

退火工艺及压下率对超低碳 CSP 冷轧薄板组织的影响

刘海霞 王宝昆 金自力

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘要 在实验室用电阻炉模拟了包钢 CSP 工艺生产的以 62.0% 和 71.4% 压下率冷轧的 1.9 mm 和 1.0 mm DC01 钢(0.047% C)和 SPCC 钢(0.041% C)冷轧板的 700 °C 罩式退火工艺。结果表明,冷轧板退火后主要以{111}⟨110⟩和{111}⟨112⟩结构为主;71.4% 压下率冷轧板快速升温退火后{112}⟨110⟩取向密度最大,且大角度晶界所占比例较大,组织密度较大,组织主要集中在 γ 取向线附近。

关键词 超低碳钢 CSP 工艺 冷轧板 退火 组织

Effect of Annealing Process and Cold Rolling Reduction on Texture of CSP Thin Sheet of Ultra-low Carbon Steel

Liu Haixia, Wang Baokun and Jin Zili

(Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract The hood type furnace annealing process at 700 °C of 1.9 mm and 1.0 mm thin sheet cold rolled with 62.0% and 71.4% reduction of ultra-low carbon steel DC01 (0.047% C) and SPCC (0.041% C) produced by CSP process at Baotou Iron and Steel Co has been simulated in laboratory by electric resistance furnace. Results show that the main textures of annealed cold rolling sheet are {111}⟨110⟩ and {111}⟨112⟩; the orientation density of {112}⟨110⟩ in cold rolling sheet with reduction 71.4% annealed with faster heating rate is greatest, the proportion of large-angle grain boundary is larger, the density of textures is higher and the texture mainly concentrates near the γ orientation fibre.

Material Index Ultra-low Carbon Steel, CSP Process, Cold Rolling Sheet, Annealing, Texture

薄板坯连铸连轧即 CSP (Compact Strip Production) 生产工艺流程为^[1]:电弧炉(AD 或 DC)-钢包精炼炉-薄板坯连铸机-均热保温-热连轧机-层流冷却-地下卷取。一些研究人员研究了深冲板的冷轧组织的演变和 IF 钢罩式退火组织^[2,3]。本实验利用 EBSD 的方法从微观晶粒的角度研究 CSP 条件下退火组织在罩式退火过程中的形成和发展,从而了解不同的退火工艺和冷轧压下率对组织的影响,进而获得具有较多{111}结构的最佳退火工艺及最佳冷轧压下率,这对如何获得更强的再结晶 γ 纤维组织来进一步提高深冲性能具有重要意义。

1 实验材料和方法

实验材料为包钢 CSP 冷轧板,冷轧压下率分别为 62.0% 和 71.4%,轧成 1.9 mm 和 1.0 mm 薄板。实验钢的化学成分及热轧工艺见表 1 和表 2。

实验的两种退火工艺均用程序控制电阻炉进行退火。退火工艺(1)采用实验室模拟包钢现场退火工艺;退火工艺(2)为包钢第二次 CSP 退火工艺(图 1)。

表 1 超低碳钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of ultra-low carbon steels / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Alt	Als
DC01	0.047	0.029	0.12	0.009	≤0.002	0.002	未注
SPCC	0.041	0.039	0.13	0.011	0.006	0.039	0.036

表 2 超低碳钢的热轧工艺

Table 2 Hot rolling process of ultra-low carbon steels

钢种	出炉温度/°C	终轧温度/°C	卷取温度/°C	热轧板厚/mm	轧后厚度/mm	压下率/%	退火工艺
DC01	1 120	890 ~ 900	570	5.0	1.9	62.0	700 °C 8 h
SPCC	1 120	890	550	3.5	1.0	71.4	700 °C 8 h

2 实验结果讨论与分析

2.1 EBSD 分析

EBSD 技术是电子背散射衍射 (Electron Backscatter Diffraction) 技术的简称。类似于 X 射线能谱仪 (EDS), EBSD 系统目前可作为扫描电子显微镜 (SEM) 的一个标准分析附件。EBSD 和取向图像 OIM (Orientation mapping) 显微镜已经成为分析单相

