



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102000954 A

(43) 申请公布日 2011.04.06

(21) 申请号 201010556945.3

C21D 8/00 (2006.01)

(22) 申请日 2010.11.23

(71) 申请人 攀钢集团钢铁钒钛股份有限公司

地址 617067 四川省攀枝花市东区向阳村

申请人 攀钢集团江油长城特殊钢有限公司

(72) 发明人 谢珍勇 欧阳明 罗通伟 余志川

胡峰荣 黎强 屈小科

(74) 专利代理机构 成都蓉信三星专利事务所

51106

代理人 刘克勤

(51) Int. Cl.

B23P 15/00 (2006.01)

C22C 38/24 (2006.01)

C22C 33/04 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 8 页

(54) 发明名称

一种连轧管机限动芯棒的制造方法

(57) 摘要

一种连轧管机限动芯棒的制造方法，其特征是包括：采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼，获得 4Cr5MoSiV1 钢；出钢后浇注成方锭；将方锭红送至轧机初轧开坯成电渣重熔电极；采用双极串联电渣炉重熔，电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系；锻造坯料，轧制芯棒毛坯，组织预处理；再经成品热处理，即将粗车后芯棒毛坯采用 $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$ 保温 $1 \sim 6\text{h}$ 的油冷淬火、然后在 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 保温 $5 \sim 10\text{h}$ 油冷回火 $2 \sim 3$ 次，制得连轧管机限动芯棒产品。采用本发明，制得的限动芯棒能够全面满足限动芯棒性能要求、特别是横向冲击韧性等性能的要求。

1. 一种连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是包括下列步骤:

a、冶炼:采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼,获得的钢的组成和质量百分比比例为 C 0.30 ~ 0.38%、Mn ≤ 0.60%、Si 0.70 ~ 1.20%、S+P ≤ 0.020%、S ≤ 0.008%、Cr 4.50 ~ 5.50%、Mo 1.30 ~ 1.70%、V 0.70 ~ 1.20%、余量为铁;出钢后浇注成 2.8 ~ 3.5t 方锭;

b、轧制电渣重熔电极:将 2.8 ~ 3.5t 方锭在 ≥ 500°C 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250 × 宽 470 ~ 500mm,经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极;

c、电渣重熔:采用双极串联电渣炉重熔,炉口工作电压为 50 ~ 55V,工作电流为 11500 ± 500A;电渣渣系采用质量比例为 CaF₂ : Al₂O₃ : MgO = 60 : 35 : 5 的三元渣系;电渣重熔后的钢锭退火;

d、锻造坯料:将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理,处理的工艺参数为温度 1150 ~ 1290°C、时间 5 ~ 25h;然后采用 1180 ~ 1250°C 加热温度进行锻造加工,采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 ~ 450mm 的方坯料;

e、轧制芯棒毛坯:采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 Φ 180 ~ 250 × 长 11000 ~ 14500mm 的芯棒毛坯,然后退火;

f、组织预处理:轧制芯棒毛坯经过 980 ~ 1100°C 加热保温 5 ~ 25h 后油冷淬火、以及 850 ~ 890°C 退火的组织预处理,然后进行粗车;

g、成品热处理:将粗车后芯棒毛坯采用 1000 ~ 1050°C 保温 1 ~ 6h 的油冷淬火,然后在 550 ~ 650°C 保温 5 ~ 10h 油冷回火 2 ~ 3 次。

2. 按权利要求 1 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 a 所述冶炼中,出钢温度控制在 1550 ~ 1560°C。

3. 按权利要求 1 或 2 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 b 所述轧机是 Φ 825mm 轧机。

4. 按权利要求 1 或 2 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 c 所述电渣重熔后钢锭重 3500 ~ 5000Kg。

5. 按权利要求 1 或 2 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 d 所述快锻压机是 2000t 快锻压机。

6. 按权利要求 1 或 2 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 e 所述轧机是 Φ 825mm 轧机。

7. 按权利要求 1 或 2 所述的连轧管机限动芯棒的制造方法,其特征是:步骤 c 所述电渣重熔中,重熔时采用不交换电极的方式,并采用递减功率重熔工艺。

一种连轧管机限动芯棒的制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于铁基合金钢产品的制造方法,涉及一种连轧管机限动芯棒的制造方法,特别涉及 4Cr5MoSiV1 连轧管机限动芯棒的制造方法。生产的产品适用作无缝钢管连轧机组用限动芯棒。

