

Ti-Nb 对 Cr18 超低碳铁素体不锈钢冷轧板成形性能的影响

孙丹¹ 陈伟庆¹ 何慎² 沈继程² 郑宏光²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 宝钢研究院不锈钢技术中心,上海 201900)

摘要 研究了 0~0.21% Ti 和 0~0.29% Nb 对 Cr18 钢(% :0.008~0.009C,17.48~17.57Cr)的组织、再结晶组织、力学性能和成形性能的影响。结果表明,Nb 稳定化退火冷轧板的晶粒较 Ti 稳定化退火冷轧板细小;Ti-Nb 稳定化的冷轧板{111}<112>取向密度最大,Ti 稳定化冷轧板次之,Nb 稳定化冷轧板最小;Ti、Nb、Ti-Nb 稳定化退火冷轧板应变硬化指数 n 值分别为 1.55、1.12 和 1.48,因此 Ti 和 Ti-Nb 稳定化退火冷轧板的成形性良好。

关键词 Ti-Nb Cr18 铁素体不锈钢 组织 成形性能

Effect of Ti-Nb on Formability of Annealed Cold Rolled Sheet of Ultra-Low Carbon Ferrite Stainless Steel Cr18

Sun Dan¹, Chen Weiqing¹, He Shen², Shen Jicheng² and Zheng Hongguang²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technology Center Stainless Steel, Baosteel Institute, Shanghai 201900)

Abstract Effect of 0~0.21% Ti and 0~0.29% Nb on structure, recrystallization texture, mechanical properties and formability of ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18 (% :0.008~0.009C, 17.48~17.57Cr) has been studied. Results show that the grain size of annealed cold rolled sheet of Nb stabilized steel is finer than that of Ti stabilized steel; the {111}<112> orientation density of cold-rolled sheet by Ti-Nb stabilization is maximum, that by Ti stabilization is second and that by Nb stabilization is minimum; the strain-hardening exponent n -value of annealed cold-rolled sheet by Ti, Nb and Ti-Nb stabilization is respectively 1.55, 1.12 and 1.48, therefore the formability of annealed cold-rolled sheet by Ti and Ti-Nb stabilization is excellent.

Material Index Ti-Nb, Ferrite Stainless Steel Cr18, Texture, Formability

对具有体心立方晶体结构的冷轧板织构形成的影响因素主要有:(1)化学成分。铁素体不锈钢中铬含量增加可形成有利于成形性能的组织组分^[1],在板材的轧制过程中,稳定化元素 Nb 会使奥氏体形变织构加强,进而导致 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变织构的加强^[2]; (2)固溶元素和二相粒子。固溶 C 原子对铁素体轧制时晶粒的旋转具有很大的阻碍作用^[3],固溶合金元素和二相粒子的存在不会影响铁素体轧制组织的组分,但固溶合金元素和二相粒子的存在会影响铁素体晶粒在轧制过程中向稳定取向旋转的程度^[4],其中 Ti、Nb 的加入有助于铁素体轧制织构向稳定取向转动^[3]; (3)热加工工艺。如超低碳钢在铁素体区轧制时随着终轧温度降低,{111}再结晶织构会明显增强^[5]; (4)冷轧压下量^[6]; (5)退火工艺,包括温度、时间等^[7]。

本试验主要研究 Ti、Nb 对退火处理的超低碳 Cr18 铁素体不锈钢冷轧板组织、再结晶组织及力学性能和成形性能的影响,通过研究得到合理的稳定

化元素添加量和合理的退火工艺。

1 实验材料和方法

实验用钢是实验室真空感应炉冶炼并轧制的 3 种成分的超低碳 Cr18 铁素体不锈钢(表 1)。浇铸的钢锭经锻造得到的坯料尺寸为 30 mm 厚×240 mm 宽×(560~660)mm 长,对 3 块钢坯进行了 6 道次热轧,加热温度 1 070 ℃,终轧温度 851 ℃,热轧总压下率 88%,热轧板厚度为 3.5 mm,最后冷轧至 1.0 mm 薄板。

取冷轧板制成 1 mm 厚×20 mm 宽×28 mm 长的长方体试样,其中长度方向是轧制方向。用盐浴

表 1 实验的超低碳 Cr18 铁素体不锈钢成分/%

Table 1 Chemical composition of test ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18 /%

