

文章编号:1007-2829(2005)03-0024-05

IF 钢铁素体区热轧工艺参数对深冲性能的影响

刘战英^{1,2}, 王 涛¹, 刘相华², 王国栋²

(1. 河北理工大学 冶金与能源学院; 2. 东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004)

关键词: IF 钢; 热轧; 压下率; 深冲性能

摘 要: IF 钢具有优良的深冲性能是由于其具有纯净的钢质和强的 $\{111\}$ //ND 织构。而在铁素体区热轧时, 可以通过控制轧制及退火工艺参数得到强的 $\{111\}$ 织构。IF 钢铁素体区热轧实验采用润滑轧制, 采取了不同的压下制度、温度制度、退火制度, 并且对深冲性能进行了检测, 比较了不同工艺参数对深冲性能的影响规律。通过 ODF 织构分析, 与检测结果一致。

中图分类号: TG 385.4 **文献标识码:** A

0 引言

反映 IF 钢深冲性能的指标是塑性应变比, 即 r 值。 r 值越高其深冲性能越好。而铁素体区轧制压下率、终轧温度、轧后退火温度对 IF 钢的深冲性能有重要的影响^[1]。本文通过 IF 钢铁素体区轧制实验, 研究了压下率、终轧温度、退火温度对 r 值的影响。通过对实验试件的检测, 随着压下率的增加 r 值提高; 终轧温度对 IF 钢的深冲性能也有影响, r 值随着终轧温度的下降而升高; 再结晶退火是 $\{111\}$ 再结晶织构形成的必要条件, 是提高 r 值的必要手段, 在实验范围内退火温度提高 r 值提高。作者通过实验, 以热轧 IF 钢 16 毫米中间坯为原料, 进行 IF 钢的铁素体区轧制实验, 对实验结果从显微组织和织构形成方面进行了分析, 并对实验试件做了 ODF 织构分析, 分析结论与实验结果一致。

1 实验方法与方案

实验所用的 IF 钢取自宝钢生产的连铸坯, 其化学成分(质量分数, %)为: 0.03C, 0.30Si, 0.16Mn, 0.009P, 0.003S, 0.063Al, 0.002N, 0.0663Ti, 0.001Nb。截取厚度为 80mm 的连铸坯, 在电阻加热炉中加热, 出炉温度为 1150℃, 经粗轧机轧制成厚度为 16mm 的中间坯。

将 16mm 厚的中间坯做为铁素体区轧制原料, 在实验室由 $\Phi 300$ mm 二辊阶梯式轧辊上进行轧制。轧制线速度为 0.25m/s。实验轧制方案如表 1 所示。试验过程中, 总变形率取两个水平, 分别为 75.0%、87.5%; 终轧温度取两个水平, 分别为 650℃、550℃; 轧后将试件进行退火和随炉冷却, 退火炉为 FYD-1 型氢气保护退火炉, 退火温度为 750℃、850℃。热处理后试样按照国家标准 GB5027-85 制备试样^[2], 并在 Instron-4206 电子式万能试验机上进行拉伸试验, 通过实测和记录的拉伸数据, 计算得到实验 IF 钢的塑性应变比 r 值和加工硬化指数 n 值。并用 RINT2500/PC 型 X 射线衍射仪测定织构, 进行织构 ODF 定量分析。同时, 观察了金相显微组织。

2 实验结果及分析

按上述实验方案进行冷轧、退火, 然后按照国家标准进行试样加工和拉伸, 并进行检测。得到的不同的工艺条件的 r 值和 n 值, 如表 2 所示。

收稿日期: 2004-11-26

基金项目: 河北省自然科学基金项目, 503351

作者简介: 刘战英(1949-), 男, 河北理工大学冶金与能源学院教授, 博士。

表 1 IF 钢铁素体区轧制实验方案照表

工艺参数		
压 下 率	75.0%	87.5%
终 轧 温 度	550℃	650
热处理方式	随炉冷却	750℃退火

表 2 r 值和 n 值的实验结果照表

序号	终轧温度(℃)	压下率(%)	退火温度(℃)	r	n
1	550	87.5%	750	1.32	0.341
2	550	87.5%	850	1.38	0.331
3	550	75.0%	750	1.13	0.338
4	550	75.0%	850	1.20	0.333
5	650	87.5%	750	1.30	0.341
6	650	87.5%	850	1.29	0.342
7	650	75.0%	750	1.11	0.338
8	650	75.0%	850	1.30	0.339
9	550	87.5%	随炉冷却		
10	550	75.0%	随炉冷却		
11	650	87.5%	随炉冷却		
12	650	75.0%	随炉冷却		

