



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111270169 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 201811478777.3 *G21D 6/00*(2006.01)
(22)申请日 2018.12.05 *G21D 8/02*(2006.01)
(71)申请人 河南城建学院 *G21D 9/00*(2006.01)
地址 467000 河南省平顶山市新城区龙翔
大道 *B21B 1/46*(2006.01)

(72)发明人 杨海林 周前 杨秀芹 张凤玲

(51)Int.Cl.

- G22C 38/60*(2006.01)
- G22C 38/48*(2006.01)
- G22C 38/46*(2006.01)
- G22C 38/44*(2006.01)
- G22C 38/06*(2006.01)
- G22C 38/04*(2006.01)
- G22C 38/02*(2006.01)
- G22C 33/04*(2006.01)
- G21D 1/18*(2006.01)

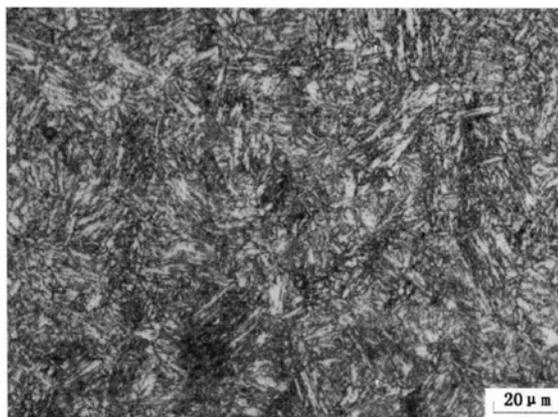
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板及其生产方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板及其生产方法,按质量百分比计包含下述组分:C0.04%~0.10%,Si0.05%~0.30%,Mn0.80%~1.20%,P≤0.010%,S≤0.05%,Ni7.0%~8.0%,Al0.020%~0.050%,Cr0.2~0.30%,Mo0.2~0.30%,Nb0.020~0.030%,V0.04~0.06%,Ca0.002~0.005%,As≤0.012%,Sn≤0.015%,Sb≤0.003%,余量为Fe和微量不可避免的杂质。本发明的合金钢板符合低温压力容器10~50mm厚连铸型含Ni钢板的要求,具有纯净度较高、成分均匀、力学性能好的特点。



1. 一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,其特征在于按质量百分比计包含下述组分:C 0.04%~0.10%,Si 0.05%~0.30%,Mn 0.80%~1.20%, $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.05\%$,Ni 7.0%~8.0%,Al 0.020%~0.050%,Cr 0.2~0.30%,Mo 0.2~0.30%,Nb 0.020~0.030%,V 0.04~0.06%,Ca 0.002~0.005%, $As \leq 0.012\%$, $Sn \leq 0.015\%$, $Sb \leq 0.003\%$,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,其特征在于:所述钢板的最大厚度为50mm。

3. 一种权利要求1或2所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于:包括冶炼、连铸、加热、轧制、冷却和热处理工序。

4. 根据权利要求3所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于:所述轧制工序采用II型控轧工艺;第一阶段的轧制温度为 $950^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$,道次压下率为 $\geq 15\%$,累计压下率 $\geq 50\%$;第二阶段的精轧开轧温度 $\leq 850^{\circ}\text{C}$,精轧终轧温度 $\leq 810^{\circ}\text{C}$,累计压下率 $\geq 50\%$,轧制后得到半成品钢板;

所述冷却工序:所述半成品钢板开始水冷温度 $780^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$,水冷后堆垛缓冷;堆垛温度 $\geq 200^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$,堆垛缓冷时间 ≥ 24 小时;

所述热处理工序:冷却后钢板进行双相区淬火+回火处理;淬火温度为 $720^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,淬火的加热时间分别为 $2.5\text{min}/\text{mm}$,水冷;回火温度为 $560 \pm 10^{\circ}\text{C}$,总加热时间为 $4\text{min}/\text{mm}$,空冷。

