



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102107215 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201110001199. 6

CN 101537427 A, 2009. 09. 23,

(22) 申请日 2011. 01. 05

CN 101549356 A, 2009. 10. 07,

(73) 专利权人 北京工业大学

CN 101797630 A, 2010. 08. 11,

地址 100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

US 6095957 A, 2000. 08. 01,

(72) 发明人 符寒光 郭红星 蒋业华 周荣

审查员 刘宝聚

雷永平 岑启宏 窦永平

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理
有限公司 11203

代理人 沈波

(51) Int. Cl.

B21B 27/02 (2006. 01)

B22D 19/16 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 61238454 A, 1986. 10. 23,

JP 63199825 A, 1988. 08. 18,

权利要求书 2 页 说明书 10 页

(54) 发明名称

一种资源节约型含硼高速钢复合轧辊及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种资源节约型含硼高速钢复合轧辊及其制备方法,由外层和辊芯两部分通过离心复合铸造而成。其外层各种原料组成:35-40%高速钢轧辊的合金铁屑、20-25%高铬铸铁轧辊的合金铁屑、15-20%高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、4-8%钨渣铁合金、1.0-1.5%硼铁、1.0-1.2%低碳锰铁、0.15-0.25%钛铁、0.2-0.3%钇基重稀土硅铁合金、0.25-0.30%氮化铬铁、0.2-0.3%镁铝钙合金,余量是低碳废钢片。辊芯是球墨铸铁。本发明复合轧辊具有良好的综合力学性能和耐磨性,且以轧辊加工残渣为主要原料,具有节约资源和成本低廉等特点,推广应用具有良好的经济和社会效益。

1. 一种含硼高速钢复合轧辊,由外层和辊芯两部分通过离心复合铸造而成,其特征在于,轧辊辊芯是球墨铸铁;轧辊外层各种原料的加入量为 35~40% 高速钢轧辊的合金铁屑,20~25% 高铬铸铁轧辊的合金铁屑,15~20% 高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑,1.0~1.2% 低碳锰铁,4~8% 钨渣铁合金,1.0~1.5% 硼铁,0.15~0.25% 钛铁、0.2~0.3% 钇基重稀土硅铁合金,0.25~0.30% 氮化铬铁,0.2~0.3% 镁铝钙合金,余量是低碳废钢片;

轧辊辊芯球墨铸铁具体组成质量分数是 3.5~3.8% C,2.4~2.7% Si, Mn < 0.30%, Cr < 0.15%, 0.05~0.08% Ti, P < 0.04%, S < 0.03%, 0.035~0.055% Mg, 0.015~0.035% RE, Fe 余量;

高速钢轧辊的合金铁屑的组成的质量百分数为:1.50~2.20% C,0.30~1.00% Si, 0.40~1.20% Mn,3.00~8.00% Cr,0.00~1.50% Ni,2.00~8.00% Mo,2.00~9.00% V,0.00~8.00% W, ≤ 8.00% Co, ≤ 5.00% Nb, 余量 Fe;高铬铸铁轧辊的合金铁屑组成的质量百分数为:2.30~3.30% C,0.30~1.00% Si,0.50~1.20% Mn,0.70~1.70% Ni, 15~22% Cr,0.7~3.0% Mo, 余量 Fe;高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑组成的质量百分数为:3.01~4.80% Ni,1.00~2.00% Cr,2.90~3.60% C,0.60~1.50% Si,0.40~1.20% Mn,0.20~1.00% Mo, 余量 Fe;低碳锰铁组成的质量百分数为:80.0~87.0% Mn, ≤ 0.7% C, ≤ 1.0% Si, P ≤ 0.20%, S ≤ 0.02%, 余量 Fe;钨渣铁合金组成的质量百分数为:4.0~7.0% W,14~17% Mn,0.4~0.7% Nb,0.05~0.20% Ta, < 0.20% Ti, 余量 Fe;硼铁组成的质量百分数为:17.0~19.0% B, < 0.5% C, < 3.5% Si, 余量 Fe;钇基重稀土硅铁合金组成的质量百分数为:35~40% RE,40~45% Si,6~10% Ca,14~18% Fe;氮化铬铁组成的质量百分数为:60~65% Cr,3.5~6.5% N,0.02~0.06% C,0.7~1.5% Si, 余量 Fe;镁铝钙合金组成的质量百分数为:50~55% Al,4~5% Ca,1.5~2.0% Mg, 余量 Fe。

2. 权利要求 1 的复合轧辊的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

第一步:外层含硼高速钢材料的熔炼

①先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体,并在压力机上压实成尺寸为(150~250)mm×(150~250)mm×(150~250)mm 的方块,然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化;

②钢水熔清后,当钢水温度达到 1550~1580℃ 时,先加低碳锰铁预脱氧,再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化,然后依次加入氮化铬铁、钛铁、硼铁,当钢水温度达到 1580~1600℃ 时出炉;

③将钇基重稀土硅铁合金破碎至粒度为 5~12mm 的小块,经 150~200℃ 烘干后,置于浇包底部,用包内冲入法对钢水进行变质处理,同时加入造渣剂,钢水经扒渣后待浇注;

第二步:辊芯球墨铸铁的熔炼

用电炉或冲天炉熔炼辊芯铁水,辊芯选用球墨铸铁,辊芯铁水出炉温度 1480~1520℃;

第三步:轧辊复合铸造成形

①先在离心机上浇注外层含硼高速钢钢水,钢水浇注温度为 1480~1520℃;

②外层浇注完毕 8~16 分钟后,用非接触式测温仪测量轧辊外层内表面温度,当温度

为 1280℃～1320℃时,浇入辊芯球墨铸铁铁水,铁水浇注温度为 1300～1350℃;

