



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106435358 B

(45)授权公告日 2018.05.04

(21)申请号 201610884276.X

G22C 38/04(2006.01)

(22)申请日 2016.10.11

G22C 38/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G22C 38/08(2006.01)

申请公布号 CN 106435358 A

G22C 38/18(2006.01)

G22C 38/12(2006.01)

(43)申请公布日 2017.02.22

G21D 8/12(2006.01)

(73)专利权人 东北大学

G21D 1/26(2006.01)

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号

G21D 1/74(2006.01)

(72)发明人 张晓明 段军阳 王郁倩 刘曦
何禛 戴校高 刘振宇 王国栋

(56)对比文件

CN 105803311 A,2016.07.27,说明书0009段,0010-0012段.

(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109

CN 102348826 A,2012.02.08,说明书0058段.

代理人 梁焱

EP 1420072 A1,2004.05.19,全文.

CN 102041367 A,2011.05.04,全文.

(51)Int.Cl.

审查员 辛彩萍

G22C 38/02(2006.01)

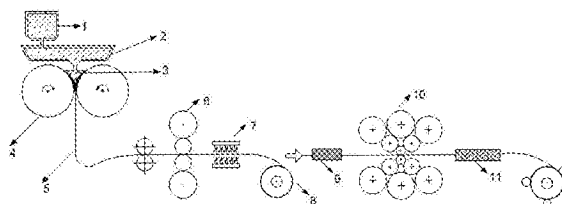
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法

(57)摘要

一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法,属于电工钢制造技术领域,按以下步骤进行:(1)冶炼钢水,成分为:C 0.002~0.005%,Si 2.8~3.5%,Mn 0.2~1%,Al 0.5~2%,Ni 0.5~2%,Cr 0.5~3%,还含有Nb,其余为Fe;(2)浇入连铸设备进行连铸,获得厚度2.5~2.7mm的铸带;(3)空冷后热轧,喷水冷却并卷取;(4)酸洗去除表面氧化铁皮,冷轧获得冷轧板;(5)在Ar气氛条件下进行退火处理,涂绝缘涂层,卷取获得成品板。本发明采用薄带连铸技术生产高强度无取向硅钢,工艺简单易行、节能环保产品性能优异,能够满足新能源汽车驱动电机对无取向硅钢的性能要求。



1. 一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法,其特征在于按以下步骤进行:

(1) 冶炼钢水,控制钢水的成分重量百分比为:C 0.002~0.005%,Si 2.8~3.5%,Mn 0.2~1%,Al 0.5~2%,Ni 0.5~2%,Cr 0.5~3%,O \leq 0.005%,S \leq 0.005%,N \leq 0.005%,P \leq 0.005%,并且Nb的重量百分比按公式 $0 < Nb/93 - (C/12 + N/14) < 5 \times 10^{-3}$,其中Nb、C和N为各自元素的重量百分数,其余为Fe和不可避免的夹杂;

(2) 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1530~1570℃,中间包预热温度1100~1200℃,薄带连铸机双辊转速30~70m/min,获得厚度2.5~2.7mm的铸带;

(3) 铸带出铸轧辊后空冷至开轧温度1100~1170℃,然后进行热轧,终轧温度 \geq 900℃,总压下量20~35%,热轧后喷水冷却至 \leq 600℃并卷取,获得热轧板;

(4) 将热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后于单机架轧机进行4~6道次冷轧,冷轧至获得厚度0.35mm的冷轧板;

(5) 将冷轧板在Ar气氛条件下进行退火处理,退火温度680~850℃,时间1~15min,退火结束后涂绝缘涂层,最后卷取获得新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢成品板,其{111}织构组分5~25%,平均再结晶晶粒尺寸2~15 μ m,NbC析出物平均尺寸3~20nm,磁感应强度 B_{50} 为1.65~1.70T,铁损值 $P_{15/50}$ 为5.0~7.8W/kg, $P_{10/400}$ 为28.0~38.2W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为600~780MPa,抗拉强度 R_m 为695~862MPa,延伸率A为17~24%。

一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于电工钢制造技术领域,特别涉及一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法。

