

无取向硅钢异步冷轧织构沿厚度的演变

张正贵^{1,2} 刘沿东¹ 左良¹ 王福¹

(1 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004; 2 沈阳大学机械工程学院材料系, 沈阳 110044)

摘要 对2.2 mm厚常化后无取向硅钢(0.004C, 3.1Si, 0.33Al), 以速度比为1.19异步轧制到0.5 mm厚, 用取向分布函数(ODF)定量研究了异步冷轧织构沿厚度的变化。结果表明: 常化后的无取向硅钢板材沿厚度方向的织构类型发生了明显的变化, 中心侧反高斯织构较强, 在异步冷轧后继续保持了这种状态, 而表层和次表层高斯织构在冷轧后消失; 冷轧后板材在快慢辊侧的织构类型没有变化, 但强度发生明显的变化; 异步冷轧织构沿厚度方向呈非对称分布; 反高斯织构在慢辊侧的强度高于快辊侧的强度, $\{111\}\langle 112 \rangle$ 织构出现中心低两侧高的现象, 慢辊侧略高于快辊侧。

关键词 异步冷轧 无取向硅钢 织构 取向分布函数

Evolution of Asynchronous Cold Rolling Texture in Thickness Direction of Non-Oriented Silicon Electric Steel

Zhang Zhenggui^{1,2}, Liu Yandong¹, Zuo Liang¹ and Wang Fu¹

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;

2 Department of Materials Science, School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044)

Abstract The normalized 2.2 mm plate of non-oriented silicon electric steel (0.004C, 3.1Si, 0.33Al) was rolled to 0.5 mm sheet by asynchronous rolling process with a rate of 1.19, and the evolution of asynchronous cold rolling texture in thickness direction was investigated quantitatively by orientation distribution function (ODF) method. Results showed that there was an obvious change of texture in thickness direction of normalized plate of non-oriented silicon electric steel: the anti-Gaussian texture was stronger close to center of thickness which was kept even after asynchronous cold rolling, but the Gaussian texture at surface and sub-surface of sheet disappeared after cold rolling; there was no change of texture type along slow and fast roller side, but the intensity of texture changed obviously; the distribution of asynchronous cold rolling texture was non-symmetric; the anti-Gaussian texture in slow roller side was higher than that in fast roller side, the $\{111\}\langle 112 \rangle$ texture was low at center and high at sides which at slow roller side was little higher than that at fast roller side.

Material Index Asynchronous Rolling, Non-Oriented Silicon Steel, Texture, Orientation Distribution Function

再结晶织构依赖于材料的成分、组织、冷轧织构等, 通过改善冷轧工艺获得理想的冷轧织构组分是人们长期关注的课题^[1]。目前利用现代织构分析手段和理论, 研究生产过程中冷轧无取向硅钢织构形成和演变规律的工作尚不充分^[2], 织构定量描述还比较少^[3]。异步轧制具有轧制压力低, 轧制精度高特点^[4], 本实验采用异步轧制方法, 在压下率为77%时, 定量研究了无取向硅钢冷轧织构沿厚度的演变。

1 实验方法

实验采用工业用无取向硅钢板, 经常化处理, 厚度为2.2 mm。化学成分(%)为: 0.004C、3.1Si、0.12Mn、0.33Al。原材料经酸洗后除去表面锈层, 在实验室的小四辊异步轧机上, 采用速度比为*i* =

1.19(下工作辊和上工作辊周向速度比)的多道次冷轧, 轧制到0.5 mm厚。用线切割方法, 切成20 mm × 18 mm的矩形试样。在PHILIPS X射线衍射仪上, 采用Schulz背射法测量 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 和 $\{112\}$ 三张不完整极图($\alpha = 0 \sim 70^\circ$), 常化试样从表面到中心分4层测量, 异步轧制试样测量了快慢侧表层、中心层及1/4层, 与快辊接触的表面设为*t* = 0, 与慢辊接触的表面设*t* = 0.5。异步轧制的快辊侧以“R”表示, 慢辊侧以“S”表示。以二步法求取向分布函数(ODF)^[5], 用角度间隔为5°的恒Φ截面图表示。

