

冷轧压下量和退火温度对 Ti-IF 钢性能的影响

肖欢¹ 余驰斌¹ 余冲¹ 谢林峰¹ 樊雷² 董苑华² 罗海燕³

(1 武汉科技大学材料加工工程系, 武汉 430081; 2 广西柳州钢铁(集团)公司, 柳州 545002;
3 广西冶金研究院, 南宁 530023)

摘要 采用正交试验法研究了冷轧压下量(65%~80%)和退火温度(660~780℃)对 Ti-IF 钢($\% : 0.02\text{C}, 0.012\text{Si}, 0.10\text{Mn}, 0.013\text{P}, 0.011\text{S}, 0.064\text{Ti}, 0.002\text{ON}$)组织、力学和成形性能的影响。试验结果表明, $\geq 700\text{℃}$ 退火 Ti-IF 钢再结晶基本完成, 当压下量 75% 700℃ 退火时, 该钢具有较好的综合性能: 屈服强度 120 MPa, 屈强比 0.38, 应变硬化指数 n 值 0.25, 塑性应变比 r 值 1.65。

关键词 Ti-IF 钢 冷轧压下量 退火温度 成形性能

Influence of Cold Rolling Reduction and Annealing Temperature on Properties of Ti-IF Steel

Xiao Huan¹, Yu Chibin¹, Yu Chong¹, Xie Linfeng¹, Fan Lei², Dong Yuanhua² and Luo Haiyan³

(1 Department of Materials Processing Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;
2 Guangxi Liuzhou Iron and Steel (Group) Co., Liuzhou 545002;
3 Guangxi Metallurgy Research Institute, Nanning 530023)

Abstract Influence of cold rolling reduction (65%~80%) and annealing temperature (660~780℃) on structure, mechanical properties and formability of a Ti-IF steel ($\% : 0.02\text{C}, 0.012\text{Si}, 0.10\text{Mn}, 0.013\text{P}, 0.011\text{S}, 0.064\text{Ti}, 0.002\text{ON}$) has been studied by orthogonal experimental method. Test results show that with annealing at $\geq 700\text{℃}$, the recrystallization of Ti-IF steel is basically completed, with reduction 75% and annealing at 700℃ the steel has better comprehensive properties i. e. yield strength 120 MPa, yield-tensile ratio 0.38, strain-hardening exponent n value 0.25 and plastic strain ratio r value 1.65.

Material Index Ti-IF Steel, Cold Rolling Reduction, Annealing Temperature, Formability

Ti-IF(无间隙原子)钢深冲板之所以具有优良的冲压性能,除了成分因素之外,是由于在生产过程中使产品本身产生了大量的 $\{111\}$ 织构,有利于产品的冲压。IF 钢生产流程为连铸-热轧-酸洗-冷轧-退火-平整^[1],在这个流程中,冷轧过程使产品发生极大的塑性变形,产生大量的晶格畸变,使材料本身具有了极大的晶格畸变能,为之后的再结晶提供能量;热处理退火过程直接给予晶粒能量发生再结晶、晶粒的长大^[2]。

实验采用钢厂热轧生产线生产的 SPHC 板作为基板,参照钢厂冷轧生产线 SPCC-YT 生成工艺,采用正交实验的方法在实验室的条件下研究冷轧压下量以及热处理退火温度对于产品成形性能的影响。

1 实验方法

实验用 IF 钢热轧基板取自热轧生产线生产的 3.13 mm SPHC 板,奥氏体区轧制的终轧温度为 910

℃,其化学成分($\%$)为:0.02C、0.012Si、0.10Mn、0.013P、0.011S、0.0020N、0.001Nb、0.0003V、0.064Ti、0.028Al、0.029Cu、0.023Cr、0.0008Mo、0.014Ni。对于实验材料采用冷轧压下量和退火温度正交的实验方法,使用实验室直径为 180 mm 的二辊可逆轧机将实验材料分别轧制成 65%、70%、75%、80% 四种总压下量,轧后材料的厚度分别为 1.10、0.94、0.78、0.64 mm。将其中 65%、70%、75% 三种压下量的实验材料分别在实验室罩式退火炉中以 660、700、740、780℃ 四种退火温度进行退火;将 80% 压下量的材料以 700℃ 条件下进行退火。所有的退火过程中都是以氮气为保护气体,将材料加热到定制温度后保温 5 h 之后再随炉冷却^[3]。将完成退火的实验材料在实验室轧机下进行压下量小于 1% 的平整轧制之后,在 Zwick/roll 材料力学性能试验机上进行 n 值(拉伸应变硬化指数)、 r 值(塑性应变比)的测试。

