

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710051251.2

[51] Int. Cl.

C22C 38/14 (2006.01)
C22C 33/04 (2006.01)
C21C 7/064 (2006.01)
C21C 7/072 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01)
B21B 37/74 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年5月27日

[11] 授权公告号 CN 100491574C

[51] Int. Cl. (续)

B21B 5/00 (2006.01)

[22] 申请日 2007.1.12

[21] 申请号 200710051251.2

[73] 专利权人 武汉钢铁(集团)公司

地址 430083 湖北省武汉市青山区厂前2号门

[72] 发明人 郭斌 苏毅 刘昌明 郑琳
谢懋亮 鄢檀力 陈洪伟

[56] 参考文献

US6632295B2 2003.10.14

CN1888120A 2007.1.3

CN1563468A 2005.1.12

JP60-208417A 1985.10.21

CN1759198A 2006.4.12

武钢 X80 级热轧厚板卷的试制与生产. 孙君华等. 焊管, 第 28 卷第 2 期. 2005

审查员 傅晓亮

[74] 专利代理机构 北京市德权律师事务所

代理人 吴涛

权利要求书 1 页 说明书 5 页

[54] 发明名称

C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢及其制造方法

[57] 摘要

C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢及其制造方法, 它涉及微合金化钢制造领域。为解决现有技术所存在的成本较高, 以及对轧制和卷取设备损害较大的问题, 本发明所述热轧高强度高磁感性能钢的各组分的重量百分比为 C: 0.03% ~ 0.15%、Si: ≤0.15%、Mn: 1.00% ~ 1.80%、P: ≤0.025%、S: ≤0.015%、Ti: 0.08% ~ 0.18%、Nb: 0.02% ~ 0.07%、Al: 0.02% ~ 0.10%、N: ≤0.010%, 其余为 Fe。其制造方法按下述步骤进行: a. 铁水脱硫; b. 转炉顶底复合吹炼; c. 炉后吹氩气处理; d. 浇注成板坯; e. 热连轧机控轧控冷: 选用热连轧机组设备, 先将步骤 d 所制得的板坯加热至 1230 ~ 1280℃; 然后粗轧, 粗轧结束温度为 ≥ 1100℃; 然后精轧, 终轧温度为 850 ~ 930℃; 钢板

轧后采用层流冷却后卷取, 卷取温度为 550 ~ 620℃, 制得热轧板卷。

1、C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，其特征在于它由 C、Si、Mn、P、S、Ti、Nb、Al、N 和 Fe 组成，各组分的重量百分比为 C：0.03%~0.15%、Si：≤0.15%、Mn：1.646%~1.80%、P：≤0.025%、S：≤0.015%、Ti：0.08%~0.18%、Nb：0.02%~0.07%、Al：0.02%~0.10%、N：≤0.010%，其余为 Fe。

2、根据权利要求 1 所述的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，其特征在于各组分的重量百分比为 C：0.071%、Si：0.069%、Mn：1.646%、P：0.012%、S：0.006%、Ti：0.129%、Nb：0.045%、Al：0.048%、N：≤0.009%，其余为 Fe。

3、根据权利要求 1 所述的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，其特征在于各组分的重量百分比为 C：0.083%、Si：0.029%、Mn：1.656%、P：0.017%、S：0.003%、Ti：0.124%、Nb：0.043%、Al：0.058%、N：≤0.002%，其余为 Fe。

4、根据权利要求 1 所述的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，其特征在于各组分的重量百分比为 C：0.10%、Si：0.028%、Mn：1.718%、P：0.017%、S：0.006%、Ti：0.131%、Nb：0.043%、Al：0.051%、N：≤0.006%，其余为 Fe。

5、根据权利要求 1、2、3 或 4 所述的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢的制造方法，其特征在于它按下述步骤进行：a、铁水脱硫；b、转炉顶底复合吹炼；c、炉后吹氩气处理；d、浇注成板坯；e、热连轧机控轧控冷：选用热连轧机组设备，先将步骤 d 所制得的板坯加热至 1230~1280℃；然后粗轧，粗轧结束温度为 ≥1100℃；然后精轧，终轧温度为 850~930℃；钢板轧后采用层流冷却后卷取，卷取温度为 550~620℃，制得热轧板卷。

C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢及其制造方法

技术领域

本发明涉及微合金化钢制造领域，具体地指一种适应于大型水轮发电机转子磁轭部分所需的具备高强度($R_{eL} \geq 700\text{MPa}$)和高磁感性能的钢及其制造方法。

