



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113462986 A

(43) 申请公布日 2021.10.01

(21) 申请号 202110805366.6	<i>G22C 33/06</i> (2006.01)
(22) 申请日 2021.07.16	<i>G21D 8/02</i> (2006.01)
(71) 申请人 鞍钢股份有限公司	<i>G21D 1/18</i> (2006.01)
地址 114000 辽宁省鞍山市铁西区环钢路1号	<i>G21D 9/00</i> (2006.01)
(72) 发明人 杨玉 王英海 赵宝存 郭晓宏	<i>G23C 24/10</i> (2006.01)
刘志伟 张瑞琦 孙傲	<i>G23F 17/00</i> (2006.01)
(74) 专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所	<i>G21C 7/06</i> (2006.01)
(普通合伙) 21224	<i>B22D 11/115</i> (2006.01)
代理人 佟宁	<i>B22D 11/12</i> (2006.01)
(51) Int. Cl.	
<i>G22C 38/02</i> (2006.01)	
<i>G22C 38/04</i> (2006.01)	
<i>G22C 38/12</i> (2006.01)	
<i>G22C 38/06</i> (2006.01)	

权利要求书2页 说明书11页

(54) 发明名称

2000MPa环保耐热农机用钢及其制造方法

(57) 摘要

2000MPa环保耐热农机用钢及其制造方法, 钢中化学成分按重量百分比为: C 0.20%~0.5%、Si≤0.1%、Mn 0.4%~1.5%、W 0.2~2.0%、Al 0.01~0.06%、Ca 0.0005%~0.05%、Re 0.001%~0.5%、Sn 0.001%~0.5%、B 0.0010-0.005%、N≤0.005%、Mg≤0.05%、Ca/S≥0.2、Ca/Mg≥1、Ca/Re≥0.05、P≤0.020%、S≤0.015%, 余量为Fe和不可避免的杂质。本发明组织为均匀细小珠光体和铁素体, 表面光洁, 无氧化脱碳层, 热处理后硬度均匀, 耐磨性、耐热性和耐腐蚀性优异。

1. 2000MPa环保耐热农机用钢,其特征在于,钢中化学成分按重量百分比为:C 0.20%~0.5%、Si \leq 0.05%、Mn 0.4%~1.5%、W 0.2~2.0%、Al 0.01%~0.06%、Ca 0.0005%~0.05%、Re 0.01%~0.5%、Sn 0.1%~1.0%、B 0.001%-0.005%、N \leq 0.005%、Mg 0.0008%~0.05%、Ca/S \geq 0.2、Ca/Mg \geq 1、Ca/Re \geq 0.05、P \leq 0.020%、S \leq 0.015%,余量为Fe和不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的2000MPa环保耐热农机用钢,其特征在于,所述农机用钢钢板为细片状珠光体和细小铁素体块混合组织,珠光体团和铁素体块直径均不大于10 μ m;钢板中珠光体片间距0.3 μ m~0.9 μ m;热处理后组织为直径小于20nm的碳锡化物均匀分布的板条状马氏体组织。

3. 根据权利要求1所述的2000MPa环保耐热农机用钢,其特征在于,所述农机用钢钢板屈强比60%以下;热处理后200 $^{\circ}$ C以上温度工作条件下,钢板基体硬度58HRC以上,钢板抗拉强度2000MPa以上。

4. 根据权利要求1所述的2000MPa环保耐热农机用钢,其特征在于,所述农机用钢钢板中非金属夹杂物不超过1.0级;钢板表面晶界氧化层为0mm;偏析不超过1.5级。

5. 如权利要求1-4其中任意一项所述的2000MPa环保耐热农机用钢的制造方法,其特征在于,方法包括:

1) 冶炼工艺:

a) 采用Al脱氧剂脱氧,精炼氧含量 \leq 0.0020%以后,加Ca处理至少5分钟,然后再加Re、Mg、Sn、W合金,在精炼后期加硼合金化,钢水加硼后 \leq 8分钟结束精炼;

b) 连铸采用压下工艺和结晶器电磁搅拌,铸坯厚度170mm~250mm,压下量2mm~10mm;连铸结晶器电磁搅拌电流强度500A~1000A,电磁搅拌1分钟~3分钟,连铸拉速1.0m/min~1.4m/min;

2) 轧制工艺:

包括粗轧、精轧、第三次轧制三个过程:

a) 粗轧采用首道次 \geq 50%大压下率轧制;

b) 精轧采用连轧方式,总压下率 \geq 80%,首道次压下率 \geq 30%,轧制速度 \geq 20m/s,开轧温度1100 $^{\circ}$ C~1150 $^{\circ}$ C,结束温度900 $^{\circ}$ C~980 $^{\circ}$ C;

c) 精轧后以冷速 \geq 20 $^{\circ}$ C/s冷却到550 $^{\circ}$ C~730 $^{\circ}$ C入两立辊四水平辊轧机连续两道次轧制,上下压下率2%~8%,侧压压下率5%~25%;

3) 冷却工艺:

a) 钢板出精轧机后进入层流冷却,冷速 \geq 20 $^{\circ}$ C/s;

b) 采用卷头、卷中、卷尾分段冷却方式,卷头0米~30米550 $^{\circ}$ C~580 $^{\circ}$ C卷取,卷尾0米~30米650 $^{\circ}$ C~700 $^{\circ}$ C卷取,卷中其他部分580 $^{\circ}$ C~700 $^{\circ}$ C卷取;

4) 用步骤3)得到的热轧钢板加工制造入土农机配件所需形状,加热到750 $^{\circ}$ C~820 $^{\circ}$ C,保温10~30分钟,水淬到150 $^{\circ}$ C以下入回火炉150~230 $^{\circ}$ C保温24~36小时,空冷。

6. 根据权利要求5所述的2000MPa环保耐热农机用钢的制造方法,其特征在于,还包括铸坯处理工艺:铸坯不下线,快冷到500 $^{\circ}$ C~650 $^{\circ}$ C,直接进步进式加热炉加热;加热炉采用还原性气氛,预热段温度500 $^{\circ}$ C以上,加热段温度1200 $^{\circ}$ C~1350 $^{\circ}$ C,加热段时间30分钟~50分钟,总在炉时间2小时~4小时。

7. 利用权利要求1所述2000MPa环保耐热农机用钢加工的农机配件的喷焊方法,其特征在于,方法包括:

1) 农机配件抛砂10分钟~30分钟、滚光10分钟~30分钟表面处理后,表面加热到800℃~900℃,热喷焊含铬70%~80%的铬铜合金粉末层,空冷到室温。

2) 农机配件表面喷焊的铬铜合金粉末为直径80 μm ~150 μm 的球形粒状粉末。

8. 根据权利要求7所述的利用2000MPa环保耐热农机用钢加工的农机配件的喷焊方法,其特征在于,所述农机配件表面喷焊的铬铜合金粒状粉末层厚0.2mm~0.5mm, CrCuC过渡层厚0.1~0.2mm。