炉号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb	N
Cr18-1	0.009	0.53	0.41	0.022	0.011	17.53	0	0.29	0.007
Cr18-2	0.008	0.54	0.39	0.025	0.008	17.57	0.14	0.18	0.006
Cr18-3	0.008	0.56	-0.41	0.025	0.011	17.48	0.21	0	0.009

炉在 850 °C 条件下对冷轧试样进行 0 ~ 15 min 不同时间等温退火,根据回复再结晶阶段硬度曲线的变化判断再结晶的完成程度^[8],选择完成再结晶后继续保温 3 min 的试样,延长度方向切取 7 mm,对断面磨制到 1500# 砂纸后进行抛光处理,最后采用 FeCl₃: HCl : H₂O 质量比为 1 : 10 : 20 的浸蚀剂浸蚀,用金相显微镜拍照,按照 GB/T 6394-2002《金属平均晶粒度测定方法》进行晶粒度评级。

织构测试试样通过对退火处理得到的试样磨制到厚度的中心层面得到,织构测试采用德国 SIE-MENS 公司生产的 D5000 型 X 射线织构分析仪测试极图,得到 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 、 $\{211\}$ 极图数据和恒 $\varphi_2 =$

45° 截面 ODF 图信息。

取部分冷轧板进行罩式炉退火,退火工艺是在 850 °C 保温 3 min 左右,退火后钢板分别沿与轧向呈 0°、45° 和 90° 方向切取试样,加工成 JIS 13B 号标准拉伸试样,检测其力学性能和深冲性能指标。

2 实验结果及讨论

2.1 冷轧板的退火组织

晶粒平均直径和晶粒度级别分别为:图 1(a) Cr18-1 为 23.5 μm、8.5 级,图 1(b) Cr18-2 为 25.4 μm、8 级,图 1(c) Cr18-3 的组织为不太均匀的等轴晶,为 30.5 μm、7 级。

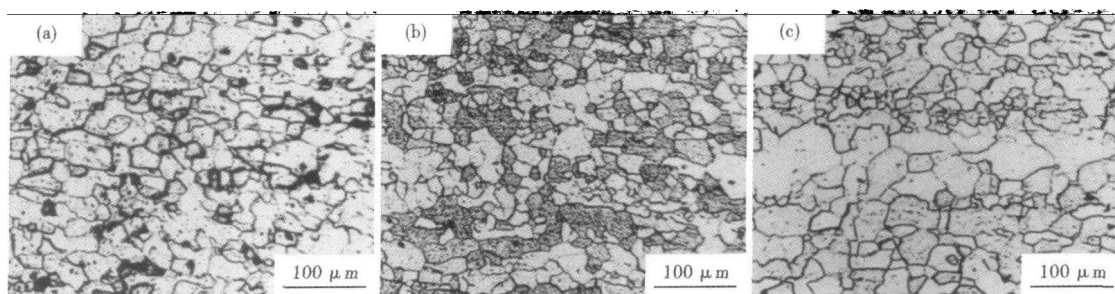


图 1 超低碳铁素体不锈钢 Cr18 退火冷轧板的组织:(a)Cr18-1,0.29Nb;(b)Cr18-2,0.14Ti-0.18Nb;(c)Cr18-3,0.21Ti

Fig. 1 Structure of annealed cold-rolled sheet of ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18: (a) Cr18-1, 0.29Nb; (b) Cr18-2, 0.14Ti-0.18Nb; (c) Cr18-3, 0.21Ti

添加 0.29% Nb 的 Cr18 铁素体不锈钢冷轧板晶粒最细小且均匀,因为 Nb 在钢中的存在方式有固溶和与钢中的 C、N 形成铌的碳氮化物析出相,固溶态的 Nb 原子在晶界处富集,而晶内较低,所以铌具有强烈地拖曳晶界移动能力,这种作用远高于固溶钛^[11]。另外,细小弥散分布的铌的碳氮化物 NbC、NbN、Nb(CN)能够钉扎位错和阻止亚晶界迁移,对晶粒长大具有强烈的阻碍作用^[9]。