表 2 中分别表示总压下率为 75. 0%、87. 5% 时,不同终轧温度和不同退火温度下的平均塑性应变比 r 值和平均加工硬化指数 n 值。

随炉冷却时,由于拉伸试件极易被拉断,因而 r 值、 n 值均无法测得,工艺参数对深冲性能的影响要依靠显微组织照片、织构分析等手段进行分析。750℃退火时,压下率和终轧温度对深冲性能都有影响;550℃终轧时, r 值随压下率的升高而升高;650℃终轧时, r 值随压下率的升高而升高;87. 5%压下率时, r 值随终轧温度的升高无明显变化;75. 0%压下率时, r 值随终轧温度的升高无明显变化。850℃退火时,压下率和终轧温度对深冲性能都有影响;550℃终轧时, r 值随压下率的升高而升高;650℃终轧时, r 值随压下率的升高而无变化;87. 5%压下率时, r 值随终轧温度的升高而降低;75. 0%压下率时, r 值随终轧温度的升高而降低。不同退火制度的两组试样相比,850℃退火比 750℃退火具有较高的 r 值。

通过实验,可得出如下结果:(1)实验范围内的高温退火制度能使 r 值提高;(2)变形参数压下率、终轧温度都对深冲性能有影响。在实验范围内 r 值随着压下率的增加而提高。

3 显微组织分析

3.1 随炉冷却显微组织

下面是不同压下率条件下,550℃、650℃随炉冷却的显微组织照片。

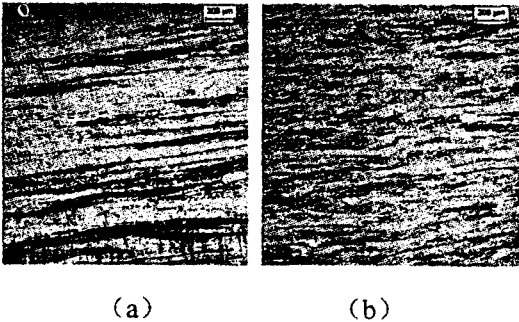


图 1 随炉冷却试样显微组织

(a)为650℃终轧时87.5%压下率随炉冷却试样显微组织,(b)为650℃终轧时75%压下率随炉冷却试样显微组织。

由照片可见,随炉冷却过程完全处在回复阶段。回复只是引起空位的扩散、位错的滑移和攀移、亚晶界的推移等少量位错的变化,没有发生晶粒取向的变化,晶粒仍保持着变形后的取向^[4]。可以凭借随炉冷却试样的ODF图绘制的织构取向线,显示出变形阶段晶粒取向发生的变化,从而划定了晶粒取向的哪些变化发生在变形阶段、哪些变化发生在退火阶段,为 $\{111\}/\text{ND}$ 织构形成机理分析的进行打下基础。

3.2 退火后的显微组织

不同压下率条件下、不同终轧温度条件、750℃退火和850℃退火的显微组织照片,见图2所示。(a)为550℃终轧时75%压下率750℃试样显微组织;(b)为550℃终轧时75%压下率850℃试样显微组织;(c)为650℃终轧时75%压下率750℃试样显微组织;(d)为650℃终轧时75%压下率850℃试样显微组织。

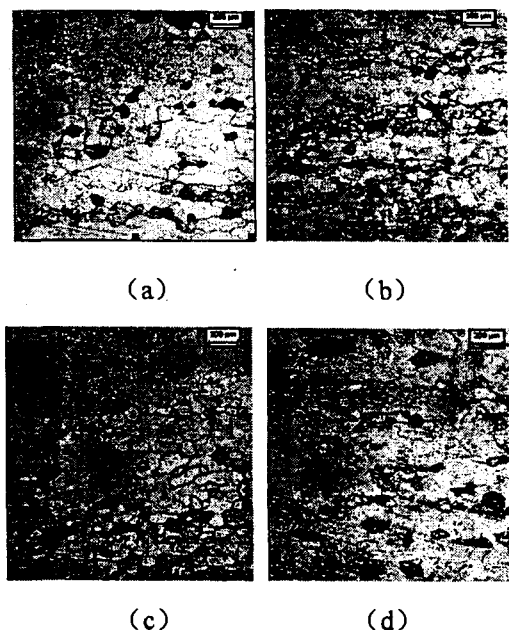


图2 随炉冷却试样显微组织

从图2中(a)、(b)、(c)、(d)可以看出,在两种退火温度的显微组织中,晶粒都变为等轴晶粒,都发生了再结晶。照片中再结晶后的晶粒因位向不同,受腐蚀程度不同,呈现不同的颜色。颜色相近的晶粒位向相近,退火显微组织中有位向相近的晶粒存在。