和多相材料再结晶组织和微观结构的确定技术,这个技术同时提高了全部数据收集的速度和最终性能描述的精确度。

图2为EBSD测得的成品试样在不同退火工艺和冷轧压下率下的OIM取向成像(Orientation mapping)图。由图2可知,试样成品以 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构为主。且在工艺(1)的条件下,即升温速率较快的退火工艺下,有利织构即

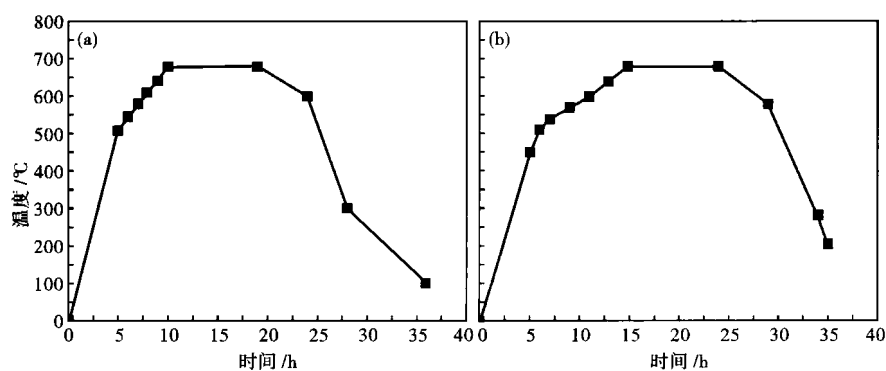


图1 超低碳钢冷轧板退曲线:(a)快速加热;(b)慢速加热

Fig.1 Annealing curves of cold rolling sheet of ultra-low carbon steels: (a) faster heating; (b) slow heating

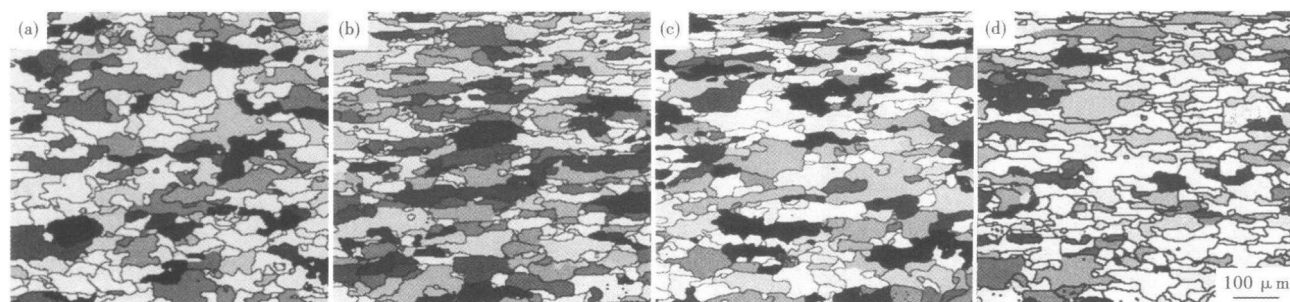


图2 超低碳钢冷轧薄板退火后的取向(OIM)图:(a,b)快速加热:(a-62.0%压下率;b-71.4%压下率);(c,d)慢速加热:(c-62.0%压下率;d-71.4%压下率),电子背散射衍射(EBSD)

Fig.2 Orientation mapping of annealed ultra-low carbon steel cold rolling sheet: (a, b) faster heating (a-62.0% cold reduction; b-71.4% cold reduction); (c, d) slow heating (c-62.0% cold reduction; d-71.4% cold reduction), electro back scattering diffraction (EBSD)

$\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构密度较大;而在升温速率较慢的退火工艺下,有利织构 $\{111\}\langle 110\rangle$ 占有率减少较为明显。

由表3可知,在退火工艺(1)的条件下,压下率为62.0%的成品试样中, $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构含量最高;同时,还可看出,在同一退火工艺下,随着压下率由62.0%增加到71.4%时,成品试样中的 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构含量均