9. 根据权利要求7所述的利用2000MPa环保耐热农机用钢加工的农机配件的喷焊方法,其特征在于,喷焊后的农机配件表面硬度65HRC以上,磨削转速300r/min、载荷120N条件下磨损率小于20mg/km,土壤环境下腐蚀速率低于15g/m².h。

2000MPa环保耐热农机用钢及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及钢铁材料制备领域,特别涉及一种2000MPa环保耐热农机用钢及其制造方法。

背景技术

[0002] 农机装备的发展与水平关乎国家粮食的重大安全。农机配件用钢不断更新换代。目前较高端的入土农机配件用钢主要有两种,一种是65Mn钢油淬,成品硬度42-45HRC,强度1200MPa,耐磨性能一般,环境污染严重,高碳热轧板强度高,硬度高,屈强比一般80%以上,加工成型难度大,且热处理易开裂,耐热性和耐腐蚀性不良;另一种是国外进口的中碳30MnB5农机用钢,成品回火后硬度46-48HRC,强度1300MPa左右,屈强比一般也达70%以上,存在热处理易开裂,板形不好,耐热性和耐腐蚀性不理想。上述农机用钢加工的配件均存在入土工作磨擦升温时,耐磨性下降的问题,目前还没有适合水淬、硬度52HRC、强度1500MPa以上,表面耐热性、耐磨性和耐腐蚀性优良的农机配件用钢。另一方面,随着环保要求不断提高,农机用钢油淬环境污染严重的问题越来越突出,适合水淬的农机用钢是行业发展方向。

[0003] 申请号为CN201510174384.3的专利文件《一种免球化退火的用CSP线生产薄规格工具钢的方法》叙述的是厚度1-2.5mm薄工具钢钢板的生产方法,不能满足厚规格工具用钢板的使用需求;采用低温轧制、快冷到马氏体转变温度附近低温卷取,再回火得到回火索氏体降低强硬性的生产工艺,一方面对卷取机能力要求极高,另一方面卷取过程中发生马氏体相变,马氏体脆性极大,极易断带,且卷后要进行550~700℃高温回火处理,成本较高。该工艺控制脱碳深度不超过板厚的1%。

[0004] 一种免退火型中高碳钢板制造方法CN201310076240.5和一种免退火处理热轧S45C板带生产方法CN201110411594.1采用两相区或铁素体区低温大压下轧制,高温卷取堆垛,得到60%铁素体和部分球化珠光体,软化降低钢板硬度到80-85HRB。这种工艺得到的钢板铁素体量多,块大,必须淬火回火才能使用,而且热处理后硬度低,不能满足高端工具钢使用要求。

[0005] 申请号为201510687941.1的专利文件公开了一种合金工具钢及其生产方法,涉及一种中碳工具钢,钢中含有:C 0.5%,Si 0.2%,Mn 0.5%,Cr 5.0%,Mo 2.3%,V 0.5%,S ≤0.003%,P ≤0.02%,该合金工具钢中加入Cr、Mo、V等合金较多,冶炼需采用电渣重熔浇注铸锭,成材率低,需要软化退火、球化退火、淬火、回火等多道热处理工序,成本高,不适于加工制造形状复杂的各类工具。

[0006] 申请为CN104630618A的专利文件《一种家用园艺工具用钢55MnB及其制备方法》中描述的钢板厚度仅为3~5mm,应用范围有限,不能满足更薄规格或更厚规格的需求。此专利采用含硼的成分设计,但并未强调对氧、氮的控制,钢液中的硼很容易与氧和氮化合,形成化合物,不仅减弱固溶硼的提高淬透性作用,而且,B、N的化合物相易在晶界偏聚成网状,产生硼脆现象,导致脆性大等缺陷。含硼钢的热变形抗力大,热轧板形不易控制,热轧板板形

不良,后续加工热处理工艺也很难再校平,严重影响成品质量。另一方面该专利描述的钢板的屈服强度390MPa~470,抗拉强度750~820MPa,延伸率17~26%,强度仍然较高,加工仍存在一定难度。且描述的生产工艺采用750℃高温卷取,钢板表面脱碳严重,表面氧化铁皮较厚,用户打磨量较大,影响生产效率。

[0007] ZL201610727654.3的专利文件《一种加工性能优异的园艺工具用钢及其生产方法》得到的钢板组织为粗大片状珠光体+球化珠光体,表面脱碳层0.01mm以上,表面质量不好,折弯易开裂,加Cr\Ni\Cu成本高,淬火硬度52HRC,强度不足1500MPa。

[0008] 一种适合水淬的热轧带钢靶片及其制造方法ZL 201410250576.3,一种靶片用热轧带钢及生产方法与靶片处理方法ZL 201410253770.7,一种靶片用钢、生产方法及靶片处理方法201410253772.6,一种靶片用带钢及生产方法与靶片热处理方法ZL 201410250902.0,这四个专利文件中采用中碳含硼成分设计,同时加Cr\Ti\Nb,成本高,硼活泼特别难控制,且需要控制Ti\Nb与N的比例,控制精度要求高,冶炼难度大,板形不好,热处理后平整度差,卷取温度较高,表面氧化脱碳严重。

[0009] 上述现有技术提及的钢种及生产方法均未提及耐热性、耐腐蚀性技术,不适于加工高端耐热、耐腐蚀入土农机配件使用要求。为适应时代发展,满足农机配件更新换代需求,急需开发硬度60HRC、强度2000MPa以上,耐热性和耐腐蚀性优良,适合水淬的农机配件用钢。

发明内容

[0010] 本发明的目的在于提供一种2000MPa环保耐热农机用钢及其制造方法,本发明生产的农机用钢表面质量高,适合水淬,更环保。本发明生产的农机用钢热轧板组织为均匀细小珠光体和铁素体,珠光体团小于10 μ m,屈强比60%以下,表面光洁,无晶界氧化层,热处理后高温工作环境下基体硬度58HRC以上,拉伸强度2000MPa以上。生产的农机配件,表面硬度65HRC以上,耐磨性、耐热性和耐腐蚀性优异。

[0011] 为了达到上述目的,本发明采用以下技术方案实现:

[0012] 2000MPa环保耐热农机用钢,钢中化学成分按重量百分比为:C 0.20%~0.5%、Si \leq 0.05%、Mn 0.4%~1.5%、W 0.2~2.0%、Al 0.01%~0.06%、Ca 0.0005%~0.05%、Re 0.01%~0.5%、Sn 0.1%~1.0%、B 0.001%-0.005%、N \leq 0.005%、Mg 0.0008%~0.05%、Ca/S \geq 0.2、Ca/Mg \geq 1、Ca/Re \geq 0.05、P \leq 0.020%、S \leq 0.015%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0013] 以下详细阐述本发明的农机用钢各合金成分作用机理:

[0014] C是钢中主要的固溶强化元素,且本发明中需足量的C提升强硬性,C含量若低于0.40%,则很难保证钢板强硬性,另一方面C含量若高于0.50%,则热轧板强度过高,恶化钢的韧塑性,影响屈强比,成型性不好。因此,本发明C含量要控制在0.20%~0.50%。

[0015] Mn价格相对便宜,是良好的脱氧剂和脱硫剂,是保证钢的强度和韧性的必要元素。锰和铁能无限固溶形成固溶体,提高硬度和强度,对塑性的影响相对较小。Mn与S结合形成MnS,避免晶界处形成FeS而导致的热裂纹影响工具钢的热成形性。同时Mn也是良好的脱氧剂并增加淬透性。钢中Mn含量低,不能满足高强硬性的要求,Mn含量过高偏析严重,影响焊接性能和成型性,且增加生产成本,因此,综合考虑成本及性能要求等因素,Mn含量应该控

制在0.4%~1.5%。

[0016] Si是钢中常见元素之一,在炼钢过程中用作还原剂和脱氧剂,固溶形态的Si能提高屈服强度和韧脆转变温度,一般农机钢中Si0.17%~0.37%,而本发明不加Si,控制钢中残余Si尽量少。本发明Si会促使刀具钢表面脱碳氧化,形成疏松的氧化层,氧化层中存在晶界氧化等微裂纹缺陷,严重影响表面硬度及疲劳性能。本发明Si \leq 0.05%,成本低,且避免钢表面氧化,改善表面质量,减少打磨量。

[0017] Al用作炼钢时的脱氧定氮剂,细化晶粒,抑制钢的时效,改善钢在低温时的韧性,特别能降低钢的脆性转变温度;Al还能提高钢的抗氧化性能,提高对硫化氢的抗腐蚀性。Al含量超过0.06%,易与钢中氧形成大颗粒氧化物夹杂,影响疲劳性能。本发明钢液中加入Al进行固氮处理,使氮固定在AlN中,消除N与B的脆化问题。本发明Al含量0.01%~0.06%。

[0018] B(硼)作为提高淬硬性元素,可明显提高钢板淬硬性。B提高淬透性的能力很强,0.001%~0.003%的B相当于0.6%锰、0.7%铬、0.5%钼和1.5%镍,故极少量的B即可节约大量贵重合合金元素。B含量过高过低,均会影响其淬透性。钢中添加B元素,钢的淬透性显著提高,使含碳量低于0.4%时的钢板油淬后可获得全部的马氏体组织,且显著提高钢的淬硬性。但钢中B易与N结合,生成BN,使钢中固溶B的含量减少,削减了B提高淬透性和淬硬性的作用。因此,含B要特别控制钢中游离N含量。另一方面,通常认为钢中B含量控制不好,B相会在晶界偏聚成网状,产生B脆现象,影响含B钢性能稳定性。因此,本发明控制B含量0.001%-0.005%,且用Al控制游离N含量,以充分发挥B的有益作用。

[0019] N在铁素体中可促使A体形成,由于 γ 相的出现,可减小晶粒粗化倾向,提高钢的强度,改善钢韧性和焊接性能。N易与合金元素生成氮化物非金属夹杂,降低合金元素的作用。铁素体溶解氮的能力很低,当钢中溶有过饱和的氮,在放置较长一段时间后或随后在200~300℃加热就会发生氮以氮化物形式的析出,并使钢的硬度、强度提高,塑性下降,发生时效。但含硼钢如果N含量过高,易形成BN化合物,推迟奥氏体再结晶,提高含硼钢的奥氏体化温度,增加铸坯加热控制难度,而且减少沿晶偏聚的硼原子含量,降低硼钢的淬透性。因此,控制钢水中N含量小于0.0050%。本发明钢液中加入Al进行固氮处理,使氮固定在AlN中,消除时效倾向和N与B产生B脆的危害。

[0020] Ca改善钢的耐蚀性、耐磨性、耐高温和低温性能,提高了钢的冲击韧性、疲劳强度、塑性和焊接性能。工具钢碳较高,钢水流动性差,夹杂物不易上浮,本发明加钙,改变非金属夹杂物的成分、数量和形态,加快钢水流动,促使夹杂物上浮充分,提高钢质纯净度,成品钢中各类非金属夹杂不超过1.5级,而且改善钢表面光洁度,消除组织的各向异性,改善抗氢致裂纹性能和抗层状撕裂性能,延长工具的使用寿命。Ca的夹杂物变性作用与硫含量有很大关系,本发明Ca/S \geq 0.2,才能保证Ca夹杂物变性处理充分。本发明中添加钙能将稀土的收得率提高到60%以上,Mg的收得率提高到40%以上,有效提高稀土和镁的利用率,充分发挥他们在钢中提高高温强度和硬度,抗氧化性、抗腐蚀性和耐热性作用。

[0021] 稀土元素可以提高钢的抗氧化性和抗腐蚀性,提高高温强度。本发明Re能改善钢的流动性,提升钢板表面光洁度,提升表面喷焊性能。Re也能使Al₂O₃、MnS等氧化物和硫化物夹杂物变成细小分散的球状夹杂物,从而消除夹杂的危害性,提升疲劳性能。本发明Ca/Re \geq 0.05才能有足够的Ca提升稀土的收得率到60%以上,充分发挥稀土在钢中抗氧化性、抗腐蚀性和提高耐热性作用。本发明稀土在高温下使钢组织致密、提高高温强度,提升热处理

后性能。钢中的Re和Mg与C反应,生成系列碳镁稀土化物,进一步促进热轧形成片间距 $0.3\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ 的珠光体组织,热处理碳扩散快,无需高温,节能减耗。

[0022] Mg是十分活泼的金属元素,它与氧、氮、硫都有很强的亲和力。但由于Mg太过活泼,冶炼时不易控制,收得率低。但由于Mg太过活泼,冶炼时不易控制,极易与氧、氮等形成夹杂物,影响钢质纯净度。本发明采用自创的精炼加Re-Mg冶炼技术,严格精准控制钢中Mg含量,利用Ca与Mg共同作用生成 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{MnS}$ 复合夹杂,此类夹杂熔点低,在钢液中易凝固上浮排除,避免了连铸过程中的水口结瘤问题,减少钢液中夹杂含量,控制钢中夹杂物水平不超过1.0级。 $\text{Ca}/\text{Mg}\geq 1$ 才能有足够的Ca提高Mg的收得率40%以上,有效提高镁的利用率,形成 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{MnS}$ 复合夹杂,提高高温强度和硬度。Mg的另一主要作用是与Re、C生成系列碳镁稀土化物,以致热轧板中形成片间距 $0.3\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ 的珠光体组织,热处理碳扩散快,无需高温,节能减耗。