背景技术

[0002] 限动芯棒是无缝钢管连轧机组的重要热变形工具。当连轧管机组轧制钢管时,实心管坯经过穿孔机加工成空心管坯后,进入连轧管机组轧制钢管。在连轧机组轧制过程中,轧辊挤压管坯的外壁,限动芯棒挤压管坯的内壁,使管坯金属产生挤压变形。

[0003] 限动芯棒常用钢种为 X35CrMoV05KU(意),相当于国家标准 GB1299 中的 4Cr5MoSiV1,或美国 ASTM A681 标准中的 H13。芯棒的制造、检测、验收通常执行意大利的 INNSE 标准,化学成份、机械性能要求和非金属夹杂物规定值如下:

[0004] 表 1、化学成份(%)

元素	C	Mn	Si	S+P	S	Cr	Mo	V
[0005] 规格	0.30- 0.38	≤ 0.60	0.70- 1.20	≤ 0.020	≤ 0.008	4.50- 5.50	1.30- 1.70	0.70- 1.20

[0006] 表 2、室温机械性能

[0007]

σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	A_{kv} (J)	硬度 (HB)
1127-1274	≥931	≥8	≥25	≥10	350-390

[0008] 芯棒淬火和回火后的奥氏体晶粒度应不低于 8 级。芯棒淬火和回火后的整体硬度为 350-390HB,并且同一支芯棒上的最大硬度值与最小硬度值的硬度值之差最大不超过 30HB。

[0009] 表 3、非金属夹杂物(按 ASTM E45 标准)

[0010]

项目	A		B		C		D	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
规定值	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤1.0

[0011] 4Cr5MoSiV1(H13) 钢是一种通用热作模具钢,该钢含有 Cr、Si、Mn、Mo、V 等合金元素,具有很高的淬透性;并且,由于 Mo、V 等合金元素阻碍晶粒长大,经过 1050℃ 以下高温加

热淬火仍能保持较细的晶粒尺寸；高温回火后析出 Mo_2C 和 V_4C_3 型碳化物，具有二次硬化特性。经过适当的淬火、回火热处理后，该钢可获得较高的硬度、强度、韧性和耐热疲劳性，并具有良好的高温强度和较好的抗回火软化性能。同时，由于该钢含有较高的 Cr 和 Si，热处理后具有较好的抗氧化性和抗蚀性。由于 4Cr5MoSiV1 (H13) 钢具有上述优良的综合性能，所以被广泛应用于限动芯棒材料。

[0012] 但是，由于该钢含有较大量的 Cr、Mo、V 等强碳化物形成元素，在凝固中因为选分结晶的作用，高熔点的碳化物首先形核结晶，形成碳与合金元素富集区域。铸锭中的粗大枝晶经过锻造、轧制等热加工后沿变形方向被拉长，形成碳与合金元素富集区与贫化区交替分布的带状组织，从而造成力学性能的各向异性。带状组织中碳与合金元素富集区与贫化区经过退火及最终淬回火热处理后显微组织不同，并且由于存在与基体组织性质相差悬殊的一次碳化物，导致基体连续性被破坏，容易造成局部应力集中，在外来应力作用下成为裂纹源，明显降低钢的韧性。尤其是大截面的钢材，其心部的横向冲击韧性往往只有表面纵向韧性的 30%~40%。

[0013] 现有技术中，限动芯棒的生产工艺采用炉外精炼常规铸造钢锭，缩孔、疏松、粗大的中心等轴晶区、A 型和 V 型偏析以及尾部沉积锥等组织结构缺陷在大钢锭中仍然存在，并且，由于常规铸造钢锭冷却速度缓慢，二次枝晶间距大，宏观偏析和微观偏析严重。尤其 H13 钢属于含 C 0.4% 的 5% Cr 型合金工具钢，液固相线温差大，钢锭中柱状晶发达，枝晶间的内缩孔造成致密性降低，中心等轴晶区碳与合金元素偏析严重。

发明内容

[0014] 本发明的目的旨在克服上述现有技术中的不足，提供一种能够全面满足限动芯棒性能要求、特别是横向冲击韧性的连轧管机限动芯棒的制造方法。

[0015] 本发明采用偏心炉底出钢电炉、钢包精炼和真空去气 (EBT+LF+VD) 冶炼，初轧机轧制电极，双极串联电渣重熔，锻造开坯后轧制芯棒毛坯，经过退火、粗车以及预备热处理后，进行淬火+高温回火成品调质热处理，最后精车、镀铬，制得 4Cr5MoSiV1 限动芯棒，具体内容如下。