5. 根据权利要求3所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于:所述加热工序:钢坯最高加热温度 $1150^{\circ}\text{C} \sim 1180^{\circ}\text{C}$,均热温度 $1150^{\circ}\text{C} \sim 1170^{\circ}\text{C}$,总加热时间 $\geq 12\text{min}/\text{cm}$ 。

6. 根据权利要求3所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于:所述连铸工序:采用300mm断面连铸坯生产,连铸避风堆垛缓冷,缓冷时间 ≥ 24 小时。

7. 根据权利要求6所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于,所述连铸工序的浇铸温度为 $1560^{\circ}\text{C} \sim 1580^{\circ}\text{C}$,过热度为 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$,拉坯速率为 $0.70 \sim 1.05\text{m}/\text{min}$ 。

8. 根据权利要求3所述的具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法,其特征在于,所述冶炼工序:原料先经电炉或转炉冶炼,送入LF钢包炉精炼,深脱硫,调整合金成分并加入Nb、V微合金化,并喂Al线600~750米,大包温度 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ 时吊包至VD炉真空处理,真空前加入Ca-Si块100~150kg,真空度 $\leq 60\text{Pa}$,真空保持时间 ≥ 15 分钟后破坏真空。

一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板及其生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及压力容器用钢技术领域,特别涉及一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板及其生产方法。

背景技术

[0002] 近几年,我国正加快80万吨~100万吨规模的大型乙烯项目的建设步伐,天然气在能源需求中比例不断提高,LNG输送及储存技术得以迅速发展。而建造低温储罐所需的9Ni钢因其在-196℃超低温环境下具有优良韧性得以广泛应用。目前我国已经实现了9Ni钢的规模化工业生产。作为一种典型的热处理钢种,9Ni钢Ni含量高,生产难度大,特别是热处理工艺窗口窄,过程能耗高,因而生产成本低。Ni是9Ni钢中最昂贵的合金元素,而且我国Ni资源储量少,使得9Ni钢生产成本居高不下,产品市场竞争力低下。因此,有必要研究开发Ni含量较低的钢以及探索优化的生产工艺以降低生产成本。

发明内容

[0003] 针对上述技术问题,本发明提供了一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板及其生产方法,解决现有的9Ni钢生产成本高的问题。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明的技术方案为:

[0005] 本发明提供一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,按质量百分比计包括:C 0.04%~0.10%,Si 0.05%~0.30%,Mn 0.80%~1.20%, $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.05\%$,Ni 7.0%~8.0%,Al 0.020%~0.050%,Cr 0.2~0.30%,Mo 0.2~0.30%,Nb 0.020~0.030%,V 0.04~0.06%,Ca 0.002~0.005%, $As \leq 0.012\%$, $Sn \leq 0.015\%$, $Sb \leq 0.003\%$,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

[0006] 所述钢板的最大厚度为50mm。

[0007] 本发明采用低碳设计,C的含量为0.04%~0.10%,一方面有利于提高钢的韧性,另一方面可显著地改善钢的焊接性能。Si的含量为0.05%~0.30%,主要以固溶强化形式提高钢的强度,但不可含量过高,以免降低钢的韧性。Mn的含量为0.80%~1.20%,主要起固溶强化和降低相变温度提高钢板强度的作用,Mn能显著提高钢的淬透性,随Mn含量的增加,钢板的塑性和低温冲击韧性略有下降,强度显著提高,因此为保韧性Mn含量也不易过高。 $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.005\%$,在一般情况下,磷和硫都是钢中有害元素,增加钢的脆性;磷使焊接性能变坏,降低塑性,使冷弯性能变坏;硫降低钢的延展性和韧性,在轧制时造成裂纹;因此应尽量减少磷和硫在钢中的含量。Ni含量为7.0%~8.0%,在铁-碳相图上,Ni使共析点向左下方移动,降低钢的临界点AC3点;Ni是非碳化物形成元素,它与碳作用不形成碳化物,但Ni与Fe能形成 α 或 γ 固溶体,随着Ni含量的提高,奥氏体的稳定性增大,能显著提高铁素体的韧性,从而提高低温钢的低温韧性;Ni能减小低温时的位错在基体金属中运动的阻力,故能提高韧性;Ni还可以提高位错能,抑制在低温时大量位错的形成,促进低温时位错的交滑移,使裂纹扩展消耗功增加,也使韧性增加;因此,Ni是保证-196℃横向冲击功的

