



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114774789 B

(45) 授权公告日 2023.04.14

(21) 申请号 202210465141.5 *C22C 38/04* (2006.01)
(22) 申请日 2022.04.29 *C22C 38/06* (2006.01)
(65) 同一申请的已公布的文献号 *C22C 33/04* (2006.01)
申请公布号 CN 114774789 A *B21B 1/22* (2006.01)
B21B 37/28 (2006.01)
(43) 申请公布日 2022.07.22 审查员 王冬妮
(73) 专利权人 鞍钢股份有限公司
地址 114000 辽宁省鞍山市铁西区环钢路1号
(72) 发明人 杨玉 许成 王英海 刘志伟
张瑞琦 孙傲
(74) 专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所
(普通合伙) 21224
专利代理师 王艳荣
(51) Int. Cl.
C22C 38/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

板形优异宽幅电工纯铁热轧板及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及板形优异宽幅电工纯铁热轧板,化学成分按重量百分比计:C:0.001%~0.005%,Si≤0.01%,Mn≤0.5%,Sr:0.003%~0.05%,Mg:0.003%~0.05%,N:0.003%~0.020%,P≤0.015%,S≤0.01%,Mg/N≥1.5;Sr/S≥2,Al:0.5%~1.0%,余量为Fe和不可避免的杂质。本发明不用Al脱氧,转炉改用Sr和Mg脱氧脱硫,Sr/S≥2才能保证Sr的脱硫效果。用Al实现铁素体区轧制,晶粒粗化,采用该发明生产的电工纯铁热轧钢板无需冷轧和磁化退火,晶粒粗大,晶粒度0~2级,硬度小于90HV。氧化Al夹杂物2~2.5级,存在大量均匀分布30~150nm的长棒状MgN夹杂相,面积百分比0.003%~0.010%,最大矫顽力≤50A/m,最大磁导率≥0.0110H/m,电工性能优异;1200mm以上宽幅热卷无需矫直,钢卷开平后波浪度不大于0.6S。

1. 板形优异宽幅电工纯铁热轧板,其特征在于,化学成分按重量百分比计:C:0.001%~0.005%, $Si \leq 0.01\%$, $Mn \leq 0.5\%$, $Sr:0.003\% \sim 0.05\%$, $Mg:0.003\% \sim 0.05\%$, $N:0.003\% \sim 0.020\%$, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.01\%$, $Mg/N \geq 1.5$; $Sr/S \geq 2$, $Al:0.5\% \sim 1.0\%$,余量为Fe和不可避免的杂质,所述的板形优异宽幅电工纯铁热轧板的制造方法,转炉冶炼、双电炉精炼、铸坯、热轧、卷取冷却;具体包括:

1) 转炉采用Sr、Mg脱硫脱氧;

2) ANS-OB法精炼,采用铝吹氧升温,升温速度 $4^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

3) VD炉精炼,按成分调整碳含量,保压10分钟以上;

4) 铸坯:连铸拉速 $1.0 \sim 1.4\text{m}/\text{min}$,过热度 25°C 以上;

5) 铸坯处理:铸坯热装,入炉温度 500°C 以上;

6) 轧制:粗轧采用双立辊+双水平辊轧制,板坯粗轧3~5道次,每道次压下率 $\leq 20\%$,轧制温度 $1050^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$,最大轧制力50000KN,轧制速度 $2\text{m}/\text{s} \sim 6\text{m}/\text{s}$;精轧采用工作辊轴向窜动和弯辊装置,精轧5~7道次连轧,每道次压下率 $\leq 20\%$,最大轧制力35000KN,轧制速度 $10\text{m}/\text{s} \sim 30\text{m}/\text{s}$,精轧温度 $680 \sim 750^{\circ}\text{C}$;对带钢平直度板形进行控制;

7) 卷取冷却:终轧后采用带有间隔 120° 分布全液压式助卷辊的卷取机卷取,卷筒最大电机功率1500kW,助卷辊最大电机功率150kW;加热到 $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 保温1~2分钟,再次反向卷取, $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 保温2~4分钟,出热卷取箱再入缓冷坑缓冷72小时以上,冷速 $10^{\circ}\text{C}/\text{小时} \sim 30^{\circ}\text{C}/\text{小时}$,控制板形。

