉拔断丝。因此, 本发明中 C 含量的范围选为 0.84 ~ 0.90%。

[0012] Si 是铁素体强化元素, 能够通过固溶强化提高铁素体的强度, Si 也是重要的脱氧剂, 有助于降低钢中的氧含量, 减少夹杂物。此外, Si 在铁素体 / 渗碳体界面的富集有助于防止渗碳体在热镀锌和稳定化处理过程中发生分解, 提高加工过程中的热稳定性。但过多的 Si 会引起脱碳, 促使渗碳体石墨化, 降低表面质量和盘条塑性。因此, Si 含量范围选为 0.70 ~ 1.20%。

[0013] Mn 在钢中主要用于增加钢的强度, 同时可以增加奥氏体的稳定性, 降低相变温度, 同时 Mn 能改变硫化物成分、减小 S 的有害作用, 但如果 Mn 含量过高使得盘条的淬透性增加, 容易造成盘条中淬火组织的出现, 因此本发明中, Mn 含量控制在 0.60 ~ 0.80%。

[0014] P 在本发明钢中会引起中心偏析, 形成晶界偏聚, 降低盘条塑性, P 含量应控制在 0.020% 以内。

[0015] S 除了容易引起中心偏析外, 还会形成长条形的 MnS 夹杂物, 在冷变形过程中容易形成裂纹, 降低扭转性能, 其含量应控制在 0.020% 以内。

[0016] V 是强碳化物形成元素, 能够抑制热轧时奥氏体晶粒的长大。V 在相变初期易于奥氏体晶界上形成 VC 颗粒, 降低了晶界上 C 元素的含量从而可以有效的抑制网状渗碳体的产生 ; 另外 V 在相变过程中会在珠光体中的铁素体间析出, 对盘条起到析出强化作用, 有利于提高盘条的强度。V 含量过高容易出现淬火组织, 不利于组织控制。本发明中, V 含量控制在 0.05 ~ 0.09%。

[0017] Ti 是强碳氮化物形成元素, 能够固定钢中的自由氮, 防止氮在拉丝升温后产生应变时效, 另外 Ti (C, N) 可以抑制热轧时奥氏体晶粒的长大, Ti 还可以起到脱氧作用。但过多的 Ti 容易使 Ti (C, N) 长大, 降低材料的塑性。本发明中, Ti 含量控制在 0.01 ~ 0.05%。

[0018] Cr 是碳化物生成元素, 它在钢中主要存在于渗碳体片层中通过置换作用形成合金渗碳体。Cr 的添加提高了奥氏体的稳定性, 可以阻止热轧时晶粒的长大, 另外 Cr 的添加使得钢的连续冷却转变曲线右移, 在相同的冷速下可以细化珠光体片层间距。由于珠光体中合金渗碳体的存在, Cr 的添加同样有助于抑制镀锌钢丝生成过程中镀锌时的渗碳体溶解, 减小钢丝强度损失。但 Cr 含量过高容易出现淬火组织, 不利于组织控制。综合考虑产品性能与成本因素, 本发明中, Cr 含量控制在 0.15 ~ 0.35%。

[0019] Cu 有助于提高钢绞线的耐腐蚀能力,但过多的 Cu 会引起材料的塑性下降,造成热轧过程中的开裂,本发明中,Cu 含量控制在 0.04 ~ 0.20%。

[0020] Ni 可以提高钢绞线的塑性和耐腐蚀能力,但过多的 Ni 会提高淬透性,同时增加材料成本,本发明中,Ni 含量控制在 0.01 ~ 0.05%。

[0021] O 含量过高会增加夹杂物含量,引起材料的塑性下降,其含量应控制在 20ppm 以内。

[0022] N 可以和钢中的 Ti 结合形成 TiN,抑制热轧时奥氏体晶粒的长大,细化组织结构,但过多的 N 会增大钢的脆性,本发明中,N 含量控制在 40 ~ 70ppm。

[0023] Al 的加入主要是为了脱氧,另外多余的 Al 可以固定钢中的自由氮,形成的 AlN 可以细化奥氏体晶粒,但 Al 超过一定量后容易造成小方坯连铸过程中的水口结瘤,影响生产的顺利进行。本发明中 Al 的控制范围在 0.01 ~ 0.05%。