最主要元素。Al含量为0.020%~0.050%，铝是钢中常用的脱氧剂，钢中加入少量的铝，可细化晶粒，提高冲击韧性；铝还具有抗氧化性和抗腐蚀性能，过高则影响钢的热加工性能、焊接性能和切削加工性能。Cr含量为0.2~0.30%，Cr具有提高淬透性，并且通过使马氏体组织微细化而使低温韧性提高的效果。Mo含量为0.2~0.30%，Mo具有提高淬透性，并且通过使马氏体组织微细化而使低温韧性提高的效果。Nb含量为0.02~0.03%，Nb具有作为碳氮化物析出面使得组织微细化的效果，并且是对韧性的提高有用的元素。V含量为0.04~0.06%，V具有作为碳氮化物析出而使得组织微细化的效果，并且是对韧性的提高有用的元素。Ca含量为0.002~0.005%，Ca是固定S而抑制成为韧性下降的原因的MnS的生成的元素。然而，若其含量大于0.0050%，则钢中的夹杂物的量增加，反过来则导致韧性变差。As、Sn、Sb是原料中所带的杂质元素，其在钢中易向晶界偏聚而产生回火脆性，因此其含量应尽可能低。

[0008] 本发明并提供了具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生产方法，包括冶炼、连铸、加热、轧制、冷却和热处理工序，所述钢板采用上述重量百分含量的化学成分。

[0009] 所述轧制工序采用II型控轧工艺；第一阶段的轧制温度为950℃~1100℃，道次压下率为 $\geq 15\%$ ，累计压下率 $\geq 50\%$ ；第二阶段的精轧开轧温度 $\leq 850\text{℃}$ ，精轧终轧温度 $\leq 810\text{℃}$ ，累计压下率 $\geq 50\%$ ，轧制后得到半成品钢板；

[0010] 所述冷却工序：所述半成品钢板开始水冷温度780℃~800℃，水冷后堆垛缓冷；堆垛温度 $\geq 200\text{℃}$ ~250℃，堆垛缓冷时间 ≥ 24 小时；

[0011] 所述热处理工序：冷却后钢板进行双相区淬火+回火处理；淬火温度为720℃ $\pm 10\text{℃}$ ，淬火的加热时间分别为2.5min/mm，水冷；回火温度为560 $\pm 10\text{℃}$ ，总加热时间为4min/mm，空冷。

[0012] 所述加热工序：钢坯最高加热温度1150℃~1180℃，均热温度1150℃~1170℃，总加热时间 $\geq 12\text{min/cm}$ 。

[0013] 所述连铸工序：采用300mm断面连铸坯生产，连铸避风堆垛缓冷，缓冷时间 ≥ 24 小时。

[0014] 所述连铸工序：浇铸温度为1560℃~1580℃，过热度为15℃~30℃，拉坯速率为0.70~1.05m/min。

[0015] 所述冶炼工序：原料先经电炉或转炉冶炼，送入LF钢包炉精炼，深脱硫，调整合金成分并加入Nb、V微合金化，并喂Al线600~750米，大包温度 $\geq 1600\text{℃}$ 时吊包至VD炉真空处理，真空前加入Ca-Si块100~150kg，真空度 $\leq 60\text{Pa}$ ，真空保持时间 ≥ 15 分钟后破坏真空。

[0016] 本发明的生产方法解决了9Ni钢生产工艺中问题：(1)合金化设计：降低9Ni钢中的Ni含量，加入少量Cr、Mo及微合金化等合金元素可以弥补低温韧性和强度的不足，在保证其性能的前提下降低制造成本；(2)采用低温控轧+直接淬火工艺，显著提高含Ni钢的低温韧性和其它力学性能，减低生产费用；(3)在双相区淬火、回火，保证低温韧性和其它力学性能。