4 织构分析

图3中的取向线根据相应的ODF(Orientation Distribution Function)图绘出^[3],分为三组:随炉冷却、750℃退火、850℃退火。从三组取向线中可以看出:未经退火的随炉冷却, α 取线上峰值在 $\{223\} \langle 110 \rangle$ 附近,偏离有利于深冲性能的 $\{111\} \langle 110 \rangle$,经过退火的两组,峰值则接近 $\{111\} \langle 110 \rangle$,850℃退火时峰值达到 $\{111\} \langle 110 \rangle$, $\{111\}$ 织构整体强度亦得到增高,除此之外,适当的退火还抑制不利于深冲性能的 $\{001\} \langle 110 \rangle$,可见退火是必不可少的一个工艺环节。压下率、终轧温度对 $\{111\}$ 织构强度有重要影响,在750℃退火时,2/550/750试样的总强度为10.7,4/550/750试样的总强度为9.0,2/650/750试样总强度为11.7,4/650/750试样的总强度为9.0;在850℃退火时,2/550/850试样的总强度为17.0,4/55/850试样的总强度为12.8,2/650/850试样的总强度为13.0,4/650/850试样的总强度为8.7。(试样规格表示法:轧后厚度/终轧温度/退火温度)550℃终轧时, $\{111\}$ 织构强度随压下率的升高而升高,650℃终轧时, $\{111\}$ 织构强度随压下率的升高无明显变化。在850℃退火时亦是如此。

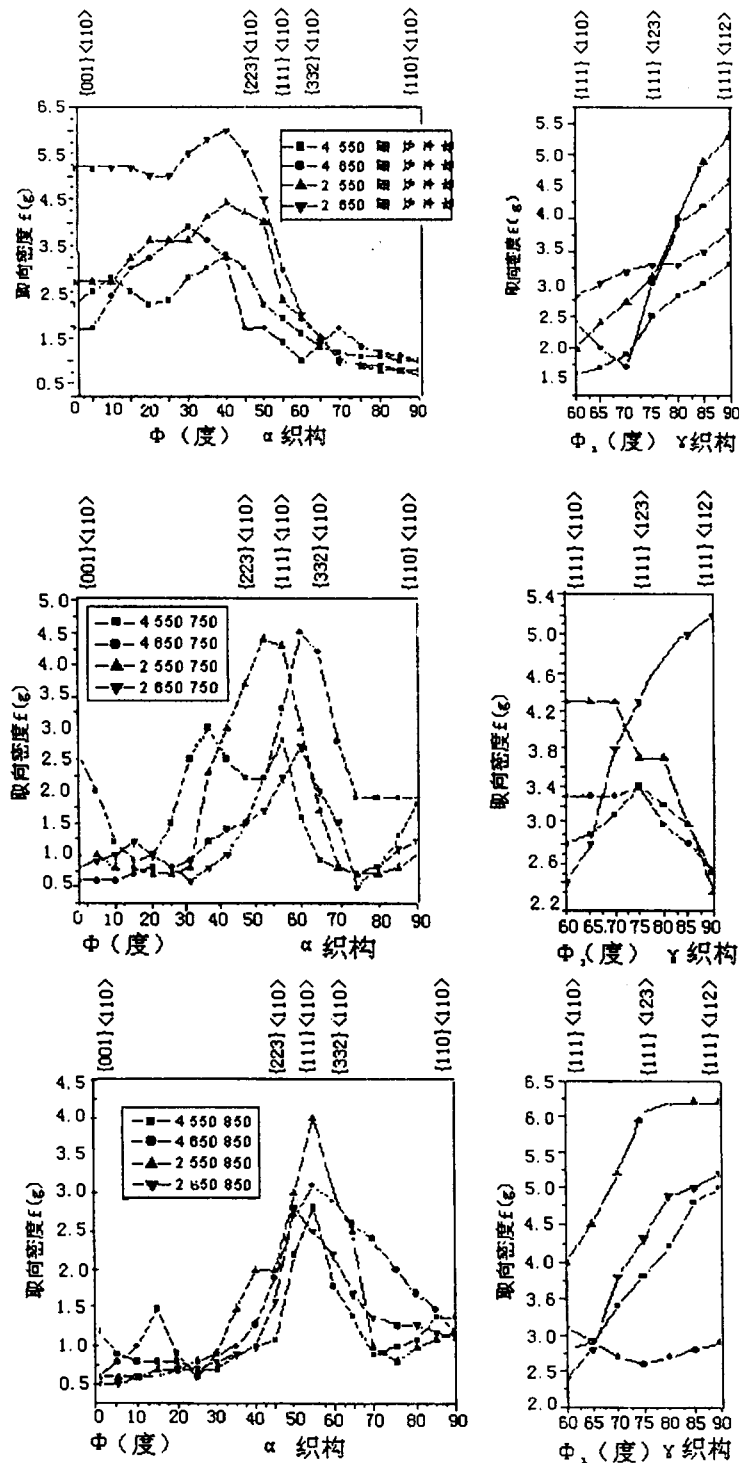


图3 不同工艺条件下试样的取向线

织构分析表明: $\{111\}$ 织构强度随着压下率变化的规律与终轧温度有关, 低的终轧温度 $\{111\}$ 织构强度随压下率增加而提高, 高的终轧温度 $\{111\}$ 织构强度随压下率增加先增后趋于稳定而略有降低。这一结果与实验 r 值反映出来的规律相符。

