

高磁感取向硅钢 27QG090 冷轧工艺研究

卢晓禹, 谢丽, 黄利

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 采用中试试验平台冷轧试验系统完成高磁感取向硅钢 27QG090 冷轧工艺探索研究, 利用蔡司显微镜、X 射线衍射仪分析实验室冷轧后试样的显微组织和宏观 XRD 织构。研究结果表明: 不同压下率冷轧后高磁感取向硅钢 27QG090 显微组织为沿轧向伸长的纤维状组织, 能够观察到不均匀变形区的剪切带。高磁感取向硅钢 27QG090 实验室冷轧后织构主要为 α 织构和少量 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 旋转立方织构, 冷轧规格优先选用 0.27 mm 和 0.23 mm。工业试制冷轧板宏观织构为 α 织构和少量的旋转立方织构, 主要集中在 $\{114\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{115\} \langle 110 \rangle$ 织构, 显微组织和织构均与实验室冷轧显微组织和织构一致。

关键词: 取向硅钢; 冷轧; 显微组织; 织构

中图分类号: TG142.1; TG335.11

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)04-0033-04

Research on Cold Rolling Process of High Magnetic Induction Oriented Silicon Steel 27QG090

Lu Xiao-yu, Xie Li, Huang Li

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the cold rolling process of high magnetic induction oriented silicon steel 27QG090 is explored and studied with the cold rolling testing system of pilot scale test platform as well as the microstructure and macroscopic XRD texture of samples after cold rolling in laboratory are analyzed with the Zeiss microscope and X-ray diffractometer. The study results showed that its microstructure after cold rolling with different reduction ratios was fibrous that elongates along the rolling direction and shear bands in the uneven deformation zone could be observed. Its texture after cold rolling in laboratory was mainly the α texture and a little $\{001\} \langle 110 \rangle$ rotated cubic texture as well as cold rolling specifications preferred 0.27 mm and 0.23 mm. The macro texture of cold rolled sheet for industrial trial production consists of α texture and a small amount of rotated cubic textures, which mainly concentrates in $\{114\} \langle 110 \rangle$ and $\{115\} \langle 110 \rangle$ textures so that the microstructure and texture are consistent with those of cold rolling in laboratory.

Key words: oriented silicon steel; cold rolling; microstructure; texture

低温高磁感取向硅钢冷轧采用一次冷轧法^[1]。热轧板常化酸洗后应尽快冷轧, 如果停留时间长, 钢中固溶碳和氮析出形成不稳定第二相, 使冷轧时碳

和氮钉扎位错作用减弱, 退火后再析出的 AlN 尺寸增大, 磁性降低^[2]。随着压下率增加, 初次晶粒尺寸减小, 二次再结晶晶粒尺寸、二次再结晶温度增

高。当压下率不小于 80% 时,二次晶粒尺寸变化不大,而初次晶粒尺寸继续减小。压下率大于 90% 时,初次晶粒尺寸虽然更小,但以后加热可发生反常长大,二次再结晶组织中小晶粒增多,二次再结晶不完全,磁性降低。压下率大于 94% 冷轧时,初次再结晶后 $\{111\}$ 和 $\{110\}$ 组分太少,不能发生二次再结晶^[3]。

采用大压下率冷轧可抑制退火时初次晶粒长大。大压下率冷轧形成更多的 $\{111\} < 112 >$ 变形带,两个变形带之间为高储能的过渡带,它们由 $\{110\} < 001 >$ 亚晶粒组成,退火时通过亚晶粒聚集形成位向更加准确的 $\{110\} < 001 >$ 二次晶核^[4]。

为研究高磁感取向硅钢 27QG090 生产工艺,采用中试试验平台开展冶炼、热轧及冷轧实验室工艺研究。本文在实验室开展高磁感取向硅钢 27QG090 冷轧过程研究,探究冷轧后高磁感取向硅钢 27QG090 取向硅钢的显微组织和宏观组织,为实际工业生产应用奠定理论和实践基础。

1 试验材料

试验材料为现场试制的高磁感取向硅钢 27QG090 热轧原料,经过常化处理,截取试样尺寸为 2.3 mm(厚度) × 180 mm(横向) × 600 mm(纵向)。材料主要化学成分如表 1 所示。

表 1 主要化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Al _s	N
0.05 ~ 0.06	3.10 ~ 3.20	0.090 ~ 0.110	≤ 0.015	0.005 ~ 0.009	0.027 ~ 0.030	0.007 ~ 0.008

