

连续退火温度对 390 MPa 级 IF 钢组织、织构和力学性能的影响

程晓杰¹ 李振¹ 蔡阿云¹ 乔建军¹ 孙建华¹ 赵爱民²

(1 首钢冷轧薄板有限公司,北京 101304;2 北京科技大学冶金工程研究院,北京 100083)

摘要 试验用 390 MPa 级 IF 钢(成分:0.005C,0.04Si,0.35Mn,0.095P,0.005S,0.030Nb,0.016Ti,0.036Al) 0.8 mm 冷轧板由 4 mm 热轧板冷轧生产。研究了连续退火温度 780 ~ 820 °C 对该 IF 钢组织、织构和力学性能的影响。结果表明,当连续退火温度由 780 °C 提高至 820 °C 时,IF 钢的屈服和抗拉强度分别由 282 MPa 和 432 MPa 降至 249 MPa 和 405 MPa,伸长率 A_{50} 和塑性应变比 r_m 分别从 37.2% 和 1.45 提高到 41.7% 和 1.84,具有较好的深冲性能;但随退火温度升高,平面各向异性指数 Δr 由 0.44 提高到 0.65,铁素体晶粒尺寸增大,组织均匀变差,同时变形织构 $\{112\} <110>$ 变弱,有利织构 $\{111\} <110>$ 增强, $\{001\} <110>$ 变弱,综合考虑退火温度控制在 820 °C 左右为宜。

关键词 IF 钢 连续退火温度 力学性能 组织 织构

Effect of Continuous Annealing Temperature on Structure, Texture and Mechanical Properties 390 MPa IF Steel

Cheng Xiaojie¹, Li Zhen¹, Cai Ayun¹, Qiao Jianjun¹, Sun Jianhua¹ and Zhao Aimin²

(1 Shougang Cold Rolling Co Ltd, Beijing 101304; 2 Metallurgical Engineering Research Institute, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Test 0.8 mm cold rolled sheet of 390 MPa IF steel (成分:0.005C, 0.04Si, 0.35Mn, 0.095P, 0.005S, 0.030Nb, 0.016Ti, 0.036Al) is cold-rolled by 4 mm hot rolled plate. The effect of continuous annealing temperature 780 ~ 820 °C on structure, texture and mechanical properties of the IF steel has been studied. Results show that as continuous annealing temperature increases from 780 °C to 820 °C, the yield and tensile strength of the IF steel decrease respectively from 282 MPa and 432 MPa to 249 MPa and 405 MPa, and the elongation A_{50} and plastic strain ratio r_m increase respectively from 37.2% and 1.45 to 41.7% and 1.84, it has better deep-drawing property; while with increasing annealing temperature the plane anisotropic index Δr increases from 0.44 to 0.65, grain size of ferrite increases and structure homogeneity becomes poor, and deformation texture $\{112\} <110>$ is weaker, favorable texture $\{111\} <110>$ is enhanced, texture $\{001\} <110>$ weakens, comprehensively considering, the suitable annealing temperature is about 820 °C.

Material Index IF Steel, Continuous Annealing Temperature, Mechanical Properties, Structure, Texture

IF 钢(Interstitial Free Steel)具有低屈强比、高伸长率、非时效性、高应变硬化指数(n)和高塑性应变比(r 值)等优良性能^[1-2]。近年来,随着减重节能的需要,高强度和良好的成型性的含 P 高强 IF 钢成为研究的热点。高强度 IF 钢的开发顺应了汽车工业减重、节能的发展趋势,同时也继承了 IF 钢的成分、工艺、组织和性能特点,广泛应用于汽车制造业,尤其是汽车外板、内板^[3-6]。

连续退火(CAL)由于其退火周期短、生产率高、成品带钢表面质量好等优点,目前在国内外得到广泛应用和发展^[7]。研究表明^[8-9],要获得综合性能优良的深冲钢,需要从成分控制及热轧、冷轧和退火工艺等方面入手,采取适当的工艺路线,最终得到强的再结晶织构及适度的铁素体晶粒。在成分和冷轧组织一定的条件下,调控连续退火工艺是获得最佳深冲性能最为重要一环。以首钢顺义冷轧 1850 机组生产的冷轧板为实验材料,研究了 CAL 退火温度对

