



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105506465 A

(43) 申请公布日 2016. 04. 20

(21) 申请号 201510921787. X

C21D 8/12(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 12. 14

(71) 申请人 武汉钢铁(集团)公司

地址 430080 湖北省武汉市武昌区友谊大道
999 号

(72) 发明人 宋畅 杜明 马玉喜 陶军晖
徐进桥 高智平 陶文哲 郭斌
刘昌明

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 段姣姣

(51) Int. Cl.

C22C 38/04(2006. 01)

C22C 38/14(2006. 01)

C22C 38/12(2006. 01)

C22C 38/06(2006. 01)

权利要求书1页 说明书4页

(54) 发明名称

屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧磁
轭钢及生产方法

(57) 摘要

屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧
磁轭钢, 其组分及 wt% 为:C :0.015 ~ 0.030%,
Si : $\leq 0.15\%$, Mn :1.80 ~ 2.10%, P : $\leq 0.015\%$,
S : $\leq 0.005\%$, Ti :0.035 ~ 0.075%, Nb :0.02 ~
0.07%, Als :0.02 ~ 0.10%, N : $\leq 0.005\%$; 生产
步骤: 经铁水脱硫、转炉复合吹炼、真空处理后浇
注; 将板坯加热; 粗轧; 精轧; 层流冷却; 卷取。本
发明屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$, 抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$, 延
伸率 A $\geq 11\%$, -40°C 冲击功 KV₂ $\geq 60\text{J}$, 磁感性能
B₅₀ $\geq 1.50\text{T}$, 能够满足高单机容量的特大型水轮
发电机转子磁轭用高强度高磁感性能钢的需求。

1. 屈服强度 \geq 750MPa级高强度高韧性热轧磁轭钢,其组分及重量百分比含量为:C:
0.015~0.030%,Si: \leq 0.15%,Mn:1.80~2.10%,P: \leq 0.015%,S: \leq 0.005%,Ti:0.035~
0.075%,Nb:0.02~0.07%,Als:0.02~0.10%,N: \leq 0.005%,其余为Fe及不可避免的夹杂;并
满足(Nb+Ti)/C:3.5~4.5。

2. 生产屈服强度 \geq 750MPa级高强度高韧性热轧磁轭钢的方法,其步骤:

- 1) 经铁水脱硫、转炉顶底复合吹炼、真空处理后浇注成板坯;
- 2) 将板坯加热,加热温度在1280~1350°C,均热时间为100~150min;
- 3) 进行粗轧,并控制粗轧结束温度不低于1100°C;
- 4) 进行精轧,F1、F2道次压下率为50%,F7压下率设为35~40%,并控制终轧温度在800~
850°C;
- 5) 进行层流冷却,在冷却速度为50~70°C/s下冷却冷却至550~600°C;
- 6) 进行卷取。

屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧磁轭钢及生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种水轮发电机转子磁轭钢及其生产方法,具体地属于一种屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧磁轭钢及生产方法。

背景技术

[0002] 随着我国确定的“西部大开发”战略和“西电东送”战略的实施,以及按照国家“大力开发水电”的指导方针,一大批大型水电项目将在未来几十年内陆续开工建设。随着水电事业的发展,对用于水轮发电机转子磁轭这一关键部分的磁轭钢板的性能要求也由单纯的高强度提高到对高韧性的要求,特别是在严寒地区,磁轭钢服役环境恶劣,在转子运转过程中一旦发生材料断裂,则将带来无法估量的损失。为了进一步加强电机安全性设计,已经有行业领先的水轮发电机厂明确提出增加磁轭钢高韧性的要求。高强度高韧性已成为未来磁轭钢的发展趋势。在特大型水电项目中,对磁轭钢的冲击韧性要求更加严格,要求 -40°C 冲击功 $\text{KV}_2 \geq 60\text{J}$ 。

