

试验研究

JSP-双机可逆冷轧条件下IF钢织构研究

张沛学¹,李晨²,张磊³

(1 济钢集团国际工程技术有限公司,山东 济南 250101;2 北京科技大学 材料科学与工程学院,北京 100083;

3 济钢集团有限公司,山东 济南 250101)

摘要:针对济钢现场工艺条件下生产的Ti-IF钢,利用X'Pert Pro X射线衍射宏观织构分析方法,研究了中薄板坯热连轧轧制及随后的冷轧、退火工艺过程中织构的变化规律。IF钢冷硬板主要织构类型为{111}<110>、{111}<112>和{001}<110>,其中{111}<110>织构强度达到12;再结晶退火后的IF钢退火板,主要织构类型为{111}<110>和{111}<112>, {111}<110>织构强度提高到15.37。济钢生产的Ti-IF钢获得了对板材成形最有利的{111}//ND织构。

关键词:IF钢;织构;取向分布函数图;取向

中图分类号: TG115.23

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2013)05-0018-03

1 前言

IF钢以其良好的成形性而广泛应用于汽车工业,用于汽车等很复杂级深冲压部件的制作。IF钢在热轧—冷轧—退火过程中都会形成不同类型的织构,而IF钢的成形性与其内部的织构有很高的关联性。采用常规热连轧、CSP热连轧和酸轧联合机组冷轧所生产的IF钢的织构有很多学者进行了相关的研究^[1],而采用中薄板坯连铸、热连轧轧制(简称JSP)及随后的双机架可逆冷轧和罩式退火工艺生产IF钢,目前只有济钢采用该工艺生产,其内部织构变化规律目前还没有相关研究的报道。

本研究的目的是揭示中薄板坯连铸连轧及双机架可逆冷轧条件下生产的IF钢的织构变化规律,为中薄板坯连铸连轧生产线稳定批量生产IF钢提供理论参考。

2 试验过程

选取现场生产的碳含量为 36×10^{-6} 的IF钢为研究对象,从IF钢热轧开始,采用X'Pert Pro X射线衍射仪对IF钢宏观织构进行研究分析,获得IF钢宏观织构的变化规律。

试验用IF钢经120 t转炉冶炼—RH真空循环处理—中薄板坯连铸,厚度为135 mm的连铸坯直接热送到步进式加热炉进行加热。IF钢加热温度1 200 ℃;粗轧开轧温度1 150 ℃,粗轧终轧温度1 080 ℃;精轧开轧温度1 030 ℃,精轧终轧温度910 ℃;轧后快冷;卷取温度690 ℃。试验用IF钢的熔炼化学成分如表1所示。

表1 试验用IF钢的熔炼化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Als	Ti	N	O
0.003 6	0.024	0.157	0.012	0.005	0.036	0.069	0.002 0	0.002 8

选取IF钢热轧卷进行取样,得到热轧基板,厚度为2.75 mm,试样标号为R。

酸洗后的IF钢热轧原料卷,经双机架可逆轧制后的冷硬板厚度为0.6 mm,对应的冷轧总压下率为78%。在IF钢冷硬板上取样,试样标号为A1。

IF钢冷硬板采用全氢罩式退火,快速升温至550 ℃,保温5.0 h,而后以20 ℃/h升温至730 ℃,热点温度745 ℃,冷点温度730 ℃,保温18 h。在退火板上取样,试样标号为A2。

平整采用1%压下率,对平整后的IF钢退火板取样,试样标号为A3。

将上述取样按照试验要求进行加工,处理成X射线衍射宏观织构分析试样。

3 试验结果

按照X'Pert Pro X射线衍射宏观织构分析试验方法,对IF钢试样的宏观织构进行试验分析。根据取向分布函数以级数形式展开的广义球函数线性组合公式^[2]:

$$f(g) = f(\phi_1, \phi_2, \phi_3) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-l}^l C_l^{mn} T_l^{mn}(\phi_1, \phi_2, \phi_3)$$

获得取向分布函数 $\phi_1=0^\circ \sim 90^\circ$ 、 $\phi_2=0^\circ \sim 90^\circ$ 、 $\phi_3=0^\circ \sim 90^\circ$ 的取向密度值。图1a、b、c、d分别为IF钢R、A1、A2、A3试样的取向分布函数截面图(ODF)的分析结果,取其中的取向分布函数等45°截面图。