[0024] Ca 有助于改善钢中 MnS 夹杂物的形貌,降低其有害作用,同时有助于脱氧,此外 Ca 还可以通过形成细小的氧化物,抑制奥氏体晶粒长大,但过多的 Ca 会使氧化物粗化。本发明中,Ca 含量控制在 3 ~ 20ppm。

[0025] 加入微量 B 可以抑制 P 在晶界的偏聚,增加盘条的塑性,同时可以抑制晶界铁素体的形成。本发明中,B 含量控制在 5 ~ 20ppm。

[0026] Mg 可以和 O 形成细小的氧化物,抑制奥氏体晶粒长大,细化组织结构,但过多的 Mg 会使氧化物粗化,形成镁铝尖晶石,降低材料塑性。本发明中,Mg 含量控制在 5ppm 以内。

[0027] 本发明高碳钢盘条的制备方法如下:

[0028] 1) 电炉冶炼时铁水比控制在 40 ~ 50%,出钢量至 1/4 时开始加入合金料;

[0029] 2) 精炼合金及其加入顺序为锰铁→硅铁→铬铁→钛铁→钒铁→硼铁,精炼终渣二元碱度控制在 3.5 左右;

[0030] 3) 连铸坯尺寸为 140cm×140cm×16m,连铸中间包过热度控制在 15 ~ 30℃,拉坯速率为 2.6 ~ 2.7 米/分钟,结晶器和末端电磁搅拌电流分别为 350 安培和 400 安培,频率分别为 4 赫兹和 18 赫兹;

[0031] 4) 高线轧制时,吐丝温度控制在 880±10℃;

[0032] 5) 斯太尔摩控冷采用快冷→保温→缓冷工艺,珠光体相变前冷却速率控制在 11 ~ 14℃/s,相变后冷速为 1.5 ~ 2.5℃/s。

[0033] 下面对该制备方法做进一步说明。

[0034] 本发明采用“电炉冶炼+小方坯连铸连轧”路线,属于典型的短流程工艺。

[0035] 电炉冶炼原料中废钢占总重量的 50 ~ 60%,废钢在使用前经过挑选分类,必要时进行干燥,以确保质量;冶炼过程中采用泡沫渣操作,为降低 P 含量,将石灰分批加入,并采用流渣冶炼;终点碳含量大于 0.06%,以防止钢水过氧化。

[0036] 出钢进行到 1/4 时开始加入硅铁和硅锰合金脱氧,并加入碳粉和造渣料,出钢时防止大量下渣,出钢过程中氩气搅拌控制在 0.5 ~ 0.1MPa,根据出钢量逐渐减小。

[0037] 精炼过程中进行合金成分调整、夹杂物控制和目标温度控制。为保证脱硫效果,采用高碱度渣,终渣的二元碱度控制在 3.5 左右,白渣时间不小于 15 分钟;为确保合金成分的均匀性,在精炼结束前 10 分钟停止加料;基本合金及其加入顺序为锰铁→硅铁→铬铁→钛铁→钒铁→硼铁,先充分脱氧,再添加容易氧化的合金元素,可以提高收得率与成分命中

率;为控制钢液氧化性,要求精炼终渣(FeO+MnO) $\leq 1.0\text{wt}\%$;精炼过程中,可根据成品成分的要求选择加入铝锭,选择脱氧后加,可进行深脱氧,提高收得率与命中率,选择在铬铁前加,以确保形成的氧化铝夹杂物有足够的时间上浮;精炼过程中,可根据成品成分的要求选择加入硼铁,选择添加钒铁后加硼铁,是为了防止硼与钢水中的自由氮结合形成氮化硼。

[0038] 精炼结束后喂硅钙合金线,是为了调整夹杂物成分和形貌,增大其变形能力;喂入量要精确计算,防止元素超标;7分钟以上的软搅拌时间有助于确保大型夹杂物充分上浮,提高钢液纯净度;为防止在软搅拌时发生钢液和空气接触造成氧化吸氮,氩气压力不应超过0.2MPa;精炼结束后可根据成品成分要求喂入镁线,钢液中的镁可形成细小的夹杂物,有助于细化奥氏体晶粒。