2 实验结果及分析

2.1 冷轧压下量以及退火温度对于晶粒的影响

图 1 可见,在 660 ~ 780 °C 随温度的升高,退火后晶粒的尺寸明显变大。同时在 660 °C 退火时,材料的再结晶是不完全的,组织还存有部分细长条状的带状组织。从 700 °C 开始,材料中的细长条状的带状组织已基本消失,再结晶比较充分。然而随着压下量的增大,由于晶格畸变使退火时再结晶形核点增加,金属在退火后的晶粒相对较细。

图 2 是通过截线法测得的压下量以及退火温度对于晶粒尺寸的影响,从图 2 中可见,晶粒尺寸随着退火温度的增大而增大,随着压下量的增加而减小,并且退火温度对于晶粒尺寸的影响要比冷轧压下量的影响大得多。晶粒大小在 75% 和 80% 压下量的条件下差别不是很明显,这可能是由于随着冷轧压下量的增加,晶粒有所细化。但是由于保温时间为 5 h,给了晶粒很长的长大时间,故变化趋势并没有那么明显。

2.2 冷轧压下量及退火温度对于材料性能的影响

从图 3 可见,在同种压下率的条件下,随着退火温度的升高,由于晶粒尺寸的增大,材料的屈服强度、抗拉强度、屈强比都在减小,但材料伸长率增加。其中 660 ~ 700 °C 时变化非常明显,这是由于材料在 660 °C 再结晶没有发生完全,到 700 °C 才基本完成,在 660 °C 材料的屈服强度、抗拉强度以及屈强比都很高,不利于材料的冲压性能提高。从图 3 中还可以看出,温度相同时,随冷轧压下率进一步提高,材料屈服强度、抗拉强度、屈强比在数值上会发生波动,但是相对于退火温度而言,波动幅度很小,不是影响材料性能的主要因素。

图 4 为退火温度和冷轧压下量对于材料 n 值和 r 值的影响,在冷轧压下量相同的情况下,随着退火温度的升高,材料的 n 值、 r 值呈上升趋势,这是由

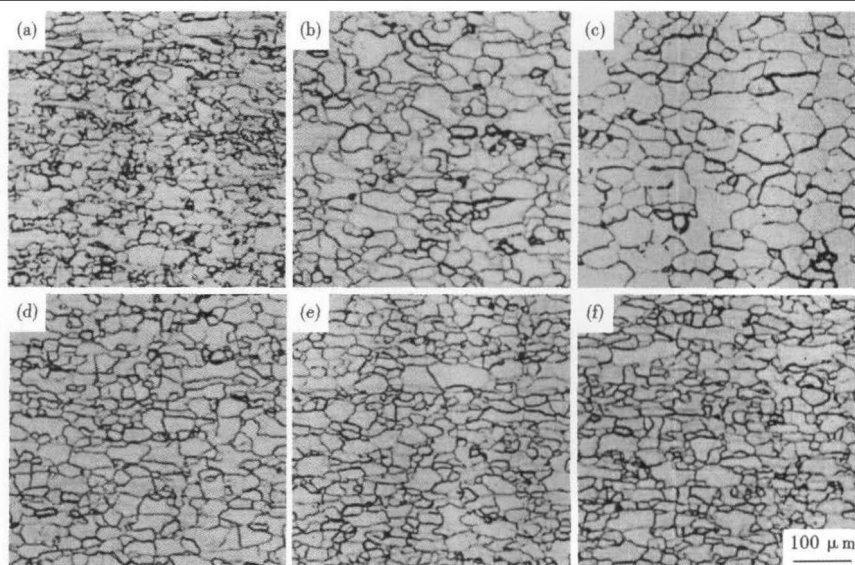


图 1 冷轧压下量和退火温度对 Ti-IF 钢组织形貌的影响:(a)660 °C,65%;(b)700 °C,65%;(c)780 °C,65%;(d)700 °C,70%;(e)700 °C,75%;(f)700 °C,80%