[0016] 本发明的内容是：一种连轧管机限动芯棒的制造方法，其特征是包括下列步骤：

[0017] a、冶炼：采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼，获得的钢的组成和质量百分比为 C 0.30~0.38%、 $\text{Mn} \leq 0.60\%$ 、 $\text{Si} 0.70 \sim 1.20\%$ 、 $\text{S}+\text{P} \leq 0.020\%$ 、 $\text{S} \leq 0.008\%$ 、 $\text{Cr} 4.50 \sim 5.50\%$ 、 $\text{Mo} 1.30 \sim 1.70\%$ 、 $\text{V} 0.70 \sim 1.20\%$ 、余量为铁；出钢后浇注成 2.8~3.5t 方锭；

[0018] b、轧制电渣重熔电极：将 2.8~3.5t 方锭在 $\geq 500^\circ\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250×宽 470~500mm，经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极；

[0019] c、电渣重熔：采用双极串联电渣炉重熔，炉口工作电压为 50~55V，工作电流为 $11500 \pm 500\text{A}$ ；电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系；电渣重熔后的钢锭退火；

[0020] d、锻造坯料：将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理，处理的工艺参数为温度 1150~1290 $^\circ\text{C}$ 、时间 5~25h；然后采用 1180~1250 $^\circ\text{C}$ 加热温度进行锻造加工，采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400~450mm 的方坯料；

[0021] e、轧制芯棒毛坯：采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 $11000 \sim 14500\text{mm}$ 的芯棒毛坯，然后退火；

[0022] f、组织预处理：轧制芯棒毛坯经过 $980 \sim 1100^\circ\text{C}$ 加热保温 $5 \sim 25\text{h}$ 后油冷淬火、以及 $850 \sim 890^\circ\text{C}$ 退火的组织预处理，然后进行粗车；

[0023] g、成品热处理：将粗车后芯棒毛坯采用 $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$ 保温 $1 \sim 6\text{h}$ 的油冷淬火，然后在 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 保温 $5 \sim 10\text{h}$ 油冷回火 $2 \sim 3$ 次。

[0024] 本发明的内容中：步骤 a 所述冶炼中，出钢温度较好的是控制在 $1550 \sim 1560^\circ\text{C}$ 。

[0025] 本发明的内容中：步骤 b 所述轧机可以是 $\Phi 825\text{mm}$ 轧机。

[0026] 本发明的内容中：步骤 c 所述电渣重熔后钢锭重量较好的是 $3500 \sim 5000\text{Kg}$ 。

[0027] 本发明的内容中：步骤 d 所述快锻压机可以是 2000t 快锻压机。

[0028] 本发明的内容中：步骤 e 所述轧机可以是 $\Phi 825\text{mm}$ 轧机。

[0029] 本发明的内容中：步骤 c 所述电渣重熔中，重熔时可以采用不交换电极的方式，并采用递减功率重熔工艺，以避免交换电极引起的一系列问题。

[0030] 本发明所述连轧管机限动芯棒的制造方法中，加工过程总的热加工变形量较好的是 ≥ 15 。

[0031] 与现有技术相比，本发明具有下列特点和有益效果：

[0032] (1) 本发明采用 EBT+LF+VD 炉外精炼工艺，以保证 $S \leq 0.008\%$ ， $S+P \leq 0.020\%$ 的残余元素控制，并通过真空处理和 Al、Ca 脱氧使钢中氧含量降到尽可能低的水平，同时经过 VD 真空处理使钢中 H 含量尽可能降低；LF+VD 炉外精炼后轧制电极并去除头尾后进一步采用电渣重熔，去除钢中夹杂物，利用电渣重熔有利的凝固条件、并且选用双极串联电渣重熔的方式尽可能减轻偏析；电渣重熔后采用锻造开坯、轧制成材的热加工工艺生产限动芯棒毛坯，避免由于压机、汽锤锻造成材时动作频率不足导致超细长件停锻温度过低产生热加工裂纹缺陷，并防止锻造成材时表面局部变形不均匀的特点导致冷却应力裂纹；对退火后的芯棒毛坯经过 $(980 \sim 1100)^\circ\text{C} \times (5 \sim 25)\text{h}$ 油冷淬火、以及 $850 \sim 890^\circ\text{C}$ 退火的组织预处理（例如：可以是采用 $1080^\circ\text{C} \times 10\text{h}$ 淬火 + 870°C 退火的组织预处理），消除了沿晶分布的大块碳化物，以提高横向冲击韧性；然后采用 $(1000 \sim 1050)^\circ\text{C}$ 保温 $(1 \sim 6)\text{h}$ 的油冷淬火、然后在 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 保温 $(5 \sim 10)\text{h}$ 油冷回火（例如：可以是采用 $1030^\circ\text{C} \times 3\text{h}$ 油冷淬火 + $580^\circ\text{C} \times 8\text{h} + 620^\circ\text{C} \times 8\text{h} + 620^\circ\text{C} \times 8\text{h}$ 油冷回火）的芯棒成品热处理工艺；通过采用上述合理的工艺方法，制得的 $4\text{Cr}5\text{MoSiV}1$ 限动芯棒满足了限动芯棒的技术要求；