有所降低,但降低程度不明显。由图2(c,d)可知,压下率的变化对 $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构含量影响不大。综上可知,升温速率较快的工艺下,压下率为62.0%的成品试样中, $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构比例最大,故其深冲性能最好。

2.2 取向线分析

图3为不同冷轧压下量 α 取向线(a)与 γ 取向线(b)上织构的变化。由图3可知,试样以 $\{111\}\langle 110\rangle$ 和 $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构为主。由图3(a)可知,对于同一退火工艺下的试样,压下率为71.4%的试样中,上述两种织构含量较多。对于相同压下率的试样,退火工艺(1)中的这两种织构含量明显高于退火工艺(2)中的含量。从图3(b)可以看出, $\{111\}\langle 110\rangle$ 织构在压下率为71.4%(退火工艺(1)即升温速率较快)时最大; $\{111\}\langle 112\rangle$ 织构在压下率62.0%(退火工艺(2)即升温速率较慢)时最大。综合 α 和 γ 取向线可以看出,压下率为71.4%的试样中 $\{111\}$ 取向密度较大,故压下率较大深冲性能较好,并且在退火工艺(1)压下率为71.4%时, $\{111\}$

表3 EBSD(电子背散射衍射)测得的成品试样内各类型织构所占的比例/%

Table 3 Proportion of different type texture in finishing product specimen detected by electron back scattering diffraction /%

成品 晶面\晶向	退火工艺(1) (快速加热) 压下率/%		退火工艺(2) (慢速加热) 压下率/%	
	62.0	71.4	62.0	71.4
$\{110\}\langle 110\rangle$	4.2	2.2	1.5	1.6
$\{112\}\langle 110\rangle$	23.5	29.0	12.8	19.9
$\{011\}\langle 110\rangle$	2.8	2.6	3.3	1.6
$\{111\}\langle 112\rangle$	37.8	32.1	32.9	28.3
$\{111\}\langle 110\rangle$	45.0	43.7	37.9	36.1
$\{001\}\langle 100\rangle$	1.1	1.0	1.1	1.2
$\{001\}\langle 110\rangle$	1.7	0.4	1.6	1.0

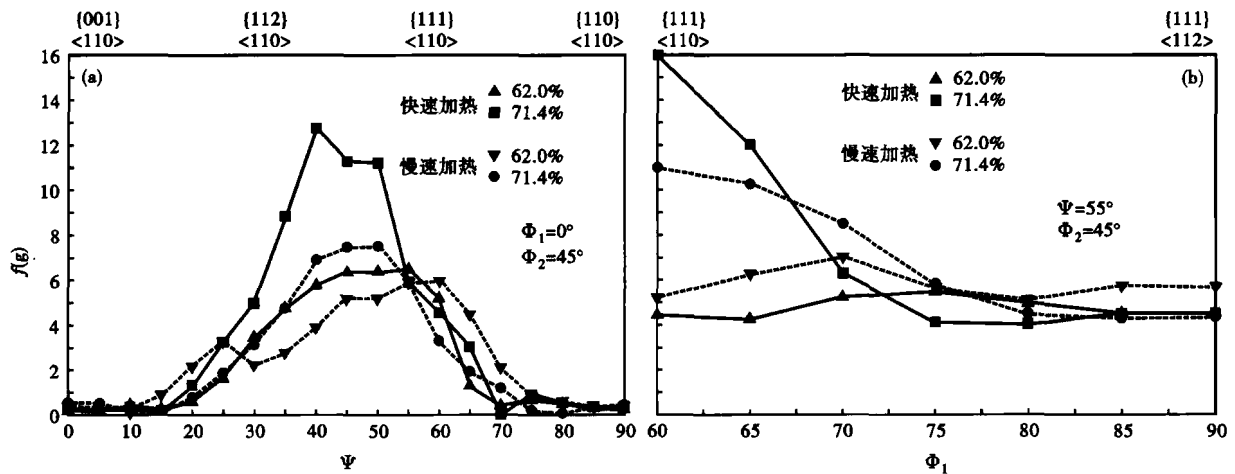


图 3 不同冷轧压下量超低碳钢薄板中 α 取向线(a)与 γ 取向线(b)上结构的变化

Fig. 3 Change of texture at α orientation fibre (a) and γ orientation fibre (b) in ultra-low carbon steel sheet with different cold reduction