[0017] 本发明方法中，钢板的化学成分设计在采用Ni作为主要的提高钢板-196℃低温冲击韧性的元素，同时加入少量Cr、Mo以及采用微合金化Nb、V、Ca；采用连铸工艺生产，成本较低，市场竞争力强；轧制时采用晾钢控轧控冷工艺，确保具有优良的综合性能。本发明方法所得钢板的低温韧性有相当大的富裕量，板厚1/4处及1/2处的-196℃横向冲击功均大于

150J;Z向性能优良,能满足最高级别Z35的要求且有较大富裕量;所得钢板的组织均匀、细小、非金属夹杂极微,板厚1/4处晶粒度在8.0级以上,板厚1/2处晶粒度在7.5级以上。

[0018] 采用上述技术方案所产生的有益效果在于:

[0019] 本发明具有良好的低温冲击韧性;C含量极低,因此具有良好的焊接性;Z向性能优良,能达到最高的Z35级别;可广泛用于低温设备的制造,应用前景广阔。

[0020] 本发明方法采用低碳当量微量多元的成分设计及控轧控冷+热处理的生产工艺,生产出符合低温压力容器要求的10~50mm厚连铸型含Ni合金钢板;产品具有纯净度较高、成分均匀、力学性能优良;-196℃横向冲击功优良、焊接性能优良等特点;且工艺简单、生产成本低、可实现批量生产。

附图说明

[0021] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0022] 图1是实施例1含Ni合金钢板的金相组织照片;

[0023] 图2是实施例2含Ni合金钢板的金相组织照片;

[0024] 图3是实施例3含Ni合金钢板的金相组织照片。

具体实施方式

[0025] 下面将结合本发明具体实施例,对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0026] 本发明的低温韧性的含Ni合金钢板采用下述工艺方法生产而成。

[0027] (1) 冶炼工序:原料先经电炉或转炉冶炼,送入LF钢包炉精炼,深脱硫,调整合金成分并加入Nb、V微合金化,并喂Al线600~750米,大包温度 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ 时吊包至VD炉真空处理,真空前加入Ca-Si块100~150kg,真空度 $\leq 60\text{Pa}$,真空保持时间 ≥ 15 分钟后破坏真空。所得钢水成分的重量百分含量为:C 0.04%~0.10%,Si 0.05%~0.30%,Mn 0.80%~1.20%, $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.05\%$,Ni 7.0%~8.0%,Al 0.020%~0.050%,Cr 0.2~0.30%,Mo 0.2~0.30%,Nb 0.020~0.030%,V 0.04~0.06%,Ca 0.002~0.005%,As $\leq 0.012\%$,Sn $\leq 0.015\%$,Sb $\leq 0.003\%$,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

[0028] (2) 连铸工序:采用300mm断面连铸坯,上述钢水在 $1560^{\circ}\text{C} \sim 1580^{\circ}\text{C}$ 进行浇铸,过热度为 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$,拉坯速率为 $0.70\text{m}/\text{min} \sim 1.05\text{m}/\text{min}$,得到连铸坯;连铸坯避风堆垛缓冷,缓冷时间 ≥ 24 小时。

[0029] (3) 加热工序:连铸坯放入连续炉内加热;为了保证钢板的表面质量,铸坯实现温清、温装、慢速低温加热,钢坯最高加热温度 $1150^{\circ}\text{C} \sim 1180^{\circ}\text{C}$,均热温度 $1150^{\circ}\text{C} \sim 1170^{\circ}\text{C}$,总加热时间 $\geq 12\text{min}/\text{cm}$ (即按钢坯每厘米厚度加热1分钟计算)。