2 实验结果及讨论

2.1 材料初始织构组分

常化后板材的恒Φ = 45° ODF截面图如图1所

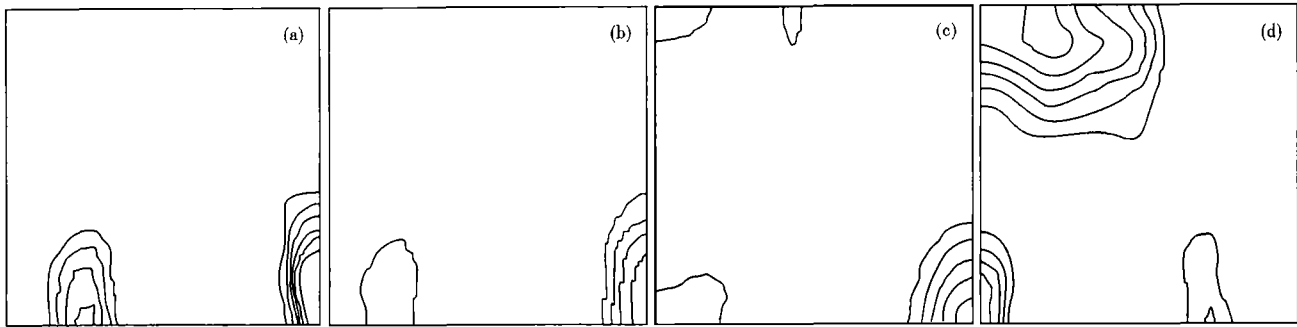


图 1 常化试样结构沿厚度方向的恒 $\Phi = 45^\circ$ ODF 截面图,至表层距离:(a) $t=0$; (b) $t=0.4$ mm; (c) $t=0.6$ mm; (d) $t=1.1$ mm
 Fig.1 ODFs constant $\Phi = 45^\circ$ section scheme of texture in normalized sample in thickness direction; distance from fast roller side- (a) $t=0$; (b) $t=0.4$ mm; (c) $t=0.6$ mm; (d) $t=1.1$ mm

示,由(a)到(d)分别表示至表层距离为0,0.4,0.6,1.1 mm。从表层到中心部位织构类型有所不同,表层初始织构主要以 $\{110\}$ 和 $\{113\}$ 面织构为主, $(110)[1-14]$ 、 $(110)[001]$ 等织构组分较强,到中心部位以后高斯织构消失,出现了反高斯织构。

2.2 冷轧织构组分

异步冷轧板的恒 $\Phi = 45^\circ$ ODF 截面图如图 2 所示,由(a)到(e)分别表示至快辊侧表层距离为0,0.125,0.25,0.375,0.5 mm。通体织构以 α 和 γ 织

构为主要组分,是比较理想的冷轧织构组分。与图 1 比较可以看出,中心部位织构与原有织构类型变形不大,仍然有较强的反高斯织构,其他部位织构类型与初始织构则完全不同,原有织构组分消失,生成新的冷轧织构。但在不同位置取向密度有所不同,进一步的定量分析结果如图 3 所示。

从图 3(a)可以看出 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{335\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{557\}\langle 110 \rangle$ 织构沿厚度方向呈现非对称分布,中心部位取向密度较高,慢辊侧表层强度高于快辊侧表



图 2 异步冷轧织构沿厚度方向的恒 $\Phi = 45^\circ$ ODF 截面图,至快辊侧表层距离:(a) $t=0$; (b) $t=0.125$ mm; (c) $t=0.25$ mm; (d) $t=0.375$ mm; (e) $t=0.5$ mm
 Fig.2 ODFs constant $\Phi = 45^\circ$ section scheme of asynchronous cold rolling texture in thickness direction; distance from fast roller side- (a) $t=0$; (b) $t=0.125$ mm; (c) $t=0.25$ mm; (d) $t=0.375$ mm; (e) $t=0.5$ mm

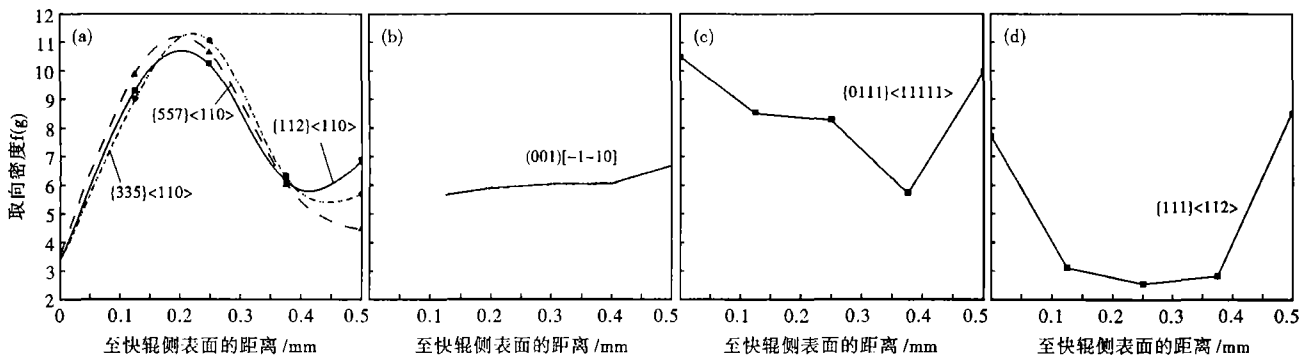


图 3 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{335\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{557\}\langle 110 \rangle$ 织构(a),反高斯织构(b), $\{0111\}\langle 11111 \rangle$ 织构(c)和 $\{111\}\langle 112 \rangle$ 织构(d)沿厚度方向的变化:0-快辊侧;0.5-慢辊侧
 Fig.3 Change of $\{112\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{335\}\langle 110 \rangle$ and $\{557\}\langle 110 \rangle$ texture (a), anti-gaussian texture (b), $\{0111\}\langle 11111 \rangle$ texture (c) and $\{111\}\langle 112 \rangle$ texture (d) in thickness direction; 0- slow roller side; 0.5- fast roller side