[0003] 在本发明申请之前,已有中国专利号为ZL200710051252.7的文献,公开了一种“C-Mn-Ti系热轧高强度高磁感性能钢及其制造方法”,该发明钢采用C-Mn-Ti系合金成分,采用控轧控冷热连轧工艺,其加热温度为 $1230\sim 1280^\circ\text{C}$,粗轧结束温度为 $\geq 1100^\circ\text{C}$,精轧终轧温度为 $850\sim 930^\circ\text{C}$,卷取温度为 $580\sim 650^\circ\text{C}$,其屈服强度(ReL) $\geq 600\text{MPa}$,磁感性能 $B_{50} \geq 1.50\text{T}$ 。

[0004] 中国专利号为ZL200710051251.2的文献,公开了一种“C-Mn-Ti-Nb系热轧高强度高磁感性能钢及其制造方法”,该发明钢采用C-Mn-Ti-Nb系合金成分,采用控轧控冷热连轧工艺,加热温度为 $1230\sim 1280^\circ\text{C}$,粗轧结束温度为 $\geq 1100^\circ\text{C}$,精轧终轧温度为 $850\sim 930^\circ\text{C}$,卷取温度为 $550\sim 620^\circ\text{C}$ 。其屈服强度 $\geq 700\text{MPa}$,磁感性能 $B_{50} \geq 1.5\text{T}$ 。

[0005] 中国专利号为201310412335.X的文献,公开了一种“屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度磁轭钢及其制造方法”,该发明钢采用C-Mn-Ti-Nb系合金成分,并提高Si、Nb含量(分别为 $0.16\sim 0.3\%$ 及 $0.07\sim 0.09\%$)进一步强化钢板,采用控轧控冷热连轧工艺,加热温度为 $1280\sim 1350^\circ\text{C}$,粗轧结束温度为 $\geq 1100^\circ\text{C}$,精轧终轧温度为 $850\sim 930^\circ\text{C}$,卷取温度为 $640\sim 700^\circ\text{C}$,其屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$,磁感性能 $B_{50} \geq 1.5\text{T}$ 。

[0006] 中国专利申请号为201310412357.6的文献,公开了一种“屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$ 级高强度磁轭钢及其制造方法”,该发明钢采用C-Mn-Ti-Nb-Mo系合金成分,采用控轧控冷热连轧工艺,加热温度为 $1280\sim 1350^\circ\text{C}$,粗轧结束温度为 $\geq 1100^\circ\text{C}$,精轧终轧温度为 $850\sim 930^\circ\text{C}$,卷取温度为 $550\sim 640^\circ\text{C}$,其屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$,磁感性能 $B_{50} \geq 1.5\text{T}$ 。

[0007] 通常,磁轭钢厚度一般在 $2\sim 5\text{mm}$,而厚度 $<6\text{mm}$ 的钢板不要求韧性指标,正如以上四项专利,均可获得高强度及良好的磁感性能,但在设计上均未考虑钢板的韧性要求,且在钢板性能上也未提及韧性指标。经实际检验,以上钢种的 -40°C 冲击功 KV_2 仅在 30J 以下。而这种韧性级别的钢已经不能适应和满足当前大型水电工程项目发电机要求,因此急需研制和开发高强度高韧性的磁轭钢。

发明内容

[0008] 本发明在于克服现有技术存在的不足,提供一种屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$,延伸率 $A\geq 11\%$, -40°C 冲击功 $\text{KV}_2\geq 60\text{J}$,磁感 $B_{50}\geq 1.5\text{T}$ 的高强度高韧性热轧磁轭钢及生产方法。

[0009] 实现上述目的的措施:

屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧磁轭钢,其组分及重量百分比含量为:C:0.015~0.030%,Si: $\leq 0.15\%$,Mn:1.80~2.10%,P: $\leq 0.015\%$,S: $\leq 0.005\%$,Ti:0.035~0.075%,Nb:0.02~0.07%,Als:0.02~0.10%,N: $\leq 0.005\%$,其余为Fe及不可避免的夹杂;并满足(Nb+Ti)/C:3.5~4.5。

[0010] 生产屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 级高强度高韧性热轧磁轭钢的方法,其步骤:

- 1)经铁水脱硫、转炉顶底复合吹炼、真空处理后浇注成板坯;
- 2)将板坯加热,加热温度在1280~1350°C,均热时间为100~150min;
- 3)进行粗轧,并控制粗轧结束温度不低于1100°C;
- 4)进行精轧,F1、F2道次压下率为50%,F7压下率设为35~40%,并控制终轧温度在800~850°C;
- 5)进行层流冷却,在冷却速度为50~70°C/s下冷却冷却至550~600°C;
- 6)进行卷取。

[0011] 本发明中各元素及主要工艺的作用及机理:

碳(C):C是提高钢板强度既简便又经济的元素,但C含量过高会使钢的韧性及磁感性能明显下降。为了保证钢板具有良好的综合性能,尤其是使钢板具有良好的韧性,本发明将C含量限定在0.015%~0.030%。

[0012] 锰(Mn):Mn通过固溶强化提高钢的强度,是补偿因C含量降低而引起强度损失的最主要最经济的强化元素。Mn还可通过扩大 γ 相区从而降低 $\gamma\rightarrow\alpha$ 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,提高钢的强度和韧性。由于本发明钢要求的强韧性较高,因此,本发明的Mn含量设定为1.80%~2.10%。

[0013] 硅(Si):在铁素体中的固溶强化系数比Mn高,是一种有效的强化元素,但Si却能显著降低钢的韧性和成型性能,且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Si的含量为 $\leq 0.15\%$ 。

[0014] 钛(Ti):Ti是一种强烈的碳化物和氮化物形成元素,形成的碳、氮化物颗粒可在钢重新加热及高温奥氏体区粗轧过程中阻止奥氏体晶粒长大,起到细化晶粒的作用,提高钢的韧性。在卷取阶段析出的细小弥散TiC可以起到显著的析出强化效果,从而有效的提高钢板强度。本发明选择Ti含量为0.035%~0.075%。

[0015] 钨(Nb):一定量的Nb能显著细化晶粒并提高抗拉强度。Nb在控轧过程中,可以提高钢的再结晶温度,降低轧机负荷,同时通过抑制再结晶和阻止晶粒长大,可细化奥氏体晶粒尺寸。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Nb含量为0.02%~0.07%,

氮(N):N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。本发明的N含量控制在0.010%以下。

[0016] 磷(P):P在钢中易析出并形成 Fe_3P 且易形成偏析,降低钢的冲击韧性及磁感性能等。由于本发明钢种要求的强度及韧性均较高,因此,本发明应的P含量控制在0.015%以下。

[0017] 硫(S):钢中的Mn可与S形成塑性夹杂物MnS,减轻“热脆”倾向,但轧制过程中沿轧制方向延伸的MnS易使钢中形成带状组织,降低钢的横向冲击韧性和成型性能。由于本发明钢种要求的强度及韧性均较高,因此,本发明的S含量控制在0.005%以下。

[0018] 此外,本发明之所以限定 $(\text{Nb}+\text{Ti})/\text{C}:3.5\sim 4.5$,原因是一方面为获得一定量的细小Nb、Ti析出物,以满足强度要求,另一方面是为避免析出物对韧性的损耗,最终获得良好的强韧性匹配。

[0019] 由于本发明钢采用加热温度为1280~1350°C、均热时间为100~150min,在使合金元素充分固溶的同时,也使得原始奥氏体晶粒较低温加热长大的更多,因此精轧F1、F2道次压下率设为45~50%,通过较大的压下量提高奥氏体晶粒再结晶比例,提供较细的原始晶粒。同时,将末道次F7压下率设为35~40%,通过未再结晶区大变形达到细化铁素体晶粒的效果。并通过50~70°C/s的冷却速度提高相变过冷度,进一步细化晶粒,达到强韧化的效果。

[0020] 本发明能实现高强度、高磁感性能的良好匹配,即屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$,延伸率 $A\geq 11\%$, -40°C 冲击功 $\text{KV}_2\geq 60\text{J}$,磁感性能 $B_{50}\geq 1.50\text{T}$,能够满足高单机容量的特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