4 结果讨论与分析

从图1a可以看出,JSP热轧获得的IF钢热轧基板,织构最高值为9.06,重要取向的织构{112}<

收稿日期:2013-08-05

作者简介:张沛学,男,1966年生,2003年毕业于北京科技大学材料加工工程专业,博士。现为济钢集团国际工程技术有限公司轧钢事业部高级工程师,从事材料应用研究和工程设计等方面的工作。

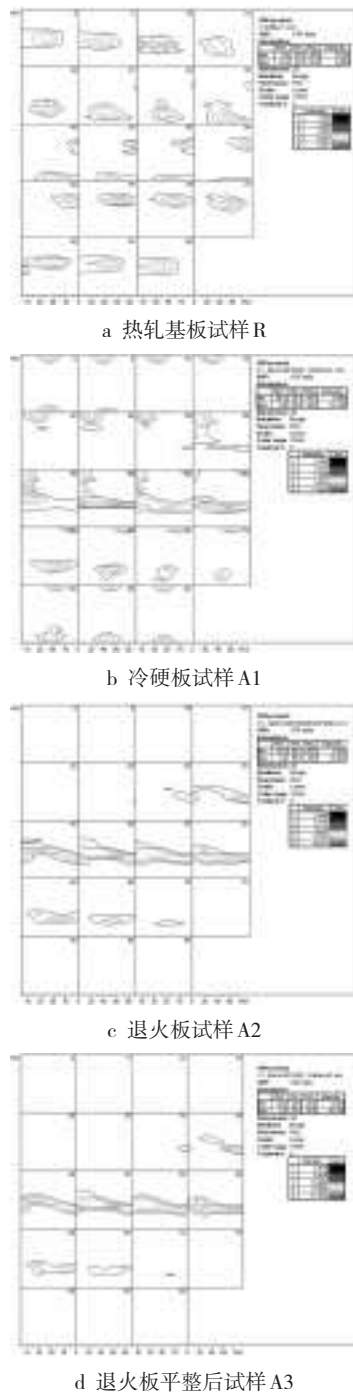


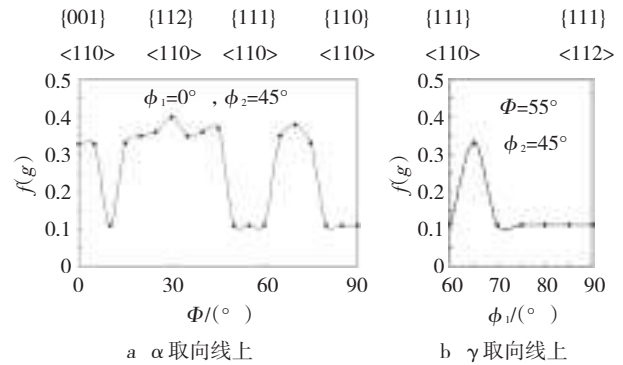
图1 IF钢等45°取向分布函数截面

111>最高值为4.58。主要织构类型为{110}<112>、{110}<001>和{112}<111>。

由于IF钢热轧基板的轧制温度高于奥氏体再结晶温度,在热轧过程中,母相奥氏体中形成主要织构组分是{001}<100>立方织构,转变为铁素体后,主要织构组分为{001}<110>旋转立方织构。而在精轧后期,由于变形过程又使{001}<100>织构经{110}<001>转向{110}<112>。

对图1a做进一步分析,得出IF钢热轧基板在 α 取向线上的密度分布,如图2a所示;同时得出在 γ 取向线上的密度分布,如图2b所示。

图2反映了IF钢热轧基板织构的变化。按照成

图2 IF钢热轧基板在 α 、 γ 取向线上的密度分布

形性能与织构的关系,{111}对钢板获得良好深冲性能非常有利,而{001}则产生不利影响^[3]。对成形最有利的织构组分与对成形最不利的织构组分的比值强烈影响IF钢的 r 值。从图2a可以看出,在 α 取向线上有{001}<110>旋转立方织构、{112}<110>、{111}<110>和{110}<110>织构,且取向密度分布差异不明显,在0.11~0.38之间变化。从图2b可以看出,在 γ 取向线上有{111}<110>和{111}<112>织构,取向密度分布差异也不大,且都在最低值,其取向密度值为0.11,取向密度变化在0.11~0.33之间。

