

CSP 线热轧薄板的组织演变及微观取向研究^{*}

于 浩 康永林 傅 杰 柳得櫓

(北京科技大学)

王中丙 李烈军 范胜标 陈贵江 李柯新

(广州珠江钢铁有限责任公司)

摘 要 利用背电子散射衍射(EBSD)技术,研究了 3 种不同厚度规格的低碳钢 CSP 热轧薄板的组织演变和微观取向,实验结果表明:热轧终轧组织为再结晶奥氏体和变形奥氏体的混合体;相变后的铁素体晶粒中含有亚晶和位错,导致板带的强度升高而伸长率下降。板带的最终组织中含有残留的热轧织构,织构组分较杂且弱。最终组织中的铁素体晶粒尺寸不均匀,由 EBSD 系统按邻域面积确定的铁素体晶粒尺寸比按形貌确定的铁素体晶粒尺寸小。

关键词 CSP 背电子散射衍射 微观组织 织构

M I C R O S T R U C T U R E E V O L U T I O N A N D T E X T U R E O F C S P H O T R O L L E D S T R I P

YU Hao KANG Yonglin FU Jie L U Delu

(University of Science and Technology Beijing)

WANG Zhongbing L I L iejun FAN Shengbiao CHEN Guijiang L I Kexin

(Guangzhou Zhujiang Iron and Steel Co., Ltd.)

ABSTRACT The microstructure evolution and texture of CSP hot rolled strip were analyzed using electron back scattered diffraction (EBSD) method. The experimental results showed that the microstructure in hot rolled strip is a mixture of recrystallized and deformed austenite. After phase transformation, the ferrite is embodied with substructures and dislocations, which leads to higher strength and lower elongation rate. The retained hot rolling structure and weak texture in final strip product are observed. The size of ferrite particles is non-uniform and the size determined by EBSD is finer than that determined by morphometric method.

KEY WORDS CSP, electron back scattered diffraction, microstructure, texture

1 前言

由于科学的发展与轧制技术的进步,热轧薄板因其质量和价格优势,在整个世界范围内以热轧薄板替代部分冷轧板的趋势日益明显。CSP 线技术设

备以其独特的优势而得到较为广泛的应用,但它与传统热连轧在坯料铸造过程、加热制度、轧制过程及板带在传输辊道上的传输速度等方面有着显著差异^[1]。鉴于上述原因,用 CSP 线生产的热轧薄板的

^{*} 国家新一代钢铁材料重大基础研究资助项目(G1998061500)

联系人: 于 浩, 博士研究生, 北京(100083)北京科技大学材料加工与控制工程系

微观组织演变机理与力学性能特征也越来越受到人们的关注。探讨 CSP 工艺规程对热轧薄板组织演变及微观取向的影响机制,具有重要的理论意义和生产实用价值。

本文应用扫描电镜上的背电子散射衍射 (EBSD) 取向分析系统,对 CSP 热轧低碳钢(珠钢牌号 ZJ400)薄规格板材进行了系统的研究。初步探讨了 CSP 线生产薄规格热轧板的组织变化和取向特征,分析了工艺参数对显微组织、取向及性能的影响,为 CSP 线生产薄规格和超薄规格产品的工艺制

定及修改,提供了科学的依据。

2 实验材料的成分及工艺

在珠钢 CSP 线生产现场,分别从 3 种不同规格成品板卷上选取试样,进行化学成分和力学性能测试,有关实验数据及部分工艺参数如表 1 和表 2 所示。

由表 2 中的实验数据可以看出,3 种规格带材的屈服强度和抗拉强度值均较高,而伸长率相对较低(与国标 Q 235 相比);因变形量不同,板带的力学性能间存在差异。

表 1 3 种板材的化学成分

Table 1 Chemical compositions of three gauges							%
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	
0.18~ 0.20	0.08~ 0.10	0.29~ 0.32	0.018	0.006	0.26	0.032	