背景技术

[0002] 新能源汽车具有环保、节约、简单三大优势,是未来汽车发展的必然趋势,目前得到开发使用的新能源汽车包括混合动力汽车(Hybrid EV)和电动汽车(EV),它的工作原理是借助驱动电机将电能转化成机械能。驱动电机作为新能源汽车的核心部件之一,越来越受到研究学者的广泛关注。无取向硅钢是制造驱动电机的关键材料,在电机旋转过程中起着巨大的作用,而旋转所受的巨大离心力很容易使电机转子遭受破坏,所以,无取向硅钢力学性能的好坏直接影响了电机能否平稳运转。基于新能源汽车驱动电机的严格要求,无取向硅钢产品必须保证在具有良好磁性能的同时,力学性能能够有大的提升,即高磁感、低铁损、高强度、高韧性。目前中国对新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的研究尚处于技术不成熟阶段。国外的研究以日本的研究学者研究最多。

[0003] 宝钢公开了一种较高磁感的高强度无取向电工钢及其制造方法(CN 102453838 A),该制备方法采用常规冶炼浇注工艺生产铸坯,经过热轧、常化、冷轧、退火的后处理工艺后,得到具有较好磁性能、较高强度的无取向硅钢产品。该生产方式提供了一些增强高强度无取向硅钢的特定工艺路线,具有一定的参考价值,但其生产过程复杂,同时要求有常化工艺,对资源的节约与环境的发展不利,从长远来看,还需要进行工艺改进;日本JFE(JP2005-2272913)公开了一种常规流程生产高强度无取向硅钢的专利,主要的应用原理利用单质原子Cu的析出强化机制,在炼钢时添加析出强化元素Cu(0.6~1.1%),经过钢水冶炼、连铸、热轧、常化、冷轧、退火、时效等后处理工序,控制Cu以细小弥散的 ϵ -Cu金属相形式析出,保证磁性能的同时提高了强度。该专利的创新点在于添加了析出强化元素Cu,并且很好地控制了Cu在无取向硅钢生产过程中的析出,强度得到了提升;但是Cu的加入易出现“铜脆”,可能会出现性能不稳定的情况,在工业化生产的实现上还有很长的路要走。

[0004] 随着常规流程生产的硅钢成本高、污染大等诸多不利因素越来越受到人们的密切关注,双辊薄带连铸技术在硅钢生产上的应用越来越多,并被认为是21世纪最有发展潜力的工艺流程技术之一,它是一项绿色、可持续发展的重要技术,必将得到更大的发展;与传统的连铸工艺相比,薄带连铸工艺在生产无取向硅钢的主要优势在于:(1)铸带组织与织构具有可控性。调整薄带连铸工艺参数,可以有效控制铸带微观组织与织构,由于钢铁材料加工过程的遗传作用,成品板能够呈现更好的组织与织构特征,从而在对力学性能与磁性能的控制上有一定的优势;(2)在亚快速凝固的高速凝固速度下,能够有效控制夹杂物与析出物,从而有效提升产品质量,降低有害析出物对磁性能的伤害,特别是对合金元素加入较多的高强度无取向硅钢,优势更加明显;(3)薄带连铸技术把铸与轧联系在了一起,省了热轧粗轧等工序,生产效率高,生产过程绿色节能。基于以上薄带连铸技术在无取向硅钢制备过程中的有利作用,薄带连铸技术必将在无取向硅钢与其他相近产品的生产上取得大的发

展;应用薄带连铸技术生产的无取向硅钢铸带具有缺陷少、组织分布均匀、{100}取向织构发达的特点。

[0005] 在无取向硅钢的制造过程中,硅元素的添加量增加铁损与磁感降低,同时强度提高,但硅是一种脆性元素,钢中硅元素含量越多,越难进行后续加工;根据无取向硅钢中制造过程中硅含量的添加特性,研究高强度无取向硅钢时使用质量分数3%Si无取向硅钢,在该硅含量下生产的无取向硅钢具有相对较好的磁性能与力学性能,目前现有的技术仍很难达到新能源汽车用驱动电机对无取向硅钢的性能要求,如何兼顾磁性能并有效提高强度与韧性,是目前高强度硅钢研究中必须克服的难题。

发明内容

[0006] 针对现有无取向硅钢制造技术上存在的以上难题,本发明提供了一种新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法,采用双辊薄带连铸技术,添加析出强化元素Nb,采用超低碳炼钢技术冶炼钢水,结合后续的轧制和热处理工艺,有效控制成品组织、织构与析出物特征,制造性能优良的高强度无取向硅钢,提高新能源汽车驱动电机的使用效率。

[0007] 本发明的方法包括以下步骤:

[0008] (1) 冶炼钢水,控制钢水的成分重量百分比为:C 0.002~0.005%,Si 2.8~3.5%,Mn 0.2~1%,Al 0.5~2%,Ni 0.5~2%,Cr 0.5~3%,O \leq 0.005%,S \leq 0.005%,N \leq 0.005%,P \leq 0.005%,并且Nb的重量百分比按公式 $0 < Nb/93 - (C/12 + N/14) < 5 \times 10^{-3}$,其中Nb、C和N为各自元素的重量百分数,其余为Fe和不可避免的夹杂;

[0009] (2) 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1530~1570℃,中间包预热温度1100~1200℃,薄带连铸机双辊转速30~70m/min,获得厚度2.5~2.7mm的铸带;

[0010] (3) 铸带出铸轧辊后空冷至开轧温度1100~1170℃,然后进行热轧,终轧温度 \geq 900℃,总压下量20~35%,热轧后喷水冷却至 \leq 600℃并卷取,获得热轧板;

[0011] (4) 将热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后于单机架轧机进行4~6道次冷轧,冷轧至获得厚度0.35mm的冷轧板;

[0012] (5) 将冷轧板在Ar气氛条件下进行退火处理,退火温度680~850℃,时间1~15min,退火结束后涂绝缘涂层,最后卷取获得新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢成品板。

[0013] 上述的新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢成品板的{111}织构组分5~25%,平均再结晶晶粒尺寸2~15 μ m,NbC析出物平均尺寸3~20nm。

[0014] 上述的新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢成品板的磁感应强度 B_{50} 为1.65~1.70T,铁损值 $P_{15/50}$ 为5.0~7.8W/kg, $P_{10/400}$ 为28.0~38.2W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为600~780MPa,抗拉强度 R_m 为695~862MPa,延伸率A为17~24%。

[0015] 在本发明的成分设计中,主要元素的作用及要求如下:

[0016] C,易与Nb、Zr、V、Ti结合并在基体上析出,降低固溶的Nb、Zr、V、Ti元素含量,影响材料的组织状态,对力学性能与磁性能的影响非常强烈,所以必须合理的控制;本发明控制C的含量0.002~0.005%;

[0017] Si,硅是钢中有益元素,能够增大钢液的流动性,且易溶于铁素体并使铁素体强化。硅含量在3.5%以下时, Si元素增多会使钢的屈服强度提高,韧性下降但不明显。但在

3.5%以上时,钢的韧性迅速下降。同时Si的增多能提高钢的电阻,降低铁损;本发明要求硅含量控制在2.8~3.5%;

[0018] Ni,钢中有益元素,可大量加入,添加在钢中能起到固溶强化的作用,随Ni含量的增多,钢的强度增大,且磁感应强度降低不明显。但Ni属于贵金属,加入量大后提高成本,所以不宜加入过多;本发明控制Ni的含量在0.5~2%;

[0019] Cr,钢中有益元素,添加在钢中能起到固溶强化的作用,有效的提高钢的强度,降低铁损,同时Cr的存在使得钢的耐腐蚀性能增强;本发明控制0.5~3%Cr;

[0020] Mn,钢中有益元素,在低含量范围内,对钢具有很大的强化作用,提高强度、硬度和耐磨性,同时改善钢的低温韧性,易在凝固过程中与S形成MnS化合物,钉扎在晶界不利于晶粒的长大;本发明控制0.2~1%Mn;

[0021] Al,添加在钢中具有脱氧作用,Al易与N结合形成弥散的AlN析出物粒子,保留在固溶体中,能够提高电阻率且使晶粒粗化,改善硅钢的磁性能,影响钢的力学性能。Al含量加入过多会增加炼钢难度;本发明选用Al含量为0.5~2.0%;

[0022] Nb,作为铁基、镍基和钴基合金的添加剂,可提高其强度与性能。Nb作为微合金元素加在钢中,起到细晶强化与析出强化的双重作用,提高钢的强度与韧性,同时Nb易与C和N形成化合物析出,对磁性能有一定的影响作用;Nb是贵金属,加入量过多会增加钢的成本。本发明要求Nb的质量百分比按照以下公式添加: $0 < Nb/93 - (C/12 + N/14) < 5 \times 10^{-3}$;

[0023] S,S元素的加入会提高薄带连铸过程中熔池与结晶辊的界面张力,但在钢中易以FeS-Fe共晶体存在于晶粒周界,使钢的力学性能降低,同时S在钢中易与Mn结合形成MnS析出物,增加铁损,本发明要求S含量在0.005%以下;