从图1b的IF钢冷硬板ODF图可以看出,在双机架可逆冷轧条件下获得的IF钢冷硬板,织构最高值为14.19,比IF钢热轧基板的织构最高值明显提高,对IF钢成形有利取向上的织构{111}<110>最高值为12;同时,对IF钢成形不利取向上的旋转立方织构{001}<110>最高值也达到9,{111}/<001>织构强度比值仅为1.33。主要织构类型为{111}<110>、{001}<110>和{111}<112>。

对图1b做进一步的分析,得出IF钢冷硬板在 α 取向线上的密度分布,如图3a所示;同时获得在 γ 取向线上的密度分布,如图3b所示。

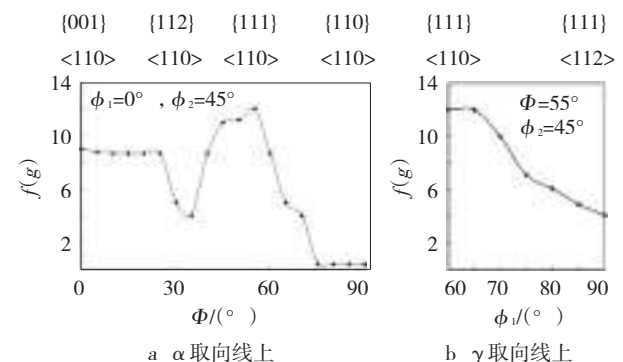
图3 IF钢冷硬板在 α 、 γ 取向线上的密度分布

图3反映了IF钢冷硬板织构的变化。在 α 取向线上有{001}<110>、{112}<110>、{111}<110>和{110}<110>织构,取向密度分布与热轧基板差异明显,在0.37~12之间变化。其中,{001}<110>旋转立方织构强度达到9.0,{111}<110>织构强度达到12。

在 γ 取向线上有强度很高的{111}<110>织构和

强度较低的 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构。在以上取向上的密度分布差异较大, $\{111\}\langle 110\rangle$ 取向上的取向密度为12, $\{111\}\langle 112\rangle$ 取向上的取向密度为4.1,因此,在 γ 取向线上,取向密度变化在4.1~12之间,较IF钢热轧基板的取向密度显著提高。

出现上述现象的原因是IF钢冷硬板的冷变形所形成的形变织构。在冷变形过程中,一方面晶粒发生转动,形成择优取向;另一方面,由于滑移的进行,在晶粒内部出现了剪切带。在IF钢冷变形后,晶粒明显伸长,并在晶粒内部形成了不同程度的晶内剪切带。IF钢冷硬板试样织构组分中出现了 γ 织构,即ND纤维织构,同时形成了不同形貌的晶内剪切带。这种晶内剪切带促进了后续再结晶ND纤维晶粒形核。

从图1c的IF钢退火板ODF图可以看出,再结晶退火后获得的IF钢退火板,织构最高值达到18.43,比冷硬板织构最高值进一步提高,对IF钢成形有利的 $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构最高值为15.37;同时,对IF钢成形不利的 $\{001\}\langle 110\rangle$ 旋转立方织构显著降低到0.73。 $\{111\}/\{001\}$ 织构强度比值大幅提高到21。主要的织构类型为 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 。

对图1c做进一步的分析,得出IF钢退火板在 α 取向线上的密度分布,如图4a所示;同时得出在 γ 取向线上的密度分布,如图4b所示。

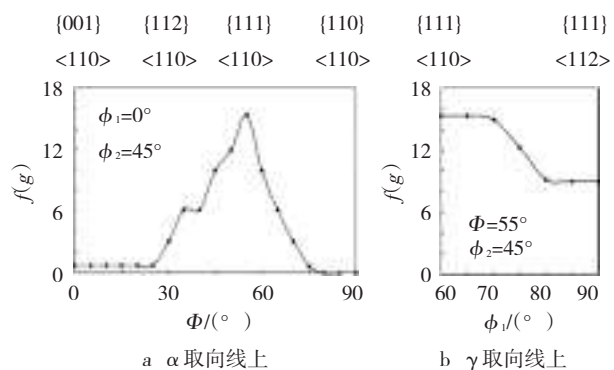


图4 IF钢退火板在 α 、 γ 取向线上的密度分布

图4反映了IF钢退火板织构的变化。从图4a可以看出,在 α 取向线上 $\{111\}\langle 110\rangle$ 取向密度15.37; $\{112\}\langle 110\rangle$ 取向密度为6.16; $\{001\}\langle 110\rangle$ 取向密度为0.73; $\{110\}\langle 110\rangle$ 取向密度为0.03。取向密度分布与IF钢冷硬板差异明显,在0.03~15.37之间。其中, $\{001\}\langle 110\rangle$ 旋转立方织构降到0.73, $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构升到15.37。