[0030] (4) 轧制工序:采用II型控轧工艺;第一阶段为奥氏体再结晶阶段,在 $950^{\circ}\text{C} \sim 1100$

℃之间,此阶段道次压下率为 $\geq 15\%$,累计压下率 $\geq 50\%$,使奥氏体发生完全再结晶,以细化奥氏体晶粒;第二阶段为奥氏体非再结晶阶段,开轧温度 $\leq 850^\circ\text{C}$,终轧温度 $\leq 810^\circ\text{C}$,在这一阶段内,奥氏体晶粒被拉长,在伸长而未再结晶的奥氏体内形成高密度形变孪晶和形变带,因而增加了铁素体的形核位置,细化了铁素体晶粒,此阶段压下率应尽量大,累计压下率 $\geq 50\%$,轧制后得到半成品钢板。

[0031] (5) 冷却工序:采用水冷及热堆垛工艺;经轧制后的钢板在快速冷却装置进行在线冷却,开始水冷温度 $780^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$,水冷后堆垛缓冷;堆垛温度 $\geq 200^\circ\text{C}\sim 250^\circ\text{C}$,堆垛缓冷时间 ≥ 24 小时,防止钢板内应力来不及释放而形成内裂纹。

[0032] (6) 热处理工序:对钢板进行双相区淬火+回火处理;淬火温度 $720^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$,淬火的加热时间分别为 $2.5\text{min}/\text{mm}$ (即按钢板每毫米厚度加热2.5分钟计算),水冷;回火温度为 $560\pm 10^\circ\text{C}$,总加热时间为 $4\text{min}/\text{mm}$ (即按钢板每毫米厚度加热4分钟计算),空冷;即可得到所述的含Ni钢板。

[0033] 实施例1

[0034] 本实施例提供一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,按质量百分比计包括:C 0.08%,Si 0.21%,Mn 0.94%,P 0.005%,S 0.003%,Ni 7.43%,Al 0.036%,Cr 0.24%,Mo 0.26%,Nb 0.023%,V 0.043%,Ca 0.003%,As 0.008%,Sn 0.003%,Sb 0.002%,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

[0035] 本实施例具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生方法,包括下述步骤:

[0036] (1) 冶炼:精炼时喂Al线650米,大包温度 $\geq 1600^\circ\text{C}$ 时吊包至VD炉真空处理,真空前加入Ca-Si块120kg,真空度60Pa,保持18分钟。

[0037] (2) 连铸:钢水在 $1560^\circ\text{C}\sim 1580^\circ\text{C}$ 进行浇铸,过热度为 24°C ,拉坯速率为 $0.75\text{m}/\text{min}$;连铸坯避风堆垛缓冷,缓冷时间26小时。

[0038] (3) 加热:连铸坯放入连续炉内加热;为了保证钢板的表面质量,铸坯实现温清、温装、慢速低温加热,钢坯最高加热温度 1180°C ,均热温度 $1150^\circ\text{C}\sim 1170^\circ\text{C}$,总加热时间6小时($12\text{min}/\text{cm}$)。

[0039] (4) 轧制:采用II型控压工艺;第一阶段轧制温度为 980°C ,道次压下率为 18% ,累计压下率为 55% ;第二阶段轧制温度为 845°C ,终轧温度 800°C ,累计压下率为 60% 。

[0040] (5) 冷却工序:采用水冷及热堆垛工艺;经轧制后的钢板在快速冷却装置进行在线冷却,开始水冷温度 790°C ,水冷后堆垛缓冷;堆垛温度 230°C ,堆垛缓冷时间为25小时。

[0041] (6) 热处理:对钢板进行双相淬火+回火处理;双相区淬火温度为 730°C ,总加热时间为 75min ($2.5\text{min}/\text{mm}$);回火温度为 560°C ,总加热时间为 120min ($4\text{min}/\text{mm}$)。

[0042] 本实施例得到的含Ni合金钢板的厚度为30mm,力学性能为:屈服强度635MPa,抗拉强度720MPa,延伸率27%; -196°C 横向冲击功:218J、221J、232J。本实施例含Ni合金钢板的金相组织照片如图1所示。

[0043] 实施例2

[0044] 本实施例提供一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,按质量百分比计包括:C 0.04%,Si 0.30%,Mn 0.80%,P 0.010%,S 0.02%,Ni 8.0%,Al 0.020%,Cr 0.3%,Mo 0.2%,Nb 0.030%,V 0.04%,Ca 0.005%,As 0.012%,Sn 0.003%,Sb 0.003%,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