[0023] 本发明Sn能改善钢的耐磨性和钢水流动性,钢水流动性好,夹杂物上浮充分,钢的纯净度好。本发明固溶Sn提高处理强硬性。本发明W含量高,易在铸坯枝晶凝固末端偏析聚集,易出液析相,影响折弯、疲劳等使用性能。另一方面,当碳在钢板表面晶界偏析聚集时,引起表面氧化严重,出现表面晶界氧化和微裂纹,这是影响表面喷焊不合格的主要原因。本发明在钢中加入一定量的Sn,可有效阻碍工具钢W和C偏析聚集和液析相析出,抑制钢板表面晶界氧化,提升表面喷焊性能、强度、耐磨性等综合性能。

[0024] W(钨)是碳化物形成元素,可以降低钢的过热敏感性、增加淬透性,提高强度和硬度,显著提高耐磨性。部分W溶入钢中形成固溶体,增加高温下性能稳定性、红硬性、热强性。本发明W还在钢中形成难熔碳化物,显著提高高温性能,在较高温度时,碳化物不分解,保持较高的强硬性,提高耐热性。本发明钢表面下的W与在碳形成WC,均匀分布在表面晶界处,抑制表面氧化,使钢板表面晶界氧化层为0,提升喷焊性能。

[0025] 固溶的Re、Mg、Sn、W等在特定的生产工艺下与碳形成碳化钨的复合物,如 $\text{ReMg}(\text{WC})_M$ 、 $\text{ReMgSn}(\text{WC})_M$ 、 $\text{ReSn}(\text{WC})_M$ 、 $\text{MgSn}(\text{WC})_M$ 等,均匀分布在铁素体基体中。这些Re、Sn、Mg的碳化钨的复合物耐热性特别强,1000℃仍不扩散分解,热处理后它们仍均匀分散地分布在钢中,提升热处理后强硬性,进一步提升耐热性能和耐磨性能,200℃以上高温工作条件下,拉伸强度2000MPa以上,硬度58HRC以上。

[0026] P和S都是钢中不可避免的有害杂质,它们的存在会严重恶化钢的韧性,因此要采取措施使钢中的P和S含量尽可能降低。根据本发明,最高P含量限制在0.020%,最高S含量限制在0.015%。硫在钢中以FeS、MnS形式存在,该发明中Mn高,MnS的形成倾向就高,虽然其熔点较高能避免热脆的产生,但MnS在加工变形时能沿着加工方向延伸成带状,钢的塑性,韧性,及疲劳强度显著降低,因此钢中加入Ca和Mg进行夹杂物变形处理。

[0027] 所述农机用钢热轧钢板为细片状珠光体和细小铁素体块混合组织,珠光体团和铁素体块直径均不大于 $10\mu\text{m}$;珠光体中渗碳体片间距 $0.3\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$,热处理后组织为直径小于20nm的碳锡化物均匀分布的板条状马氏体组织。

[0028] 所述农机用钢钢板为所述农机用钢钢板屈强比60%以下;适合水淬,200℃以上高温工作条件下,表面硬度65HRC以上,钢板抗拉强度2000MPa以上。

[0029] 所述农机用钢钢板中非金属夹杂物不超过1.0级;偏析不超过1.5级;表面晶界氧化层为0mm。

[0030] 2000MPa环保耐热农机用钢的制造方法,方法包括:本发明的钢板由转炉冶炼、电炉精炼、浇注的连铸坯轧制而成;

[0031] 1) 冶炼工艺:

[0032] a) 采用Al脱氧剂脱氧,精炼氧含量 $\leq 0.0020\%$ 以后,加Ca处理至少5分钟,然后再加Re、Mg、Sn、W合金,在精炼后期加硼合金化,钢水加硼后 ≤ 8 分钟结束精炼,提高硼的收得率,控制钢中硼含量;

[0033] b) 中包吹氩时间5分钟~8分钟,确保夹杂物上浮充分,浇注过热度 $\leq 25^{\circ}\text{C}$;

[0034] c) 连铸采用结晶器电磁搅拌,铸坯厚度170mm~250mm;压下量2mm~10mm;连铸结晶器电磁搅拌电流强度500A~1000A,电磁搅拌1分钟~3分钟;

[0035] d) 连铸拉速1.0m/min~1.4m/min;

[0036] 2) 铸坯处理工艺:

[0037] a) 铸坯不下线,快冷到 500°C ~ 650°C ,直接进步进式加热炉加热;

[0038] b) 加热炉采用还原性气氛,预热段温度 500°C 以上,加热段温度 1200°C ~ 1350°C ,加热段时间30分钟~50分钟,总在炉时间2小时~4小时;

[0039] 3) 轧制工艺:

[0040] 包括粗轧、精轧和第三次轧制三个过程,粗轧、精轧和第三次轧制之前均采用高压水除鳞,高压水压力不小于30MPa,保证钢板表面质量;

[0041] a) 粗轧采用首道次 $\geq 50\%$ 大压下率轧制,充分破碎铸坯粗大晶粒;

[0042] b) 精轧采用6道次连轧方式,总压下率 $\geq 80\%$,首道次压下率 $\geq 30\%$,高温快轧,轧制速度 $\geq 20\text{m/s}$,开轧温度 1100°C ~ 1150°C ,结束温度 900°C ~ 980°C ;

[0043] c) 精轧后以冷速 $\geq 20^{\circ}\text{C/s}$ 冷却到 550°C ~ 730°C 入两立辊四水平辊轧机连续两道次轧制,上下压下率2%~8%,侧压压下率5%~25%;

[0044] 4) 冷却工艺:

[0045] a) 钢板进入层流冷却,急冷,冷速 $\geq 20^{\circ}\text{C/s}$;

[0046] b) 为保证整卷得到均匀细小均匀碳化钨的复合物,采用卷头、卷中、卷尾分段冷却方式,卷头0米~30米 550°C ~ 580°C 卷取,卷尾0米~30米 650°C ~ 700°C 卷取,卷中其他部分 580°C ~ 700°C 卷取,整卷得到片状珠光体和细小铁素体块混合组织,珠光体团和铁素体块直径均不大于 $10\mu\text{m}$,珠光体中渗碳体片间距 $0.3\mu\text{m}$ ~ $0.9\mu\text{m}$;

[0047] 5) 用步骤4)得到的热轧钢板加工制造入土农机配件所需形状,加热到 750°C ~ 820°C ,保温10分钟~30分钟,水淬到 150°C 以下入回火炉 150°C ~ 230°C 保温24小时~36小时,空冷。

[0048] 利用2000MPa环保耐热农机用钢加工的农机配件的喷焊方法,方法包括:

[0049] 1) 农机配件抛砂10分钟~30分钟、滚光10分钟~30分钟表面处理后,表面加热到 800°C ~ 900°C ,热喷焊含铬70%~80%的铬铜合金粉末层,空冷到室温。

[0050] 2) 农机配件表面喷焊的铬铜合金粉末为直径 $80\mu\text{m}$ ~ $150\mu\text{m}$ 的球形粒状粉末。

[0051] 所述农机配件表面喷焊的铬铜合金粒状粉末层厚 0.2mm ~ 0.5mm ,与钢板表面下基体中的碳形成致密的CrCuC过渡层厚 0.1mm ~ 0.2mm 。

[0052] 喷焊后的农机配件表面硬度65HRC以上,磨销转速300r/min、载荷120N条件下磨损率小于 20mg/km ,土壤环境下腐蚀速率低于 $15\text{g/m}^2\cdot\text{h}$ 。

[0053] 本发明农机用钢碳高,氧含量难控制,钢水流动性差,为提高钢水流动性,脱氧充分,先用Al脱氧剂脱氧,氧含量 $\leq 0.0020\%$ 以后,加Ca处理至少5分钟后再加Re、Mg、Sn、W等合金。该发明成分中Ca、Mg、Re、Sn、W、B均为活跃元素,冶炼时很难控制,加入顺序至关重要。加Al脱氧后钢中会产生 Al_2O_3 夹杂,如果炉衬耐火材料不良,还会生成 $MgO \cdot Al_2O_3$ 夹杂,这些Al的氧化物夹杂熔点较高,在钢中不易凝固上浮,一方面会降低钢水流动性,堵塞浇注水口,另一方面也会使钢中夹杂物增多,影响钢的折弯、疲劳性能。加Al脱氧后再加Ca处理,Ca会打断原有长条状的 Al_2O_3 和 $MgO \cdot Al_2O_3$ 及MnS夹杂,包裹在这些断续夹杂物外部,生成弥散分布的球状 $CaO \cdot MgO \cdot Al_2O_3$ 或 $CaO \cdot Al_2O_3$ 及 $CaO \cdot MnS$ 复合氧化物,细化球化了夹杂,而且这些小颗粒钙铝酸盐复合夹杂物熔点低,在钢液中易凝固上浮排除,避免了连铸过程中的水口结瘤问题,减少钢液中夹杂含量,保证钢中夹杂物水平不超过1.0级。Ca处理5分钟后,变性的夹杂物充分上浮,钢水纯净后,再加Re-Mg合金,此时钢水中存在的多余的游离Ca提高了Re和Mg的收得率,Ca使Re收得率提高到60%以上,Mg的收得率高达40%以上。充分发挥他们在钢中提高高温强度和硬度,抗氧化性、抗腐蚀性和耐热性作用。精炼最后加B处理,此时钢中N已与Al充分反应完,因此加入的B均以固溶态存在钢中,有助于提高B的利用率,充分发挥B提高淬透性作用。

[0054] Ca、Re、Sn均能使氧化物和硫化物夹杂变性,增加钢水流动性,提升夹杂上浮速度,中包吹氩时间5分钟~8分钟,即可促使夹杂物变性处理后充分上浮,保证钢中各类非金属夹杂不超过1.0级的纯净度,而且较普通工具钢节省近一半时间,节能减耗,且提高生产率。

[0055] 本发明W含量高,连铸易产生成分偏析,影响组织均匀性,因此连铸采用压下技术和控制过热度改善铸坯宏观偏析。过热度 $\leq 25^\circ C$,连铸压下压下量为2~10mm,减轻偏析,且保证铸坯不出裂纹。压下量小于2mm偏析严重,超过1.5级,压下量大于10mm铸坯易出裂纹。

[0056] 本发明W含量高,易在铸坯柱状晶凝固末端形成液态微偏析,热轧板易出液析相,影响拉伸强度和疲劳等使用性能。本发明在钢中加入一定量的锡,同时采用结晶器电磁搅拌,电流强度500A~1000A,时间1~3分钟,连铸拉速1.0m/s~1.4m/s,控制等轴晶率50%以上,控制柱状晶末端合金液态微偏析,有效阻碍W偏析聚集和液析相析出。而且在电磁搅拌作用下,铸坯表面下的W与在碳形成WC,均匀分布在表面晶界处,抑制表面氧化,使钢板表面晶界氧化层为0,提升喷焊性能。电磁搅拌电流强度低于500A,搅拌时间少于1分钟,阻碍W偏析聚集和液析相析出不明显,电磁搅拌电流强度高于1000A,浪费能源,搅拌时间多于3分钟,钢水温度降低,浇注堵水口。锡不仅能有效阻碍W偏析聚集和液析相析出,还能抑制钢板表面晶界氧化,本发明表面晶界氧化深度为0mm,提升表面喷焊性能、强度、耐磨性等综合性能。

[0057] B相在 $650^\circ C \sim 830^\circ C$ 析出速度最快,在此温度区间,冷却速度越慢,B扩散越充分,析出的B相越多,偏聚越严重,越易形成网状。另一方面,本发明合金较多,为避免铸坯开裂,采用热送热装生产工艺,因此,铸坯不下线,快冷到 $500^\circ C \sim 650^\circ C$,直接进加热炉加热,避免铸坯冷却过程中析出网状B相,产生硼脆等原因的开裂。铸坯不下线直接进加热炉,在炉时间短,抑制钢板表面晶界氧化,提升表面喷焊性能、强度、耐磨性等综合性能。

[0058] 铸坯轧制前采用步进式加热炉加热,铸坯入加热炉加热段前预热段温度 $500^\circ C$ 以上,防止加热段铸坯内外温差太大,产生内应力和热应力开裂;加热炉采用还原性气氛,抵抗铸坯表面氧化脱碳。加热段温度 $1200^\circ C \sim 1350^\circ C$,加热段时间30分钟~50分钟,在炉总时

间1小时~2小时,保证铸坯加热均匀,均匀成分,减小偏析。

[0059] 粗轧之前2次除鳞,精轧之前2次除鳞,第三次轧制之前1次除鳞,除鳞压力均30MPa以上,钢板表面氧化铁皮清除干净,钢板表面无明显氧化脱碳,提升钢板的电镀性能;粗轧采用首道次 $\geq 50\%$ 大压下率轧制,充分破碎铸坯粗大柱状晶粒,促进形成细小奥氏体;粗轧后Mg、Re、C生成系列碳镁稀土化物,以致热轧板中形成片间距 $0.3\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ 的珠光体组织,热处理碳扩散快,无需高温,节能减耗。