[0024] N,易与Al,Si等元素化和,形成氮化物析出,降低钢的塑性和韧性。易对电工钢的磁性能产生不利影响,本发明要求N含量在0.005%以下;

[0025] P,有害杂质元素,来源于生铁等炼钢原料,在合适的条件下能够提高磁性能,但随P含量过多易产生冷脆,本发明要求P含量在0.005%以下;

[0026] O,钢中氧含量增加,钢的塑性、韧性降低,且氧的存在会降低薄带连铸过程中热传导,本发明要求O含量在0.005%以下。

[0027] 与现有技术对比,本发明的特点和有益效果是:

[0028] (1)采用薄带连铸技术生产高强度无取向硅钢,不仅具有制备工艺简单易行、节能环保的特点,而且能很好地遗传铸带的有利组织与织构,有效控制NbC析出物特征,同时成品板中有害的{111}织构大大减少,开辟了析出强化制备高强度无取向硅钢的新工艺;

[0029] (2)本发明特别添加了析出强化元素Nb,同时采用超低碳钢生产技术,有效控制C元素的含量,经过合适的轧制工艺与热处理工艺,控制成品板的组织和织构,改善了薄带连铸电工钢产品的力学强度与韧性,开发出一种磁性能较好,力学性能优良的电工钢材料;

[0030] (3)生产的高强度无取向硅钢产品性能优异,能够满足新能源汽车驱动电机对无取向硅钢的性能要求。

附图说明

[0031] 图1为本发明的新能源汽车驱动电机用高强度无取向硅钢的制造方法的工艺流程示意图;图中:1、真空感应加热炉,2、中间包,3三角熔池,4、结晶辊,5、铸带,6、热轧机,7、冷

却系统,8、卷取机,9、酸洗机,10、单机架冷轧机,11、连续式退火炉;

[0032] 图2为本发明实施例1中的铸带金相组织图;

[0033] 图3为本发明实施例1中的成品板金相显微组织图。

具体实施方式

[0034] 本发明实施例中采用的双辊薄带连铸装置为中国专利号CN102069167B的技术公开的双辊薄带连铸试验机。

[0035] 本发明实施例中热轧后喷水冷却的冷却速度为200~500℃/s。

[0036] 本发明实施例中采用的退火设备为连续退火炉。

[0037] 本发明的方法采用真空感应炉冶炼钢水,冶炼完成后的钢水通过中间包浇入结晶辊与侧封板形成的三角熔池,随着两个通水冷却辊的逆向旋转凝固成型,得到2.5~2.7mm厚铸带。

[0038] 本发明实施例中拉伸试验采用GB/T 228.1-2010国家标准于室温进行。

[0039] 本发明实施例中磁性能测试采用MATA磁性能自动测试系统V4.3进行数据采集,使用MATS-2010硅钢测试装置测量无取向硅钢单片的磁性能。

[0040] 本发明实施例中采用LeicaQ550IW光学显微镜观察铸带与成品板的金相显微组织。

[0041] 实施例 1

[0042] 真空感应炉中冶炼钢水,其成分按重量百分比含C 0.002%,Si 2.8%,Mn 0.2%,Al 2%,Ni 0.5%,Cr 0.5%,Nb 0.08%,O 0.003%,S 0.004%,N 0.004%,P 0.005%,余量为Fe和不可避免的夹杂;其中 $Nb/93-(C/12+N/14)=0.08/93-(0.002/12+0.004/14)=0.00086-(0.00017+0.00029)=0.0004$;

[0043] 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1530℃,中间包预热温度1110℃,薄带连铸机双辊转速30m/min,获得厚度2.7mm的铸带;金相组织如图2所示;

[0044] 铸带空冷至1100℃后在线热轧,热轧开轧温度1100℃,终轧温度900℃,压下量为26%,热轧后喷水冷却至580℃并卷取,获得热轧板;

[0045] 热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后进行6道次冷轧,获得厚度为0.35mm的冷轧板;

[0046] 将冷轧板进行退火处理,退火处理是在纯Ar气氛的连续退火炉进行,升温至680℃,保温15min,在线涂绝缘涂层,最后卷取获得高强度无取向硅钢成品板;金相显微组织如图3所示;