[0033] (2) 采用本发明，电渣重熔工艺由于冷却速度快，可以获得组织致密、成分均匀、显微纯净度非常高的高质量钢锭，钢锭中的疏松、缩孔、夹渣、偏析、发纹等低倍缺陷都得到消除，冶金质量改善非常显著；

[0034] (3) 本发明通过偏心炉底出钢电炉、钢包精炼和真空去气冶炼并轧制电极，然后电渣重熔，锻造开坯后轧制芯棒毛坯，可保证材料具有满足限动芯棒材料所要求横向冲击韧性等性能的能力；

[0035] (4) 本发明采用轧制电极，然后双极串联电渣重熔满足非金属夹杂物要求；采用锻造开坯后轧制芯棒材料的热变形方式，保证芯棒材料得到充分变形，和全长度的变形均匀性；

[0036] (5) 本发明产品制备工艺简单，实用性强。

具体实施方式

[0037] 下面给出的实施例拟以对本发明作进一步说明,但不能理解为是对本发明保护范围的限制,该领域的技术人员根据上述本发明的内容对本发明作出的一些非本质的改进和调整,仍属于本发明的保护范围。

[0038] 实施例 1:

[0039] 一种连轧管机限动芯棒的制造方法,包括下列步骤:

[0040] a、冶炼:采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼,获得的钢的组成和质量百分比例为 C 0.30%、Mn \leq 0.60%、Si 0.70%、S+P \leq 0.020%、S \leq 0.008%、Cr 4.50%、Mo 1.30%、V 0.70%、余量为铁;出钢后浇注成 2.8t(吨)方锭;

[0041] b、轧制电渣重熔电极:将 2.8t 方锭在 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250 \times 宽 470 \sim 500mm,经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极;

[0042] c、电渣重熔:采用双极串联电渣炉重熔,炉口工作电压为 50 \sim 55V,工作电流为 11500 \pm 500A;电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系;电渣重熔后的钢锭退火;

[0043] d、锻造坯料:将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理,处理的工艺参数为温度 1150 \sim 1290 $^{\circ}\text{C}$ 、时间 5h;然后采用 1180 \sim 1250 $^{\circ}\text{C}$ 加热温度进行锻造加工,采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 \sim 450mm 的方坯料;

[0044] e、轧制芯棒毛坯:采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 11000 \sim 14500mm 的芯棒毛坯,然后退火;

[0045] f、组织预处理:轧制芯棒毛坯经过 980 \sim 1100 $^{\circ}\text{C}$ 加热保温 5h 后油冷淬火、以及 850 \sim 890 $^{\circ}\text{C}$ 退火的组织预处理,然后进行粗车;

[0046] g、成品热处理:将粗车后芯棒毛坯采用 1000 \sim 1050 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1h 的油冷淬火,然后在 550 \sim 650 $^{\circ}\text{C}$ 保温 5h 油冷回火 3 次,即制得连轧管机限动芯棒产品。

[0047] 实施例 2:

[0048] 一种连轧管机限动芯棒的制造方法,包括下列步骤:

[0049] a、冶炼:采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼,获得的钢的组成和质量百分比例为 C 0.34%、Mn \leq 0.60%、Si 0.90%、S+P \leq 0.020%、S \leq 0.008%、Cr 5.00%、Mo 1.50%、V 0.90%、余量为铁;出钢后浇注成 3.2t 方锭;

[0050] b、轧制电渣重熔电极:将 3.2t 方锭在 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250 \times 宽 470 \sim 500mm,经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极;

[0051] c、电渣重熔:采用双极串联电渣炉重熔,炉口工作电压为 50 \sim 55V,工作电流为 11500 \pm 500A;电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系;电渣重熔后的钢锭退火;