层强度,而位于快辊侧的1/4层比慢辊侧的强度高。

图3(b)表示了反高斯 $\{001\}\langle 110\rangle$ 织构沿厚度的变化趋势,在慢辊侧表面强度最高,中心部位其次,快辊侧表面的反高斯织构强度最低。图3(c)所示为反高斯 $\{001\}\langle 110\rangle$ 织构附近的 $\{0111\}\langle 11111\rangle$ 织构沿厚度方向的变化表明,快辊侧的织构强度比慢辊侧的强度高。图3(d)表示 $\{111\}\langle 112\rangle$ 沿厚度方向的变化,在中心部位强度低于表层的织构强度,但慢辊侧表面比快辊侧的表面强度高。

在实验条件下织构的变化受形变因素的影响,在异步冷轧过程中,由于快慢辊侧速率的不同,导致不同部位受力条件的不同。金属在轧制过程中,由于钢板两侧表面对应轧辊的物理条件和几何条件等因素的差异,往往造成金属塑性流变以轧板平面中界面呈非对称分布^[6]。

异步轧制的变形模式、应力状态和能量的传递方式均与常规轧制过程不同,在异步轧制条件下变形区存在搓轧区,在搓轧区上、下接触面上摩擦力方向相反(慢速辊侧的摩擦力指向入口,快速辊侧的摩擦力指向出口),轧件处于剪切应力状态,从而改变了变形区内金属的应力状态及流动方式。搓轧区内的金属变形可以认为是压缩和剪切的叠加,这种变形必然会带来剪切应变。由于异步轧制完全消除了外摩擦的阻碍作用所引起轧制压力的增加部分,因此显著降低了轧制压力,获得大延伸,提高了轧机的轧薄能力和生产效率,轧制精度也可明显提高。 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构对再结晶织构有重要影响, $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构容易再结晶, $\{001\}\langle 110\rangle$ 最不容易再

结晶。

3 结论

(1)常化后板材沿厚度方向从表层到中心部位织构类型发生了变化,中心侧反高斯织构较强,在异步冷轧后继续保持了这种状态,而表层和次表层高斯织构在冷轧后消失。

(2)异步轧制高牌号硅钢,可以获得比较理想的冷轧织构组分,沿厚度方向织构分布呈非对称状态。快慢辊侧织构类型基本相同,慢辊侧的反高斯织构强度明显高于快辊侧的强度, $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构组分在表层的强度高于中心部位。

国家高技术研究发展计划基金资助项目(2003AA331080);辽宁省教育厅科学研究计划基金资助项目(20040235)

参考文献

- 1 张锦刚,刘沿东,蒋奇武,等.异步冷轧工艺对IF钢织构的影响.材料与冶金学报,2006,5(2):129
- 2 金自力,徐向棋.轧制条件对冷轧无取向硅钢织构的影响.特殊钢,2005,26(2):25
- 3 毛卫民.冷轧钢板变形织构的定量分析.北京科技大学学报,1993,15(4):369
- 4 朱泉.异步轧制实验研究.钢铁,1980,15(5):1
- 5 Liang Z, Xu J, Wang F. Determination of ODF of Polycrystalline Materials From Incomplete Pole Figures. In: Nagashima S Eds-Proc 6th Int Conf on Textures of Materials. ISIJ, Tokyo, 1981, 2:1259
- 6 朱泉,魏大伟.板材异步轧制理论与实践.沈阳:东北工学院,1984

张正贵(1964-),男,博士研究生,副教授,2000年东北大学毕业,材料结构和性能。

收稿日期:2007-04-10

下 期 要 目

20CrMnTiH 齿轮钢连铸坯表层纵裂的热模拟研究	刘石虹等
钒对 Si-Mn 系弹簧钢松弛抗力的影响	柯晓涛等
高温不锈钢 Cr14Mo4 的热处理、组织和性能	魏果能等
Consteel 电弧炉送料水冷拖板流速和温度场的有限元分析	胡汉辉等
Ti-V-Nb 微合金管线钢焊缝及热影响区中第二相粒子	耿相军等
热变形参数对 0.05C-0.13Nb 钢相变组织影响	阴树标等
室温等径角挤压后共析珠光体钢的组织特性	赵军等
优质弹簧钢 60Si2CrVAT 控轧控冷工艺的热模拟研究	黄学启等
变形量及碳含量对超低碳贝氏体钢动态再结晶的影响	关云等
热轧工艺参数对非调质钢 F45MnV 力学性能的影响	张英建等