2. 根据权利要求1所述的板形优异宽幅电工纯铁热轧板,其特征在于,宽度为1200mm以上。

3. 根据权利要求1所述的板形优异宽幅电工纯铁热轧板,其特征在于,电工纯铁热轧板波浪度不大于0.6S,硬度小于90HV,最大矫顽力 $\leq 50\text{A}/\text{m}$,最大磁导率 $\geq 0.0110\text{H}/\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的板形优异宽幅电工纯铁热轧板的制造方法,其特征在于,步骤6)所述的板坯厚度200~300mm。

板形优异宽幅电工纯铁热轧板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电工纯铁热轧板特别涉及一种板形优异宽幅电工纯铁热轧板及其制造方法。

背景技术

[0002] 纯铁、钢和生铁的区别主要在于铁中的含碳量不同。工业纯铁是钢的一种,其化学成分主要是铁,含量在99.50%—99.90%,含碳量在0.04%以下,其他元素愈少愈好。因为它实际上还不是真正的纯铁,所以称这一种接近于纯铁的钢为工业纯铁。一般工业纯铁强度低,韧性特别大,电工性能好。工业纯铁根据用途分为:电工纯铁、原料纯铁、无发纹纯铁、高真空空气密性纯铁等。随着我国新能源汽车、电器元件加工等行业的发展,电工纯铁用量越来越大,供不应求。常见的电工纯铁有两种,一种是作为深冲材料的,可以冲压成极复杂的形状;另一种是作为电工材料的,有高的感磁性的低的抗磁性广泛用于电子电工,电器元件,磁性材料,非晶制品,继电器,传感器,汽车制动器,纺机,电表电工阀等等产品。

[0003] 电工纯铁钢板一般生产工艺:冶炼-热轧-冷轧-磁化退火。依据磁化退火后磁性能,电工纯铁划分为普级、高级、特级、超级。最小磁感应强度BT:B200A/m~B10000A/m时分别达1.2~1.8,抗拉强度最大265MPa,延伸率最小25%,硬度 $\leq 195\text{HV}5$ 。级别从低到高最大矫顽力Hc:96A/m~32A/m,矫顽力时效增值 ΔHc :9.6A/m~4A/m,最大磁导率 μ_m :0.0075H/m~0.0151H/m。

[0004] 电工纯铁成分无明确规定,但一般要求:C $\leq 0.010\%$,Si $\leq 0.10\%$,Mn $\leq 0.25\%$,P $\leq 0.015\%$,S $\leq 0.010\%$,Ti $\leq 0.02\%$,Cr $\leq 0.10\%$,Ni $\leq 0.05\%$,Cu $\leq 0.05\%$ 。现有电工纯铁钢板主要有宝钢的不含Al电工纯铁和太钢的高Al电工纯铁两种,两种成分体系电工纯铁的屈服强度最高300MPa,抗拉强度最高400MPa。

[0005] 随着时代发展及工业进步,对电工纯铁的使用要求越来越高,除了要求磁性能外,加工的零件规格尺寸越来越大,比如大型电站的设备外壳等,因此对钢板宽度和板形要求越来越高。纯铁强度低,易轧制,但很容易变形,特别是宽规格板形更不好控制。热轧后需要矫直才能使用,成本高。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种板形优异宽幅电工纯铁热轧板及其制造方法,解决电工纯铁钢板宽度小,板形不好,浪形大的技术问题。钢板无需矫直,板形良好。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案实现:

[0008] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板,化学成分按重量百分比计:C:0.001%~0.005%,Si $\leq 0.01\%$,Mn $\leq 0.5\%$,Sr:0.003%~0.05%,Mg:0.003%~0.05%,N:0.003%~0.020%,P $\leq 0.015\%$,S $\leq 0.01\%$,Mg/N ≥ 1.5 ;Sr/S ≥ 2 ,Al:0.5%~1.0%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0009] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板的宽度为1200mm以上。

[0010] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板波浪度不大于0.6S,硬度小于90HV,最大矫顽力 \leq 50A/m,最大磁导率 \geq 0.0110H/m。

[0011] 合金成分作用机理:

[0012] C、N、S都是提高矫顽力元素,为保磁性能,这些成分含量越低越好,但本发明为保证抗拉强度,要求C含量0.001%~0.003%,少量固溶碳在钢基体中提升强度。

[0013] 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能提高韧脆转变温度,为具有良好成型性,Si: \leq 0.01%。