2.2 退火再结晶织构

3 种成分 Cr18 不锈钢冷轧板在 850 °C 下退火,完全再结晶后保温 3 min 的典型试样厚度中心层面 ODF 图如图 2 所示,其 α 取向线 ($\langle 110 \rangle // R. D.$) 和 γ 取向线 ($\{111\} // N. D.$) 如图 3 所示。

图 2 可见,3 种成分退火冷轧板中心层的织构组成主要为较强的 $\{111\}$ 面织构和弱的

$\{001\}$ 面织构,而通过比较图 3(a) α 取向线,得到 Nb 单稳定的冷轧板中心层 $\{001\}$ 织构最强,而 Ti 单稳定冷轧板和 TiNb 双稳定冷轧板的中心层 $\{111\}$ 织构相对较强。对图 3(b) γ 取向线进行分析,Cr18-1 最强取向密度出现在 (80°、55°、45°) 位置上,强度为 10.544,而 Cr18-2 冷轧板中心层织构 $\{111\}$ 最强点出现在 (90°、55°、45°) 位置上,强度达到 13.883,

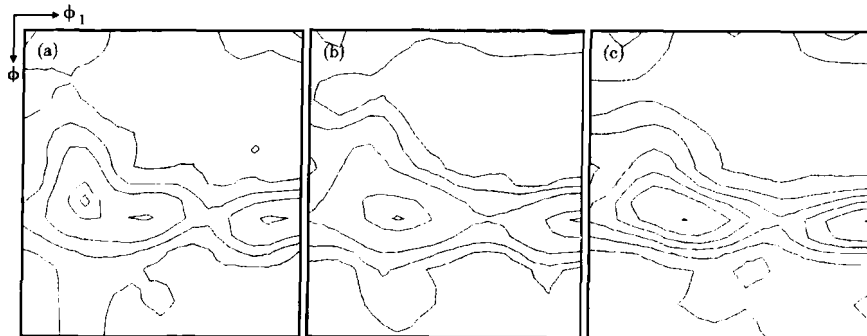


图 2 超低碳铁素体不锈钢 Cr18 退火冷轧板取向分布函数 $\varphi_2 = 45^\circ$ 截面图:(a)Cr18-1,0.29Nb;(b)Cr18-2,0.14Ti-0.18Nb;(c)Cr18-3,0.21Ti

Fig. 2 $\varphi_2 = 45^\circ$ sections of orientation distribution figure for annealed cold-rolled sheet of ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18: (a) Cr18-1, 0.29Nb; (b) Cr18-2, 0.14Ti-0.18Nb; (c) Cr18-3, 0.21Ti

Cr18-3与其他两者不同的是其 γ 纤维织构取向密度强度达到12.247。其原因可能是Nb对再结晶的抑制作用导致织构发展不充分,同时Cr18-1的原始 $\{001\}$ 面织构很强,在随后的退火保温阶段消失缓慢,仍留下一定比例损害成形性能的 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 取向织构。

2.3 冷轧板的力学性能和成形性能

超低碳Cr18不锈钢退火冷轧板的力学性能和成形性能实验数据如表2所示,Nb单稳定的Cr18-1退火冷轧板的屈服强度和抗拉强度最高,而Ti、Nb双稳定的Cr18-2其次,Ti单稳定的Cr18-3强度最低。

Nb-钢退火冷轧板组织晶粒尺寸较Ti-钢小,细晶强化明显。另外,由于晶格参数的不同NbC(0.447 nm)、TiC(0.436 nm),它们与bcc铁素体的共格度分别为NbC或Nb(CN)(1.103 nm)、TiC(1.076 nm),可见NbC或Nb(CN)引起晶格畸变最大,在颗粒周围应变场亦最大,所以在同等含量时,铌的强化效果最大。大量经验数据指出,Nb的强化作用约1.5倍于Ti。

加入Ti、Nb使得冷轧板的塑性得到提高,Ti的作用最明显(表2)。

表2 超低碳Cr18不锈钢退火冷轧板的力学性能和成形性能
Table 2 Mechanical properties and formability of annealed cold-rolled sheet of ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18

炉号	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A/ %	n值	r值
Cr18-1	288	461	34.3	0.235	1.12
Cr18-2	281	443	34.1	0.24	1.48
Cr18-3	261	421	35.5	0.24	1.55