2 试验装置

采用中试试验平台 4 辊 450 mm 冷轧机进行轧制,在金相室利用不同型号的砂纸对检测试样表面进行打磨,在抛光机上进行物理抛光,腐蚀液选用 4% 的硝酸酒精溶液。利用蔡司显微镜进行金相组织观察,X 射线衍射仪进行织构检测。

3 试验方案

热轧板厚度为 2.3 mm,高碳、高硅造成高磁感取向硅钢(HiB 钢)具有高的变形抗力,这样就增加了对轧机的要求,根据实验室轧机轧制能力,设定总压下率在 84.8% ~ 90.0% 之间,冷轧后的厚度分别为 0.35 mm、0.27 mm 和 0.23 mm。冷轧工艺设计见表 2。

表 2 冷轧工艺设计及实际总压下率

编号	热轧板厚度/mm	冷轧设计厚度/mm	设计总压下率/%	冷轧实际厚度/mm	实际总压下率/%
1 [#]	2.3	0.35	84.8	0.34	85.2
2 [#]	2.3	0.27	88.3	0.26	88.7
3 [#]	2.3	0.23	90.0	0.23	90.0

4 试验结果与讨论

4.1 显微组织

采用蔡司显微镜观察一次冷轧后高磁感取向硅钢 27QG090 的显微组织如图 1 所示。

HiB 钢的碳含量较高,使热轧板中存在大片由奥氏体转变来的含渗碳体或珠光体的组织区域,造成了基体成分的不均匀。由图 1 可以观察到,不同

压下率时,HiB 钢常化板一次冷轧后组织为沿轧向伸长的纤维状组织,很难清楚地逐一识别晶粒及晶界,能够看到不均匀变形区的剪切带,这也是再结晶优先形核的地点^[5]。根据相关研究^[6-7],减薄硅钢厚度,冷轧压下量增大,再结晶驱动力增加,导致形核率升高,再结晶晶粒尺寸减小,磁畴尺寸也会减小,涡流损耗减小,从而降低铁损,所以高磁感取向硅钢厚度大多选用 0.27 mm 和 0.23 mm,甚至更薄。

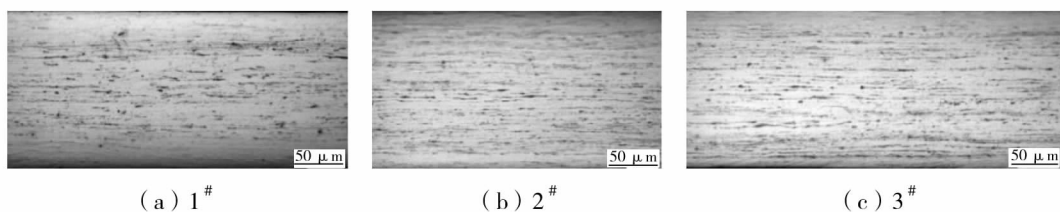
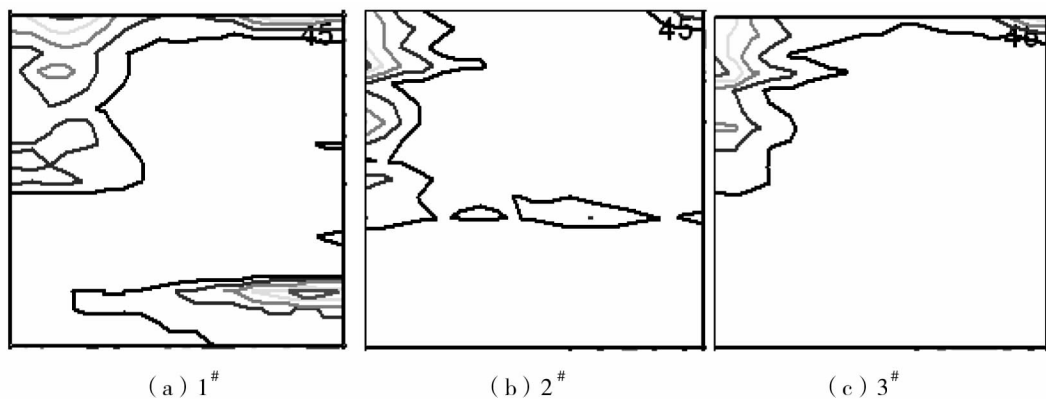