从图4b可以看出,在 γ 取向线上的取向有强度为15.37的 $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构和强度为9.0的 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构,在以上取向上的密度分布差异比冷硬板明显减小,在 $\{111\}\langle 110\rangle$ 与 $\{111\}\langle 112\rangle$ 取向上的取向密度差值大幅缩小为6.37。可见,在 γ 取向线上,取

向密度变化在9.0~15.37之间,相对于IF钢冷硬板进一步提高。

出现上述现象的原因是再结晶退火所形成的再结晶织构。冷变形后的再结晶退火过程是形成织构的重要阶段。新晶粒的形成经历两个过程,一是形核过程,二是晶核的长大过程。

再结晶形核过程中,核心优先形成在变形程度最高的区域,如晶界、形变带、孪晶交界处等。IF钢变形过程中易于在ND纤维晶粒内部形成剪切带,使晶粒碎裂。正如前面提到的IF钢冷硬板变形后,试样织构组分中出现 γ 织构,即ND纤维织构,同时形成了不同形貌的晶内剪切带。这种晶内剪切带促进了再结晶后ND纤维晶粒形核机制的进行^[3]。再结晶过程中变形的ND纤维晶粒在晶界和晶内同时形核。新形成的晶核具有与原变形ND纤维晶粒非常相近的取向。由于新形成的ND纤维晶核是在变形非常集中的晶界及晶内剪切带处形成,形变储能很高,晶核长大的驱动力比较大。随着退火的进行,ND纤维晶粒逐渐吞并其他取向晶粒而生长,从而再结晶后形成了ND纤维织构占优势的织构组成。

从IF钢冷硬板织构分布和退火板织构分布对比可以发现:通过退火过程, $\{111\}\langle 110\rangle$ 有利织构迅速增强,而 $\{112\}\langle 110\rangle$ 不利织构逐渐减弱,而对成形最不利的 $\{001\}\langle 110\rangle$ 织构接近完全消失。再结晶退火完成后形成了理想的 γ 纤维织构。

因此,再结晶退火后, $\{112\}\langle 110\rangle$ 织构组分明显减弱,最不利的 $\{001\}\langle 110\rangle$ 旋转立方织构最终接近消失,而有利织构 $\{111\}\langle 112\rangle$ 有增强之势。这反映出 $\{111\}\langle 112\rangle$ 取向的再结晶晶粒在退火过程中吞噬 $\{001\}\langle 110\rangle$ 和 $\{112\}\langle 110\rangle$ 取向的变形晶粒的现象。

通过IF钢退火板平整后(图1d)和IF钢退火板ODF图(图1c)的对比可以看出,退火板在小压下率平整后,总体保持了退火板的织构特征,主要的织构类型仍然为 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$,只是织构的强度有所提高,因此,不再做重点讨论。

5 结论

5.1 IF钢热轧基板,主要织构类型为强度较弱的 $\{110\}\langle 112\rangle$ 、 $\{110\}\langle 001\rangle$ 和 $\{112\}\langle 111\rangle$ 织构;在 α 取向线上和 γ 取向线上的取向密度低且分布差异不大。

5.2 IF钢冷硬板,主要的织构类型为 $\{111\}\langle 110\rangle$ 、 $\{111\}\langle 112\rangle$ 和 $\{001\}\langle 110\rangle$ 。

5.3 再结晶退火后的IF钢退火板,主要织构类型为 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 。

5.4 IF钢退火板平整后,保持了退火板的织构特征,主要织构类型仍然为 $\{111\}\langle 110\rangle$ (下转第23页)

表6 试验前后配煤结构对比

项目	配煤结构/%					配煤成本/ (元·t ⁻¹)	焦炭冷、热态性能/%			
	气煤	肥煤	特征煤	焦煤	瘦煤		M ₄₀	M ₁₀	CRI	CSR
基准配比	22	18	10	40	10	1 076.70	84.4	7.1	24.0	69.5
试验配比	20	10	20	38	12	1 057.60	84.3	7.2	23.5	69.7
对比	-2	-8	10	-2	2	-19.1	-0.1	0.1	-0.5	0.2