[0014] Mn是钢中常见元素之一,在炼钢过程中用作脱氧剂,为保证磁性能,Mn: \leq 0.5%。

[0015] 用Sr脱氧脱硫,Sr:0.003~0.05%,同时固溶在钢中的Sr还能阻碍晶粒细化,得到粗大的铁素体晶粒,硬度小于90HV,电工性能优异。Sr/S \geq 2,才能保证Sr的脱硫效果和固溶作用,保证钢中硫充分与Sr反应生产SrS化物上浮成渣从钢液中析出后剩余Sr的固溶及阻碍晶粒细化作用。固溶的Sr还能形成大量位错密度,提升抗拉强度,减小屈强比,降低矫顽力,提高磁导率。

[0016] Mg是良好脱氧剂。本发明中Mg与氧生成大颗粒非金属夹杂物,提升磁感性能。0.003~0.05%的Mg和Sr共同与氧反应,使钢中夹杂物级达2级~2.5级,降矫顽力,提磁导率。另一方面用Mg脱N,避免N与Al生成AlN影响磁感性能。Mg/N \geq 1.5才能保证充分脱N,生成30~150nm的长棒状MgN夹杂相,面积百分比0.003%~0.010%,阻碍再结晶,提磁导率。另一方面Mg与N生成的细长氮化物夹杂相还可以避免N与Al生成AlN影响磁感性能。

[0017] N可改善钢韧性和焊接性能,但是N与Al易生成AlN影响磁感性能。本发明高Al,因此要严格控N,N \leq 0.020%。利用N与Mg生成氮化物夹杂相,一方面直接提磁导率,另一方面用Mg脱N,避免N与Al生成AlN影响磁感性能。Mg/N \geq 1.5才能保证生成30~150nm的长棒状MgN夹杂相,面积百分比0.003%~0.010%,充分脱N,避免N与Al生成AlN影响磁感性能。因此,控制钢水中N含量小于0.020%。

[0018] 利用Al改变钢的相变温度,提高相变温度,使热轧不发生相变,铁素体轧制,板形好,而且无相变应力,晶粒粗大,矫顽力小,磁导率高。Al:0.5~1.0%,Al含量过多易生成氧化铝夹杂,影响矫顽力和磁导率等磁性能。Al含量过低,奥氏体轧制,晶粒再结晶细小,磁性能不好,且板形不好控制。

[0019] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板的制造方法,转炉冶炼、双电炉精炼、铸坯、热轧、卷取冷却;具体包括:

[0020] 1) 转炉采用Sr、Mg脱硫脱氧;

[0021] 2) ANS-OB法精炼,采用铝吹氧升温,升温速度4°C/min~10°C/min。

[0022] 3) VD炉精炼,按成分调整碳含量,保压10分钟以上;

[0023] 4) 铸坯:连铸拉速1.0~1.4m/min,过热度25°C以上;

[0024] 5) 铸坯处理:铸坯热装,入炉温度500°C以上;

[0025] 6) 轧制:粗轧采用双立辊+双水平辊轧制,板坯粗轧3~5道次,每道次压下率 \leq 20%,轧制温度1050°C~1200°C,最大轧制力50000KN,轧制速度2m/s~6m/s;精轧采用工作辊轴向窜动和弯辊装置,精轧5~7道次连轧,每道次压下率 \leq 20%,最大轧制力35000KN,轧制速度10m/s~30m/s,精轧温度680~750°C;对带钢平直度板形进行控制;

[0026] 7) 卷取冷却:终轧后采用带间隔120度分布全液压式助卷辊的卷取机卷取,卷筒最

大电机功率1500kW,助卷辊最大电机功率150kW;加热到900~950℃保温1~2分钟,再次反向卷取,900~950℃保温2~4分钟,出热卷取箱再入缓冷坑缓冷72小时以上,冷速10℃/小时~30℃/小时,控制板形。

[0027] 步骤6)所述的板坯厚度200~300mm。

[0028] 与现有的技术相比,本发明的有益效果是:

[0029] 本发明不用Al脱氧,转炉改用Sr和Mg脱氧脱硫,Sr/S \geq 2才能保证Sr的脱硫效果。用Al实现铁素体区轧制,晶粒粗化,采用该发明生产的电工纯铁热轧钢板无需冷轧和磁化退火,晶粒粗大,晶粒度0~2级,硬度小于90HV。氧化Al夹杂物2~2.5级,存在大量均匀分布30~150nm的长棒状MgN夹杂相,面积百分比0.003%~0.010%,最大矫顽力 \leq 50A/m,最大磁导率 \geq 0.0110H/m,电工性能优异;1200mm以上宽幅热卷无需矫直,钢卷开平后波浪度不大于0.6S(S为两个相邻波峰或波谷间距离)。