[0060] 精轧采用6道次高温快轧,开轧温度 $\geq 1100^\circ\text{C}$,结束温度 $900^\circ\text{C}\sim 980^\circ\text{C}$,固溶的Re、Mg、Sn、W等与碳形成碳化钨的复合物,如 $\text{ReMg}(\text{WC})_{\text{M}}$ 、 $\text{ReMgSn}(\text{WC})_{\text{M}}$ 、 $\text{ReSn}(\text{WC})_{\text{M}}$ 、 $\text{MgSn}(\text{WC})_{\text{M}}$ 等,均匀分布在铁素体基体中。这些Re、Sn、Mg的碳化钨的复合物耐热性特别强, 1000°C 仍不扩散分解,热处理后它们仍均匀分散地分布在钢中,提升热处理后强硬性,进一步提升耐热性能和耐磨性能, 200°C 以上高温工作条件下,拉伸强度2000MPa以上,硬度58HRC以上。总压下率 $\geq 80\%$,首道次压下率 $\geq 30\%$,为形成碳化钨的复合物提供足够的相变能;采用高温快轧,轧制速度 $\geq 20\text{m/s}$ 的工艺,奥氏体均匀细小,以便形成不超过 $10\mu\text{m}$ 的珠光体团和铁素体块。另一方面,轧制速度快,精轧停留时间短,钢板表面来不及氧化脱碳,表面光洁。

[0061] 这些Re、Sn、Mg的碳化钨的复合物在精轧期间不断长大,形成长条状,韧塑性差,影响热轧板成型性。长条状的碳化钨的复合物也影响钢热处理后耐磨性。因此,为了破碎上述精轧过程中长大的碳化钨的复合物,同时增加铁素体和珠光体团形核率,细化先析铁素体块和珠光体团到 $10\mu\text{m}$ 以下,为后续热处理后形成细小马氏体板条提供组织保证,钢板出精轧机后以 $\geq 20^\circ\text{C/s}$ 冷速冷却到 $550^\circ\text{C}\sim 730^\circ\text{C}$ 入轧机上下压率 $2\%\sim 8\%$ 、侧压压率 $5\%\sim 25\%$ 进行第三次轧制。

[0062] 第三次轧制采用四水平辊轧机连续两道次轧制,增加破碎所需的相变能。轧制温度 $550^\circ\text{C}\sim 730^\circ\text{C}$,上下压率 $2\%\sim 8\%$,侧压压率 $5\%\sim 25\%$ 保证所有碳化钨的复合物破碎到 20nm 以下。另一方面,第三次低温轧制也能破碎上述精轧形成的大的珠光体团,让珠光体重新形核成团,使珠光体团直径不超过 $10\mu\text{m}$,提升韧塑性,屈强比 60% 以下,成型性优异。第三次轧制轧制温度高于 730°C 、压下率低于 2% ,侧压压率小于 5% 碳化钨的复合物不易破碎。轧制温度低于 550°C 、压下率大于 8% ,侧压压率大于 25% 轧制力大,轧机负荷过大,钢的储存能大,形成的珠光体多,铁素体块少,折弯性能不好。

[0063] 20°C/s 为该发明得到全珠光体的临界冷速,大于这个冷速,无铁素体析出,防止氧化脱碳。 $580^\circ\text{C}\sim 700^\circ\text{C}$ 为该发明生成全珠光体的终冷温度,采用卷头、卷中、卷尾分段冷却方式,卷头0米~30米 $550^\circ\text{C}\sim 580^\circ\text{C}$ 卷取,卷尾0米~30米 $700^\circ\text{C}\sim 730^\circ\text{C}$ 卷取,卷中其他部分 $580^\circ\text{C}\sim 700^\circ\text{C}$ 卷取,有阻于整卷钢板组织性能均匀,使整卷钢板表面细密,提升整卷表面质量,表面光洁、无氧化层。这个温度范围卷取,可以有效抑制表面晶界氧化。同时在Mg和Re作用下,有助于形成片间距 $0.3\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ 的片层状珠光体,珠光体团直径不超过 $10\mu\text{m}$,提升整卷组织性能均匀性。卷取温度低于 530°C ,会出贝氏体或马氏体脆硬相,钢板硬度过高,易开裂。卷取温度高于 730°C ,冷速小于 20°C/s 均会析出大块先析铁素体,强度低,且表面二次氧化,出晶界氧化层,影响表面喷焊,成型易开裂。还可能产生硼脆问题,严重影响使用性能。

[0064] 本发明热轧板加工制造的入土农机配件采用水淬,淬火温度 $750^\circ\text{C}\sim 820^\circ\text{C}$,保温10~30分钟,回火温度 $150\sim 230^\circ\text{C}$,保温24~36小时。本发明采用水淬工艺,回火温度低于普能高碳钢,淬火和回火保温时间短,节省能耗,水淬更环保,符合节能减排环保要求。

[0065] 淬火温度750℃以下,珠光体片中的渗碳体不能完全扩散分解,淬火后仍存在铁素体,强硬性不足。淬火温度高于820℃,钢表面易氧化脱碳。这个温度区间淬火,20nm以下细小弥散的碳化钨复合物仍均匀分布在钢中,提升热处理后强硬性,进一步提升耐热性能和耐磨性能,200℃以上高温工作条件下,拉伸强度2000MPa以上,基体硬度58HRC以上。

[0066] 抛砂10分钟~30分钟、滚光10分钟~30分钟表面处理,表面加热到800℃-900℃,热喷焊含铬70%~80%的铬铜合金粉末层,层厚0.2mm~0.5mm,粉末由直径80μm-150μm的球形粒子组成,这些球形粒子粉末附着在钢表面,有效提升了表面耐热性能和耐磨性能,200℃以上高温工作条件下,表面硬度65HRC以上,磨损率小于20mg/km(磨销转速300r/min,载荷120N)。组成粉末的球形粒子直径小于80μm或大于150μm耐磨性都不好。另一方面表面喷焊的粉末一部分在高温下渗入钢基本表面,与碳形成厚0.1mm~0.2mm致密的CrCuC层,提升钢的耐腐蚀性能,土壤环境下,腐蚀速率低于15g/m²·h。

[0067] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0068] 1) 采用利用Sn、Re、Mg、W与碳形成的碳化钨复合物,同时采用三次轧制技术破碎碳化钨复合物,让他们细小弥散分布在钢中,热处理后组织为直径20nm以下球形细小碳化钨复合物均匀分布的板条状马氏体组织,200℃以上高温工作条件下,基体硬度58HRC以上,拉伸强度2000MPa以上,耐热性能和耐磨性能明显提升;

[0069] 2) 用Mg、Re及Sn控制冷速形成渗碳体片间距0.3μm~0.9μm的片层状珠光体和铁素体混合组织,珠光体团直径不超过10μm,屈强比60%以下,成型性优异;