[0039] 连铸小方坯横截面尺寸为140cm \times 140cm,长16m;连铸中间包过热度控制在15~30 $^{\circ}\text{C}$,以减小中心偏析;拉坯速率稳定在2.6~2.7米/分钟,以防止拉速波动引起的卷渣和中心偏析的恶化;结晶器和末端电磁搅拌有助于减小方坯的中心偏析和中心疏松。

[0040] 高线轧制时,加热炉温度控制在1100~1150 $^{\circ}\text{C}$,可促进中心偏析处的碳元素扩散,促进合金碳化物溶解,使其在轧制过程中更好地起到细化晶粒的作用,同时又可以防止温度过高引起的严重脱碳;开轧温度控制在1030~1070 $^{\circ}\text{C}$,精轧入口温度低于1020 $^{\circ}\text{C}$,轧制速度根据成品规格变化,对13mm盘条,轧制速度为41m/s;吐丝温度为880 \pm 10 $^{\circ}\text{C}$,与更高温度吐丝相比,该温度有利于提高塑性,减少先共析网状渗碳体。

[0041] 斯太尔摩控冷采用快冷 \rightarrow 保温 \rightarrow 缓冷工艺,珠光体相变前冷却速率控制在11~14 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,相变后冷速为1.5~2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。是为了在相变前快速冷却,以减少先共析网状渗碳体,降低相变温度以细化珠光体片层间距;在相变过程中减小温度波动,有利于提高盘条的均匀性;相变后期缓慢冷却,可以促进富集合金元素的中心偏析转变为珠光体组织,防止形成芯部马氏体,减少残余应力,缩短时效期。为实现上述目的,使用标准型模式,保温罩全部开启;滚道传输速率控制在0.7~1.3米/秒,前快后慢;1~4号风机风量为满负荷的100%,风挡全开,5~10号风机风量为满负荷的0~70%,其余风机风量为0,风挡全关。

[0042] 本发明的超高强度钢绞线用低合金高碳钢盘条,直径为11~15mm,抗拉强度 R_m 为1330~1410MPa,平均为1380MPa,断面收缩率 $Z \geq 32\%$,断后伸长率 $A \geq 9\%$ 。索氏体含量 $\geq 90\%$,不应有网状渗碳体及其它异常组织;盘条夹杂物控制按照国标GB/T 10561要求:A类 ≤ 2.0 级,B类 ≤ 1.5 级,C类 ≤ 1.5 级,D类 ≤ 1.5 级。本发明的低合金高碳钢盘条可用于2100MPa级超高强度预应力钢绞线、1960MPa级镀锌钢绞线、以及1860MPa级镀锌钢丝的生产。而且生产工艺简单,成本较低,具有广阔的市场前景。

具体实施方式

[0043] 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。

[0044] 在所有实施例中,V和Ti均为必要元素,它们的复合作用保证了最终高碳钢盘条的组织 and 性能。

[0045] 实施例1根据上述工艺进行了生产,实际检验的盘条成品化学成分及其重量比为:C:0.87%;Si:0.91%;Mn:0.68%;P:0.007%;S:0.003%;V:0.075%;Ti:0.038%;

Cr :0.19% ;Cu :0.12% ;Ni :0.05% ;O :15ppm ;N :60ppm ;Al :0.018 ;Ca :8ppm。生产过程采用“电炉冶炼 + 小方坯连铸连轧”路线。冶炼过程使用 100 吨超高功率电炉,总装料约 110 吨,原料使用铁水 45 吨,其余为经过挑选分类的废钢 ;冶炼过程中采用泡沫渣操作,为降低 P 含量,将石灰分 4 批加入,并采用流渣冶炼 ;终点碳含量为 0.18%。出钢进行到 1/4 时开始加入硅铁和硅锰合金脱氧,并加入碳粉和造渣料,出钢过程中氩气搅拌控制在 0.5 ~ 0.1MPa,根据出钢量逐渐减小。精炼过程中终渣的二元碱度控制在 3.5 左右,白渣时间超过 15 分钟 ;合金及其加入顺序为锰铁 → 硅铁 → 铬铁 → 钛铁 → 钒铁,精炼终渣 (FeO+MnO) ≤ 1.0wt%。精炼结束后喂硅钙合金线,软搅拌时间为 10 分钟,底吹氩气压力 0.15MPa。连铸小方坯横截面尺寸为 140cm×140cm,长 16m ;连铸中间包过热度控制在 15 ~ 25℃ ;拉坯速率稳定在 2.65 米 / 分钟。