具体实施方式

[0030] 下面结合实施例对本发明进一步说明:

[0031] 以下实施例对本发明进行详细描述。这些实施例仅是对本发明的最佳实施方案进行描述,并不对本发明的范围进行限制。

[0032] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板及其制造方法,解决电工纯铁钢板宽度小,板形不好,浪形大的技术问题。

[0033] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板,化学成分按重量百分比计为:C:0.001%~0.005%,Si \leq 0.01%,Mn \leq 0.5%,Sr:0.003%~0.05%,Mg:0.003%~0.05%,N:0.003%~0.020%,P \leq 0.015%,S \leq 0.01%,Mg/N \geq 1.5;Sr/S \geq 2,Al:0.5%~1.0%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0034] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板的宽度1200mm以上。

[0035] 板形优异宽幅电工纯铁热轧板波浪度不大于0.6S,硬度小于90HV。

[0036] 电工纯铁热轧板的制造方法,转炉冶炼、双电炉精炼、铸坯、热轧、卷取冷却;具体包括:

[0037] 1) 转炉采用Sr、Mg脱硫脱氧;使钢中硫充分与Sr反应生产SrS化物上浮成渣从钢液中析出,减少凝固后钢中硫含量到0.01%以下;本发明转炉不用Al脱氧,转炉改用Sr和Mg脱氧脱硫,Sr/S \geq 2才能保证Sr的脱硫效果,使钢中硫充分与Sr反应生产SrS化物上浮成渣从钢液中析出,减少凝固后钢中硫含量到0.01%以下。同时剩余的Sr固溶在钢中还能提升抗拉强度,阻碍晶粒细化,得到粗大的铁素体晶粒。Mg是较活泼金属,本发明用Mg脱氧,夹杂易上浮。

[0038] 2) ANS-OB法精炼,采用铝吹氧升温,升温速度4℃/min~10℃/min,升温速度快,生产效率高;Mg脱氧,夹杂易上浮,到氧含量小于0.0050%时,再加大量Al;避免氧与Al生产大夹杂物堵结晶器水口,引起浇注断流。

[0039] 3) VD炉精炼,按成分调整碳含量,保压10分钟以上;脱碳,给Mg的氧化物夹杂聚集形成大颗粒夹杂提供条件;

[0040] 4) 铸坯:连铸拉速1.0~1.4m/min,过热度25℃以上,避免堵水口断流;促进柱状晶形成,以便轧制后形成粗大铁素体组织,同时降低矫顽力,提高磁导率。

[0041] 5) 铸坯处理:铸坯热装,入炉温度500℃以上;避免高Al铸坯应力大,断裂;

[0042] 6) 轧制:板坯厚度200~300mm,粗轧采用双立辊+双水平辊轧制,3~5道次,每道次压下率≤20%,最大轧制力50000KN,轧制速度2m/s~6m/s,轧制温度1050℃~1200℃,尽量减少再结晶,避免晶粒细化,控制轧制力和轧速得到优良板形;精轧采用工作辊轴向窜动和弯辊装置,精轧5~7道次连轧,每道次压下率≤20%,最大轧制力35000KN,轧制速度10m/s~30m/s,精轧温度680-750℃;高Al钢铁素体区轧制,无奥氏体再结晶,以得到粗大等轴铁素体晶粒,晶粒度0~2级,等轴铁素体晶粒大,同时促进长棒状MgN相生成,Sr固溶强化作用下形成大量位错密度,提升抗拉强度,减小屈强比,MgN相和大量位错密度还能降低矫顽力,提高磁导率。控制粗精轧轧制力和轧制速度、每道次压下率,控制板形平直度,使钢卷无需矫直,直接开平后波浪度不大于0.6S。