③辊芯铁水浇注完毕 30～48 小时后,取出含硼高速钢复合轧辊进保温炉或缓冷坑;
第四步:含硼高速钢复合轧辊热处理和机械加工

①将含硼高速钢复合轧辊先在 920～960℃退火,退火保温时间 10～15 小时,炉冷至温度低于 400℃后空冷至室温;

②含硼高速钢复合轧辊经退火后进行粗加工,然后进行淬火处理,淬火过程中先将轧辊加热至 1020～1050℃,保温 6～12 小时后,出炉风冷 40～100 分钟,辊面温度低于 300℃进行回火处理;

③含硼高速钢复合轧辊回火过程中,先将轧辊加热至 460～500℃,保温 12～18 小时后,炉冷至 150℃以下,空冷,并在相同工艺下回火两次,最后将轧辊精加工至规定尺寸和精度。

一种资源节约型含硼高速钢复合轧辊及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及复合轧辊及其制备方法,特别涉及一种资源节约型含硼高速钢复合轧辊及其制备方法,属于轧钢技术领域。

背景技术

[0002] 轧辊是轧钢生产中的主要消耗备件,轧辊质量直接影响轧材表面质量、轧机作业率和轧材生产成本,提高轧辊质量,降低轧辊生产成本一直是轧辊生产企业不断关注的课题。

[0003] 目前常用的热轧辊材质有高镍铬无限冷硬铸铁、半钢、高铬白口铸铁和高碳高速钢等,前者高镍铬无限冷硬铸铁轧辊因碳化物呈连续网状分布,轧辊脆性大;而半钢轧辊因硬度低,耐磨性较差;高铬白口铸铁的含铬量在 12-28%之间,含碳量在 2.4-3.6%之间,其耐磨性取决于碳和合金元素的含量、基体组织及碳化物的种类以及形态分布等。高铬铸铁的显微组织是由初生奥氏体或其转变产物和共晶组织所组成。其共晶碳化物为六角形杆状及板条状的 M_7C_3 型碳化物,呈断网状分布,显微硬度高达 Hv1300-1800。高铬铸铁用作轧辊,通过热处理后可获得具有一定韧性的较硬的基体上,均匀分布有孤立的硬块状一次碳化物和一定量的弥散分布的二次碳化物组织,具有较强的抗磨料磨损性能。合金元素的加入及相应的铸造和热处理工艺都是为了得到这种形态分布的合金碳化物及马氏体加一定量的残余奥氏体。目前高铬铸铁已广泛用于轧辊生产中。但是,高铬铸铁轧辊仍存在高温硬度低和高温耐磨性稍差等不足。高碳高速钢轧辊具有高温硬度高和高温耐磨性好等特点,在热轧生产中取代高镍铬无限冷硬铸铁轧辊、半钢轧辊和高铬白口铸铁轧辊,都取得了良好的使用效果。

[0004] 美国专利 US6095957 公开了采用离心铸造方法制造高速钢轧辊,轧辊主要成分为:2.4-2.9% C, $\leq 1\%$ Si, $\leq 1\%$ Mn, 12-18% Cr, 3-9% Mo, 3-8% V, 0.5-4% Nb, 余 Fe。加入较多的 Nb 主要是为了减轻 VC 的偏析。日本特许公报 JP6330235-A 也报道了采用离心铸造方法制造高速钢轧辊,其轧辊组成如下:1.4-2.6% C, 0.2-1.5% Si, $\leq 1.5\%$ Mn, 3-8% Cr, 6-14% (2Mo+W), 4-8% V, 且 $V \leq 11.5-2.5 \times C$, 0.3-2.5% Ti, 余 Fe, 其化学组成中不含镍,但含有较多的钛。日本特许公报 JP6330234-A 还报道了采用离心铸造方法制造高硬度耐磨高速钢轧辊,其轧辊组成如下:0.1-2.5% C, 0.2-1.5% Si, $\leq 1.5\%$ Mn, 3-8% Cr, 6-14% (2Mo+W), 3-8% V, 0.3-4% Ta, 余 Fe, 其化学组成中含有较多价格昂贵的钽。

[0005] 中国发明专利 CN1807671 公开了一种冶金轧辊工艺配方,尤其是公开一种连续铸造复合高速钢轧辊外层辊身的工艺配方。外层辊身的工艺配方(重量%)是:1.5-3.5C, 2.0-7.0Cr, 2.0-7.0Mo, 4.0-10.0V, 4.0-10.0W, 0-10.0Co, Ni < 2.0, 其余为 Fe。采用该配方可以开发 W、V 含量高、偏析轻、耐磨性好的复合高速钢轧辊,来满足热连轧技术的需求,降低轧制中换辊频率,大幅度提高轧机的作业率。中国发明专利 CN1631565 公开了高钒高速钢复合轧辊及生产工艺,轧辊分为辊芯和轧辊耐磨层,辊芯采用韧性较好的低合金钢或中碳钢材料制作,轧辊耐磨层采用高钒高速钢材料,该高钒高速钢的主要元素含量为:C:

1.8-3.5%、V:7-12%、Cr:4-5%、Mo:2-4%、Ni:0.5-1.5%，余量为铁。其生产工艺为：辊芯与轧辊耐磨层通过感应加热顺序凝固结晶方法复合熔铸为一体。轧辊组织致密、均匀，无偏析，两种材料为良好的冶金结合，结合强度高，使用过程中不会发生断裂、碎裂现象，可减少易损件失效而造成的停机次数，有效提高了轧辊的韧性和耐磨性。中国发明专利CN1179368也公开了一种离心复合高速钢轧辊的生产方法，主要特征是轧辊外层材质为高速钢，轧辊芯部材质为合金球墨铸铁，两种不同材料采用离心铸造复合而成。外层钢水在浇注前加入稀土进行变质处理，稀土的加入量为0.03~0.5%。同时，在外层钢水浇注后加入保护剂保护，以防止外层内表面的氧化，保护剂的加入量为3~5kg/m²，外层钢水的浇注温度为1400~1550℃，芯部铁水的浇注温度为1350~1450℃。但是，由于凝固温度范围宽，热裂抗力低，加之在离心铸造过程中受离心压力和离心机震动而产生的机械应力作用，离心铸造高速钢轧辊极易出现裂纹。轧辊使用条件苛刻，性能要求高，工作面不允许焊补，裂纹的出现直接导致轧辊报废。中国发明专利CN101773935A还公开了一种高速钢复合轧辊，包括外层和辊芯，所述外层的化学组成成分（质量分数，%）是：0.5-0.8C, 1.5-1.8B, 8.0-11.0Cr, 4.0-5.5Mo, 1.0-1.2V, 2.0-2.5Al, 0.1-0.4Ni, 0.04-0.08Mg, 0.06-0.15Ti, Si < 0.7, Mn < 0.4, S < 0.04, P < 0.05, 余量为Fe；所述辊芯是球墨铸铁。该发明还公开了上述复合轧辊的制备方法：将复合轧辊外层和辊芯分别用电炉熔炼，采用离心铸造方法复合成形。中国发明专利CN101705430A还公开了一种高速钢轧辊及其在电磁场下离心复合制备方法，高速钢轧辊的工作层材质成分为（重量%）：C:1.5%~2.5%，V:4.0~6.0%，W:4.0%~6.0%，Mo:1.5%~4.5%，Cr:2.0%~4.0%，Zr:0.04%~0.18%，B:0.001~0.003%，Si ≤ 0.5%，Mn ≤ 0.5%，余量为Fe及杂质元素，杂质中要求S < 0.01%，P < 0.01%，O < 0.0010%。采用脉冲电磁场下离心复合方法浇铸轧辊，脉冲磁场的频率为0.1~10Hz，铸型中心磁场的峰值强度为1~10T。该轧辊具有多种析出强化相，施加的脉冲磁场使强化相及基体晶粒有效细化，并使强化相弥散分布，克服了合金元素的偏析，能大幅度提高轧辊的性能。中国发明专利CN101812646A还公开了轧辊用高速钢合金的铸造工艺，涉及金属铸造工艺，该工艺先采用快淬甩带法分别制得薄片状的纳米晶稀土硅铁孕育剂和薄片状的纳米晶硼铁细化剂，再用由该纳米晶稀土硅铁孕育剂和纳米晶硼铁细化剂构成的变质剂对轧辊用高速钢合金组织进行晶粒和组织细化处理，以克服高速钢合金铸造的缺陷，显著细化了其基体晶粒并使碳化物断网，从而明显地提高了所制得的高速钢轧辊的综合力学性能。中国发明专利CN101574706还公开了一种亚半高速钢轧辊及其热处理工艺，亚半高速钢轧辊的组成是：①化学成份质量含量：C:0.5~1.2%，Si:0.20~0.85%，Cr:0.90~5.00%，Mn+Mo+Ni+V+Ti+Re:1.2~5.0%；②组织：珠光体+索式体+MC、M₂C+少量铁素体；或马氏体+残奥+MC、M₂C，或贝式体；③硬度55~75HSD。中国发明专利CN101274359还公开了一种电磁离心铸造高速钢复合轧辊工作层材质，其成分质量百分比为：C 1.8~2.5、W 3~10.0、Mo 2~4、Cr 4.0~7.0、V 0.5~2、RE 0.03~0.5、Si ≤ 1、Mn ≤ 1、余量为Fe和不可避免杂质；其中，在辊身工作层离心浇注和凝固过程中，施加磁感应强度为0.21T~0.30T的电磁场。该发明高碳高钨高速钢材质，采用电磁离心铸造工艺可以制造高碳高钨高速钢复合轧辊，以W代V，不仅消除了铸造组织的宏观偏析，有效地控制MC碳化物均匀分布，而且明显地改善了高速钢复合轧辊的使用性能。中国发明专利CN1853811还公开了复合高速钢轧辊及制备方法，该发明是关于对复合高速钢轧辊及制备方法的改进，其特征是轧辊

自外向内依次为高速钢工作层、芯部材料组成的中间层 1、中间层 2、芯部 1 和芯部 2。该轧辊制备采用离心浇注,浇注工作层后,降低转速分别浇注中间层 1 和中间层 2,然后再次降低转速至 200-350 转/分浇注芯部 1,关闭动力自由减速浇注芯部 2。该发明复合高速钢轧辊,较原双层或三层复合高速钢轧辊,在轧制过程中工作层剥落率降低 30%左右,断辊机率减少 50-60%,但存在制造工艺复杂等不足。且上述高速钢复合轧辊都需要加入较多的钨、钼、钒、铌等铁合金,造成了资源的巨大浪费。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种高性能且廉价的资源节约型含硼高速钢复合轧辊及其制备方法,本发明是以加工高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊后所剩合金铁屑以及钨渣铁合金、硼铁为主要合金原料。另外,为了净化金属熔液,在轧辊冶炼过程中,先用低碳锰铁预脱氧,再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化。为了细化凝固组织,还加入了钷基重稀土硅铁合金、钛铁、氮化铬铁等材料。