[0047] 成品板的{111}织构组分体积占总的织构组分的11%,平均再结晶晶粒尺寸15μm,NbC析出物平均尺寸20nm;其磁感应强度 B_{50} 为1.70T,铁损值 $P_{15/50}$ 为5.0W/kg, $P_{10/400}$ 为28.0W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为600MPa,抗拉强度 R_m 为695Mpa,延伸率 A 为24%。

[0048] 实施例2

[0049] 真空感应炉中冶炼钢水,其成分按重量百分比含C 0.003%,Si 3.1%,Mn 1.0%,Al 1.2%,Ni 1.5%,Cr 2.0%,Nb 0.12%,O 0.003%,S 0.004%,N 0.002%,P 0.005%,余量为Fe和不可避免的夹杂;其中 $Nb/93-(C/12+N/14)=0.12/93-(0.003/12+0.002/14)=0.0013-(0.00025+0.00014)=0.0009$;

[0050] 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1545℃,中间包预热温度1130℃,薄带连铸机双辊转速50m/min,获得厚度2.6mm的铸带;

[0051] 铸带空冷至1120℃后在线热轧,热轧开轧温度1120℃,终轧温度930℃,压下量为35%,热轧后喷水冷却至550℃并卷取,获得热轧板;

[0052] 热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后进行5道次冷轧,获得厚度为0.35mm的冷轧板;

[0053] 将冷轧板进行退火处理,退火处理是在纯Ar气氛的连续退火炉进行,升温至760℃,保温8min,在线涂绝缘涂层,最后卷取获得高强度无取向硅钢成品板;

[0054] 成品板的{111}织构组分体积占总的织构组分的16%,平均再结晶晶粒尺寸11μm,NbC析出物平均尺寸12nm;其磁感应强度 B_{50} 为1.68T,铁损值 $P_{15/50}$ 为6.5W/kg, $P_{10/400}$ 为30.7W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为701MPa,抗拉强度 R_m 为783MPa,延伸率A为20.2%。

[0055] 实施例3

[0056] 真空感应炉中冶炼钢水,其成分按重量百分比含C 0.004%,Si 3.5%,Mn 0.5%,Al 0.5%,Ni 1.0%,Cr 3%,Nb 0.15%,O 0.003%,S 0.004%,N 0.003%,P 0.005%,余量为Fe和不可避免的夹杂;其中 $Nb/93-(C/12+N/14)=0.15/93-(0.004/12+0.003/14)=0.0016-(0.00033+0.00021)=0.0011$;

[0057] 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1570℃,中间包预热温度1200℃,薄带连铸机双辊转速70m/min,获得厚度2.5mm的铸带;

[0058] 铸带空冷至1140℃后在线热轧,热轧开轧温度1140℃,终轧温度980℃,压下量为28%,热轧后喷水冷却至590℃并卷取,获得热轧板;

[0059] 热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后进行4道次冷轧,获得厚度为0.35mm厚的冷轧板;

[0060] 将冷轧板进行退火处理,退火处理是在纯Ar气氛的连续退火炉进行,升温至780℃,保温2min,在线涂绝缘涂层,最后卷取获得高强度无取向硅钢成品板;

[0061] 成品板的{111}织构组分体积占总的织构组分的25%,平均再结晶晶粒尺寸8μm,NbC析出物平均尺寸11nm;其磁感应强度 B_{50} 为1.66T,铁损值 $P_{15/50}$ 为7.1W/kg, $P_{10/400}$ 为35.4W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为751MPa,抗拉强度 R_m 为833MPa,延伸率A为17.5%。

[0062] 实施例4

[0063] 真空感应炉中冶炼钢水,其成分按重量百分比含C 0.005%,Si 3.2%,Mn 1.0%,Al 1.2%,Ni 2%,Cr 2.0%,Nb 0.19%,O 0.004%,S 0.003%,N 0.002%,P 0.004%,余量为Fe和不可避免的夹杂;其中 $Nb/93-(C/12+N/14)=0.19/93-(0.005/12+0.002/14)=0.002-(0.00042+0.00014)=0.0015$;

[0064] 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1550℃,中间包预热温度1140℃,薄带连铸机双辊转速45m/min,获得厚度2.6mm的铸带;

[0065] 铸带空冷至1170℃后在线热轧,热轧开轧温度1170℃,终轧温度990℃,压下量为23%,热轧后喷水冷却至550℃并卷取,获得热轧板;

[0066] 热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后进行5道次冷轧,获得厚度0.35mm的冷轧板;

