

铁素体区热轧 Ti-IF 钢的组织 and 性能

景财年^{1,2} 王作成² 韩福涛² 张文平² 衣彦宏²

(1 山东建筑工程学院材料系, 济南 250014; 2 山东大学材料科学与工程学院, 济南 250061)

摘要 试验研究了含 0.007% 磷的普通 Ti-IF(无间隙原子)钢(0.004 5% C-0.07% Ti)和含 0.080% 磷的高强度 Ti-IF 钢(0.005 2% C-0.08% Ti) 24 mm 板在 800 ~ 680 °C 铁素体区经 4 道次热轧成 3 mm 板, 再经 750 °C 3 h 退火后的组织、二相粒子和机械性能。试验结果表明, 普通 Ti-IF 钢的拉伸强度为 270 MPa, 延伸率为 45%, 塑性应变比 r 值 1.309, 高强度 Ti-IF 钢的拉伸强度为 315 MPa, 延伸率 44%, r 值 1.098。两钢板为再结晶铁素体组织, 钢板中心组织较边部粗大, 但在高强度 Ti-IF 钢中有 FeTiP 二相粒子析出。

关键词 Ti-IF 钢 磷 铁素体区轧制 组织 二相粒子

Structure and Properties of a Ti-IF Steel Hot-Rolled in Ferrite Region

Jing Cainian^{1,2}, Wang Zuo Cheng², Han Futao², Zhang Wenping² and Yi Yanhong²

(1 Material Department, Shandong Institute of Architecture and Engineering, Jinan 250014;

2 School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061)

Abstract The structure, secondary phase precipitates and mechanical properties of 3 mm plates of 0.004 5C-0.07Ti traditional Ti-IF steel contained 0.007P and 0.005 2C-0.08Ti high strength Ti-IF steel contained 0.080P, which rolled by 4 pass in ferrite region between 800 °C and 680 °C from 24 mm plate slab, then annealed at 750 °C for 3 h, have been tested and studied. The results showed that the tensile strength of traditional Ti-IF steel was 270 MPa, the elongation 45% and the plastic strain ratio - r value 1.309, while the tensile strength of high strength Ti-IF steel was 315 MPa, the elongation 44% and the r value 1.098. The structure of plates of both steels was recrystallized ferrite of which at center was coarser than that near surface, but there were secondary phase precipitates FeTiP in the high strength Ti-IF steel.

Material Index Ti-IF Steel, Phosphorus, Rolling in Ferrite Region, Structure, Secondary Precipitate

Ti-IF 钢经铁素体区轧制和退火后, 可以得到较强的 {111} 织构, 从而保证钢板良好的深冲性能^[1,2]。本试验以两种不同磷含量的普通 Ti-IF 钢和高强 Ti-IF 钢为对象, 在铁素体区进行热轧试验, 研究了它们在模拟罩式退火后的组织、性能和二相粒子, 讨论了二相粒子对性能的影响。

1 试验材料和过程

试验用钢取自现场生产的粗轧板坯(表 1), 板厚 24 mm, 在实验室的 4 辊试验轧机上进行热轧试验, 板坯经 1000 °C 保温 1 h 后, 空冷至 800 °C, 在 800 °C 开轧, 按设定的工艺参数经 4 道次轧至 3 mm, 总压下量 88%, 终轧温度为 680 °C, 轧制时使用了润滑油。热轧后的钢板空冷至室温, 然后装入带保护气氛的退火炉中随炉加热到 750 °C, 保温 3 h 后取出空冷。从退火后的钢板上切取拉伸试样, 分别取与轧制方向成 0°, 45°, 90° 的 3 组试样, 测得力学性能后取其平均值作为钢板的力学性能。研究组织的试样取自板材平行轧面的

表 1 试验用 Ti-IF 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test Ti-IF steels /%

钢类	C	N	S	P	Mn	Si	Ti	Al
IF 钢	0.004 5	0.004 4	0.008	0.007	0.15	0.02	0.07	0.06
高强 IF 钢	0.005 2	0.003 1	0.008	0.080	0.23	0.09	0.08	0.06

侧面。

2 试验结果及分析

2.1 铁素体区轧制时的组织

退火后两种钢板都是再结晶的铁素体组织(图 1)。其中普通 Ti-IF 钢的中心层组织再结晶较完善, 近似于等轴晶, 而高强 IF 钢中心层再结晶不彻底, 有少量轧制变形组织存在。观察两种钢板的表层组织, 由心部向表层组织逐渐变小。其主要原因有:(1) 虽然轧制中使用了润滑油, 但不能完全避免表层的剪切变形, 在剪切变形的作用下, 表层组织的形变带多, 轧制储存能高, 有利于再结晶时晶粒的形核, 使表层晶粒细化;(2) 轧制后的冷却过程中钢板表层散热条件优于中心,