4.1 压下率的影响

压下率增加使更多的滑移系启动, 晶粒发生转动。体心立方晶体最容易滑移的是 $\{110\}$ 晶面, 在晶体结

构中 $\{110\}$ 晶面与 $\{111\}$ 晶面夹角为 35° 。当压下率增加时, $\{110\}$ 滑移面趋向与轧制力垂直的方向(即钢板的板面方向)旋转。通常认为 $\{111\}$ 取向与钢板表面的夹角在 $\pm 5^\circ$ 之间则形成了 $\{111\}$ 织构。当 $\{110\}$ 滑移面旋转到与钢板表面成 40° 至 30° 之间,即形成了 $\{111\}$ 织构。所以压下率增加时容易使 $\{110\}$ 滑移面旋转的角度增大, $\{110\}$ 滑移面与钢板表面的夹角较小时,则使其继续旋转困难。因此压下率增加,使大量的 $\{110\}$ 滑移面持续发生旋转,而旋转到一定的角度时则相对稳定下来,形成了有利深冲成形的取向。

4.2 终轧温度的影响

终轧温度对深冲性能有一定的影响,在实验的终轧温度范围内,较低的终轧温度使得深冲性能有所提高,但不是很明显。在铁素体区轧制可以形成有利深冲的取向,但是在较低的变形温度下,增加滑移系统的临界切应力,延缓滑移系的启动,需要有较大的变形量。较高的变形温度,可以使变形量减小,而得到 $\{111\}$ //ND织构。在随后的退火过程,在较低的变形温度下由于滑移产生的层错能高,容易形核形成再结晶织构^[5]。

4.3 退火温度的影响

在实验范围内的退火温度,高温退火比低温退火 r 值提高。较高的退火温度促进晶粒的再结晶。晶粒变形后具有不同的取向是因为在变形过程中,不同的滑移系参与变形, $\{111\}$ //ND织构形成后能够稳定的存在,并使 $\{111\}$ //ND织构周围具有高的位错密度,高温退火时使变形基体中的 $\{111\}$ //ND晶粒优先形核并且快速长大,因而使 $\{111\}$ //ND得到增强^[6]。

5 结论

通过IF钢的铁素体区轧制实验,并对轧制试样进行检测,在实验的范围内得出如下结论:深冲性能随着压下率的增加而提高,较高的压下率 r 值较大。压下率由75%提高到87.5%可使 r 值提高0.18左右;终轧温度对IF钢的深冲性能也有影响, r 值随着终轧温度的下降稍有提高,但是不明显;再结晶退火是 $\{111\}$ 再结晶织构形成的必要条件,高温退火可使变形铁素体充分再结晶,因此 r 值提高。

参考文献:

- [1] 康永林. 现代汽车板的质量控制与成形性[M]. 北京:冶金工业出版社,1999:115-117
- [2] 国家标准局. GB 5027-85,金属薄板塑性应变比(r 值)试验方法,北京:1985.
- [3] 毛卫民,张新明. 晶体材料织构定量分析[M]. 北京:冶金工业出版社,1995:95-102.
- [4] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金出版社,263.
- [5] S. S. 葛列里科. 金属和合金的再结晶[M]. 北京:机械工业出版社,1985:63-330.
- [6] Y. B. Park, D. N. Lee, G. Gottstein, Evolution of recrystallisation textures from cold rolling texture in interstitial free steel[J]. ISIJ International, 13, 4, 1997:289 ~ 297

The Effect of Ferrite-region Hot Rolling on Drawability of IF Steel

LIU Zhan-ying^{1,2}, WANG Tao², LIU Xiang-hua¹, WANG Guo-dong¹

(1. College of Metallurgy And energy, Hebei Polytechnic University, Tangshan Hebei 063009, China)

2. The State Key Lab of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)

Key words: IF steel; hot rolling; reduction; drawability

Abstract: IF steel has good drawability because of its high purity and intensive $\{111\}$ //ND texture, the intensive $\{111\}$ //ND texture can be acquired by controlling the parameters of α -region hot rolling and annealing. The experiment discussed in this paper was carried out at different reduction, different rolling temperature and annealing temperature with lubrication, after that, deep drawability was measured, and the influence of the parameters of α -region hot rolling and annealing was analysed also. ODF was used in the analysis of textures, which is reliable with test.