图1 实验室一次冷轧组织

4.2 一次冷轧组织

对高磁感取向硅钢 27QG090 实验室冷轧板进行宏观组织检测,如图 2 所示。冷轧组织主要集中在 α 组织上半部分,即 $\{114\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{115\} \langle 110 \rangle$ 织构,以及少量 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 旋转立方织构。旋转立方织构是由 α 织构因轧制剪切作用偏转了 25° 而得到的。初始立方取向晶粒在中等压下量(约 67%)时具有最强的遗传性,而本文采用的大压下量导致形成了图 2 中所示的 25° 旋转立方织构。冷轧后宏观组织取向分布集中,沿轧向层状分布。

另外,由于 HiB 钢一次冷轧压下率过大,冷轧板无法形成 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构,增强 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构有利于在二次再结晶加热中获得强而锋锐的高斯织构。本文冷轧织构在脱碳退火后 α 织构会有所减弱,并会形成一部分 α^* 织构,在高温退火阶段的升温过程中, α 织构和 α^* 织构会转向 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构,从而得到强的 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构,在高温保温阶段,高斯织构会吞噬 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构,从而形成强而锋锐的高斯织构。

图2 一次冷轧织构(ODF 图 $\varphi_2 = 45^\circ$)

5 工业试制

高磁感取向硅钢 27QG090 工业试制采用一次冷轧法,从热轧厚度 2.3 mm 冷轧至 0.27 mm,总压下率为 88.3%。

5.1 一次冷轧组织

如图 3 所示,工业试制一次冷轧后的组织为沿轧向伸长的纤维状组织,观察不到明显晶界,与实验室冷轧组织一致。



图3 工业试制一次冷轧组织

5.2 宏观织构

高磁感取向硅钢 27QG090 工业试制冷轧板宏观织构如图 4 所示,为 α 织构和少量的旋转立方织构,主要集中在 $\{114\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{115\} \langle 110 \rangle$ 织构,与实验室冷轧织构一致。

工业试制的高磁感取向硅钢 27QG090 冷轧宏观织构与中试平台条件下完成的冷轧宏观织构的区别在于 α 织构分布更为集中,造成这种现象的主要原因是工业生产线采用的是 20 辊森吉米尔轧机,轧制力更强,能够使用较少的道次完成冷轧。

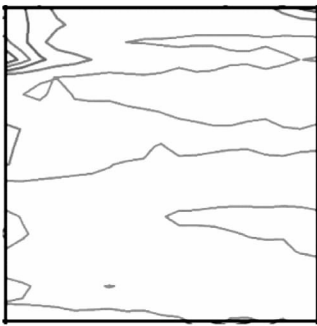


图4 工业试制冷轧板宏观织构(ODF 图 $\varphi_2 = 45^\circ$)

6 结论

(1) 不同压下率冷轧后高磁感取向硅钢 27QG090 显微组织为沿轧向伸长的纤维状组织,很难清楚地逐一识别晶粒及晶界,能够看到不均匀变形区的剪切带。减薄冷轧厚度,可以降低铁损,所以优先选用 0.27 mm 和 0.23 mm。

(2) 高磁感取向硅钢 27QG090 实验室冷轧织构主要为 α 织构和少量 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 旋转立方织构。

(3) 高磁感取向硅钢 27QG090 工业试制冷轧板厚度选用 0.27 mm,宏观织构为 α 织构和少量的旋转立方织构,主要集中在 $\{114\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{115\} \langle 110 \rangle$ 织构,显微组织和织构均与实验室冷轧显微组织和织构一致。

参 考 文 献

- [1] 何忠治. 电工钢[M]. 北京:冶金工业出版社, 1996.
- [2] 骆新根,黄咸波,郭小龙,等. 冷轧压下率对薄规格取向硅钢冷轧和退火织构的影响[J]. 电工钢,2019,1(2):21-24.
- [3] 李霞,杨平,贾志伟,等. 低温取向硅钢常化工艺和渗氮工艺对组织、织构和磁性能的影响[J]. 工程科学学报,2019,41(5):610-617.
- [4] 毛卫民,杨平. 电工钢的材料学原理[M]. 北京:冶金工业出版社,2013.
- [5] 毕娜,张宁,杨平. 取向硅钢薄带形变再结晶组织及织构演变[J]. 工程科学学报,2015,37(1):50-54.
- [6] 张继舜,任慧平,金自力,等. 含铜低温取向硅钢轧制过程中的组织及织构演变[J]. 金属热处理,2020,45(4):80-84.
- [7] 刘璐,张宁,杨平,等. 高硅钢近柱状晶初始组织的形变、再结晶行为及磁性能[J]. 工程科学学报,2015,37(7):919-923.