[0046] 高线轧制时,加热炉温度控制在 1100 ~ 1150℃,开轧温度控制在 1030 ~ 1070℃,精轧入口温度约 990℃,成品规格为 13mm,轧制速度为 41m/s ;吐丝温度为 880℃。斯太尔摩控冷采用快冷 → 保温 → 缓冷工艺,使用标准型模式,保温罩全部开启 ;各段辊道速率按顺序分别为 0.88、0.968、1.114、1.225、0.98、0.784、0.784、0.784、0.784、0.706、0.741、0.778m/s,16 台风机风量按顺序分别为满负荷 (19.6 万 m³/h) 的 100%、100%、100%、100%、70%、50%、50%、50%、50%、30%、0、0、0、0、0 ;1 ~ 10 号风挡全开,11 ~ 16 号风挡全关。经测定,珠光体相变前冷却速率控制在 11.7℃ /s,相变后冷速为 2.3℃ /s。

[0047] 最终盘条直径为 13mm,抗拉强度 Rm 平均为 1376MPa,断面收缩率平均为 36%,断后伸长率 A ≥ 9%。定量金相检验结果表明索氏体含量为 95%,未观察到网状渗碳体,中心偏析处最大马氏体尺寸小于 20 微米 ;盘条夹杂物等级为 :A 类 1.0 级,B 类 1.0 级,C 类 0 级,D 类 0.5 级。扫描电镜分析结果表明索氏体片层间距平均为 112 纳米,小于 SWRH82B 盘条。某下游客户用其生产 15.2mm 预应力钢绞线,成品强度超过 2100MPa,伸长率超过 4%,1000 小时应力损失小于 2%,其余指标也完全满足相关标准要求。

[0048] 实施例 2 根据上述工艺进行了生产,实际检验的盘条成品化学成分及其重量比为 :C :0.86% ;Si :0.86% ;Mn :0.70% ;P :0.006% ;S :0.001% ;V :0.082% ;Ti :0.032% ;Cr :0.20% ;Cu :0.09% ;Ni :0.03% ;O :16ppm ;N :55ppm ;B :13ppm。生产过程采用“电炉冶炼 + 小方坯连铸连轧”路线。冶炼过程使用 100 吨超高功率电炉,总装料约 110 吨,原料使用铁水 48 吨,其余为经过挑选分类的废钢 ;冶炼过程中采用泡沫渣操作,为降低 P 含量,将石灰分 4 批加入,并采用流渣冶炼 ;终点碳含量为 0.21%。出钢进行到 1/4 时开始加入硅铁和硅锰合金脱氧,并加入碳粉和造渣料,出钢过程中氩气搅拌控制在 0.5 ~ 0.1MPa,根据出钢量逐渐减小。精炼过程中终渣的二元碱度控制在 3.5 左右,白渣时间超过 18 分钟 ;合金及其加入顺序为锰铁 → 硅铁 → 铬铁 → 钛铁 → 钒铁 → 硼铁,精炼终渣 (FeO+MnO) ≤ 1.0wt%。精炼结束后喂硅钙合金线,软搅拌时间为 15 分钟,底吹氩气压力 0.15MPa。连铸小方坯横截面尺寸为 140cm×140cm,长 16m ;连铸中间包过热度控制在 15 ~ 25℃ ;拉坯速率稳定在 2.63 米 / 分钟。

