

## CSP-低碳钢 DC03 冷轧板的组织和织构

罗年高<sup>1</sup> 余驰斌<sup>1</sup> 张云祥<sup>1</sup> 杨海林<sup>1</sup> 成小军<sup>2</sup> 伍康勉<sup>2</sup>

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 湖南涟源钢铁集团公司, 娄底 417000)

**摘要** 研究了 CSP 工艺生产的 0.04% C 低碳钢 DC03 2.9 mm 热轧基板、0.9 mm 的冷轧板和退火平整板的组织与织构。结果表明, 热轧基板组织为铁素体 + 少量沿晶界分布的珠光体, 铁素体基体中有少量 40 ~ 100 nm MnS 粒子, 没有观察到 AlN; 冷轧板组织为含大量位错的带状铁素体-珠光体, {111} 织构的择优取向较明显; 退火平整板组织为铁素体和游离渗碳体, 并观察到 10 ~ 30 nm 的析出相, {111} 织构轴密度达 5.15, {100} 轴密度减为 0.61。

**关键词** CSP 工艺 冷轧板 低碳钢 DC03 组织 织构

## Structure and Texture of CSP Cold-Rolled Sheet of Low Carbon Steel DC03

Luo Niangao<sup>1</sup>, Yu Chibin<sup>1</sup>, Zhang Yunxiang<sup>1</sup>, Yang Hailin<sup>1</sup>, Cheng Xiaojun<sup>2</sup> and Wu Kangmian<sup>2</sup>

(1 College of Science and Metallurgical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081; 2 Hunan Lianyuan Iron and Steel Co., Loudi 417000)

**Abstract** The structure and texture of 2.9 mm hot-rolled plate, 0.9 mm cold-rolled sheet and annealed temper-rolled sheet of 0.04C low carbon steel DC03 produced by CSP process have been studied. Results showed that the structure of hot-rolled base plate was ferrite matrix + a small amount of pearlite dispersed along grain-boundary, there was a little 40 ~ 100 nm MnS particles in ferrite matrix, and the AlN wasn't observed; the structure of cold-rolled sheet was banded ferrite - pearlite containing a large amount of dislocation, and the {111} texture orientation was obvious in cold-rolled sheet; and the annealed temper-rolled sheet structure was ferrite and free carbide with a few of 10 ~ 30 nm precipitates, and the density of {111} was up to 5.15 while the density of {100} decreased to 0.61.

**Material Index** CSP Process, Cold-Rolled Sheet, Low Carbon Steel DC03, Structure, Texture

钢厂为了在 CSP 短流程工艺线上生产出较高质量的冲压用冷轧薄板, 提出针对 CSP 低碳钢冷轧薄板深冲性能的研究, 其 CSP 冷轧板生产工艺流程为:

高炉→转炉→CSP 连铸→辊底均热炉→粗轧→连轧→层流冷却→酸洗→冷轧→脱脂→退火→平整→剪切→包装→入库。

以往的研究只局限在成分与强度和深冲性能的相互关系及其内在机理, 而对热轧、冷轧、退火平整板不同工序的微观组织织构的研究甚少。在热轧、冷轧、退火平整 3 个不同的生产阶段中, 各个阶段的组织织构演变影响着成品板的性能。本文以钢厂在 CSP 短流程工艺线上生产的 DC03 低碳冷轧深冲板

为研究对象, 分析 DC03 钢热轧板、冷轧板、退火平整后成品板的组织和织构及其演变过程。

### 1 试验材料与过程

试样取自钢厂冷轧酸洗前的 DC03 钢卷(基板)、冷轧板和退火平整后的成品板, 试样成分如表 1 所示, 热轧工艺参数及工厂检测的力学性能见表 2。电镜试验样品为金属薄膜直接观察, 所有电镜照

表 1 DC03 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel DC03 /%

C	Si	Mn	Al	P	S	Ni	Cr	Cu
0.04	0.01	0.21	0.038	0.010	0.003	0.01	0.02	0.04

表 2 DC03 钢板的工艺参数和力学性能

Table 2 Process parameters and mechanical properties of plate and sheet of steel DC03

