

低铁损冷轧电工钢 W470 冶炼轧制工艺研究

Study on smelting and rolling process of low iron loss cold rolled electrical steel W470

供稿|李维华 / LI Weihua

内
容
导
读

研究了低铁损冷轧电工钢 W470 冶炼轧制工艺, 采用 RH 精炼炉冶炼, 控制硫和碳含量, 采用连铸方式铸坯, 钢坯加热轧制并退火, 在退火后将热轧板进行酸洗, 在室温条下进行冷轧。研究表明, 通过合理控制原料比例, 降低成本, RH 精炼炉进行带氧量控制, 有效降低了钢的氧含量, 有利于改进冷加工性, 铁损可达到最佳值, 制备的电工钢 W470 的电机能耗小、噪音低, 适用于各种变压器、电动机和发电机的铁芯。

硅钢片是一种含碳极低的硅铁软磁合金, 一般硅质量分数为 0.5%~4.5%, 加入硅可提高铁的电阻率和最大磁导率, 降低矫顽力、铁芯损耗(铁损)和磁时效, 主要用来制作各种变压器、电动机和发电机的铁芯。无取向硅钢的合金硅质量分数为 1.5%~3.0%, W470 是指无取向、铁损值 0.47 W/kg, 冷轧无取向硅钢片最主要的用途是用于发电机制造, 故又称冷轧电机硅钢, 经冷轧至成品厚度, 供应产品规格多为 0.35 mm 和 0.5 mm 厚的钢带, 冷轧无取向硅钢的饱和磁通密度(B_s)高于取向硅钢, 与热轧硅钢相比, 其厚度均匀, 尺寸精度高, 表面光滑平整, 从而提高了填充系数和材料的磁性能^[1-4]。随着节能降耗的要求, 电工钢越来越追求低铁损, 高磁感, 许多生产单位多采用提高合金元素 Mn 含

量的方法, 不同厂家的无取向电工钢, 在做成小电机之后, 能耗相差很大, 有的价格相当昂贵^[5-8]。

开展低铁损冷轧电工钢 W470 冶炼轧制工艺研究, 优化精炼、连铸、热轧、退火和冷轧工艺参数, 开发一种高性能冷轧电工钢 W470 制备的方法, 具有一定的经济效益和社会效益。

研究概述

低铁损冷轧电工钢 W470 冶炼轧制工艺研究基于长流程冶炼轧制生产工艺流程来开发, 本文研究的生产工艺流程为: 100 t 转炉冶炼→RH 精炼→连铸(保护浇铸+电磁搅拌)→工字型钢垫底封盖→热轧全连轧→退火→酸洗→冷轧, 其中主要控制的关键工艺参数为: 转炉钢水氧含量; RH 精炼炉控制的

硫和碳含量、真空度、脱碳时间、精炼时间；连铸钢坯缓冷方式与温度及时间；热轧温度与变形量；退火温度及时间；冷轧变形量。研究以上工艺参数对低铁损冷轧电工钢 W470 性能的影响，探索低铁损冷轧电工钢 W470 的生产制备工艺，最终使冷轧电工钢 W470 达到使用要求。

关键工艺研究

化学成分设计

根据各元素在冷轧电工钢中的作用以及参考冷轧电工钢 W470 设计规范，冷轧电工钢 W470 化学成分如表 1 所示。

表 1 冷轧电工钢 W470 化学成分（质量分数）

%

试样	C	Si	Mn	P	S
1 [#]	0.001	0.90	0.12	0.001	0.003
2 [#]	0.002	1.00	0.14	0.002	0.004
内控	≤0.002	0.80~1.50	0.10~0.15	0.001~0.002	0.003~0.005
试样	N	Ti	B	Nb	V
1 [#]	0.001	0.003	0.002	0.001	0.002
2 [#]	0.002	0.005	0.001	0.002	0.001
内控	≤0.003	0.001~0.010	0.001~0.003	0.001~0.002	0.001~0.002

RH 精炼工艺研究

RH 精炼可以降低钢的氧含量，从而防止了 C、P 的氧化。RH 精炼炉冶炼过程中控制硫和碳质量分数 12×10^{-6} 以下，真空度在 60 Pa 以下，转炉钢水为带氧钢，氧质量分数控制在 $5 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-4}$ 之间，脱碳时间大于 20 min，冶炼时间大于 40 min。试验具体控制工艺参数如表 2 所示。

表 2 RH 精炼工艺参数控制

试样	质量分数/ 10^{-6}			脱碳时间/ min	冶炼时间/ min	真空度/ Pa
	C	S	O			
1 [#]	12	12	700	22	42	38
2 [#]	10	10	500	21	41	52