[0049] 高线轧制时,加热炉温度控制在 1100 ~ 1150℃,开轧温度控制在 1030 ~ 1070℃,精轧入口温度约 990℃,成品规格为 13mm,轧制速度为 41m/s ;吐丝温度为 880℃。斯太尔摩控冷采用快冷 → 保温 → 缓冷工艺,使用标准型模式,保温罩全部开启 ;各段辊道速率按顺序分别为 0.88、0.968、1.114、1.225、0.98、0.784、0.784、0.784、0.784、0.706、0.741、0.778m/

s, 16 台风机风量按顺序分别为满负荷 (19.6 万 m³/h) 的 100%、100%、100%、100%、70%、50%、50%、50%、50%、30%、0、0、0、0、0、0 ; 1 ~ 10 号风挡全开, 11 ~ 16 号风挡全关。经测定, 珠光体相变前冷却速率控制在 11.7℃ /s, 相变后冷速为 2.3℃ /s。

[0050] 盘条直径为 13mm, 抗拉强度 Rm 平均为 1370MPa, 断面收缩率平均为 37%, 断后伸长率 A ≥ 9%。定量金相检验结果表明索氏体含量为 96%, 未观察到网状渗碳体, 中心偏析处最大马氏体尺寸小于 20 微米; 盘条夹杂物等级为: A 类 1.0 级, B 类 0.5 级, C 类 0 级, D 类 0.5 级。扫描电镜分析结果表明索氏体片层间距平均为 120 纳米。某下游客户用其生产 7mm 镀锌钢丝, 成品强度超过 1860MPa, 伸长率超过 4.5%, 1000 小时应力损失小于 2%, 弯曲次数超过 6 次, 其余指标也完全满足相关标准要求。

[0051] 实施例 3 根据上述工艺进行了生产, 实际检验的盘条成品化学成分及其重量比为: C : 0.88% ; Si : 0.98% ; Mn : 0.75% ; P : 0.010% ; S : 0.005% ; V : 0.068% ; Ti : 0.027% ; Cr : 0.22% ; Cu : 0.09% ; Ni : 0.04% ; O : 15ppm ; N : 62ppm ; Ca : 9ppm。生产过程采用“电炉冶炼 + 小方坯连铸连轧”路线。冶炼过程使用 100 吨超高功率电炉, 总装料约 110 吨, 原料使用铁水 52 吨, 其余为经过挑选分类的废钢; 冶炼过程中采用泡沫渣操作, 为降低 P 含量, 将石灰分 4 批加入, 并采用流渣冶炼; 终点碳含量为 0.15%。出钢进行到 1/4 时开始加入硅铁和硅锰合金脱氧, 并加入碳粉和造渣料, 出钢过程中氩气搅拌控制在 0.5 ~ 0.1MPa, 根据出钢量逐渐减小。精炼过程中终渣的二元碱度控制在 3.5 左右, 白渣时间超过 18 分钟; 合金及其加入顺序为锰铁 → 硅铁 → 铬铁 → 钛铁 → 钒铁, 精炼终渣 (FeO+MnO) ≤ 1.0wt%。精炼结束后喂硅钙合金线, 软搅拌时间为 12 分钟, 底吹氩气压力 0.15MPa。连铸小方坯横截面尺寸为 140cm × 140cm, 长 16m; 连铸中间包过热度控制在 15 ~ 25℃; 拉坯速率稳定在 2.65 米 / 分钟。

[0052] 高线轧制时, 加热炉温度控制在 1100 ~ 1150℃, 开轧温度控制在 1030 ~ 1070℃, 精轧入口温度约 990℃, 成品规格为 13mm, 轧制速度为 41m/s; 吐丝温度为 880℃。斯太尔摩控冷采用快冷 → 保温 → 缓冷工艺, 使用标准型模式, 保温罩全部开启; 各段辊道速率按顺序分别为 0.88、0.968、1.114、1.225、0.98、0.784、0.784、0.784、0.784、0.706、0.741、0.778m/s, 16 台风机风量按顺序分别为满负荷 (19.6 万 m³/h) 的 100%、100%、100%、100%、70%、50%、50%、50%、50%、30%、0、0、0、0、0、0 ; 1 ~ 10 号风挡全开, 11 ~ 16 号风挡全关。经测定, 珠光体相变前冷却速率控制在 11.7℃ /s, 相变后冷速为 2.3℃ /s。