[0067] 将冷轧板进行退火处理,退火处理是在纯Ar气氛的连续退火炉进行,升温至820℃,保温2min,在线涂绝缘涂层,最后卷取获得高强度无取向硅钢成品板;

[0068] 成品板的{111}织构组分体积占总的织构组分的13%,平均再结晶晶粒尺寸11 μ m,NbC析出物平均尺寸9nm;其磁感应强度 B_{50} 为1.68T,铁损值 $P_{15/50}$ 为6.4W/kg, $P_{10/400}$ 为28.7W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为671MPa,抗拉强度 R_m 为773MPa,延伸率A为20.8%。

[0069] 实施例5

[0070] 真空感应炉中冶炼钢水,其成分按重量百分比含C 0.005%,Si 2.8%,Mn 0.2%,Al 2%,Ni 0.5%,Cr 0.5%,Nb 0.5%,O 0.003%,S 0.004%,N 0.005%,P 0.005%,余量为Fe和不可避免的夹杂;其中 $Nb/93-(C/12+N/14)=0.5/93-(0.005/12+0.005/14)=0.00537-(0.00042+0.00036)=0.00459$;

[0071] 将钢水引入中间包并通过布流式水口浇入双辊薄带连铸设备进行连铸,钢水出炉温度1530℃,中间包预热温度1100℃,薄带连铸机双辊转速35m/min,获得厚度2.7mm的铸带;

[0072] 铸带空冷至1100℃后在线热轧,热轧开轧温度1100℃,终轧温度900℃,压下量为20%,热轧后喷水冷却至580℃并卷取,获得热轧板;

[0073] 热轧板酸洗去除表面氧化铁皮,后进行6道次冷轧,获得厚度为0.35mm的冷轧板;

[0074] 将冷轧板进行退火处理,退火处理是在纯Ar气氛的连续退火炉进行,升温至850℃,保温1min,在线涂绝缘涂层,最后卷取获得高强度无取向硅钢成品板;

[0075] 成品板的{111}织构组分体积占总的织构组分的5%,平均再结晶晶粒尺寸2 μ m,NbC析出物平均尺寸3nm;其磁感应强度 B_{50} 为1.65T,铁损值 $P_{15/50}$ 为7.8W/kg, $P_{10/400}$ 为38.2W/kg,屈服强度 $R_{p0.2}$ 为780MPa,抗拉强度 R_m 为862Mpa,延伸率 A 为17%。