390 MPa 级 IF 高强钢组织、性能和织构的影响。

1 实验材料与方法

实验材料为首钢顺义冷轧 1850 机组生产的高强 IF 钢冷硬板,热轧原料厚度为 4 mm,冷轧板厚度为 0.8 mm,热轧生产的终轧温度为 920 °C,卷取温度 750 °C,冷轧压下率 80%。化学成分如表 1 所示。

冷轧退火工艺如图 1 所示,固定升温速度和保温时间,采用 3 种退火温度为 780、800、820 °C,保温时间 120 s,平整延伸率 1.0%。

力学性能和基本成形性能检测在 MTS810 材料试验机上进行,分别执行 GB/T228-2002、GB/T5027-1999 和 GB/T5028-1999。退火板金相组织观察面

表 1 实验 IF 钢的化学成分 / %
Table 1 Analysis of test IF steel / %

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
0.005	0.04	0.35	0.095	0.005	0.036	0.03	0.016

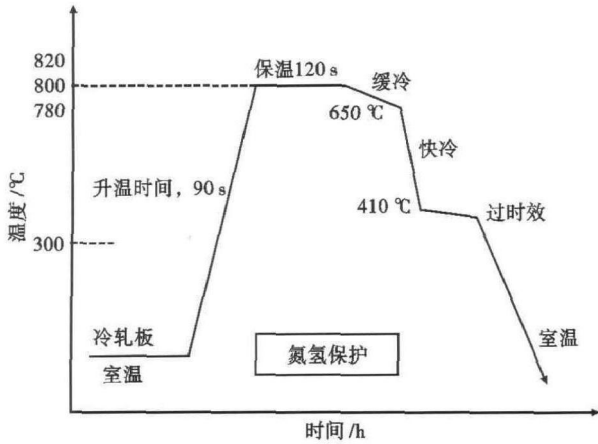


图 1 连续退火工艺曲线图
Fig. 1 Diagram of continuous annealing process

为平行于轧向的侧面,评定标准为 GB4335-1984。

结构测试试样取自退火板,用线切割加工,尺寸为 24 mm × 14 mm,长边平行于轧向。统一测试距表面 1/4 厚的织构。织构测试在 SIMENS D5000 X 射线衍射仪上采用反射法测 {200}、{211} 和 {110} 不完整极图,再由计算机采集的极图数据计算出 ODF 值,沿 ϕ_2 方向截取绘制 ODF 截面图,并根据试验数据用 Origin 软件绘制 α 和 γ 取向线。

2 实验结果和分析

2.1 力学性能随退火温度的变化

表征深冲板基本成型性能的重要参数分别是加工硬化指数(n 值)和塑性应变比(r 值),为获得较大的 r_m 值和较小的 Δr 值(平面各向异性性能指数),通常希望钢板中具有强的 {111} 织构^[10]。

由表 2 看出,随着退火温度的提高,屈服强度和抗拉强度略有下降,均满足 390 MPa 级 IF 钢性能要求, r 值、 n 值和伸长率增大。主要由于,一方面,退火温度升高使再结晶过程相对提前发生和完成,晶粒长大过程相对延长;另一方面,再结晶完成后继续升温、保温过程中晶粒长大热激活条件改善^[11]。上述两种影响均导致了 γ 纤维退火织构的增强,使得钢板的 r 值、 n 值和 δ 值升高。但是,退火温度升高,其 Δr 值也变大,特别是 800 °C 退火时其 Δr 值达到 0.67, Δr 值升高说明冲压加工时发生制耳缺陷的倾向增强,综合来看,采用退火温度控制在 820 °C 左右,可获得较佳的性能。

表 2 连续退火温度对 IF 钢冷轧板力学性能的影响
Table 2 Effect of continuous annealing temperature on mechanical properties of cold-rolled sheet of IF steel

退火温度/°C	R_{cl} /MPa	R_m /MPa	n	r_m	Δr	A_{50} /%
780	282	432	0.19	1.45	0.44	37.2
800	266	419	0.19	1.68	0.67	39.4
820	249	405	0.20	1.84	0.65	41.7