表 2 3 种板材的实测力学性能及生产工艺参数

Table 2 Mechanical properties and production parameters of three gauges									
尺寸/mm	力学试验				实测温度/		卷取温度/	拉速/ m · m in ⁻¹	屈强比 σ _s /σ _b
	σ _s /MPa	σ _b /MPa	δ/%	冷弯 d= a	出炉	终轧			
1.9 × 1250	353	459	28	合格	1158	860	650	5.0	0.769
2.75 × 1250	363	470	22	合格	1133	860	650	4.5	0.772
3.8 × 1250	418	565	26	合格	1150	860	650	4.5	0.740

3 微观组织及取向分析

3.1 微观组织的形貌分析

为了探讨工艺规程与组织演变、力学性能之间

的关系,本文进行了显微组织研究,图 1 是 3 种规格板带的光学显微组织照片。

板带的最终组织为大量铁素体加部分珠光体,

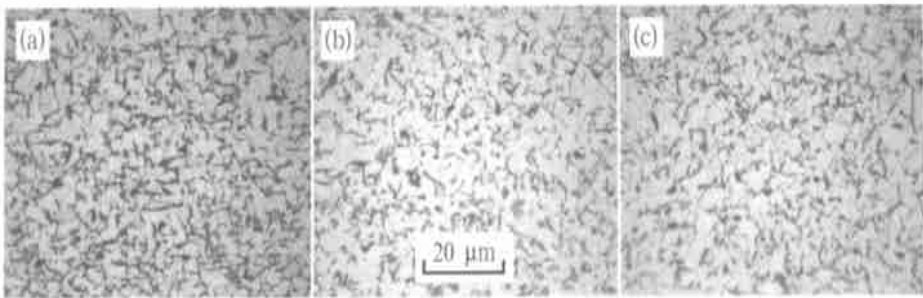


图 1 CSP 生产低碳钢热轧薄板的金相组织

Fig. 1 Microstructure of hot rolling steel strips with low carbon by CSP
(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

铁素体晶粒的外貌呈不规则的多边形状,图中颜色暗的区域为珠光体,呈岛状和枝链状分布。晶粒的大小不十分均匀,变形量增大,铁素体晶粒变细。由 LEO-1450 型扫描电镜上的定量金相分析系统,测得 1.9 mm、2.75 mm 和 3.8 mm 3 种板带的铁素体晶粒直径的平均尺寸分别为 8.86 μm 、9.68 μm 和

10.84 μm 。

3.2 EBSD 微观组织分析

近几年发展的 EBSD (背电子散射衍射) 技术已迅速成为显微(亚微米)层次上的晶体分析手段,据其按取向确定的组织比直接得到的外观形貌能提供更多的组织细节和取向信息。微观组织与晶粒取向

的直接联系,为从织构角度来分析显微组织的演变提供了基础。

奥氏体区终轧所产生的均匀、细小的奥氏体晶粒组织经相变后依然保持为均匀、细小的铁素体晶粒组织,相变前后的组织具有相似性,故了解热轧终轧时的奥氏体组织和状态,对于 γ/α 相变及成品组织和性能的控制具有重要的意义。由图 2 和图 3 可知,虽然相变后产生的铁素体晶粒内有相当数量的

亚晶存在,但铁素体晶粒间主要为大角晶界,故在连轧过程中,奥氏体已发生部分再结晶。随着再结晶的进行,晶粒之间的取向差呈大角度关系所占的比例上升,呈小角度关系的比例下降,这是因为具有相近取向的亚晶数量随着再结晶的进行而减少的缘故。板带对应的热轧终轧组织为变形奥氏体和再结晶奥氏体的混合体,再结晶奥氏体所占的比例较大。