[0043] 7) 卷取冷却:终轧后直接热卷取,热卷取带加热装置,加热到900~950℃保温1~2分钟,晶粒回复长大,再次反向卷取,900~950℃保温2~4分钟,控制板形,使钢卷无需矫直,直接开平后波浪度不大于0.6S。出热卷取箱再入缓冷坑缓冷72小时以上,冷速10℃/小时~30℃/小时,去应力控制板形,硬度小于90HV,促进前期生成的大量MgN夹杂相长大到30~150nm的长棒状,占总面积百分比0.003%~0.010%,降低最大矫顽力到≤50A/m,提高最大磁导率到≥0.0110H/m。采用带3个均匀分布(间隔120度)全液压式助卷辊的卷取机卷取,卷筒最大电机功率1500kW,助卷辊最大电机功率150kW,控制板形平直度,使钢卷无需矫直,直接开平后波浪度不大于0.6S。

[0044] 实施例

[0045] 表1:化学成分,%

编号	C	Si	Mn	P	S	Al	Sr	Mg	N	Sr/S	Mg/N
1	0.005	0.002	0.1	0.015	0.003	0.52	0.008	0.01	0.0048	2.7	2.1
2	0.002	0.01	0.14	0.004	0.009	0.61	0.019	0.02	0.0046	2.1	4.3
3	0.003	0.003	0.21	0.008	0.002	0.59	0.015	0.015	0.0055	7.5	2.7
4	0.003	0.005	0.25	0.01	0.008	0.85	0.02	0.006	0.004	2.5	1.5
5	0.004	0.004	0.3	0.012	0.004	0.75	0.008	0.018	0.01	2.0	1.8
[0046] 6	0.001	0.005	0.25	0.014	0.003	0.9	0.021	0.021	0.0065	7.0	3.2
7	0.002	0.001	0.18	0.013	0.008	1.0	0.02	0.02	0.0088	2.5	2.3
8	0.002	0.002	0.32	0.014	0.004	0.65	0.015	0.016	0.0058	3.8	2.8
9	0.002	0.005	0.29	0.012	0.007	0.72	0.017	0.008	0.0046	2.4	1.7
10	0.003	0.003	0.18	0.01	0.01	0.56	0.025	0.024	0.0055	2.5	4.4
11	0.001	0.009	0.3	0.008	0.01	0.79	0.022	0.03	0.013	2.2	2.3
12	0.002	0.004	0.32	0.013	0.006	0.86	0.018	0.022	0.011	3.0	2.0
13	0.003	0.002	0.28	0.013	0.008	0.62	0.016	0.019	0.0085	2.0	2.2
14	0.002	0.003	0.22	0.014	0.002	0.53	0.009	0.008	0.0055	4.5	1.5
15	0.004	0.007	0.19	0.012	0.005	0.57	0.012	0.016	0.0068	2.4	2.4
16	0.002	0.004	0.08	0.01	0.006	0.72	0.015	0.009	0.0059	2.5	1.5
[0047] 17	0.003	0.008	0.18	0.015	0.001	0.83	0.025	0.015	0.009	25.0	1.7
18	0.003	0.002	0.32	0.004	0.004	0.94	0.01	0.014	0.007	2.5	2.0
对比例	0.003	0.05	0.45	0.012	0.008	-	0	0	0.0025		