[0021] 下面对本发明予以详细描述:

表1为本发明钢及对比例的化学成分取值列表(wt%);

表2为本发明钢、对比例的主要工艺参数取值及性能检测情况列表。

[0022] 本发明各实施例均按照以下步骤生产:

- 1)经铁水脱硫、转炉顶底复合吹炼、真空处理后浇注成板坯;
- 2)将板坯加热,加热温度在1280~1350°C,均热时间为100~150min;
- 3)进行粗轧,并控制粗轧结束温度不低于1100°C;
- 4)进行精轧,F1、F2道次压下率为50%,F7压下率设为35~40%,并控制终轧温度在800~850°C;
- 5)进行层流冷却,在冷却速度为50~70°C/s下冷却冷却至550~600°C;
- 6)进行卷取。

[0023] 说明:表1与表2并非对应关系。

[0024] 表1 本发明钢及对比例的化学成分取值列表(wt%)

实施例	C	Mn	Si	P	S	Ti	Nb	N	$(\text{Nb}+\text{Ti})/\text{C}$
1	0.022	1.99	0.06	0.012	0.002	0.052	0.040	0.005	4.2
2	0.024	1.80	0.05	0.015	0.005	0.070	0.038	0.006	4.5
3	0.027	2.01	0.07	0.014	0.005	0.075	0.020	0.010	3.5
4	0.015	2.10	0.03	0.010	0.005	0.035	0.024	0.005	3.9
5	0.030	1.85	0.15	0.011	0.003	0.035	0.070	0.005	3.5
6	0.020	1.95	0.11	0.012	0.004	0.065	0.025	0.008	4.5

7	0.020	1.85	0.12	0.016	0.012	0.038	0.050	0.008	4.4
8	0.021	1.89	0.06	0.014	0.005	0.065	0.020	0.010	4.0
9	0.025	1.96	0.08	0.011	0.003	0.035	0.070	0.005	4.2
对比例1	0.010	2.31	0.08	0.010	0.014	0.020	0.010	0.005	3.0
对比例2	0.042	1.30	0.06	0.011	0.009	0.10	0.100	0.006	4.8

表2 本发明钢、对比例的主要工艺参数及性能情况列表

实 施 例	加 热 温 度 °C	均 热 时间 min	终 轧 温 度 °C	F1/F2/ F7 道次压下率 %	终 冷 温 度 °C	冷 却 速 度 °C/s	屈 服 强 度 MPa	抗 拉 强 度 MPa	延 伸 率 A %	-40 °C 冲 击 功 KV ₂ J	磁 感 应 强 度 B ₅₀ T
1	132 1	115	835	45/47/ 37	641	57	795	841	17	104	1.60
2	131 7	119	830	45/47/ 36	634	58	807	854	16	97	1.62
3	130 6	124	824	50/47/ 35	622	55	812	867	15	92	1.62
4	129 9	131	829	45/50/ 40	617	70	817	854	15	81	1.63
5	128 0	150	800	45/47/ 39	600	64	824	899	15	77	1.61
6	135 0	100	850	45/47/ 37	650	67	825	905	16	69	1.61
7	131 5	119	830	45/49/ 38	634	52	809	854	16	97	1.62
8	130 9	124	824	47/47/ 36	622	55	812	867	15	92	1.62
9	128 9	131	820	45/48/ 37	617	70	817	834	15	81	1.63
对 比 例 1	118 7	79	780	32/35/ 20	580	40	612	707	18	22	1.61
对 比 例 2	133 0	67	897	35/42/ 15	678	100	705	789	16	28	1.62

从表2可以看出,通过本发明的成分工艺控制,可以实现高强度、高磁感性能的良好匹配,屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$,延伸率A $\geq 11\%$, -40°C 冲击功KV₂ $\geq 60\text{J}$,磁感应能B₅₀ $\geq 1.50\text{T}$,能够满足高单机容量的特大型水轮发电机转子磁轭用高强度高磁感性能钢的需求。

[0025] 本具体实施方式仅为最佳例举,并非对本发明技术方案的限制性实施。