[0053] 盘条直径为 13mm, 抗拉强度 Rm 平均为 1385MPa, 断面收缩率平均为 35%, 断后伸长率 A ≥ 9%。定量金相检验结果表明索氏体含量为 96%, 中心偏析处网状渗碳体小于 2 级, 中心偏析处最大马氏体尺寸小于 15 微米; 盘条夹杂物等级为: A 类 1.5 级, B 类 0.5 级, C 类 0.5 级, D 类 0.5 级。某下游客户用其生产 15.2mm 镀锌钢绞线, 成品强度超过 1960MPa, 伸长率超过 4.5%, 1000 小时应力损失小于 2%, 拉伸断口单丝最小面缩率大于 25%, 其余指标也完全满足相关标准要求。

[0054] 实施例 4 根据上述工艺进行了生产, 实际检验的盘条成品化学成分及其重量比为: C : 0.86% ; Si : 0.90% ; Mn : 0.71% ; P : 0.012% ; S : 0.06% ; V : 0.072% ; Ti : 0.033% ; Cr : 0.23% ; Cu : 0.11% ; Ni : 0.04% ; O : 13ppm ; N : 58ppm ; Al : 0.015 ; B : 12ppm。生产过程采用“电炉冶炼 + 小方坯连铸连轧”路线。冶炼过程使用 100 吨超高功率电炉, 总装料约 110 吨, 原料使用铁水 47 吨, 其余为经过挑选分类的废钢; 冶炼过程中采用泡沫渣操作, 为降低 P 含量,

将石灰分 4 批加入, 并采用流渣冶炼; 终点碳含量为 0.19%。出钢进行到 1/4 时开始加入硅铁和硅锰合金脱氧, 并加入碳粉和造渣料, 出钢过程中氩气搅拌控制在 0.5 ~ 0.1MPa, 根据出钢量逐渐减小。精炼过程中终渣的二元碱度控制在 3.5 左右, 白渣时间超过 18 分钟; 合金及其加入顺序为锰铁→硅铁→铬铁→钛铁→钒铁→硼铁, 精炼终渣 (FeO+MnO) ≤ 1.0wt%。精炼结束后喂硅钙合金线, 软搅拌时间为 13 分钟, 底吹氩气压力 0.15MPa。连铸小方坯横截面尺寸为 140cm×140cm, 长 16m; 连铸中间包过热度控制在 15 ~ 25℃; 拉坯速率稳定在 2.63 米 / 分钟。

[0055] 高线轧制时, 加热炉温度控制在 1100 ~ 1150℃, 开轧温度控制在 1030 ~ 1070℃, 精轧入口温度约 990℃, 成品规格为 11mm, 轧制速度为 58m/s; 吐丝温度为 880℃。斯太尔摩控冷采用快冷→保温→缓冷工艺, 使用标准型模式, 保温罩全部开启; 各段辊道速率按顺序分别为 0.88、0.968、1.114、1.225、0.98、0.784、0.784、0.784、0.784、0.706、0.741、0.778m/s, 16 台风机风量按顺序分别为满负荷 (19.6 万 m³/h) 的 100%、100%、100%、60%、50%、50%、50%、30%、30%、0、0、0、0、0、0; 1 ~ 9 号风挡全开, 10 ~ 16 号风挡全关。经测定, 珠光体相变前冷却速率控制在 12.2℃/s, 相变后冷速为 2.4℃/s。

[0056] 盘条直径为 11mm, 抗拉强度 Rm 平均为 1387MPa, 断面收缩率平均为 37%, 断后伸长率 A ≥ 9%。定量金相检验结果表明盘条芯部索氏体含量为 95%, 中心偏析处网状渗碳体小于 1.5 级, 中心偏析处最大马氏体尺寸小于 20 微米; 盘条夹杂物等级为: A 类 1.5 级, B 类 0.5 级, C 类 0.5 级, D 类 0.5 级。某下游客户用其生产 12.7mm 预应力钢绞线, 强度超过 2100MPa, 伸长率超过 4%, 1000 小时应力损失小于 2%, 其余指标也完全满足相关标准要求。