由光学显微照片和上述 EBSD 分析图可知,晶

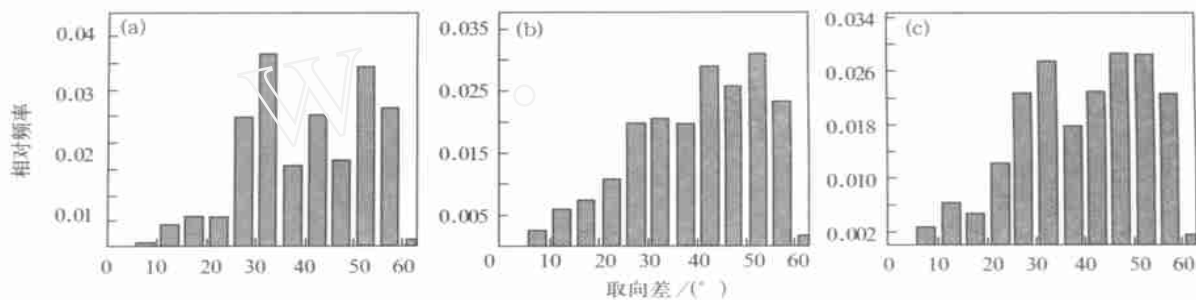


图 2 3 种规格板带晶粒取向差的分布图

Fig. 2 Misorientation angle distributions of three gauges

(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

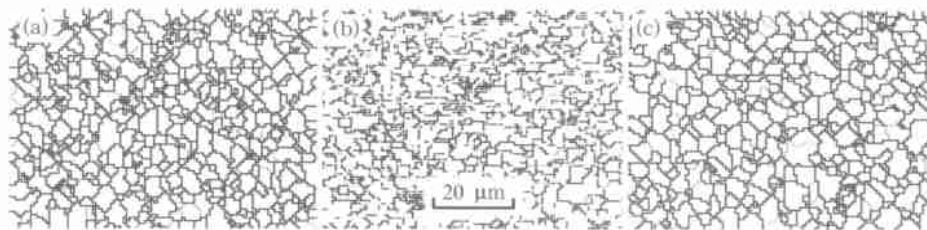


图 3 按晶粒取向差绘制的组织

Fig. 3 Plotting microstructures of three gauges in terms of misorientation

(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

粒大多数不是等轴晶,其形状大多也是不规则的,晶界之间的夹角也未达到稳定的 120° ;说明晶粒容易发生继续长大。

图 4 为晶粒按取向差确定出的铁素体尺寸分布。由图可以看出,晶粒尺寸的概率分布在 $3\mu\text{m}$ 以下有一峰值,不是一般的正态分布或 χ^2 分布,这可能

是由较小的再结晶晶粒引起。由 EBSD 按邻域面积分析得到 1.9 mm、2.75 mm 和 3.8 mm 3 种规格板带铁素体晶粒的平均直径分别是 $7.06\mu\text{m}$ 、 $7.20\mu\text{m}$ 和 $8.04\mu\text{m}$,晶粒组织细且比按形貌确定的铁素体尺寸小。

目前,晶粒细化的主要原因被认为是奥氏体在

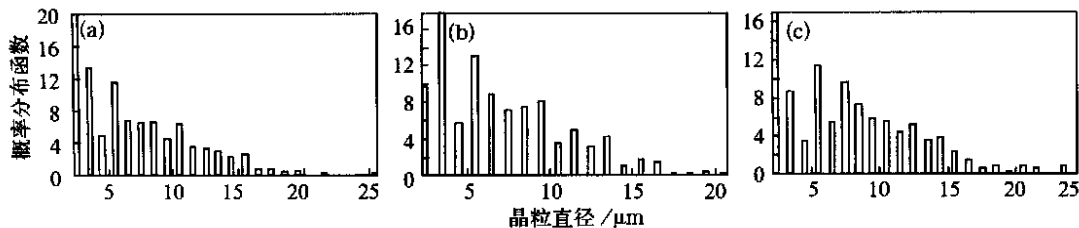


图 4 按晶粒取向差确定的晶粒尺寸分布

Fig. 4 Distributions of particle dimension of three gauges in terms of misorientation

(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

大应变条件下,基体含有大量位错和形变带而使其自由能大幅度提高,从而使铁素体获得大的相变驱动力,特别是形核率。对于CSP线热轧薄板而言,虽然总压缩比不是很大,但各道次的压缩比相对较大,导致组织具有高位错密度结构、位错发团结构和亚晶结构,在随后的快速冷却过程中, $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变的驱动力增大,形核密度增加,铁素体晶粒细小。此外,本钢种是普通低碳钢,无论在晶内,还是在晶界,析出物的含量都较少,所以析出物不是限制铁素体长大的主要原因;而轧制时间非常短(变形速率高),随后的快速层流冷却是铁素体晶粒细化的主要原因^[2]。