背景技术

随着电力供需矛盾的日益突出，作为清洁无污染、可再生的水电已经成为我国解决能源问题的重要举措。随着我国西部大开发的深入，一大批三峡级的大型、巨型水电项目将在未来几十年内陆续开工建设，这些大型、巨型水电项目均需要单机容量 70~80 万千瓦级别的大型水轮发电机组，这就对其中发电机转子磁轭部分用钢提出了高强度、高磁感性能的要求。在本发明申请之前，专利号为 98800888.2 的中国发明专利记载了一种“基于低温板坯加热法生产具有高磁感应强度的晶粒择优取向电工钢板的方法”，其成分和工艺制度不足之处在于产线较长，从热轧钢板退火成冷轧钢板，最后还需要进行脱碳处理，生产周期长，能耗大，而且钢板含有较高含量的硅(Si)或者一定量的铜(Cu)、镍(Ni)、铬(Cr)、硼(B)，合金成本较高，同时该发明涉及品种不具备高的拉伸强度。申请号为 200480002119.7 的中国发明专利介绍了一种“超高强度热轧钢及生产带材的方法”，其成分和工艺制度不足之处在于含有 0.5%~1.0%的铬(Cr)，而且生产工艺中需要将轧制温度控制在低于 950℃，然后冷却至 400℃或更低温度，其间保持在 800℃与 700℃之间的大于 50℃/S 的冷却速率，最后在 250℃或更低温度下卷绕，这对于轧机和卷取设备的能力要求极高，且对

设备损害较大，没有可操作性，同时该专利涉及品种不具备高的磁感性能。

发明内容

为解决现有技术所存在的成本较高，以及对轧制和卷取设备损害较大的问题，本发明提供了一种能满足高单机容量的大型水轮发电机转子中磁轭部分使用的屈服强度 $ReL \geq 700\text{MPa}$ ，磁感性能 $B50 \geq 1.5\text{T}$ 的高强度高磁感性能钢及其制造方法。

为实现上述目的，本发明所设计的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，它包括碳 (C)、硅 (Si)、锰 (Mn)、磷 (P)、硫 (S)、钛 (Ti)、铌 (Nb)、铝 (Al)、氮 (N) 和铁 (Fe)，各组分的重量百分比为 C: 0.03%~0.15%、Si: $\leq 0.15\%$ 、Mn: 1.00%~1.80%、P: $\leq 0.025\%$ 、S: $\leq 0.015\%$ 、Ti: 0.08%~0.18%、Nb: 0.02%~0.07%、Al: 0.02%~0.10%、N: $\leq 0.010\%$ ，其余为 Fe 及不可避免的夹杂。

本发明的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢中各合金成份的作用机理如下：

本发明的碳 (C) 含量为 0.03%~0.15%，碳是钢中不可缺少的提高钢材强度的元素之一，同时可以与钢中 Ti、Nb 等作用形成微合金碳化物，起到析出强化作用，碳含量过高会影响到钢的磁感性能。将碳含量限定在 0.03~0.15%，既可提高钢的强度，保证钢的磁感性能，又适合生产操作。

本发明的锰 (Mn) 含量为 1.00%~1.80%，可降低奥氏体转变成铁素体的相变温度，扩大热加工温度区域，有利于细化铁素体晶粒尺寸，提高钢的屈服强度和抗拉强度。

本发明的磷 (P) 含量 $\leq 0.025\%$ 、硫 (S) 含量 $\leq 0.015\%$ ，磷在钢中具有容

易造成偏析、降低磁感性能等不利影响。硫易与锰结合生成 MnS 夹杂，影响钢的磁感性能和塑性。因此，本发明应尽量减少磷、硫元素对钢性能的不利影响，通过对铁水进行深脱硫预处理等手段，控制磷、硫含量，从而减轻其不利影响。

本发明的硅 (Si) 含量 $\leq 0.15\%$ ，硅对热连轧板卷表面质量有不利影响，因此本发明应尽量降低钢中硅含量。

本发明的钛 (Ti) 含量为 $0.08\% \sim 0.18\%$ ，钛是一种强烈的碳化物和氮化物形成元素，在钢重新加热中阻止奥氏体晶粒长大，在高温奥氏体区粗轧时 TiN 和 TiC 析出，可有效抑制奥氏体晶粒长大，同时析出的 TiN 和 TiC 可以有效的提高钢板强度。

本发明的铌 (Nb) 含量为 $0.02\% \sim 0.07\%$ ，微量的铌能显著细化晶粒并提高本发明钢的抗拉强度。铌在控轧过程中，通过抑制再结晶和阻止晶粒长大，可细化奥氏体晶粒尺寸，同时提高钢板再结晶温度，降低轧机负荷。在轧后冷却过程中，NbC 和 NbN 微小质点析出，可起沉淀强化的作用。