[0007] 本发明的目的可以通过以下措施来实现:

[0008] 本发明轧辊由外层和辊芯两部分通过离心复合铸造而成,本发明轧辊辊芯是球墨铸铁,具体成分(质量分数)是 3.5~3.8% C, 2.4~2.7% Si, Mn < 0.30%, Cr < 0.15%, 0.05~0.08% Ti, P < 0.04%, S < 0.03%, 0.035~0.055% Mg, 0.015~0.035% RE, Fe 余量。

[0009] 本发明轧辊外层各种原料的加入量(质量分数)是:35~40%高速钢轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:1.50~2.20% C, 0.30~1.00% Si, 0.40~1.20% Mn, 3.00~8.00% Cr, 0.00~1.50% Ni, 2.00~8.00% Mo, 2.00~9.00% V, 0.00~8.00% W, ≤ 8.00% Co, ≤ 5.00% Nb, 余量 Fe)、20~25%高铬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:2.30~3.30% C, 0.30~1.00% Si, 0.50~1.20% Mn, 0.70~1.70% Ni, 15~22% Cr, 0.7~3.0% Mo, 余量 Fe)、15~20%高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:3.01~4.80% Ni, 1.00~2.00% Cr, 2.90~3.60% C, 0.60~1.50% Si, 0.40~1.20% Mn, 0.20~1.00% Mo, 余量 Fe)、1.0~1.2%低碳锰铁(具体质量百分数为:80.0-87.0% Mn, ≤ 0.7% C, ≤ 1.0% Si, P ≤ 0.20%, S ≤ 0.02%, 余量 Fe)、4~8%钨渣铁合金(具体质量百分数为:4.0~7.0% W, 14~17% Mn, 0.4~0.7% Nb, 0.05~0.20% Ta, < 0.20% Ti, 余量 Fe)、1.0~1.5%硼铁(具体质量百分数为:17.0~19.0% B, < 0.5% C, < 3.5% Si, 余量 Fe)、0.15~0.25%钛铁、0.2~0.3%钷基重稀土硅铁合金(具体质量百分数为:35~40% RE, 40~45% Si, 6~10% Ca, 14~18% Fe)、0.25~0.30%氮化铬铁(具体质量百分数为:60~65% Cr, 3.5~6.5% N, 0.02~0.06% C, 0.7~1.5% Si, 余量 Fe)、0.2~0.3%镁铝钙合金(具体质量百分数为:50~55% Al, 4~5% Ca, 1.5~2.0% Mg, 余量 Fe), 余量是低碳废钢片。

[0010] 本发明含硼高速钢复合轧辊的制备过程如下:

[0011] 第一步:外层含硼高速钢材料的熔炼

[0012] ①先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体,并在压力机上压实成尺寸为(150~250)mm×(150~250)mm×(150~250)mm的方块,然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化。

[0013] ②钢水熔清后,当钢水温度达到 1550 ~ 1580℃时,先加低碳锰铁预脱氧,再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化,然后依次加入氮化铬铁、钛铁、硼铁,当钢水温度达到 1580 ~ 1600℃时出炉。

[0014] ③将钕基重稀土硅铁合金破碎至粒度为 5 ~ 12mm 的小块,经 150 ~ 200℃烘干后,置于浇包底部,用包内冲入法对钢水进行变质处理。同时加入造渣剂,钢水经扒渣后待浇注。

[0015] 第二步:辊芯球墨铸铁的熔炼

[0016] 用电炉或冲天炉熔炼辊芯铁水,辊芯选用球墨铸铁,辊芯铁水出炉温度 1480 ~ 1520℃。

[0017] 第三步:轧辊复合铸造成形

[0018] ①先在离心机上浇注外层含硼高速钢钢水,钢水浇注温度为 1480 ~ 1520℃;

[0019] ②外层浇注完毕 8 ~ 16 分钟后,用非接触式测温仪测量轧辊外层(即辊身)内表面温度,当温度为 1280℃ ~ 1320℃时,浇入辊芯球墨铸铁铁水,铁水浇注温度为 1300 ~ 1350℃;

[0020] ③辊芯铁水浇注完毕 30 ~ 48 小时后,取出含硼高速钢复合轧辊进保温炉或缓冷坑。

[0021] 第四步:含硼高速钢复合轧辊热处理和机械加工

[0022] ①将含硼高速钢复合轧辊先在 920 ~ 960℃退火,退火保温时间 10 ~ 15 小时,炉冷至温度低于 400℃后空冷至室温;

[0023] ②含硼高速钢复合轧辊经退火后进行粗加工,然后进行淬火处理,淬火过程中先将轧辊加热至 1020 ~ 1050℃,保温 6 ~ 12 小时后,出炉风冷 40 ~ 100 分钟,辊面温度低于 300℃进行回火处理;

[0024] ③含硼高速钢复合轧辊回火过程中,先将轧辊加热至 460 ~ 500℃,保温 12 ~ 18 小时后,炉冷至 150℃以下,空冷,并在相同工艺下回火两次,最后将轧辊精加工至规定尺寸和精度。

[0025] 轧辊材质的性能是由金相组织决定的,而轧辊的组织取决于化学成分及热处理工艺,本发明复合轧辊由外层和辊芯两部分通过离心复合铸造而成,其外层化学成分是这样确定的:

[0026] 本发明外层的主要原材料是高速钢轧辊的合金铁屑、高铬铸铁轧辊的合金铁屑、高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金和低碳废钢片,高速钢轧辊的合金铁屑中含有较多的钒、钼、铬等合金元素,高铬铸铁轧辊的合金铁屑中含有较多的铬、钼、镍等合金元素,高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑中含有较多的镍、铬等合金元素,它们加入轧辊中能增加轧辊中钒、钼、铬、镍等元素含量,同时也增加轧辊中的碳含量,但加入量太多,轧辊中夹杂物增多,反而损害轧辊的力学性能,因此,高速钢轧辊的合金铁屑的加入量控制在 35 ~ 40%、高铬铸铁轧辊的合金铁屑的加入量控制在 20 ~ 25%、高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑的加入量控制在 15 ~ 20%。

[0027] 钨渣铁合金是铁合金厂冶炼钨铁所剩的工业废渣,其中仍含有一定量的合金元素,这些废渣若再次提取合金,成本高、不经济,但弃之又十分可惜。长期大量堆积还会造成环境污染,影响正常生产。钨渣铁合金中含有钨、锰、铌、钽等合金元素,加入轧辊中,可增加

轧辊中钨和锰的含量,提高轧辊红硬性和淬透性,铌和钽是强碳化物形成元素,加入轧辊中还具有细化凝固组织和改善轧辊力学性能的作用,钨渣铁合金加入量过多,易污染轧辊,合适的加入量宜控制在 4 ~ 8%。

[0028] 另外加入 1.0 ~ 1.2% 低碳锰铁,除了起脱氧作用外,还可提高轧辊淬透性。在轧辊中加入硼铁,部分硼可进入碳化物,有利于提高碳化物硬度和热稳定性,部分硼进入基体,可提高基体淬透性和淬硬性,从而可提高轧辊耐磨性,但硼铁加入量过多,反而降低轧辊韧性,因此硼铁加入量控制在 1.0 ~ 1.5%。

[0029] 本发明轧辊外层的主要原料是轧辊加工所剩的合金铁屑,合金铁屑中油污多,污染严重,轧辊中加入镁铝钙合金,主要起脱氧、脱硫、净化钢水和改善夹杂物形态与分布的作用,从而提高轧辊强度和韧性。加入 0.15 ~ 0.25% 钛铁和 0.25 ~ 0.30% 氮化铬铁后,氮和钛可形成高熔点的细小 TiN 颗粒,起促进初生奥氏体和共晶碳硼化合物形核的作用,导致初生奥氏体和共晶碳硼化合物组织的细化,促进轧辊材料强度、韧性和热疲劳性能的明显提高。

[0030] 稀土加入钢中具有脱硫、除气的作用,同时稀土与液态金属反应生成的细小粒子,具有加速凝固的形核作用,稀土元素的这些特性能细化含硼高速钢晶粒,限制树枝晶偏析,提高机械性能和耐磨性。加稀土的副作用是带来夹杂,为了充分发挥稀土的有益作用,克服其副作用,用钇基重稀土取代常用的铈基轻稀土。钇基重稀土可获得密度较小的脱氧、脱硫产物,以利于其上浮。铈稀土的脱氧、脱硫产物以 Ce_2O_2S 计,其密度为 $6.00g/cm^3$,钇稀土的脱氧、脱硫产物以 Y_2O_2S 计,密度为 $4.25g/cm^3$,按 Stokes 公式 (Ladenburg R. W, Physical Measurements in Gas Dynamics and in Combustion, New York: Princeton University Press, 1964, 137 ~ 144.) 计算夹杂物的上浮速度 V 为:

[0031]

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 (\rho_{液} - \rho_{杂})}{\eta} \quad (1)$$

[0032] 式中: V - 夹杂物上浮速度, m/sec ; r - 夹杂物半径, m ; $\rho_{液}$ - 金属液体的密度, N/m^3 ; $\rho_{杂}$ - 夹杂物的密度, N/m^3 ; η - 液体的动力粘度, $N \cdot s/m^2$ 。可见后者的上浮速度较前者增大 1 倍,这是使用钇稀土获得洁净组织对钢污染少的重要原因。综合考虑,轧辊外层材料中加入 0.2 ~ 0.3% 钇基重稀土硅铁合金。

[0033] 本发明轧辊在熔炼之前,先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体,并在压力机上压实成尺寸为 $(150 \sim 250)mm \times (150 \sim 250)mm \times (150 \sim 250)mm$ 的方块,然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化,这样可提高合金铁屑、钨渣铁合金和废钢片的熔化速率,减少金属元素的烧损,还可减少金属液体中夹杂物数量,有利于改善轧辊性能。

[0034] 本发明轧辊与现有技术相比具有以下优点:

[0035] 1) 本发明轧辊以加工高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金和低碳废钢片为主要合金原料,不加价格昂贵的镍板、钼铁和钒铁等材料,具有节约资源和生产成本低廉的优势;

[0036] 2) 本发明轧辊加入镁铝钙合金终脱氧和微合金化,并加入氮化铬铁、钛铁和钇基重稀土硅铁进行复合变质处理,因此轧辊中夹杂物少,显微组织纯净度高,且显微组织细

小；

[0037] 3) 本发明轧辊中,加入硼铁合金化,可提高轧辊淬透性和淬硬性,轧辊淬硬层深度大于 60mm,辊面硬度达到 82 ~ 85HSD ;

[0038] 4) 本发明轧辊应用于热轧带钢轧机和棒材轧机上,使用寿命比高镍铬无限冷硬铸铁轧辊提高 3 ~ 4 倍,而生产成本仅增加 25 ~ 30%。

具体实施方式

[0039] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0040] 实施例 1 :

[0041] 本实施例的含硼高速钢复合轧辊为 $\phi 480\text{mm} \times 900\text{mm}$ 热带连轧工作辊。其外层(即辊身)和辊芯分别用 750kg 和 3000kg 中频感应电炉熔炼,其制造工艺步骤是:

[0042] 第一步:外层含硼高速钢材料的熔炼

[0043] ①先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体,并在压力机上压实成尺寸为(150 ~ 250)mm \times (150 ~ 250)mm \times (150 ~ 250)mm 的方块,然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化。

[0044] ②钢水熔清后,当钢水温度达到 1552 $^{\circ}\text{C}$ 时,先加低碳锰铁预脱氧,再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化,然后依次加入氮化铬铁、钛铁、硼铁,当钢水温度达到 1585 $^{\circ}\text{C}$ 时出炉。

[0045] ③将钪基重稀土硅铁合金破碎至粒度为 5 ~ 12mm 的小块,经 150 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后,置于浇包底部,用包内冲入法对钢水进行变质处理。同时加入造渣剂,钢水经扒渣后待浇注。轧辊外层中各种原料的加入量(质量分数)是:35%高速钢轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:1.50 ~ 2.20% C,0.30 ~ 1.00% Si,0.40 ~ 1.20% Mn,3.00 ~ 8.00% Cr,0.00 ~ 1.50% Ni,2.00 ~ 8.00% Mo,2.00 ~ 9.00% V,0.00 ~ 8.00% W, \leq 8.00% Co, \leq 5.00% Nb,余量 Fe)、25%高铬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:2.30 ~ 3.30% C,0.30 ~ 1.00% Si,0.50 ~ 1.20% Mn,0.70 ~ 1.70% Ni,15 ~ 22% Cr,0.7 ~ 3.0% Mo,余量 Fe)、20%高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:3.01 ~ 4.80% Ni,1.00 ~ 2.00% Cr,2.90 ~ 3.60% C,0.60 ~ 1.50% Si,0.40 ~ 1.20% Mn,0.20 ~ 1.00% Mo,余量 Fe)、8%钨渣铁合金(具体质量百分数为:4.0 ~ 7.0% W,14 ~ 17% Mn,0.4 ~ 0.7% Nb,0.05 ~ 0.20% Ta, $<$ 0.20% Ti,余量 Fe)、1.0%硼铁(具体质量百分数为:17.0 ~ 19.0% B, $<$ 0.5% C, $<$ 3.5% Si,余量 Fe)、1.2%低碳锰铁(具体质量百分数为:80.0~87.0% Mn, \leq 0.7% C, \leq 1.0% Si, $P \leq$ 0.20%, $S \leq$ 0.02%,余量 Fe)、0.15%钛铁、0.3%钪基重稀土硅铁合金(具体质量百分数为:35 ~ 40% RE,40 ~ 45% Si,6 ~ 10% Ca,14 ~ 18% Fe)、0.30%氮化铬铁(具体质量百分数为:60 ~ 65% Cr,3.5 ~ 6.5% N,0.02 ~ 0.06% C,0.7 ~ 1.5% Si,余量 Fe)、0.2%镁铝钙合金(具体质量百分数为:50 ~ 55% Al,4 ~ 5% Ca,1.5 ~ 2.0% Mg,余量 Fe),余量是低碳废钢片。

[0046] 第二步:辊芯球墨铸铁的熔炼

[0047] 用电炉熔炼辊芯铁水,辊芯选用球墨铸铁,辊芯铁水出炉温度 1481 $^{\circ}\text{C}$ 。辊芯球墨铸铁的具体成分(质量分数)是:3.78% C,2.40% Si,0.24% Mn,0.08% Cr,0.06% Ti,0.038% P,0.009% S,0.054% Mg,0.017% RE,Fe 余量。