[0052] d、锻造坯料:将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理,处理的工艺参数为温度 1150 \sim 1290 $^{\circ}\text{C}$ 、时间 15h;然后采用 1180 \sim 1250 $^{\circ}\text{C}$ 加热温度进行锻造加工,采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 \sim 450mm 的方坯料;

[0053] e、轧制芯棒毛坯：采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 11000 ~ 14500mm 的芯棒毛坯，然后退火；

[0054] f、组织预处理：轧制芯棒毛坯经过 980 ~ 1100℃ 加热保温 15h 后油冷淬火、以及 850 ~ 890℃ 退火的组织预处理，然后进行粗车；

[0055] g、成品热处理：将粗车后芯棒毛坯采用 1000 ~ 1050℃ 保温 3h 的油冷淬火，然后在 550 ~ 650℃ 保温 5 ~ 10h 油冷回火 3 次，即制得连轧管机限动芯棒产品。

[0056] 实施例 3：

[0057] 一种连轧管机限动芯棒的制造方法，包括下列步骤：

[0058] a、冶炼：采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼，获得的钢的组成和质量百分比例为 C 0.38%、Mn \leq 0.60%、Si 1.20%、S+P \leq 0.020%、S \leq 0.008%、Cr 5.50%、Mo 1.70%、V 1.20%、余量为铁；出钢后浇注成 3.5t 方锭；

[0059] b、轧制电渣重熔电极：将 3.5t 方锭在 $\geq 500^\circ\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250× 宽 470 ~ 500mm，经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极；

[0060] c、电渣重熔：采用双极串联电渣炉重熔，炉口工作电压为 50 ~ 55V，工作电流为 $11500 \pm 500\text{A}$ ；电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系；电渣重熔后的钢锭退火；

[0061] d、锻造坯料：将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理，处理的工艺参数为温度 1150 ~ 1290℃、时间 25h；然后采用 1180 ~ 1250℃ 加热温度进行锻造加工，采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 ~ 450mm 的方坯料；

[0062] e、轧制芯棒毛坯：采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 11000 ~ 14500mm 的芯棒毛坯，然后退火；

[0063] f、组织预处理：轧制芯棒毛坯经过 980 ~ 1100℃ 加热保温 25h 后油冷淬火、以及 850 ~ 890℃ 退火的组织预处理，然后进行粗车；

[0064] g、成品热处理：将粗车后芯棒毛坯采用 1000 ~ 1050℃ 保温 6h 的油冷淬火，然后在 550 ~ 650℃ 保温 5 ~ 10h 油冷回火 2 次，即制得连轧管机限动芯棒产品。

[0065] 实施例 4：

[0066] 一种连轧管机限动芯棒的制造方法，包括下列步骤：

[0067] a、冶炼：采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼，获得的钢的组成和质量百分比例为 C 0.30%、Mn \leq 0.60%、Si 0.70%、S+P \leq 0.020%、S \leq 0.008%、Cr 5.50%、Mo 1.70%、V 0.70%、余量为铁；出钢后浇注成 2.8 ~ 3.5t 方锭；

[0068] b、轧制电渣重熔电极：将 2.8 ~ 3.5t 方锭在 $\geq 500^\circ\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250× 宽 470 ~ 500mm，经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极；

[0069] c、电渣重熔：采用双极串联电渣炉重熔，炉口工作电压为 50 ~ 55V，工作电流为 $11500 \pm 500\text{A}$ ；电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系；电渣重熔后的钢锭退火；

[0070] d、锻造坯料：将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理，处理的工艺参数为温度 1150 ~ 1290℃、时间 8h；然后采用 1180 ~ 1250℃ 加热温度进行锻造加工，采用快锻压

机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 ~ 450mm 的方坯料；

[0071] e、轧制芯棒毛坯：采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 11000 ~ 14500mm 的芯棒毛坯，然后退火；

[0072] f、组织预处理：轧制芯棒毛坯经过 980 ~ 1100℃ 加热保温 8h 后油冷淬火、以及 850 ~ 890℃ 退火的组织预处理，然后进行粗车；

[0073] g、成品热处理：将粗车后芯棒毛坯采用 1000 ~ 1050℃ 保温 4h 的油冷淬火，然后在 550 ~ 650℃ 保温 5 ~ 10h 油冷回火 2 次，即制得连轧管机限动芯棒产品。