[0045] 本实施例具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生方法,包括下述步骤:

[0046] (1) 冶炼:精炼时喂Al线600米,大包温度 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ 时吊包至VD炉真空处理,真空前加入Ca-Si块150kg,真空度50Pa,保持15分钟。

[0047] (2) 连铸:钢水在 $1560^{\circ}\text{C}\sim 1580^{\circ}\text{C}$ 进行浇铸,过热度为 15°C ,拉坯速率为 $0.70\text{m}/\text{min}$;连铸坯避风堆垛缓冷,缓冷时间24小时。

[0048] (3) 加热:连铸坯放入连续炉内加热;为了保证钢板的表面质量,铸坯实现温清、温装、慢速低温加热,钢坯最高加热温度 1150°C ,均热温度 $1150^{\circ}\text{C}\sim 1170^{\circ}\text{C}$,总加热时间 6.2 小时($12.4\text{min}/\text{cm}$)。

[0049] (4) 轧制:采用II型控压工艺;第一阶段轧制温度为 950°C ,道次压下率为 15% ,累计压下率为 56% ;第二阶段轧制温度为 850°C ,终轧温度 810°C ,累计压下率为 50% 。

[0050] (5) 冷却工序:采用水冷及热堆垛工艺;经轧制后的钢板在快速冷却装置进行在线冷却,开始水冷温度 780°C ,水冷后堆垛缓冷;堆垛温度 200°C ,堆垛缓冷时间为24小时。

[0051] (6) 热处理:对钢板进行双相淬火+回火处理;双相区淬火温度为 710°C ,总加热时间为 125min ($2.5\text{min}/\text{mm}$);回火温度为 570°C ,总加热时间为 200min ($4\text{min}/\text{mm}$)。

[0052] 本实施例得到的含Ni合金钢板的厚度为 50mm ,力学性能为:屈服强度 625MPa ,抗拉强度 715MPa ,延伸率 28% ; -196°C 横向冲击功: 234J 、 203J 、 234J ;厚度方向断面收缩率: 75% 、 77% 、 75% 。本实施例含Ni合金钢板的金相组织照片如图2所示。

[0053] 实施例3

[0054] 本实施例提供一种具有优异低温韧性的含Ni合金钢板,按质量百分比计包括:C 0.10% ,Si 0.05% ,Mn 1.20% ,P 0.008% ,S 0.05% ,Ni 7.0% ,Al 0.050% ,Cr 0.2% ,Mo 0.3% ,Nb 0.020% ,V 0.06% ,Ca 0.002% ,As 0.009% ,Sn 0.015% ,Sb 0.002% ,余量为Fe和微量不可避免的杂质。

[0055] 本实施例具有优异低温韧性的含Ni合金钢板的生方法,包括下述步骤:

[0056] (1) 冶炼:精炼时喂Al线750米,大包温度 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ 时吊包至VD炉真空处理,真空前加入Ca-Si块100kg,真空度60Pa,保持20分钟。

[0057] (2) 连铸:钢水在 $1560^{\circ}\text{C}\sim 1580^{\circ}\text{C}$ 进行浇铸,过热度为 30°C ,拉坯速率为 $1.05\text{m}/\text{min}$;连铸坯避风堆垛缓冷,缓冷时间28小时。

[0058] (3) 加热:连铸坯放入连续炉内加热;为了保证钢板的表面质量,铸坯实现温清、温装、慢速低温加热,钢坯最高加热温度 1180°C ,均热温度 $1150^{\circ}\text{C}\sim 1170^{\circ}\text{C}$,总加热时间 $15\text{min}/\text{cm}$ 。

[0059] (4) 轧制:采用II型控压工艺;第一阶段轧制温度为 1100°C ,道次压下率为 16% ,累计压下率为 58% ;第二阶段轧制温度为 830°C ,终轧温度 800°C ,累计压下率为 55% 。