[0048] 第三步:轧辊复合铸造成形

- [0049] ①先在离心机上浇注外层含硼高速钢钢水,钢水浇注温度为 1481℃ ;
- [0050] ②外层浇注完毕 8 ~ 16 分钟后,用非接触式测温仪测量轧辊外层(即辊身)内表面温度,当温度为 1280℃ ~ 1320℃ 时,浇入辊芯球墨铸铁铁水,铁水浇注温度为 1347℃ ;
- [0051] ③辊芯铁水浇注完毕 30 小时后,取出含硼高速钢复合轧辊进保温炉。
- [0052] 第四步:含硼高速钢复合轧辊热处理和机械加工
- [0053] ①将含硼高速钢复合轧辊先在 920℃ 退火,退火保温时间 15 小时,炉冷至温度低于 400℃ 后空冷至室温 ;
- [0054] ②含硼高速钢复合轧辊经退火后进行粗加工,然后进行淬火处理,淬火过程中先将轧辊加热至 1020℃,保温 8 小时后,出炉风冷 60 分钟,辊面温度低于 300℃ 进行回火处理 ;
- [0055] ③含硼高速钢复合轧辊回火过程中,先将轧辊加热至 500℃,保温 12 小时后,炉冷至 150℃ 以下,空冷,并在相同工艺下回火两次,最后将轧辊精加工至规定尺寸和精度。轧辊力学性能见表 1。
- [0056] 实施例 2 :
- [0057] 本实施例的含硼高速钢复合轧辊为 $\phi 650\text{mm} \times 1550\text{mm}$ 热带连轧工作辊。其外层(即辊身)和辊芯分别用 1500kg 中频感应电炉熔炼和 10 吨热风冲天炉熔炼,其制造工艺步骤是 :
- [0058] 第一步:外层含硼高速钢材料的熔炼
- [0059] ①先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体,并在压力机上压实成尺寸为 (150 ~ 250)mm \times (150 ~ 250)mm \times (150 ~ 250)mm 的方块,然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化。
- [0060] ②钢水熔清后,当钢水温度达到 1579℃ 时,先加低碳锰铁预脱氧,再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化,然后依次加入氮化铬铁、钛铁、硼铁,当钢水温度达到 1600℃ 时出炉。
- [0061] ③将钪基重稀土硅铁合金破碎至粒度为 5 ~ 12mm 的小块,经 200℃ 烘干后,置于浇包底部,用包内冲入法对钢水进行变质处理。同时加入造渣剂,钢水经扒渣后待浇注。轧辊外层中各种原料的加入量(质量分数)是:40% 高速钢轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:1.50 ~ 2.20% C, 0.30 ~ 1.00% Si, 0.40 ~ 1.20% Mn, 3.00 ~ 8.00% Cr, 0.00 ~ 1.50% Ni, 2.00 ~ 8.00% Mo, 2.00 ~ 9.00% V, 0.00 ~ 8.00% W, \leq 8.00% Co, \leq 5.00% Nb, 余量 Fe)、20% 高铬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:2.30 ~ 3.30% C, 0.30 ~ 1.00% Si, 0.50 ~ 1.20% Mn, 0.70 ~ 1.70% Ni, 15 ~ 22% Cr, 0.7 ~ 3.0% Mo, 余量 Fe)、15% 高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑(具体质量百分数为:3.01 ~ 4.80% Ni, 1.00 ~ 2.00% Cr, 2.90 ~ 3.60% C, 0.60 ~ 1.50% Si, 0.40 ~ 1.20% Mn, 0.20 ~ 1.00% Mo, 余量 Fe)、4% 钨渣铁合金(具体质量百分数为:4.0 ~ 7.0% W, 14 ~ 17% Mn, 0.4 ~ 0.7% Nb, 0.05 ~ 0.20% Ta, $<$ 0.20% Ti, 余量 Fe)、1.5% 硼铁(具体质量百分数为:17.0 ~ 19.0% B, $<$ 0.5% C, $<$ 3.5% Si, 余量 Fe)、1.0% 低碳锰铁(具体质量百分数为:80.0~87.0% Mn, \leq 0.7% C, \leq 1.0% Si, P \leq 0.20%, S \leq 0.02%, 余量 Fe)、0.25% 钛铁、0.2% 钪基重稀土硅铁合金(具体质量百分数为:35 ~ 40% RE, 40 ~ 45% Si, 6 ~ 10% Ca, 14 ~ 18% Fe)、0.25% 氮化铬铁(具体质量百分数为:60 ~ 65% Cr, 3.5 ~ 6.5% N, 0.02 ~ 0.06% C, 0.7 ~ 1.5% Si, 余量 Fe)、0.3% 镁铝钙合金(具体质量百分数为:50 ~ 55% Al, 4 ~ 5%

Ca、1.5 ~ 2.0% Mg、余量 Fe)，余量是低碳废钢片。

[0062] 第二步：辊芯球墨铸铁的熔炼

[0063] 用冲天炉熔炼辊芯铁水，辊芯选用球墨铸铁，辊芯铁水出炉温度 1497℃。辊芯球墨铸铁的具体成分（质量分数）是：3.51% C, 2.70% Si, 0.26% Mn, 0.10% Cr, 0.08% Ti, 0.033% P, 0.012% S, 0.038% Mg, 0.034% RE, Fe 余量。

[0064] 第三步：轧辊复合铸造成形

[0065] ①先在离心机上浇注外层含硼高速钢钢水，钢水浇注温度为 1518℃；

[0066] ②外层浇注完毕 8 ~ 16 分钟后，用非接触式测温仪测量轧辊外层（即辊身）内表面温度，当温度为 1280℃ ~ 1320℃ 时，浇入辊芯球墨铸铁铁水，铁水浇注温度为 1304℃；

[0067] ③辊芯铁水浇注完毕 48 小时后，取出含硼高速钢复合轧辊进缓冷坑。

[0068] 第四步：含硼高速钢复合轧辊热处理和机械加工

[0069] ①将含硼高速钢复合轧辊先在 960℃ 退火，退火保温时间 12 小时，炉冷至温度低于 400℃ 后空冷至室温；

[0070] ②含硼高速钢复合轧辊经退火后进行粗加工，然后进行淬火处理，淬火过程中先将轧辊加热至 1050℃，保温 12 小时后，出炉风冷 100 分钟，辊面温度低于 300℃ 进行回火处理；

[0071] ③含硼高速钢复合轧辊回火过程中，先将轧辊加热至 480℃，保温 18 小时后，炉冷至 150℃ 以下，空冷，并在相同工艺下回火两次，最后将轧辊精加工至规定尺寸和精度。轧辊力学性能见表 1。

[0072] 实施例 3：

[0073] 本实施例的含硼高速钢复合轧辊为 $\phi 370\text{mm} \times 650\text{mm}$ 棒材轧机工作辊。其外层（即辊身）和辊芯分别用 500kg 中频感应电炉熔炼和 1000kg 中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

[0074] 第一步：外层含硼高速钢材料的熔炼

[0075] ①先将高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金、低碳废钢片混合于一体，并在压力机上压实成尺寸为 (150 ~ 250)mm × (150 ~ 250)mm × (150 ~ 250)mm 的方块，然后将压实的方块放入感应电炉中加热熔化。

[0076] ②钢水熔清后，当钢水温度达到 1568℃ 时，先加低碳锰铁预脱氧，再用镁铝钙合金终脱氧和微合金化，然后依次加入氮化铬铁、钛铁、硼铁，当钢水温度达到 1593℃ 时出炉。