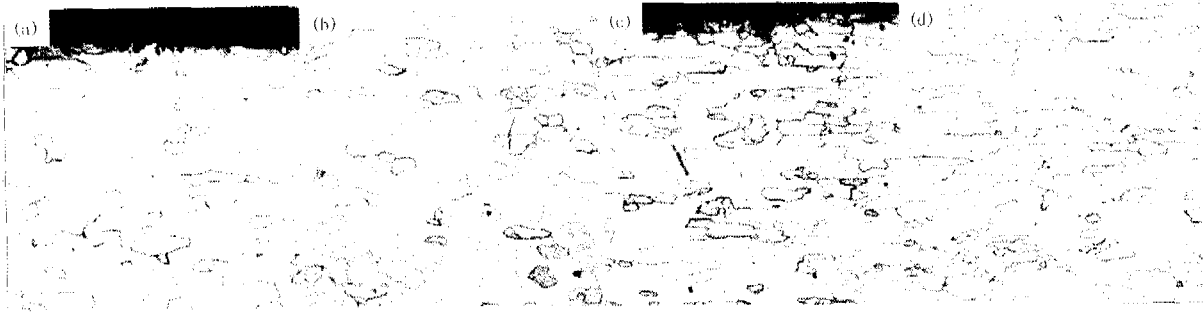


图 1 铁素体区轧制的普通 Ti-IF 钢(a,b)和高强度 Ti-IF 钢(c,d)的组织:(a,c)-板表层;(b,d)-板中心
 Fig.1 Structure of traditional Ti-IF steel (a, b) and high strength Ti-IF steel (c, d) rolled in ferrite region: (a, c)- plate surface; (b, d)- plate center

较低的温度可提高形核率,使冷却后的热轧板本身表层晶粒较内部细小,从而影响到退火后的晶粒。轧制钢板中类似现象在其它文献中也有报道^[3]。

2.2 铁素体区轧制时的性能

高强 Ti-IF 钢由于磷元素的固溶强化作用,使高强 Ti-IF 钢的屈服强度、抗拉强度都高于普通 Ti-IF 钢,但塑性应变比 r 值较普通 Ti-IF 钢低(表 2)。

表 2 两种热轧 Ti-IF 钢的力学性能对比

Table 2 Comparison of mechanical properties between two hot-rolled Ti-IF steels

钢类	屈服强度/ MPa	拉伸强度/ MPa	延伸率/ %	应变硬化 指数 n 值	塑性应变 比 r 值
普通	99	270	45	0.245	1.309
高强	130	315	44	0.217	1.098

2.3 两种钢板析出物的差异

添加钛元素后,将形成 TiN、TiC、Ti(CN)、Ti₄C₂S₂ 等二相粒子^[4,5]。对碳复型试样的观察和成分分析发现,两种钢中都存在二相粒子的析出,见图 2。IF 钢中二相粒子的析出温度高于此次试

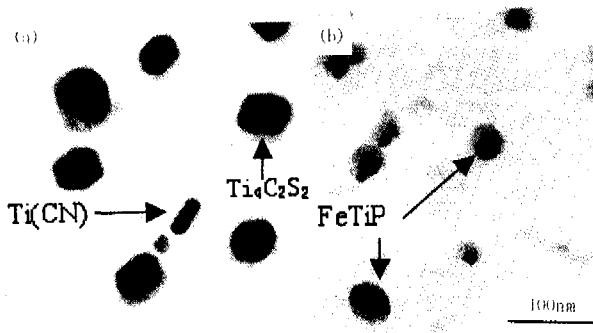


图 2 二相粒子的形貌,TEM:(a) 普通 Ti-IF 钢;(b) 高强 Ti-IF 钢

Fig.2 Morphology of secondary phase precipitates: (a) traditional Ti-IF steel; (b) high strength Ti-IF steel

验的轧制温度,在轧制前已形成,轧制过程不能影响它们的种类,但对于它们的数量和形态分布还是有一定的影响^[6]。在高强 Ti-IF 钢中除上述二相粒子外,还出现了新二相粒子 FeTiP 析出,FeTiP 相在不同退火过程中的作用,对再结晶过程中 {111} 结构的发展和钢板深冲性能的影响都有待于作更加深入的研究。

3 结论

(1) 铁素体区轧制可获得良好的深冲性能,两种 Ti-IF 钢的 r 值都大于 1。高强 Ti-IF 钢的屈服强度、抗拉强度大于普通 IF 钢,但 r 值较低。

(2) 由于高的磷含量,在高强 Ti-IF 钢中出现了 FeTiP 新相,有待于对 FeTiP 相作进一步的研究。

参考文献

- 1 Wang Z Ch, Wang F. Properties, Microstructure and Precipitate Morphology of Hot-Rolled Interstitial-Free (IF) Steel Sheets. *J. Mater. Sci. Technol.*, 2001, 17(1): 143
- 2 王作成,关小军,赵 罕.多道次热轧温度及压下率对热轧 IF 钢深冲性能的影响. *特殊钢*, 1999, 20(3): 21
- 3 陈庆军,康永林,谷海容,等. Nb、Ti 对高强度耐蚀钢组织和性能的影响. *特殊钢*, 2005, 26(1): 30
- 4 Yoshinaga N, Ushioda K, Akamatsu S, et al. Precipitation Behavior of Sulfides in Ti-added Ultra Low-carbon Steels in Austenite. *ISIJ International*, 1994, 34(1): 24
- 5 Carabajal S, Merlin J, Massardier V, et al. Precipitation Evolution during the Annealing of an Interstitial-free Steel. *Materials Science and Engineering A*, 2000, 281(1-2): 132
- 6 Regone W, Jorge Jr A M, Balancin O. Evidence of Strain-induced Precipitation of Ti₄C₂S₂ during Hot Deformation of Ti-only Stabilized IF Steel. *Scripta Materialia*, 2003, 48(6): 773

景财年(1973-),男,博士生,讲师,主要从事新钢种的开发和研究。