[0060] (5) 冷却工序:采用水冷及热堆垛工艺;经轧制后的钢板在快速冷却装置进行在线冷却,开始水冷温度 800°C ,水冷后堆垛缓冷;堆垛温度 250°C ,堆垛缓冷时间为26小时。

[0061] (6) 热处理:对钢板进行双相淬火+回火处理;双相区淬火温度为 730°C ,总加热时间为 26min ($2.5\text{min}/\text{mm}$);回火温度为 550°C ,总加热时间为 42min ($4\text{min}/\text{mm}$)。

[0062] 本实施例含Ni合金钢板的厚度为 10mm ,力学性能为:屈服强度 680MPa ,抗拉强度 720MPa ,延伸率 23% ; -196°C 横向冲击功: 178J 、 167J 、 172J 。本实施例含Ni合金钢板的金相组织照片如图3所示。

[0063] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

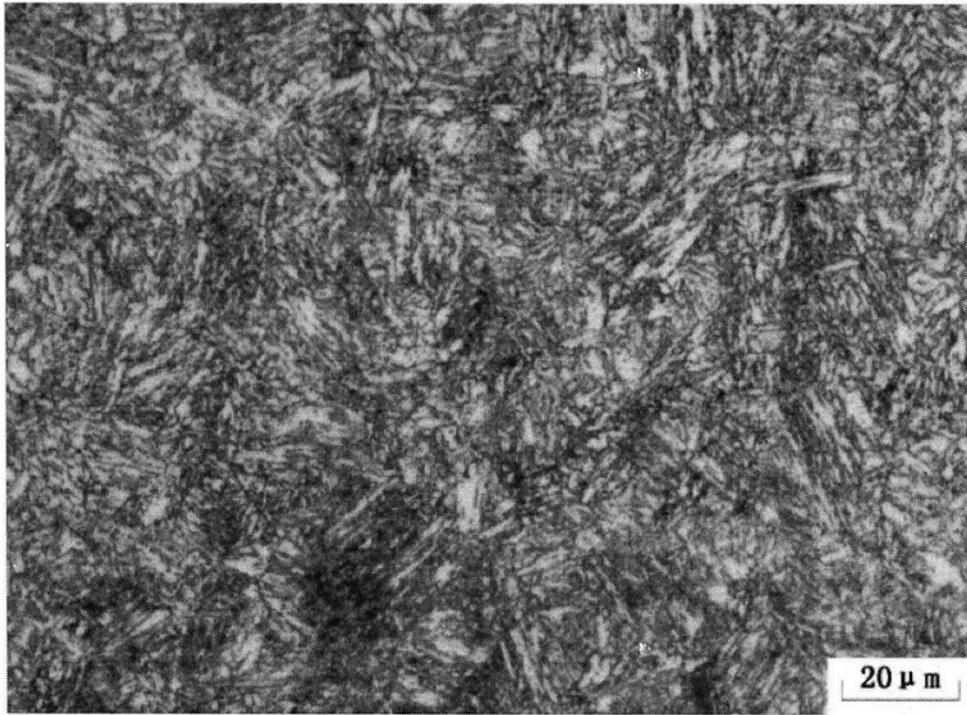


图1

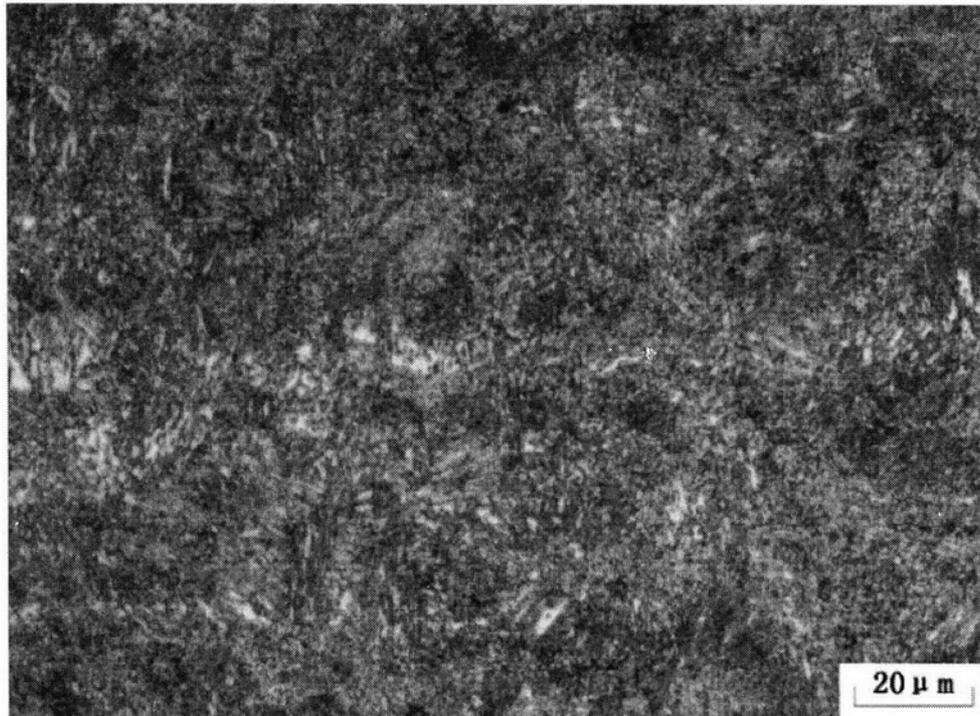


图2

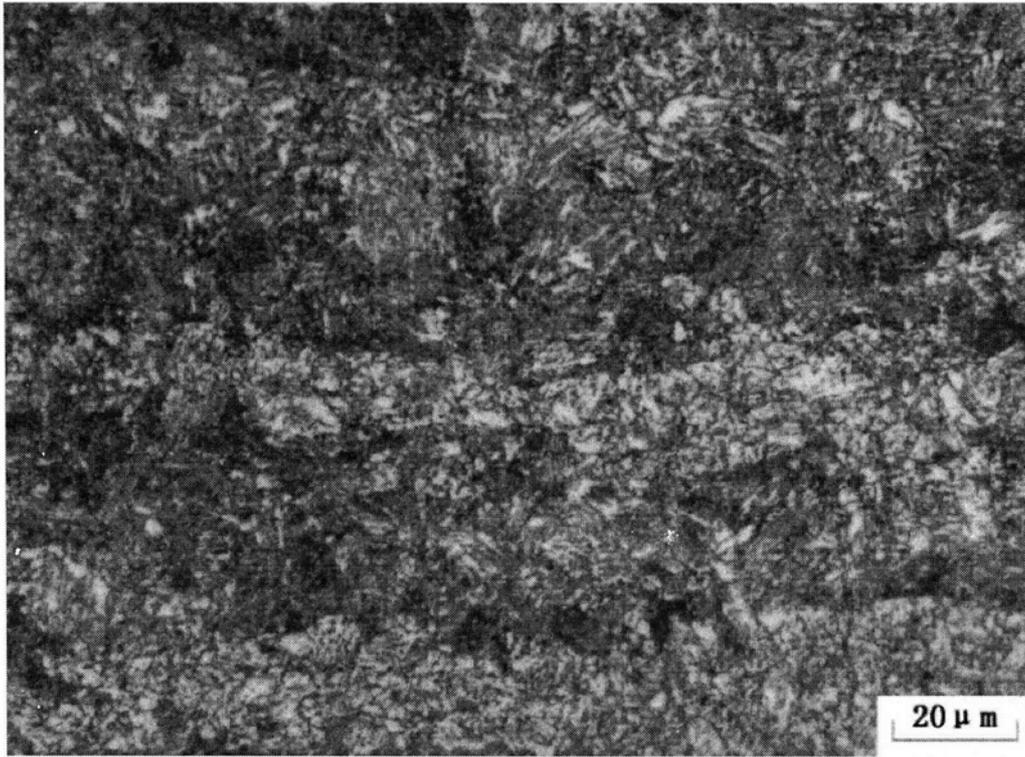


图3