[0074] 实施例 5-11：

[0075] 一种连轧管机限动芯棒的制造方法，包括下列步骤：

[0076] a、冶炼：采用偏心炉底出钢电炉初次冶炼、LF 加热炉钢包精炼和 VD 炉真空去气工艺冶炼，获得的钢的组成和质量百分比例见表 1，出钢后浇注成 2.8 ~ 3.5t 方锭；

[0077] b、轧制电渣重熔电极：将 2.8 ~ 3.5t 方锭在 $\geq 500^\circ\text{C}$ 温度下红送至轧机初轧开坯成规格为厚 250× 宽 470 ~ 500mm，经退火、研磨、切除头尾后即制得电渣重熔用电极；

[0078] c、电渣重熔：采用双极串联电渣炉重熔，炉口工作电压为 50 ~ 55V，工作电流为 $11500 \pm 500\text{A}$ ；电渣渣系采用质量比例为 $\text{CaF}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO} = 60 : 35 : 5$ 的三元渣系；电渣重熔后的钢锭退火；

[0079] d、锻造坯料：将电渣重熔并退火后的钢锭经过均质化处理，处理的工艺参数为温度 1150 ~ 1290℃、时间 5 ~ 25h；然后采用 1180 ~ 1250℃ 加热温度进行锻造加工，采用快锻压机把电渣重熔后的钢锭锻造成规格为边长 400 ~ 450mm 的方坯料；

[0080] e、轧制芯棒毛坯：采用轧机将锻造后的方坯料轧制成规格为直径 $\Phi 180 \sim 250 \times$ 长 11000 ~ 14500mm 的芯棒毛坯，然后退火；

[0081] f、组织预处理：轧制芯棒毛坯经过 980 ~ 1100℃ 加热保温 5 ~ 25h 后油冷淬火、以及 850 ~ 890℃ 退火的组织预处理，然后进行粗车；

[0082] g、成品热处理：将粗车后芯棒毛坯采用 1000 ~ 1050℃ 保温 1 ~ 6h 的油冷淬火，然后在 550 ~ 650℃ 保温 5 ~ 10h 油冷回火 2 ~ 3 次。

[0083] 表 1：钢的组成和质量百分比例

[0084]

实施例编号 质量百分比 组份	5	6	7	8	9	10	11
C	0.30	0.31	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38
Mn \leq	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Si	0.71	0.78	0.85	0.90	0.99	1.10	1.20
S+P \leq	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
S \leq	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Cr	4.52	4.60	4.75	4.90	5.00	5.25	5.50
Mo	1.32	1.38	1.45	1.53	1.58	1.62	1.69
V	0.72	0.80	0.90	1.00	1.09	1.15	1.19
铁	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量

[0085] 上述实施例中：步骤 a 所述冶炼中，出钢温度较好的是控制在 1550 ~ 1560℃。

[0086] 上述实施例中：步骤 b 所述轧机可以是 $\Phi 825\text{mm}$ 轧机。

[0087] 上述实施例中：步骤 c 所述电渣重熔后钢锭重较好的是 3500 ~ 5000Kg。

[0088] 上述实施例中：步骤 d 所述快锻压机可以是 2000t 快锻压机。

[0089] 上述实施例中：步骤 e 所述轧机可以是 $\Phi 825\text{mm}$ 轧机。

[0090] 上述实施例中：步骤 c 所述电渣重熔中，重熔时可以采用不交换电极的方式，并采用递减功率重熔工艺，以避免交换电极引起的一系列问题。

[0091] 上述实施例中：各步骤的工艺参数为范围的，任一点均可适用。

[0092] 采用本发明及上述实施例制备的 4Cr5MoSiV1 限动芯棒，机械性能实际值达见下表：

[0093]

	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	A_{kv} (J)	硬度 (HB)
标准要求	1127-1274	≥ 931	≥ 8	≥ 25	≥ 10	350-390
实际值	1130-1260	935-1120	10-14.5	37.5-44.5	15-24	356-380

[0094] 采用本发明及上述实施例制备的 4Cr5MoSiV1 限动芯棒,晶粒度可达到 8-9 级(按 ASTM E112 规定进行晶粒度评级);

[0095] 采用本发明及上述实施例制备的 4Cr5MoSiV1 限动芯棒,化学成分达到背景技术部分中表 1 所述的要求;

[0096] 采用本发明及上述实施例制备的 4Cr5MoSiV1 限动芯棒,非金属夹杂物达到背景技术部分中表 3 所述的要求。

[0097] 本发明内容及上述实施例中未具体叙述的技术内容同现有技术。

[0098] 本发明不限于上述实施例,本发明内容所述均可实施并具有所述良好效果。