织构最大。

2.3 ODF 图分析

图 4 为实验原料退火后的成品在 $\Phi_2 = 45^\circ$ 截面的 ODF 图。由图 4 可知,织构密度主要集中在 γ 取向线附近,主要有 $\{111\}\langle 112 \rangle$ 、 $\{111\}\langle 110 \rangle$ 、 $\{111\}$

$\langle 011 \rangle$ 织构。图 4(a)、(b)、(c)、(d) 的织构最大密度分别为 10.9、13.6、9.58、9.69。由此得出,在 71.4% 的压下率,升温速率较快时的织构密度最大,即图 4(d) 的织构密度最大;而当升温速率较慢时,压下率的变化对织构密度水平的影响不大。

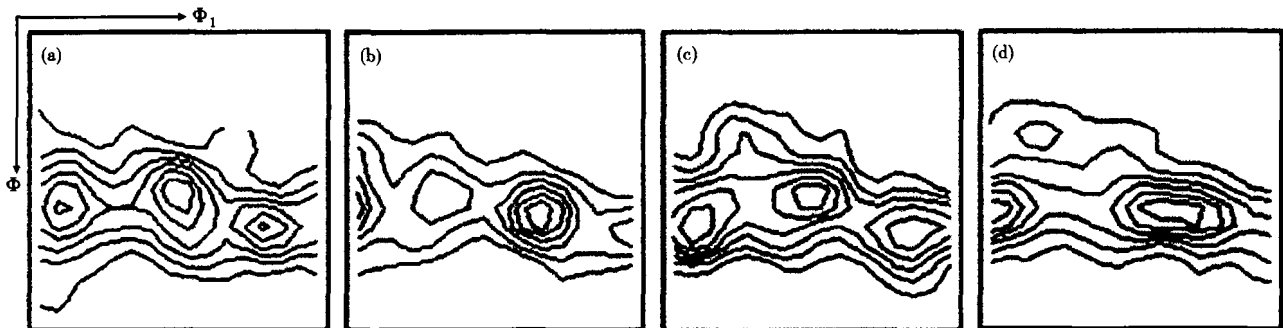


图 4 退火成品 $\Phi_2 = 45^\circ$ 截面的取向分布(ODF)图:(a,b)快速加热(a-62.0%,b-71.4%);(c,d)慢速加热(c-62.0%,d-71.4%)

Fig. 4 Orientation distribution figure of $\Phi_2 = 45^\circ$ cross section of annealed finishing products: (a) (b) faster heating (a- 62.0% cold reduction, b- 71.4% cold reduction); (c) (d) slow heating (c- 62.0% cold reduction, d- 71.4% cold reduction)

3 结论

(1) 实验钢经退火后的成品试样中,以 $\{111\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{111\}\langle 112 \rangle$ 织构为主,但二者含量相差不大。

(2) 在同一退火工艺下,71.4% 压下率时的织构密度较大。升温速率较快的退火工艺下,随压下率的增大,织构密度水平提高较为明显;而在慢速退火工艺下,随压下率的增加,织构密度提高不明显。

(3) 快速退火工艺下,变形量为 71.4% 样品的织构密度最大,主要集中在 γ 取向线附近。

国家自然科学基金项目(50761005)、内蒙古自然科学基金项目(20080404Zd18)资助

参考文献

- 1 杨晓江,刘黎明. 世界薄板坯连铸连轧技术的现状及未来在唐钢的发展. 河北冶金,2000(3):39
- 2 Emren F, Von Schlippenbach U, Lücke K. Investigation of the Development of the Cold Rolling Texture in Deep Drawing Steels by ODF-analysis. Acta Metal, 1986, 34(7):1289
- 3 石京,王先进,陈家光. IF 钢罩式退火过程中织构变化的研究. 钢铁,1999,34(11):44

刘海霞(1982-),女,硕士研究生,深冲板的冷轧织构研究。

收稿日期:2009-12-01