细晶是强化的一种方式,细化的等轴铁素体晶粒将使板材的强度和塑性优良。板带的显微组织中

含有亚晶,甚至还有胞状的位错发团,微观组织尺寸小,根据霍尔—佩奇关系,其强度必然高;由于位错等缺陷的存在,塑性相对较低。

3.3 EBSD 取向分析

如果奥氏体存在织构,那么其随后的相变组织也倾向于存在织构,且相变后贝氏体和马氏体具有的织构强度比多边形铁素体和珠光体具有的织构要强的多^[3]。奥氏体发生部分再结晶,铁素体在奥氏体晶界处形核,在某种程度上削弱了奥氏体织构。在未再结晶区变形,在奥氏体内部存在形变带,大部分铁素体在奥氏体内部的形变带上形核,或在内部的亚晶上形核,每个新 α 核都与其母相 γ 遵循某种特定的取向关系且织构的强度较强。

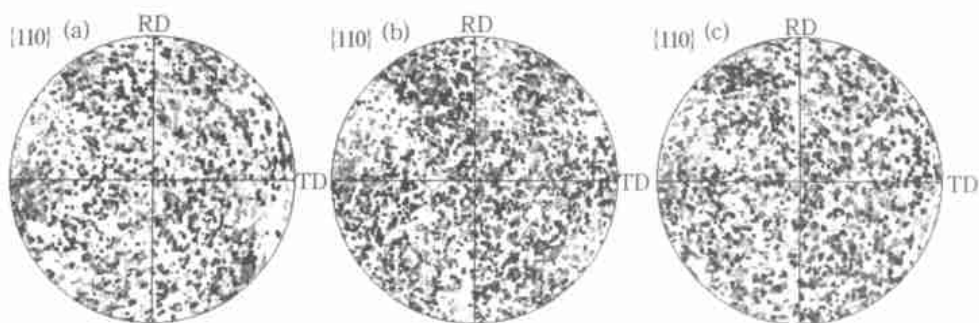


图 5 3 种规格板带的 $\{110\}$ 极图

Fig. 5 $\{110\}$ pole figures of three gauges
(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