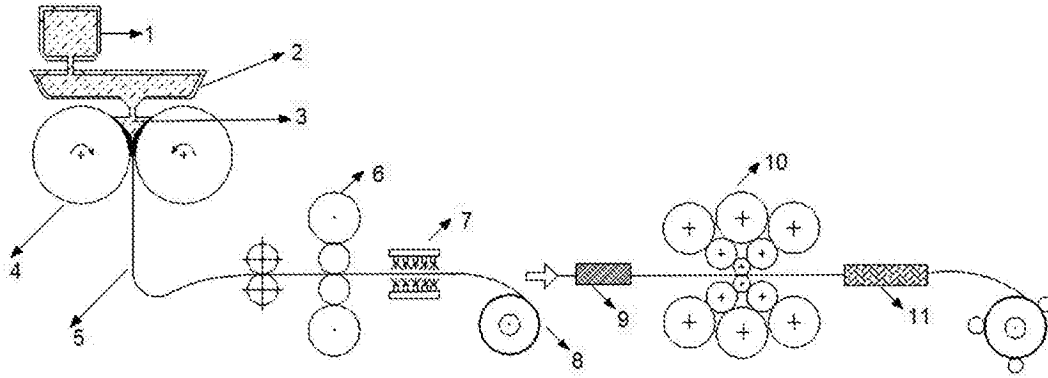


图1

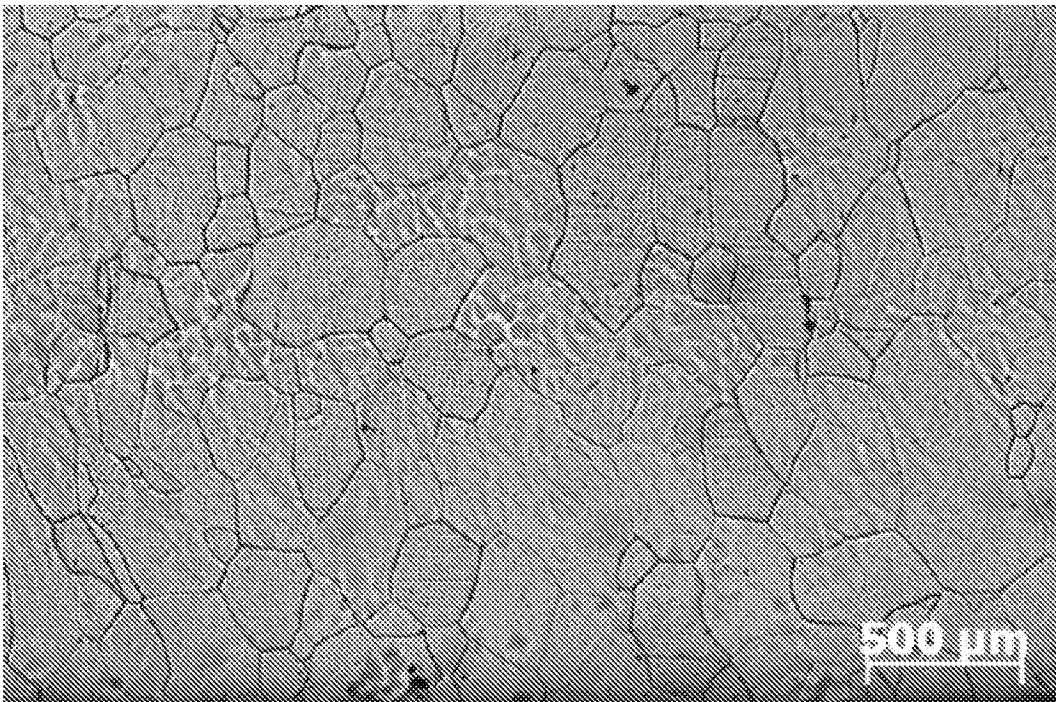


图2

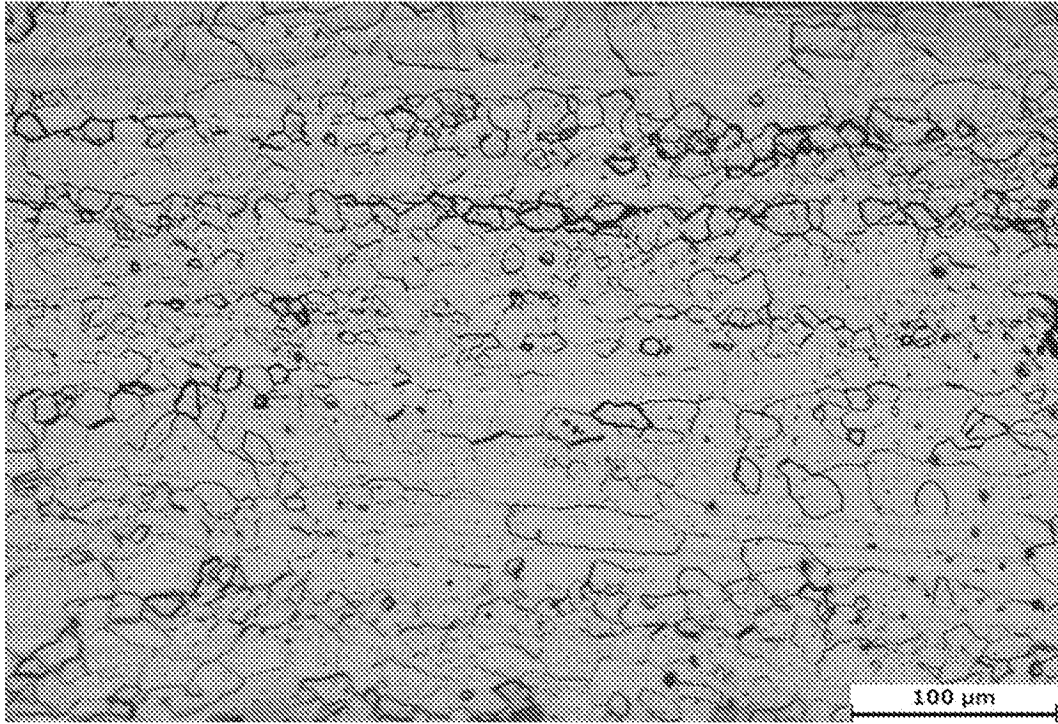


图3