Fig. 1 Influence of cold rolling reduction and annealing temperature on structure morphology of Ti-IF steel: (a) 660 °C, 65%; (b) 700 °C, 65%; (c) 780 °C, 65%; (d) 700 °C, 70%; (e) 700 °C, 75%; (f) 700 °C, 80%

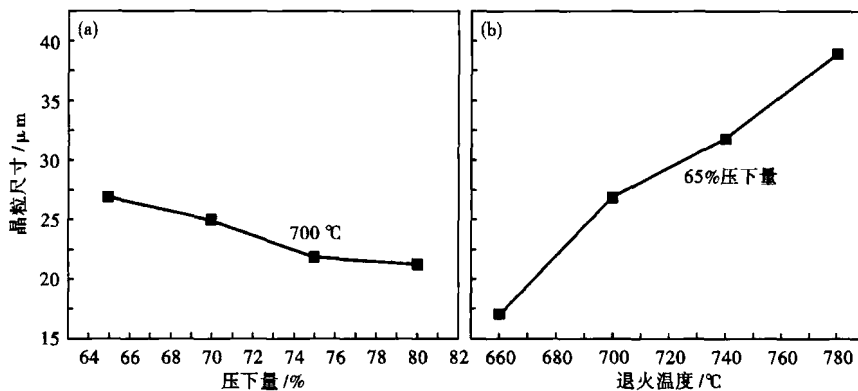


图 2 冷轧压下量(a)和退火温度(b)对 Ti-IF 钢晶粒尺寸的影响

Fig. 2 Influence of cold rolling reduction (a) and annealing temperature (b) on grain size of Ti-IF steel

于材料在退火过程中发生了回复、再结晶以及晶粒长大,冷轧所残留的 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 织构有所减弱, $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构转变为对于冷轧深冲性能有利的 $\{111\}$ 织构^[4]。由定向形核和定向生长理论,随着退火温度的升高,材料的再结晶驱动力增大,使得 $\{111\}$ 取向的晶粒在形核以及长大的过程中出现的几率增大,使得最终的材料中 $\{111\}$ 织构比例上升,从而使得 n 值、 r 值升高^[5]。其中在 660 ~ 700 °C 时变化较为明显,在 700 °C 之后 r 值仍然以较为缓慢的趋势上升,但 n 值总体变化趋于平稳。综合前面的结论,本实验钢种在 700 °C 退火较为适宜。

当退火温度相同,冷轧压下率不同的时候,随着

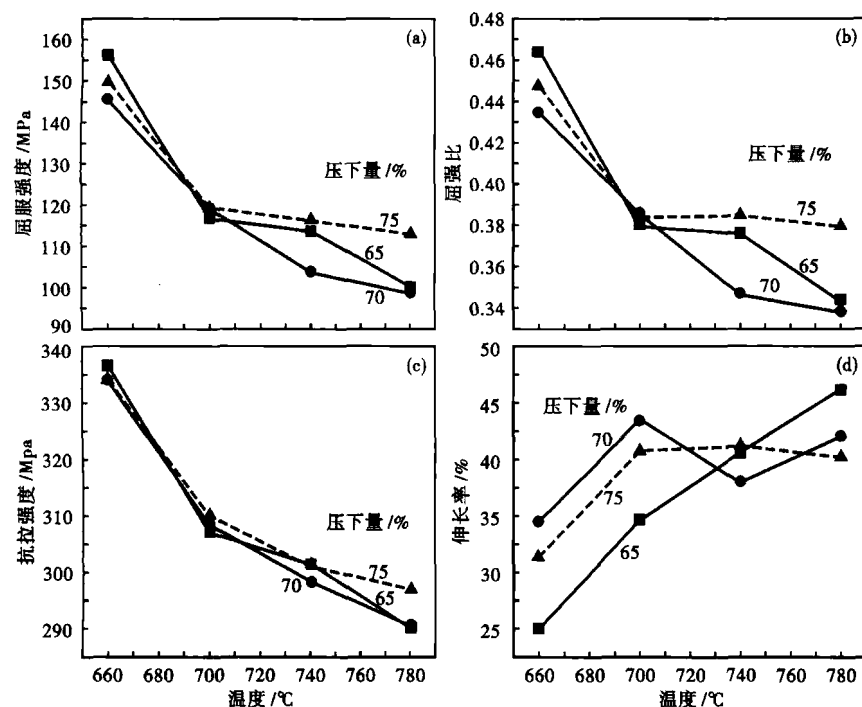


图3 冷轧压下量和退火温度对Ti-IF钢屈服强度(a)、屈强比(b)、抗拉强度(c)和伸长率(d)的影响

Fig.3 Influence of cold rolling reduction and annealing temperature on yield strength (a), yield-tensile ratio (b), tensile strength (c) and elongation of Ti-IF steel