[0048] 表2:生产工艺

编号	板厚 mm	板宽 mm	ANS-OB 法精炼 升温速 度, °C /min	加 Al 时 氧含 量, %	VD 保压 时间 min	过 热 度 °C	连 铸 拉 速 m/min	铸 坯 入 炉 温 度 °C	粗 轧 温 度 °C	粗 轧 每 道 最 大 压 下 率 %	粗 轧 最 大 制 力 KN	精 轧 温 度 °C	精 轧 每 道 最 大 压 下 率 %	精 轧 最 大 制 力 KN	精 轧 制 速 度 m/s	精 轧 温 度 °C	精 轧 每 道 最 大 压 下 率 %	精 轧 最 大 制 力 KN	精 轧 制 速 度 m/s	首 次 保 温 时 间, min	二 次 保 温 时 间, min	卷 取 温 度 °C	卷 电 功 率 kW	助 卷 电 机 功 率 kW	卷 入 冷 坑 时 间, h	冷 速 °C /小时
1	210	1230	4.5	0.0035	10	30	1.15	545	1115	18	480	742	20	340	11.9	1.3	2.0	950	1280	138	78	12				
2	200	1450	5.1	0.0020	12	32	1.21	551	1090	15	360	705	18	349	12.5	1.1	2.6	932	1190	120	80	28				
3	220	1350	4.2	0.0046	11	35	1.12	562	1112	16	450	744	19	320	18.7	1.5	3.0	908	1450	135	90	14				
4	290	1330	4.7	0.0045	16	25	1.33	600	1178	12	310	689	17	310	19.4	1.1	2.3	930	1100	148	73	19				
5	270	1320	6.3	0.0030	14	28	1.4	535	1095	19	200	746	15	280	28.9	1.7	3.8	920	1320	118	88	21				
6	280	1290	7.2	0.0035	12	33	1.23	620	1085	11	230	685	14	190	26.5	1.5	2.2	908	900	110	77	27				
7	200	1410	8.7	0.0040	13	40	1.20	532	1192	17	280	695	17	260	24.0	1.1	2.9	915	940	149	78	19				
8	230	1230	9.8	0.0036	15	32	1.21	546	1094	13	310	690	18	270	18.9	1.5	3.6	946	820	123	79	23				
9	300	1450	6.4	0.0045	11	32	1.32	535	1091	16	190	735	14	259	12.8	1.3	3.4	928	1320	112	82	26				
10	280	1350	7.6	0.0040	18	33	1.13	544	1118	18	170	726	17	281	15.9	1.9	3.5	915	1430	132	90	15				
11	250	1330	8.4	0.0035	19	38	1.04	552	1085	13	210	733	17	279	13.8	1.4	2.7	941	1270	121	85	19				
12	200	1320	5.9	0.0040	12	40	1.12	572	1126	15	280	724	19	319	12.7	1.6	2.8	922	1310	102	88	24				
13	250	1290	8.6	0.0036	20	35	1.21	603	1115	17	320	700	16	385	21.9	1.5	2.3	950	1420	112	86	17				
14	230	1410	7.5	0.0035	13	28	1.06	712	1090	18	360	690	15	319	22.3	1.1	2.2	900	1350	143	83	28				
15	270	1230	6.8	0.0030	11	26	1.01	731	1112	12	410	750	14	412	24.6	1.9	3.7	935	1220	109	75	16				
16	200	1450	8.1	0.0021	14	27	1.08	620	1108	13	350	715	18	298	26.7	1.8	3.3	920	1480	132	78	17				
17	230	1350	9.2	0.0020	12	29	1.13	510	1095	11	310	702	17	278	28.1	1.4	3.1	910	1450	129	73	14				
18	200	1330	7.9	0.0046	15	30	1.34	605	1120	15	200	725	18	345	26.9	1.9	2.8	918	1102	131	89	21				
对比例	200	1100	-	-	8	24	1.2	467	1040	30	-	950	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[0051] 表3:钢板性能

[0052]

编号	铁素体晶粒 度, 级	氮化物 夹杂相 最大尺 寸, nm	氮化物 夹杂相 面积百 分比, %	波浪 度, mm	C类 非金 属夹 杂, 级	硬度, HV	最大矫 顽力, A/m	最大磁 导率, H/m
1	1.5	133	0.0032	0.45S	2.0	80	40	0.0115
2	2	125	0.0092	0.42S	2.5	75	46	0.0122
3	1	98	0.0075	0.53S	2.0	88	48	0.0114
4	1.5	119	0.0095	0.59S	2.5	86	20	0.0123
5	0.5	105	0.0042	0.55S	2.5	74	35	0.0132
6	0	113	0.0098	0.51S	2.5	72	25	0.0113
7	1	148	0.0085	0.49S	2.5	89	30	0.0123
8	1.5	131	0.0099	0.47S	2	86	38	0.0125
9	0	85	0.0061	0.51S	2	79	40	0.0138
10	0.5	120	0.0078	0.59S	2	85	24	0.0142
11	1.5	115	0.0095	0.55S	2.5	76	45	0.0127
12	2	109	0.0089	0.57S	2	83	39	0.0132
13	0.5	95	0.0068	0.45S	2.5	75	45	0.0143
14	0.5	80	0.0093	0.46S	2.0	63	26	0.0115
15	1	138	0.0099	0.53S	2.0	78	46	0.0135
16	1	142	0.0056	0.59S	2.5	79	32	0.0124
17	1.5	131	0.0067	0.58S	2.0	81	44	0.0118
18	0.5	106	0.0076	0.56S	2.0	85	26	0.0124
对比例	3	-	-	1.2S	0.5	121	71	0.0152