稳定,热态强度略有改善。增配10%特征煤,相应减少肥煤配量8%、气煤配量2%,基本达到了稳定焦炭质量、降低配煤成本的预期效果。

6 结论

6.1 在常规顶装焦炉上用10%~15%的特征煤代替肥煤炼焦是可行的。

6.2 在4.3 m顶装焦炉上,利用10%的特征煤代替

肥煤,可生产出高强度指标的一级冶金焦($M_{40}=84.3\%$ 、 $M_{10}=7.2\%$ 、 $CRI=23.5\%$ 、 $CSR=69.7\%$)。

6.3 利用特征煤代替部分肥煤炼焦,可有效地降低配煤成本。根据特征煤配用比例情况,配煤成本可降低约15~30元/t,但由于特征煤的挥发分偏高,将导致焦炭气孔率升高、气孔壁变薄而影响焦炭强度,在常规顶装焦炉生产条件下,特征煤的总配量应控制在20%以内为佳。

Coal Blending and Coking Test Replaced Fat Coal by a Characteristic Coal

BO Tao, CHEN Changhua, MA Yongsheng, CHANG Yu, JI Tongsen

(Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

Abstract: On the basis of analyzing the features of a characteristic coal, the coking test was done replaced part of fat coal and gas coal in 40 kg small coke oven and 4.3 m top charge coke oven. The results showed that the characteristic coal instead of fat coal proportioning control within 20%, the coke quality change is not big, hot strength improves somewhat. With 10%~15% of the characteristic coal instead of fat coal and coking coal in top charge coke oven is feasible. Blending 10% the characteristic coal and relevantly reducing fat coal 8% and gas coal 2% produced metallurgical coke with high strength level ($M_{40} = 84.3\%$, $M_{10} = 84.3\%$, $CRI = 23.5\%$, $CSR = 69.7\%$), and reduced the cost of coal blending 19.1 Yuan/t.

Key words: coal blending; coking; characteristic coal; fat coal; coke quality; cost

(上接第20页)和{111}<112>,只是织构的强度有所提高。

参考文献:

[1] 孔学云,王宝峰,金自力,等.冷轧板再结晶退火中组织和织构演变的研究[J].材料热处理学报,2007,28(4):97-101.

[2] 毛卫民,杨平,陈冷.材料织构分析原理与检测技术[M].北京:冶金工业出版社,2008.

[3] 李晋霞,刘相华,王国栋,等.钢板深冲性与织构研究的进展[J].钢铁研究,2001,38(3):56-60.

Study on the Texture of Interstitial Free Steel during JSP-Double Stands Reversible Cold Rolling Process

ZHANG Peixue¹, LI Chen², ZHANG Lei³

(1 Jigang International Engineering and Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China;

2 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

3 Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

Abstract: Based on the Ti-interstitial free steel produced by Jinan Steel, texture hereditary of Ti-interstitial free steel during JSP-double stands reversible cold rolling processes were studied by means of X'Pert Pro X-ray diffraction. The main texture of the cold rolled IF steel sheet was {111}<110>, {111}<112> and {001}<110> and the density of {111}<110> was 12 in which. The main texture of the annealing IF steel sheet was {111}<110> and {111}<112> and the density of {111}<110> was risen to 15.37. The {111}//ND texture which was the best to forming was obtained in the Ti-interstitial free steel produced by Jinan Steel.

Key words: interstitial free steel; texture; ODF; orientation

出版物上数字的用法(GB/T 15835—2011)

在使用数字进行计量、编号的场合,为达到醒目、易于辨识的效果,应采用阿拉伯数字;当数字伴随有计量单位时,如:长度、容积、面积、体积、质量、温度、音量、频率等,特别是当计量单位以字母表达时,应采用阿拉伯数字。现代生活中出现的事物、现象、事件,其名称的书写

形式中包含阿拉伯数字,已经广泛使用而稳定下来,应采用阿拉伯数字。示例:-125.03,63%~68%,1:500,97/108;346.87 L,100~150 kg,34~39 °C;章节编号4.1.2,产品型号PH-3000型计算机;3G手机,G8峰会,93号汽油。

(燕明宇)