2.2 金相组织随退火温度的变化

由图 2 可见,退火后的金相组织由铁素体和游离渗碳体组成。铁素体晶粒的形状为等轴晶粒,游离渗碳体以颗粒状弥散于铁素体晶粒内部或晶界处。当 780 °C 120 s 退火时,已经基本完成再结晶,铁素体晶粒细小,且存在沿轧向拉长的晶粒;当 800 °C 退火时,铁素体晶粒明显长大,沿轧向拉长的晶粒减少,而等轴晶粒数量增加;820 °C 退火时,铁素体晶粒进一步长大,基本由等轴晶粒组成,沿轧向拉长的晶粒很少。表明提高退火温度有利于组织粗大均匀化,820 °C 退火对应的 r_m 值较 780 °C 退火时有明显提高,深冲性能得到改善,但是温度提高,其组织均匀性变差,因此宏观上表现为各向同性变差,即 Δr 增大。

2.3 织构随退火温度的变化

图 3 是根据 $\phi_2 = 45^\circ$ 的 ODF 图计算得出不同退火温度退火板 α 、 γ 取向线密度图。大量实验研究证明^[3,4],为了保证成品带钢的成形性,需要在实验钢中形成较强的 {111} 织构。对于深冲钢板,其特征织构主要表现在 α 取向线($\phi_1 = 0^\circ, \Phi = 0 \sim 90^\circ, \phi_2 = 45^\circ$)和 γ 取向线($\phi_1 = 0 \sim 90^\circ, \Phi = 55^\circ, \phi_2 = 45^\circ$)。

由图 3 可见,实验钢退火织构的 α 取向线织构较明显,以 {111} <110> 为主, {112} <110> 强度次之,而 {001} <110> 和 {110} <110> 织构较弱。在 α 取向线上,780 °C 退火时,变形织构 {112}

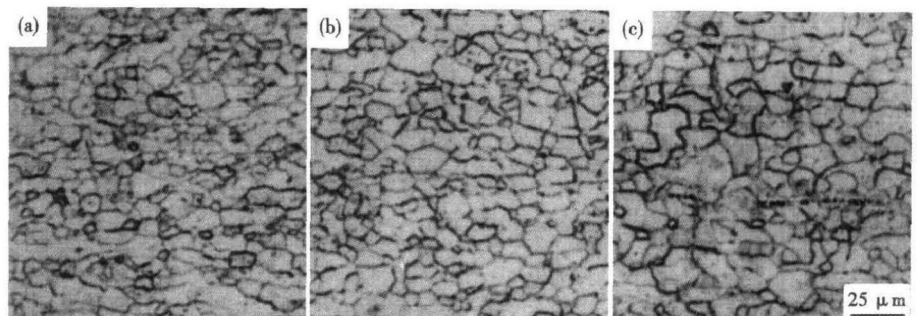


图 2 退火温度对 IF 钢冷轧板组织的影响:(a)780 °C;(b)800 °C;(c)820 °C
Fig. 2 Effect of annealing temperature on structure of IF steel cold-rolled sheet: (a) 780 °C;(b)800 °C;(c)820 °C

$\langle 110 \rangle$ 的取向函数值达到 4.24, 此时对应的钢板中还保留着较多的变形组织, 再结晶并未完全消除冷轧变形组织, 这与金相组织中的情况是一致的。而 800 °C 和 820 °C 退火时对应的 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构相对较弱, 强度接近, 表明提高保温温度可以消除变形组织, 当温度高于 780 °C 时退火温度对 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构的强度的影响程度降低。另外, 780 °C 退火时, 其 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 不利织构较强, 退火温度升高到 800 °C、820 °C, $\{001\} \langle 110 \rangle$ 不利织构减少。

γ 取向线上, 820 °C 保温对应的 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构强度最高, 达到 10.4, 由于强的 $\{111\}$ 织构对提高深冲性能有利, r_m 值达到了 1.84, 表明钢板有良好的抗减薄能力^[12]。780 °C、800 °C 退火时对应的 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构的强度依次降低, 表明提高退火温度对 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构强度的提高有一定作用。从图 3 还可看出, γ 取向线上 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 与 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构的强度差较大, 与之对应的是宏观上的 Δr 较大, 特别是 680 °C 退火时得到的 Δr 值较大, 达到 0.72, 对板材的成型性能不利。