本发明的铝 (Al) 含量为 $0.02 \sim 0.10\%$ ，其主要作用是脱去钢水中的氧，防止钛被氧化而失效。

本发明的氮 (N) 含量 $\leq 0.01\%$ ，属于转炉钢中正常残余，可以与钢中钛 (Ti)、铌 (Nb) 结合形成 TiN、NbN 析出，起到抑制奥氏体晶粒长大和析出强化作用。

上述 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢的制造方法按下述步骤进行：
a、铁水脱硫；b、转炉顶底复合吹炼；c、炉后吹氩气处理；d、浇注成板坯；
e、热连轧机控轧控冷。其中，所述热连轧控轧控冷在热连轧机组进行，先将步骤 d 所制得的板坯加热至 $1230 \sim 1280^\circ\text{C}$ ；然后粗轧，粗轧结束温度为 $\geq 1100^\circ\text{C}$ ；然后精轧，终轧温度为 $850 \sim 930^\circ\text{C}$ ；钢板轧后采用层流冷却后卷取，卷取

温度为 550~620℃，制得热轧板卷。

本发明所述 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，不含有铜 (Cu)、镍 (Ni)、铬 (Cr)、硼 (B) 等成份，大大节约原料成本；且轧制温度和卷取温度较高，可以降低钢板形变抗力，在轧制薄规格 (1.6~5mm) 超高强度 ($ReL \geq 700\text{MPa}$) 钢过程中减小设备负荷，减少了对轧制设备和卷取设备的损害。试验表明，本发明的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢的屈服强度 $ReL \geq 700\text{MPa}$ ，抗拉强度 $Rm \geq 800\text{MPa}$ ，磁感性能 $B50 \geq 1.50\text{T}$ ，可以满足高单机容量的大型水轮发电机转子磁轭用高强度高磁感性能钢的需求。

具体实施方式

以下结合具体实施例对本发明的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢及其生产方法作进一步的详细描述：

表 1 本发明钢的化学成分，wt%

成份	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	Nb	N
1	0.071	0.069	1.646	0.012	0.006	0.129	0.048	0.045	0.009
2	0.083	0.029	1.656	0.017	0.003	0.124	0.058	0.043	0.002
3	0.100	0.028	1.718	0.017	0.006	0.131	0.051	0.043	0.006

表 1 列出了本发明可用于大型水轮发电机转子磁轭用钢的几种具体实例的化学成份。

这几种高强度高磁感性能用钢的生产方法如下：首先，采用铁水深脱硫技术，在转炉上进行顶底复合吹炼，使铁水中的 $S \leq 0.005\%$ ，钢水在炉后吹氩气处理过程中，进行微合金化，使钢中的化学成份满足表 1 的要求，余量为 Fe 及不可避免的夹杂；然后，将满足表 1 要求的钢水浇注成 $200 \sim 300\text{mm} \times 900 \sim$

1550mm 断面的板坯；最后，将该板坯在热连轧机上采用控轧控冷处理的热连轧生产工艺，将其轧制成热轧板。

采用控轧控冷处理的热连轧生产工艺时，为充分发挥微合金元素在钢中的作用和保证钢板的尺寸规格、表面质量，利用大功率轧机(3/4 连续式热带钢轧机组，单机架最大功率为 5000kw 以上)的设备能力，减少轧制道次，提高道次压下率。先将板坯加热至 1230~1280℃。粗轧累计压下率为 80~90%，粗轧结束温度为 $\geq 1100^{\circ}\text{C}$ 。粗轧后进行精轧，终轧温度为 850~930℃；经层流冷却后进行卷取，卷取温度为 550~620℃，制得板厚为 1.6~5mm 的热轧板。

本发明 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢的热轧板的生产工艺参数和试验结果见表 2。

表 2 本发明钢热连轧板制备方法及试验结果

成份	钢号	加热温度 ℃	终轧温度 ℃	卷取温度 ℃	厚度 mm	ReL MPa	Rm MPa	A5 %	B50 T
1	1	1260	880	585	2	780	825	19	1.646
	2	1260	875	575	5	775	830	19	1.591
2	3	1270	880	580	2	765	805	16	1.622
3	4	1270	885	580	3	770	835	19	1.581

注：表 2 的成份 1、2、3 与表 1 中的成份 1、2、3 为对应关系。

实施例列举了三种成份的 C-Mn-Ti-Nb 系热轧高强度高磁感性能钢，分别对应于表 1 中的成份 1、2、3。试验按热轧板工艺生产，其中成份 1 轧制了较厚和较薄的两种规格。从表 2 反映出的性能来看，各成份的 1.6~5mm 热轧板都能满足屈服强度 $\text{ReL} \geq 700\text{MPa}$ ，磁感性能 $\text{B}_{50} \geq 1.50\text{T}$ 。