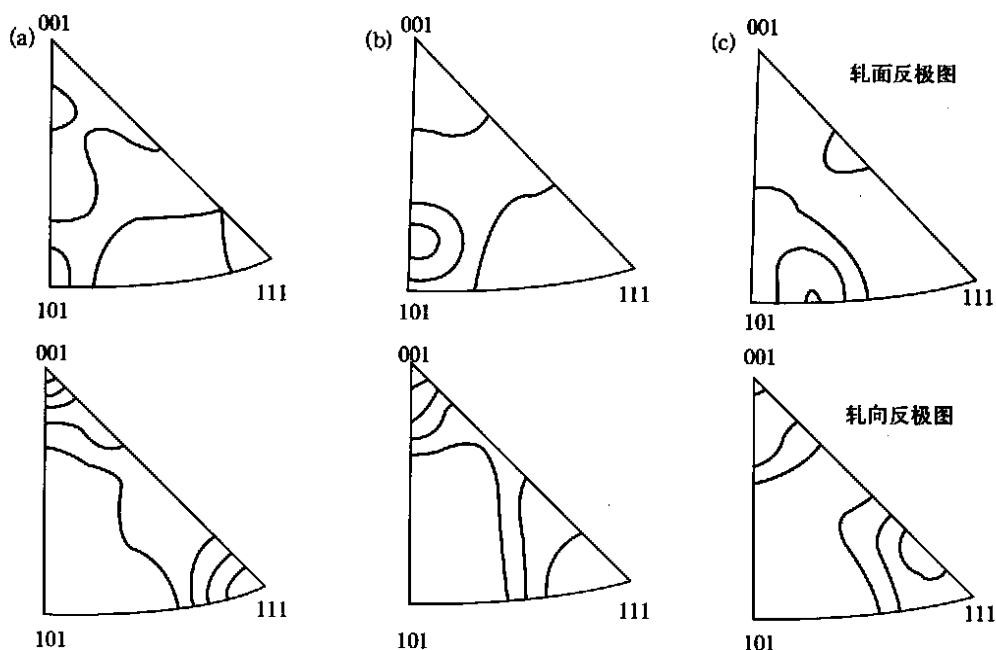


图 6 3 种规格板带的反极图

Fig. 6 Inverse pole figures of three gauges
(a) 1.9 mm; (b) 2.75 mm; (c) 3.8 mm

因极点在织构散点极图上几乎均匀分布, 所以热轧织构比较弱, 并且织构组分比较杂(见图 5)^[4]。体心立方金属轧制织构主要成分是 $\{001\} \langle 011 \rangle$, 若热轧组织的晶粒大小不均匀, 容易形成 $\{110\} \langle 100 \rangle$ Goss 织构。从图 6 可得到 1.9 mm、2.75 mm、3.8 mm 热轧板的主要织构分别为 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 、 $\{203\} \langle 010 \rangle$ 、 $\{323\} \langle 131 \rangle$, 织构类型都在 η 取向线附近, 说明它们在轧制过程中的变形不均匀。在实验过程中, 由 EBSD 衍射图样可以看出, 晶粒的取向不同, 它们的尺寸大小有着明显差异, 从而在一定程度上影响了产品的性能。板带组织中的织构是再结晶织构, 还是形变织构以及它们的成因和联系, 这有待于进一步深入研究, 它将为我们的研究微观组织的演变机理提供更为丰富的信息。

4 结论和建议

(1) 热轧薄板的最终组织为大量铁素体加部分珠光体, 铁素体外貌呈不规则的多边形状, 晶粒仍有继续长大的趋势; 变形量不同, 最终的组织状态及取向分布规律也是不同的。

(2) 板带的热轧终轧组织是再结晶奥氏体和变形奥氏体的混合体, 再结晶奥氏体所占的比例较大。板带组织中的铁素体晶粒细小, 晶内含有相当数量的亚晶, 因此板带的强度值较高, 同时其伸长率有所下降。若从板带传输辊道的后端开冷却水, 使板带在辊道上有一段空冷时间, 有利于组织的回复, 以便降低强度和提高伸长率。

(3) 虽然板带组织中的织构组分较杂且弱, 但对板带性能将产生一定的影响。研究再结晶织构和形变织构的成因以及它们之间的联系, 这将为我们的研究微观组织的演变规律提供更为丰富的信息。

参 考 文 献

- 1 G nter Flemming, Karl-Ernst Hensger. Extension of Product Range and Perspectives of CSP Technology. MPT International, 2000, (1): 54~ 63
- 2 Gardiola B, Humbert M, Esling C, *et al.*. Detemination and Prediction of the Inherited Ferrite Texture in A HSLA Steel Produced by Compact Strip Production. Material Science and Engineering. 2001, A 303, 60~ 69
- 3 Bevis Hutchinson, Lena Ryde, Eva Lindh, Kohsuke Tagashira. Texture in Hot Rolled Austenite and Resulting Transformation Products. Material Science and Engineering, 1998, A 257, 9~ 17.
- 4 Hurley P J, Hodgson P D. Fomation of Ultra-fine Ferrite in Hot Rolled Strip: Potential Mechanisms for Grain Refinement. Material Science and Engineering, 2001, A 302, 206~ 214

(上接第 26 页)

参 考 文 献

- 1 L I G, Jinn J T, WU W T, *et al.*. Recent Development and Applications of Three-dimensional Finite Element Modeling in Bulk Fomning Processes. J. Mater. Proc. Technol, 2001, (113): 40, 45
- 2 Galantucci L M, Tricarico L. Thermal-mechanical Simulation of A Rolling Process With an FEM Approach. J. Mater. Proc. Technology, 1999, (92-93): 494
- 3 鹿守理. 计算机辅助孔型设计. 北京: 冶金工业出版社, 1992. 1~ 2.
- 4 王艳文, 康永林. 轧制方坯的三维弹塑性有限元研究. 钢铁, 2000, 35(2): 40.
- 5 王艳文. 特殊钢棒材热连轧过程三维热力耦合有限元模拟及实验研究: [博士学位论文], 北京: 北京科技大学, 2000.
- 6 美国金属学会编. 金属学手册(中译本). 北京: 机械工业出版社, 1991. 486.
- 7 刘宝珩. 轧钢机械设备. 北京: 冶金工业出版社, 1984, 18~ 20.
- 8 黄华清. 轧钢机械. 北京: 冶金工业出版社, 1980. 77~ 78.