热轧板 厚度/ mm	冷轧板 厚度/ mm	终轧 温度/ ℃	卷取 温度/ ℃	热轧板性能			冷轧板性能				
				屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	平均塑性各向 异性系数( $r$ )	应变硬化 指数( $n$ )
2.9	0.9	933	573	305	385	42	195	325	48.5	0.2	2.26

联系人: 余驰斌, 教授, 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081

片为衍衬像,使用仪器为 JEM-2000FX2 + INCA 能谱仪。在日本 D/max-3C 型 X 射线衍射仪上,采用“反极图”法进行了织构测定。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 DC03 钢板的组织形貌

#### 2.1.1 热轧基板

图 1(a)为热轧基板试样放大 1 000 倍的纵向截面光学组织图像,观察面取自于平行轧制方向,由图 1(a)可以看出,基板组织为铁素体和少量珠光体,黑色部分沿晶界分布的为珠光体,珠光体成片状分布(图 1b)。铁素体基体中有少量的第二相,尺寸为 40 ~ 100 nm,这些细小的第二相大多为均匀分布,也有少量呈聚集状态(图 1c)。用能谱仪对球状第二相进行分析,第二相粒子主要为 MnS,铁素体中的位错密度较低,个别区域有位错缠结状态(图 1d)。

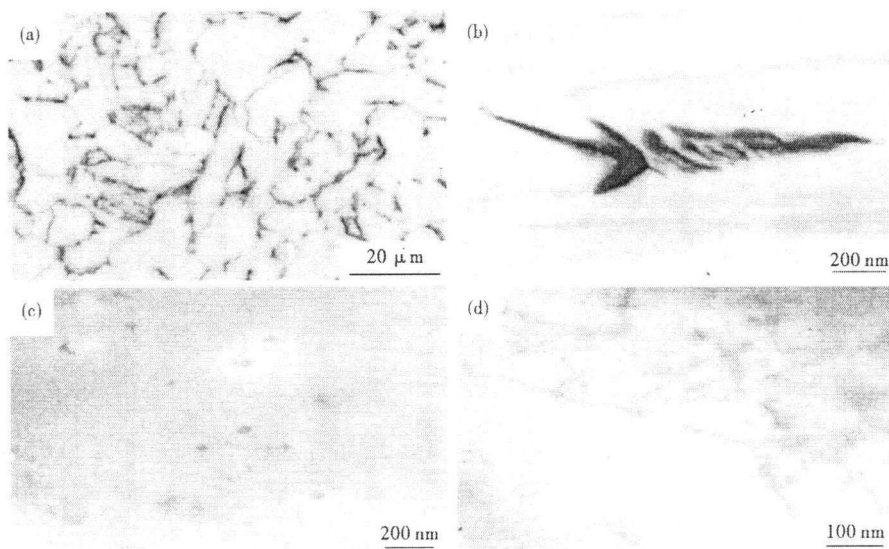


图 1 DC03 钢热轧板的组织形貌:(a)光学显微组织;(b)珠光体,TEM;(c)析出相,TEM;(d)铁素体中位错,TEM

Fig. 1 Structure morphology of hot-rolled plate of steel DC03: (a) optical micrograph; (b) pearlite, TEM; (c) precipitates, TEM; (d) dislocation in ferrite, TEM

在板坯加热过程中 AlN 分解溶于奥氏体中,所以高温加热利于溶解,然而在冷却过程中 AlN 又重新析出,热轧后急冷则 AlN 来不及析出<sup>[1]</sup>。通过对 DC03 钢热轧基板电镜组织进行检测分析,基板中没有观察到 AlN 的析出。

#### 2.1.2 冷轧板

热轧卷取板作为冷轧坯料在冷轧机组中进行变形,所得到的冷轧板组织为变形铁素体,它的组织形态是沿轧向伸长的、大小不均且含有大量位错(图 2)。由图 2 可见,组织为带状分布的铁素体(灰白色)和沿晶界分布的珠光体(黑色)。