3 结论

(1) 厚度 0.8 mm, 冷轧压下率 80% 的 390 MPa 级冷轧 IF 钢, 820 °C 120 s 退火后可以获得较好的深

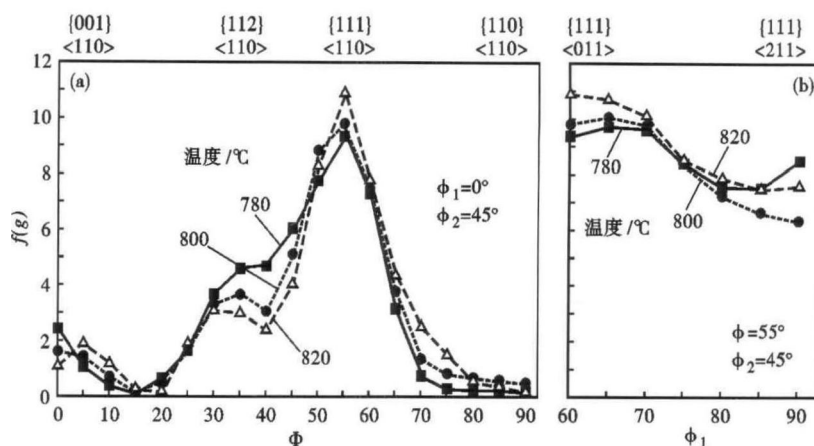


图3 退火温度对 IF 钢冷轧板组织的取向线密度分布的影响:(a) α 取向线;(b) γ 取向线

Fig.3 Effect of annealing temperature on orientation density distribution of IF steel cold-rolled sheet; (a) α orientation line; (b) γ orientation line

冲性能, r_m 值达 1.84, 伸长率 A_{50} 达 41.7%。

(2) 实验钢退火后的金相组织由等轴铁素体和游离渗碳体组成。随着退火温度的升高, A_{50} 、 r_m 、 Δr 值都逐渐升高, 显微组织中铁素体晶粒尺寸增大, 但其均匀性变差, 因此退火温度应控制在 820 °C 左右。

(3) 随着退火温度的提高, 退火板中的变形组织 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 变弱, 表明提高温度可以消除变形组织; 退火温度升高, 有利织构 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 增强, $\{001\} \langle 110 \rangle$ 变弱, 共同造成 r_m 升高。但 γ 取向线上的 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构和 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构的取向函数差较大, 对应着 Δr 值也较大。

北京科技计划项目“首钢高品质板材的开发及其产业化”(D07010300700701)

参考文献

- [1] 康永林. 现代汽车板工艺及成形理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
- [2] 郭艳辉, 王昭东, 李守卫, 等. IF 钢与 ELC 钢织构及性能的对比如[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(12): 1713-1716.
- [3] Ghosh P, Ghosh C, Ray R K, et al. Precipitation Behavior and Texture Formation at Different Stages of Processing in an Interstitial Free High Strength Steel[J]. Scripta Materialia, 2008, 59: 276-278.
- [4] Jeong W C. Effect of Hot-rolling Temperature on Microstructure and Texture of an Ultra-low Carbon Ti-interstitial-free Steel[J]. Materials Letters, 2008, 62: 91-94.
- [5] 李守华, 李俊. 汽车用高强度 IF 钢的研究进展[J]. 上海金属, 2007, 29(5): 66-70.
- [6] Gupta A K, Kumar D R. Formability of Galvanized Interstitial-free Steel Sheets[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 172(2): 225-237.
- [7] Debanshu B. Developments in Advanced High Strength Steels[J]. Iron & Steel Supplement, 2005, 40: 69-75.
- [8] Hutchinson B, Artymowicz D. Mechanisms and Modelling of Microstructure/Texture Evolution in Interstitial Free Steel Sheets[J]. ISIJ International, 2001, 41(6): 533-537.
- [9] 吕庆功, 陈光南, 周家琼, 等. 深冲钢板的主要织构对塑性应变比的影响[J]. 钢铁研究, 2000(5): 40-43.
- [10] Liu Y, Wang C, Jiang Q, et al. Individual Grain Orientation and Heterogeneous Deformation in Cold-deformed Interstitial-free Sheet Steel[J]. Journal of Materials Science and Technology, 2007, 23(5): 689-692.
- [11] 孙景宏. 微碳深冲钢板组织演变规律和工艺优化的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.
- [12] Wang Z, Zhang P, Guo Y, et al. Recrystallization Texture Characteristic and Drawability of a Warm Rolled and Cold Rolled Interstitial-free Steel[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2006, 15(6): 646-650.

程晓杰(1983-), 男, 博士(北京科技大学), 工程师, 2007 年北京科技大学(本科)毕业, 冷轧汽车板研发。

E-mail: chenxiaojiesg@163.com

收稿日期: 2013-12-08