[0070] 3) 本发明用Ca和Mg联合脱氧对钢中夹杂物进行变性处理,各类非金属夹杂物不超过1.0级;

[0071] 4) 采用低Si、低C加Sn、W的成分设计,抑制表面氧化,晶界氧化层为0mm;

[0072] 5) 加Sn并采用电磁搅拌及铸坯压下技术,有效阻碍W和C偏析聚集和液析相析出,偏析不超过1.5级;

[0073] 6) 表面喷焊直径80μm-150μm的球形铬铜粉末粒子,铬铜层厚0.2-0.5mm,与钢表面下基本中的碳形成致密的过渡层CrCuC层厚0.1mm~0.2mm,有效提升了表面硬度、耐磨性、耐热性和耐腐蚀性能,200℃以上高温工作条件下,表面硬度65HRC以上,磨销转速300r/min、载荷120N条件下磨损率小于20mg/km,土壤环境下腐蚀速率低于15g/m²·h;

[0074] 7) 本发明适合水淬热处理工艺,更环保。

具体实施方式

[0075] 通过实施例对本发明进行更详细的描述,这些实施例仅仅是对本发明最佳实施方式的描述,并不对本发明的范围有任何的限制。

[0076] 实施例钢中化学成分见表1;热轧带钢生产工艺见表2和表3;喷焊工艺见表4;其成品性能见表5。

[0077] 表1钢中化学成分,wt%

[0078]

编号	C	Si	Mn	P	S	Al	Sn	Mg	Ca	Re	W	B	N	Ca/Mg	Ca/Re	Ca/S
1	0.35	0.02	0.9	0.015	0.015	0.02	0.3	0.01	0.05	0.23	0.2	0.0018	0.0048	5.00	0.22	3.33
2	0.29	0.01	1.42	0.004	0.009	0.012	0.9	0.02	0.022	0.12	0.8	0.002	0.0046	1.10	0.18	2.44
3	0.48	0.03	0.91	0.008	0.002	0.059	0.15	0.005	0.01	0.09	0.5	0.0032	0.0035	2.00	0.11	5.00
4	0.3	0.05	0.65	0.01	0.008	0.035	0.5	0.005	0.032	0.32	1.8	0.0038	0.0033	6.40	0.10	4.00
5	0.45	0.04	0.8	0.012	0.004	0.025	0.4	0.0008	0.008	0.06	1.9	0.0015	0.001	10.00	0.13	2.00
6	0.48	0.05	0.75	0.014	0.003	0.029	0.21	0.001	0.002	0.03	1	0.0048	0.0025	2.00	0.07	0.67
7	0.22	0.01	0.88	0.013	0.008	0.038	0.6	0.02	0.027	0.17	0.3	0.0029	0.0028	1.35	0.16	3.38
8	0.37	0.02	1.32	0.014	0.014	0.045	0.75	0.006	0.009	0.069	0.7	0.0018	0.0048	1.50	0.13	0.64
9	0.32	0.05	0.99	0.012	0.007	0.032	0.37	0.0008	0.0035	0.04	0.5	0.002	0.0046	4.38	0.09	0.50
10	0.35	0.03	1.18	0.01	0.01	0.036	0.5	0.004	0.03	0.07	0.6	0.0032	0.0035	7.50	0.43	3.00
11	0.3	0.03	0.5	0.008	0.01	0.029	0.22	0.03	0.045	0.45	1.2	0.0038	0.0033	1.50	0.10	4.50
12	0.28	0.04	1.32	0.013	0.006	0.046	0.8	0.002	0.008	0.016	1.5	0.0015	0.001	4.00	0.50	1.33
13	0.29	0.02	1.38	0.013	0.008	0.032	0.16	0.009	0.01	0.097	0.4	0.0048	0.0025	1.11	0.10	1.25
14	0.4	0.03	0.92	0.014	0.002	0.033	0.9	0.008	0.009	0.18	1.2	0.0029	0.0028	1.13	0.05	4.50

[0079]

15	0.32	0.02	0.59	0.012	0.007	0.037	0.72	0.006	0.0086	0.15	1.6	0.0033	0.0038	1.43	0.06	1.23
16	0.39	0.04	0.68	0.01	0.01	0.029	0.15	0.0034	0.005	0.03	0.6	0.0032	0.0019	1.47	0.17	0.50
17	0.36	0.01	0.8	0.015	0.001	0.043	0.35	0.01	0.01	0.2	0.4	0.0038	0.0039	1.00	0.05	10.00
18	0.45	0.02	1.32	0.004	0.009	0.04	0.42	0.04	0.04	0.092	0.3	0.0025	0.004	1.00	0.43	4.44
对比例 1	0.53	0.25	0.6	0.012	0.008	-	-	-	-	-	-	-	0.0062	-	-	-
对比例 2	0.83	0.2	0.62	0.01	0.005	-	-	-	-	-	-	-	0.0059	-	-	-

[0080]

表2冶炼生产工艺

编号	精炼氧含量%	Ca处理时间 min	加硼到精炼结束时间 min	中包吹氩时间 min	板坯厚 mm	过热度℃	Re 收得率%	Mg 收得率%	连铸压下量 mm	结晶器电搅拌时间 min	结晶器电搅拌电流强度 A	连铸拉速 m/min
1	0.0010	5	7	5	170	20	60	42	2	1	520	1.0
2	0.0005	6	8	8	200	22	65	40	5	3	640	1.1
3	0.0008	8	6	6	190	25	70	51	6	2.5	500	1.2
4	0.0019	9	5	7	190	15	72	48	4	2	730	1.3
5	0.0012	7	4	6	170	18	68	62	8	1.8	670	1.4
6	0.0008	6	7	5	180	23	62	56	10	2.2	980	1.3
7	0.0009	8	8	7	200	20	79	45	8	2.9	800	1.0
8	0.0019	5	6	8	230	20	77	59	9	3	1000	1.1
9	0.0010	10	5	6	200	22	68	47	3	1.8	750	1.2
10	0.0015	15	6	7	180	23	75	58	5	2.5	670	1.3
11	0.0008	11	7	8	180	18	84	65	4	1.9	890	1.4
12	0.0011	6	4	5	200	20	79	68	7	2.4	660	1.2
13	0.0016	9	7	6	250	20	69	57	5	2.6	770	1.1
14	0.0007	12	6	7	230	18	70	54	6	1.6	860	1.0
15	0.0018	15	5	9	170	16	76	49	8	1.2	780	1.1
16	0.0011	16	4	7	200	20	78	52	3	1.5	970	1.2
17	0.0010	18	6	8	230	18	81	64	5	1.7	860	1.3
18	0.0004	9	7	6	200	20	82	56	3	2.3	550	1.4
对比例 1	0.0045	-	-	14	200	30	-	-	-	-	-	1.5
对比例 2	0.0039	-	-	12	200	27	-	-	-	-	-	1.5