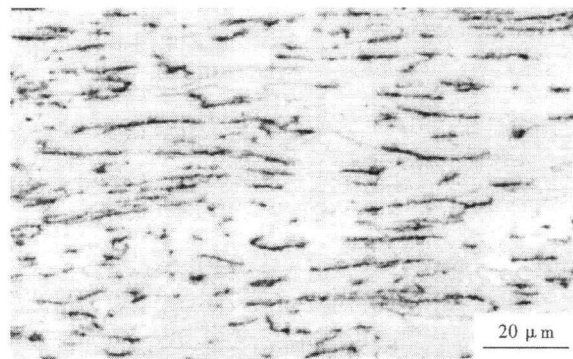


图 2 DC03 钢冷轧板的组织形貌  
Fig. 2 Structure of cold-rolled sheet of steel DC03

#### 2.1.3 退火平整板

退火平整板组织为再结晶铁素体,冷轧板产生的强烈加工硬化经 700 °C 退火工艺可得到消除。其组织为铁素体 + 游离渗碳体(图 3a),图中黑色点状物为游离渗碳体,这种点状分布的游离渗碳体是冷轧板经退火后形成,退火时晶界迁移,使得点状分布的游离渗碳体在晶界和晶内都存在。用能谱仪对点状物质进行分析,主要成分为 Fe 和 C。

基体中有少量极细的第二相析出,尺寸大多为 10 ~ 30 nm,少数可达 50 nm,分布均匀,这些极细第二相可能为退火过程中析出的 AlN。铁素体晶体较为完整,仅有少量位错组态沿滑移面分布。表明冷轧板退火后再结晶较为充分。

据研究表明<sup>[2]</sup>,同样变形条件下,热轧卷取板组织的晶粒越细小、均匀,所得到的冷轧板组织的晶粒越小、破碎程度越大。退火板组织系形变铁素体中再结晶产生的结果,它的组织形态及其结构不仅与退火工艺提供的热激活条件有关;而且与冷轧板组织的形体和结果特征有关;同样退火条件下,冷轧板的形态和结果特征越突出,退火板组织的晶粒尺寸越大,再结晶结构越易发展。

### 2.2 DC03 钢冷轧板的织构

钢厂 DC03 钢的冷轧板织构为连铸坯热轧后经冷轧变形得到的织构(图 4a), $\{111\}$ 轴密度为 3.45,

{100}轴密度为2.27,可见冷轧板中已经出现{111}织构占优势的择优取向。退火织构是由冷轧板经退火、冷却得到的织构,由图4(b)可见已显示出强烈的{111}织构择优取向,{111}轴密度达到5.15,{100}轴密度减为0.61。与冷轧板相比,DC03退火平整板中有利于深冲性能的{111}织构明显增强,而对深冲性能不利的{100}织构大幅减弱。同时根据织构参数计算公式: $r = (P_{222} + P_{332} + P_{211}) / (P_{200} + P_{210} + P_{310})$ ,计算得到DC03冷轧板和退火平整板的织构参数 $r$ 分别为2.17、6.10。

据研究表明<sup>[3]</sup>,{111}织构对钢板获得良好的深冲性能非常有利,而{100}则产生不利影响。冷轧板织构中{111}组分越强,越有利于{111}退火织构的发展,而不利织构{100}是一种稳定取向,冷轧几乎对它无能为力,冷轧板织构中的稳定取向{111}和{100}等会遗传到退火织构中,所以控制冷轧板织构的形成以促进退火织构中{111}组分的发展是很有意义的。在退火织构中既能发现冷轧板织构特征的量变,也能看到它的质变。当然这种变化实质上与退火期间织构演变机理是分不开的,但是原始状态的冷轧板织构在一定程度上将影响到退火织构的演变结果。