从表2可以看出,3种成分退火冷轧板的板材应变硬化指数(n值)相近,而板材塑性应变比(r值)却差别很大,其中Ti单稳定化的冷轧板的r值最高达到1.55,Ti、Nb双稳定化的冷轧板r值也能达到1.48的水平,符合深冲用材的要求,Nb单稳定化的r值最低,成形性能最差。

3 结论

(1)Nb单稳定化Cr18冷轧板经退火处理后得到的再结晶晶粒细小,屈服强度和抗拉强度高,但成形性能差,r值低,达不到深冲用材的要求。

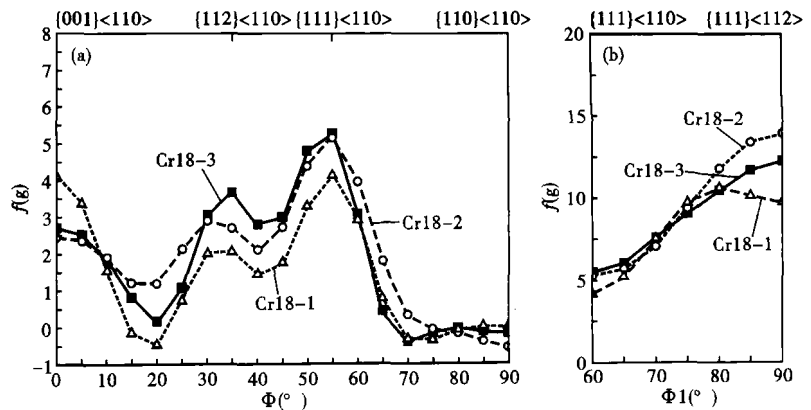


图3 Nb、Ti-Nb和Ti稳定化超低碳铁素体不锈钢Cr18退火冷轧板中心层织构:(a) α 取向线;(b) γ 取向线

Fig.3 Center layer texture of annealed cold-rolled sheet of ultra-low carbon ferrite stainless steel Cr18 by Nb, Ti-Nb and Ti stabilization: (a) α orientation texture; (b) γ orientation texture

(2)虽然Ti单稳定化Cr18冷轧板的再结晶晶粒尺寸最大,强度不高,但其塑性是最好的,有利于成形性能的 $\{111\}$ 面织构取向密度强度较高,其r值能达到1.55,符合深冲用材的要求。

(3)Ti、Nb双稳定化Cr18冷轧板的再结晶晶粒尺寸适中,其r值达到1.48,符合深冲用材的要求。

参考文献

- 1 Yazawa Y, Muraki M, Kato Y, et al. Effect of Chromium Content on Relationship Between r-value and $\{111\}$ Recrystallization Texture in Ferritic Steel. ISIJ International, 2003, 43: 1647
- 2 Ray R K, Jonas J J. Transformation Textures in Steels. International Materials Reviews, 1990, 35(1): 36
- 3 Inagaki Hirotsuke. Fundamental Aspect of Texture Formation in Low Carbon Steel. ISIJ International, 1994, 34(4): 313
- 4 Christian Klinkenberg, Dierk Raabe, Kurt Lucke. Influence of Volume Fraction and Dispersion Rate of Grain-Boundary Cementite on the Cold-Rolling Textures of Low-Carbon Steel. Steel Research, 1992, 63(6): 263
- 5 Nakamura T, Esaka K. Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steels and Other Metals. In Proc. Int. Conf., the Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, 1988, 2: 644
- 6 关小军, 周家娟, 胡小军, 等. 冷轧压下率对ELC-BH钢板织构的影响. 山东工业大学学报, 1998, 28(2): 160
- 7 李四军, 曲家惠, 刘刚, 等. 退火温度对铁素体区热轧IF钢冷轧板织构的影响. 钢铁, 2006, 41(6): 59
- 8 胡德林. 金属学及热处理. 西安: 西北工业大学出版社, 1994
- 9 孟繁茂, 付俊岩. 现代含铌不锈钢. 北京: 冶金工业出版社, 2004

孙丹(1982-), 女, 硕士研究生, 铁素体不锈钢织构和成形性能研究。

收稿日期: 2009-05-13