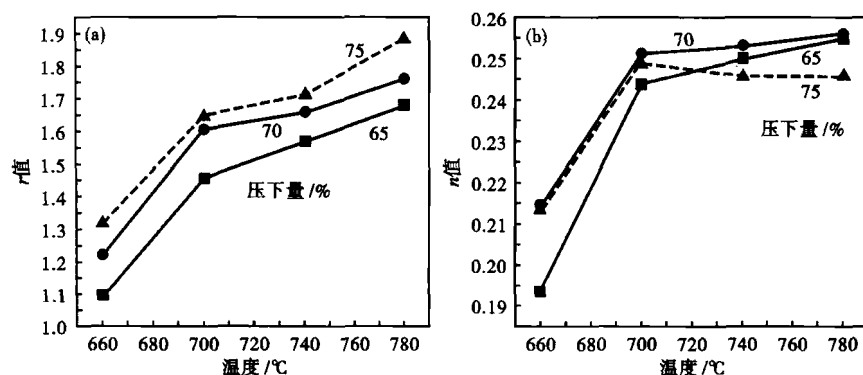


图4 压下量和退火温度对Ti-IF钢r值(a)和n值(b)的影响

Fig.4 Influence of cold rolling reduction and annealing temperature on r value (a) and n value (b) of Ti-IF steel

压下量的增大,材料的n值呈先增大后减小的趋势,在70%左右趋于最佳^[6],但整体变化幅度不大。r值也是先增大,在75%左右的时候趋于最佳,之后r值反而减小,这与相关文献相符。造成r值下降的原因可能是由于冷轧会产生<111>、<112>等织构,由于<112>织构的储能小于<111>织构,固在退火过程中会部分转化为<111>织构从而提高成形性能。随着冷轧压下量的增大,<112>织构的增加幅度大于<111>织构。对于本次试验材料,当冷

轧压下量大于75%时,<112>织构的强度过大,从而使r值反而降低^[7]。

3 结论

(1)实验材料的退火温度在 ≥ 700 °C,才能保证材料的再结晶过程基本完成。

(2)实验材料700 °C的退火以及75%的压下量是最佳的工艺方案,继续提高退火温度,对于材料的r值提升幅度不大,不利于实际生产的经济效益;继续增大压下量,材料的r值反而会有所降低。

2012 国家自然科学基金项目“基于CSP热轧带钢生产HiB取向硅钢组织演变和织构形成机理的研究”,项目编号51274155

参考文献

- [1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [2] 崔忠圻,覃耀春. 金属学与热处理(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 殷安民,程知松,江海涛. Ti-IF钢罩式退火过程中再结晶组织演变规律研究[J]. 热加工工艺,2009,38(24):12-16.
- [4] 崔虎,关建东,康永林. CSP生产SPHC板材的冷轧退火工艺优化[J]. 材料开发与应用,2009,24(1):43-46.
- [5] 付薇,岳军,刘雅政,等. 罩式退火工艺对Nb+Ti-IF钢性能的影响[J]. 鞍钢技术,2010(1):44-46.
- [6] 王昭东,李自刚,何晓明,等. 冷轧压下量对铁素体区热轧Ti-IF钢冷轧板的再结晶组织特点和深冲性能的影响[J]. 金属学报,2000,36(6):613-617.
- [7] 罗裕厚,杨学高,彭鑫. 压下率对冷轧深冲板性能的影响[J]. 轧钢,2001,18(2):12-14.

肖欢(1988-),男,硕士研究生,武汉科技大学2010级在读硕士研究生,冷轧深冲板结构及性能研究。

E-mail:298310730qq.com

收稿日期:2012-10-28