[0082]

表3铸坯处理及热轧、冷却工艺

[0083]

编号	铸坯入炉温度℃	预热段温度℃	加热段温度℃	加热段时间 min	在炉时间 h	除磷压力 MPa	粗轧首道压下率%	精轧速度 m/s	精轧开轧温度℃	精轧结束温度℃	精轧首道压下率%	精轧总压下率%	平均冷速℃/s	第三次轧制温度℃	第三次轧制上下压率%	第三次轧制侧压压率%	卷头0~30米卷取温度℃	中间段卷取温度℃	卷尾0~30米卷取温度℃
1	565	545	1288	30	1.5	30	50	21	1115	952	32	80	32	600	8	6	552	580	660
2	578	551	1280	35	1.4	34	55	26	1120	905	35	88	25	559	6	14	578	682	700
3	551	562	1226	50	1.3	31	53	28	1112	944	40	89	51	716	5	9	556	698	675
4	600	500	1295	45	1.9	35	60	24	1148	969	51	91	29	700	2	22	550	560	650
5	535	535	1246	48	1.1	33	54	30	1135	976	35	85	51	665	6	18	569	620	698
6	520	520	1280	39	1.7	32	62	35	1275	955	38	84	44	643	4	24	575	700	678

[0084]

7	632	532	1200	36	1.2	35	61	26	1132	975	32	87	26	589	7	19	573	595	694
8	556	656	1200	48	1.4	40	58	33	1144	960	34	93	43	591	8	6	560	646	668
9	535	535	1265	43	1.4	36	57	41	1131	965	32	94	32	628	5	10	558	588	652
10	644	544	1254	41	1.5	35	55	25	1118	926	31	97	87	710	3	16	559	665	689
11	552	552	1299	40	2.0	33	59	20	1165	963	38	87	49	705	6	22	568	651	696
12	572	572	1298	49	1.0	32	58	38	1126	964	37	82	20	585	3	24	567	632	675
13	503	503	1295	37	1.4	31	56	42	1115	960	35	84	52	563	5	19	560	600	688
14	612	512	1350	32	1.7	35	54	32	1140	970	42	85	68	630	6	12	575	680	695
15	531	531	1290	38	1.5	38	58	29	1112	950	52	84	51	650	3	14	578	595	688
16	620	520	1338	46	1.8	39	59	26	1108	965	46	83	39	628	5	7	569	620	695
17	510	510	1295	35	1.1	40	65	32	1135	952	39	87	23	625	6	23	570	590	664
18	505	505	1305	33	1.5	32	61	37	1120	905	40	88	42	636	7	16	563	688	665
对比例1	-	-	1200	-	4	15	20	12	1040	820	23	-	10	-	-	-	750	750	750
对比例2	-	-	1200	-	4	18	21	10	1040	850	20	-	5	-	-	-	743	743	743

[0085]

表4热处理及喷焊工艺参数

编号	淬火保温时间 min	淬火加热温度℃	回火温度℃	回火时间 h	抛砂时间 min	滚光时间 min	表面加热温度℃	铬铜粉末含铬量%	铬铜粉末粒子直径 μm	铬铜合金粉末层厚 mm	CrCuC 层厚 mm
1	30	775	152	30	12	30	810	70	80	0.2	0.1
2	15	790	205	34	25	12	838	72	96	0.3	0.13
3	10	792	214	31	30	14	869	79	128	0.5	0.16
4	25	778	169	25	21	20	821	75	136	0.24	0.2
5	28	755	176	33	15	28	875	71	88	0.35	0.18
6	19	775	155	32	18	20	894	74	96	0.47	0.17
7	26	792	185	25	22	17	857	76	149	0.21	0.19
8	28	764	190	30	14	19	893	78	108	0.2	0.13
9	13	791	165	36	22	14	824	79	115	0.3	0.12
10	21	748	226	25	21	24	857	74	93	0.5	0.16
11	30	815	163	33	28	13	847	73	122	0.24	0.17
12	29	816	194	32	17	21	832	72	135	0.35	0.18
13	27	820	160	31	25	16	884	71	147	0.47	0.12
14	22	790	170	35	12	28	875	77	120	0.21	0.11
15	18	800	210	28	22	24	894	78	142	0.24	0.16
16	26	808	195	29	26	12	853	74	99	0.43	0.14
17	25	795	222	30	19	26	827	76	113	0.33	0.18
18	23	780	195	32	20	25	838	75	105	0.38	0.15
对比例1	-	850	450	45	42	45	-	-	-	-	-
对比例2	-	830	380	38	36	40	-	-	-	-	-

[0087]

表5钢板及成品性能

编号	热轧板珠光体直径 μm	热轧板珠光体片间距 μm	碳化钨复合物最大直径 mm	晶界氧化层 mm	热轧板屈服强度%	非金属夹杂	偏析	200℃以上高温基体硬度 HRC	200℃以上高温抗拉强度 MPa	200℃以上高温表面硬度 HRC	磨损率 mg/km (磨销转速 300 r/min, 载荷 120N)	平均腐蚀率 g/m ² ·h (土壤环境)
1	6	0.55	12	0	52	0	1级	62	2220	65	19	10
2	3	0.52	16	0	53	0.5	1.5级	59	2180	68	13	6
3	8	0.66	18	0	56	1	0.5级	60	2010	70	19	12
4	2	0.74	9	0	54	0.5	1级	60	2170	69	18	14

[0088]

[0089]

5	7	0.69	10	0	53	0	1 级	59	2265	72	15	7
6	9	0.85	14	0	59	0	1.5 级	59	2325	69	14	12
7	6	0.67	17	0	52	0.5	0.5 级	63	2420	71	17	9
8	5	0.50	6	0	51	1	1 级	60	2180	65	16	8
9	4	0.59	12	0	58	0	1 级	61	2210	68	18	11
10	8	0.90	10	0	57	0	1.5 级	62	2170	68	15	12
11	6	0.72	16	0	59	0.5	0.5 级	61	2365	67	12	10
12	7	0.84	15	0	50	1	0.5 级	59	2225	72	19	10
13	5	0.61	9	0	57	0.5	1 级	60	2025	66	14	13
14	9	0.59	7	0	58	0	1.5 级	61	2080	71	9	5
15	3	0.62	11	0	59	0	0.5 级	63	2110	65	16	14
16	5	0.65	17	0	55	0.5	0.5 级	61	2070	69	15	7
17	8	0.71	10	0	51	1	1.5 级	59	2085	72	17	8
18	6	0.82	9	0	52	0	0.5 级	60	2135	66	18	3
对比例 1	珠光体+少量铁素体		-	-	82	2	4 级	37	650	37	61	55
对比例 2	珠光体+少量铁素体		-	-	83	2	3.5 级	40	630	40	72	42

。