### 3 结论

(1)钢厂DC03钢热轧基板组织为铁素体和少量沿晶界分布的珠光体,珠光体成片状分布。铁素体基体中有少量的第二相粒子,尺寸为40~100 nm,大多均匀分布,也有少量呈聚集状态,为细小球形的MnS,没有观察到AlN析出。铁素体中的位错密度较低,个别区域有位错缠结状态。

(2)DC03钢冷轧板组织呈带状分布的铁素体和珠光体,它的组织形态是沿轧向伸长的、大小不均且含有大量位错。

(3)DC03钢退火平整板的组织主要为铁素体和游离渗碳体,点状分布的游离渗碳体在晶界和晶

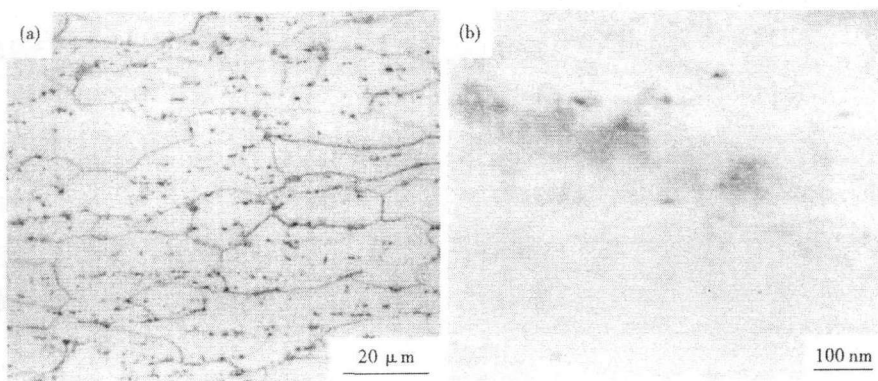


图3 DC03钢退火平整板的组织,光学(a)和析出相,TEM(b)

Fig.3 Morphology of structure, optical micrograph (a) and of precipitates, TEM (b) in annealed temper-rolled sheet of steel DC03

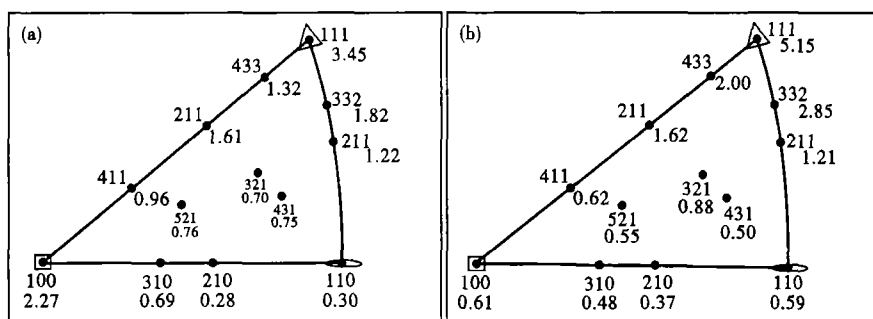


图4 DC03钢冷轧板(a)和退火平整板(b)的反极图

Fig.4 Schematic of reversed polarity for cold-rolled sheet (a) and annealed temper-rolled sheet (b) of steel DC03

内都存在,其主要成分为Fe和C。铁素体基体中有少量极细的第二相析出物,尺寸大多为10~30 nm,少数可达50 nm,分布均匀,这些极细第二相可能为退火过程中析出的AlN。

(4)DC03钢冷轧板中已经出现{111}织构占优势的择优取向,{111}轴密度达到3.45,{100}轴密度为2.27。冷轧板经退火、冷却后,退火平整板已显示出强烈的{111}织构择优取向,{111}轴密度达到5.15,而{100}轴密度减为0.61。

### 参考文献

- 1 屠永刚. 本钢深冲板深冲机理的实验研究:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2001
- 2 佟强. 钢板深冲性能的实验研究:[硕士学位论文]. 沈阳:东北大学,2003
- 3 孙景宏. 微碳深冲钢板组织演变规律和工艺优化的研究:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2005

罗年高(1982-),男,硕士生,材料成型过程的计算机模拟和性能预报。

收稿日期:2008-03-27