钢坯缓冷工艺研究

采用连铸工艺铸坯，将铸坯在加热炉中升温，钢坯加热至 1120~1200 °C 出炉，利用工字型钢垫

底，将钢坯与工字型钢交错分布方式依次堆垛，最上面用工字型钢封盖，采用保温罩包裹保温 8~20 h，保温后采用盐水冷或油冷。利用交错堆垛方式的缓冷工艺减缓钢坯的热应力和组织应力，试样具体控制工艺参数如表 3 所示。

表 3 缓冷工艺参数

试样	钢坯加热温度/°C	保温时间/h	保温后冷却方式
1 [#]	1200	20	盐水冷却
2 [#]	1120	8	油冷冷却

热轧工艺研究

钢坯在加热炉中温度控制在 1300~1350 °C，温度均匀后热轧，开轧温度 1120~1250 °C，热轧板厚度为 0.6~2.0 mm，钢坯加热分为 4 个阶段，钢坯在炉时间控制在 40~55 min，终轧温度控制在 920~1040 °C，取卷温度为 640~710 °C，试验具体控制工艺参数如表 4 所示。

表 4 轧制工艺参数

试样	加热炉温度/°C				在炉时间/min	开轧温度/°C	终轧温度/°C	热轧板厚度/mm	卷取温度/°C
	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4					
1 [#]	550	800	1150	1300	55	1120	1040	0.60	640
2 [#]	720	980	1120	1350	40	1250	920	2.00	710

退火工艺研究

退火处理工艺的条件为：退火温度 300~400 °C，

保温时间 2~5 h，然后随炉冷却，得到退火后热轧板，热轧板退火时走带速度 90~95 m/min，试验的具

体控制工艺参数如表5所示。

表5 退火工艺参数

试样	退火温度/°C	保温时间/h	走带速度/(m/min)
1 [#]	400	2	95
2 [#]	350	5	90

酸洗与冷轧工艺研究

在退火后将热轧板进行酸洗,酸洗的酸液温度为75~80℃,在室温条下进行冷轧,道次轧制变形量为15%~30%,冷轧过程为4道次~7道次轧制,得到厚度为0.1~1.5 mm的冷轧电工钢W470薄带,试验的具体控制工艺参数如表6所示。

表6 酸洗与冷轧工艺参数控制

试样	酸液温度/°C	轧制变形量/%	轧制道次
1 [#]	75	30	4
2 [#]	85	15	7

结果分析与讨论

对1[#]和2[#]试样获得的冷轧电工钢W470和市场上普通电工钢W470(下称对比比例)进行性能检测,获取检测结果如表7所示,从表7可以看出,两个试样的最大铁损、最小磁感、屈服强度、抗拉强度、延伸率、硬度均大幅优于对比比例,最小弯曲次数小幅优于对比比例,其中1[#]试样综合性能最高。

表7 冷轧电工钢W470性能参数对比

试样	最大铁损/(W/kg)	最小磁感/T	最小弯曲次数	最小叠装系数	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	硬度/HB
1 [#]	3.3	2.69	14	98	6.9	8.8	39	138
2 [#]	3.9	2.68	13	98	6.8	9.2	40	139
对比比例	5.7	1.70	11	97	4.2	6.7	35	120

结束语

通过成分设计,并对精炼、缓冷、热轧、退火和冷轧等工艺的参数控制,获得的试样的铁损硬度、抗拉强度、延伸率等性能均大幅优于普通电工钢,为高性能冷轧电工钢W470的制备提供了一定的参考与借鉴。

参考文献

- [1] 汲霖.基于CSP工艺50W600冷轧无取向硅钢罩式退火过程中组织演变[学位论文].包头:内蒙古科技大学,2021
- [2] 张豹.高强度低铁损电工钢制备工艺与性能研究[学位论文].北京:北京科技大学,2021
- [3] 黄永哲,刘文鹏,辛亚会,等.温轧无取向Fe-3.1wt%Si钢的组织结构及磁性能.热加工工艺,2021,50(9):16

- [4] 刘立刚.本钢冷轧无取向电工钢常见缺陷及控制措施.金属世界,2020(4):43
- [5] 张凤泉,胡文才.电工钢冷轧装备现状及冷轧技术研究.电工钢,2019,1(2):7
- [6] 周峰,周庆,陈学文,等.冷轧退火工序对50WB800钢板耐蚀性能的影响.工程技术研究,2019,4(20):122
- [7] 李赛,樊立峰,刘书明,等.无取向电工钢50W350的组织及结构.金属热处理,2018,43(11):58
- [8] 海超,王忠东.薄板坯连铸连轧工艺试生产低牌号无取向电工钢磁性能和组织的分析.金属世界,2021(2):48

作者简介:李维华(1983—),男,湖北天门人,汉族,硕士,工程师,从事炼钢工艺技术,通信地址:福建省漳州市芗城区浦南镇店仔圩福建三宝钢铁有限公司北门三宝公寓;E-mail:2889523288@qq.com