[0077] ③将钇基重稀土硅铁合金破碎至粒度为 5 ~ 12mm 的小块，经 180℃ 烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行变质处理。同时加入造渣剂，钢水经扒渣后待浇注。轧辊外层中各种原料的加入量（质量分数）是：38% 高速钢轧辊的合金铁屑（具体质量百分数为：1.50 ~ 2.20% C, 0.30 ~ 1.00% Si, 0.40 ~ 1.20% Mn, 3.00 ~ 8.00% Cr, 0.00 ~ 1.50% Ni, 2.00 ~ 8.00% Mo, 2.00 ~ 9.00% V, 0.00 ~ 8.00% W, ≤ 8.00% Co, ≤ 5.00% Nb, 余量 Fe）、23% 高铬铸铁轧辊的合金铁屑（具体质量百分数为：2.30 ~ 3.30% C, 0.30 ~ 1.00% Si, 0.50 ~ 1.20% Mn, 0.70 ~ 1.70% Ni, 15 ~ 22% Cr, 0.7 ~ 3.0% Mo, 余量 Fe）、18% 高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑（具体质量百分数为：3.01 ~ 4.80% Ni, 1.00 ~ 2.00% Cr, 2.90 ~ 3.60% C, 0.60 ~ 1.50% Si, 0.40 ~ 1.20% Mn, 0.20 ~ 1.00% Mo, 余量 Fe）、6% 钨渣铁合金具体质量百分数为：4.0 ~ 7.0% W, 14 ~ 17% Mn, 0.4 ~ 0.7% Nb,

0.05 ~ 0.20% Ta, < 0.20% Ti, 余量 Fe)、1.3% 硼铁 (具体质量百分数为 :17.0 ~ 19.0% B, < 0.5% C, < 3.5% Si, 余量 Fe)、11% 低碳锰铁 (具体质量百分数为 :80.0-87.0% Mn, ≤ 0.7% C, ≤ 1.0% Si, P ≤ 0.20%, S ≤ 0.02%, 余量 Fe)、0.19% 钛铁、0.25% 钇基重稀土硅铁合金 (具体质量百分数为 :35 ~ 40% RE, 40 ~ 45% Si, 6 ~ 10% Ca, 14 ~ 18% Fe)、0.28% 氮化铬铁 (具体质量百分数为 :60 ~ 65% Cr, 3.5 ~ 6.5% N, 0.02 ~ 0.06% C, 0.7 ~ 1.5% Si, 余量 Fe)、0.25% 镁铝钙合金 (具体质量百分数为 :50 ~ 55% Al, 4 ~ 5% Ca, 1.5 ~ 2.0% Mg, 余量 Fe), 余量是低碳废钢片。

[0078] 第二步 : 辊芯球墨铸铁的熔炼

[0079] 用电炉熔炼辊芯铁水, 辊芯选用球墨铸铁, 辊芯铁水出炉温度 1498℃。辊芯球墨铸铁的具体成分 (质量分数) 是 :3.62% C, 2.59% Si, 0.23% Mn, 0.07% Cr, 0.05% Ti, 0.037% P, 0.009% S, 0.040% Mg, 0.025% RE, Fe 余量。

[0080] 第三步 : 轧辊复合铸造成形

[0081] ①先在离心机上浇注外层含硼高速钢钢水, 钢水浇注温度为 1499℃ ;

[0082] ②外层浇注完毕 8 ~ 16 分钟后, 用非接触式测温仪测量轧辊外层 (即辊身) 内表面温度, 当温度为 1280℃ ~ 1320℃ 时, 浇入辊芯球墨铸铁铁水, 铁水浇注温度为 1341℃ ;

[0083] ③辊芯铁水浇注完毕 32 小时后, 取出含硼高速钢复合轧辊进保温炉。

[0084] 第四步 : 含硼高速钢复合轧辊热处理和机械加工

[0085] ①将含硼高速钢复合轧辊先在 930℃ 退火, 退火保温时间 10 小时, 炉冷至温度低于 400℃ 后空冷至室温 ;

[0086] ②含硼高速钢复合轧辊经退火后进行粗加工, 然后进行淬火处理, 淬火过程中先将轧辊加热至 1020℃, 保温 8 小时后, 出炉风冷 50 分钟, 辊面温度低于 300℃ 进行回火处理 ;

[0087] ③含硼高速钢复合轧辊回火过程中, 先将轧辊加热至 480℃, 保温 12 小时后, 炉冷至 150℃ 以下, 空冷, 并在相同工艺下回火两次, 最后将轧辊精加工至规定尺寸和精度。轧辊力学性能见表 1。

[0088] 表 1 轧辊力学性能

[0089]

轧辊性能指标	辊面硬度 /HSD	淬硬层深度 /mm	辊身硬度差 /HSD	辊身冲击韧度 /J.cm ⁻²
实施例 1	82.7	62.5	1.8	12.2
实施例 2	84.6	65.1	2.4	11.7
实施例 3	83.5	62.4	2.0	12.0

[0090] 本发明含硼高速钢复合轧辊具有辊面硬度高、硬度差小、淬硬层深和冲击韧度高等特点。本发明轧辊以加工高速钢轧辊、高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的合金铁屑、钨渣铁合金和低碳废钢片为主要合金原料, 不加价格昂贵的镍板、钼铁和钒铁等材料, 具有节约资源和生产成本低廉的优势。本发明轧辊在带钢轧机和棒材轧机上使用, 具有良好的耐磨性, 且使用安全、可靠, 使用中无断辊、剥落现象出现, 使用寿命比高镍铬无限冷硬铸铁轧辊提高 3 ~ 4 倍, 而生产成本仅增加 25 ~ 30%。推广应用本发明轧辊, 具有良好

的经济和社会效益。