

高应变速率平面压缩 00Cr22Ni5Mo3N 双相钢的变形抗力和组织变化

毛伟强^{1,2} 宋志刚² 王华昆¹ 郑文杰² 陈斌² 宋红梅³ 李步明⁴

(1 昆明理工大学材料与冶金学院,昆明 650093; 2 钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081;

3 宝钢股份公司技术中心,上海 201900; 4 宝钢上海第一钢铁有限公司,上海 200431)

摘要 采用 Gleeble 3800 模拟试验机对锻态 00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢进行 900 ~ 1 200 °C,应变速率为 10 s⁻¹ 和 50 s⁻¹ 的平面应变试验。结果表明,双相钢的峰值变形抗力随变形温度升高急剧降低,并且当应变速率由 10 s⁻¹ 提高到 50 s⁻¹ 时双相钢的峰值应力提高 40 ~ 60 MPa; 在 1 000 ~ 1 200 °C 变形,钢中铁素体组织发生动态回复和再结晶,奥氏体通过位错的聚集、亚晶界形成发生部分软化。

关键词 00Cr22Ni5Mo3N 双相钢 高应变速率 峰值应力 回复 再结晶

Resistance to Deformation and Structure Evolution of Dual Phase Steel 00Cr22Ni5Mo3N Plane-Strain Compressing with High Strain Rate

Mao Weiqiang^{1,2}, Song Zhigang², Wang Huakun¹, Zheng Wenjie², Chen Bin², Song Hongmei³ and Li Buming⁴

(1 School of Materials and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093; 2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 3 Technical Center, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 201900; 4 Shanghai No 1 Steel Co Ltd, Baosteel, Shanghai 200431)

Abstract The plane-strain compression test with strain rate 10 s⁻¹ and 50 s⁻¹ at 900 ~ 1 200 °C for forged dual phase stainless steel 00Cr22Ni5Mo3N has been carried out by Gleeble 3800 simulation test machine. Test results showed that with increasing deformation temperature the peak resistance to deformation of the dual phase steel abruptly decreased and as the strain rate increased from 10 s⁻¹ to 50 s⁻¹ the peak stress of dual phase steel increased by 40 ~ 60 MPa; with deformation at 1 000 ~ 1 200 °C the recovery and recrystallization of ferrite structure in steel occurred where austenite partially softened by accumulation of dislocation and formation of subgrain boundary.

Material Index Dual Phase Steel 00Cr22Ni5Mo3N, High Strain-Rate, Peak Stress, Recovery, Recrystallization

双相钢 00Cr22Ni5Mo3N^[1-3] 在氯化物和 H₂S 中的耐应力腐蚀性能优良,由于它含氮,耐点蚀性能也很好,是目前应用最普遍的双相不锈钢材料^[1]。针对热连轧生产 00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢薄板工艺开发的需要,进行高应变速率条件下该钢流变应力及其组织变化的研究,为 00Cr22Ni5Mo3N 热连轧工艺制订提供必要的数据及分析^[4]。

1 试验材料和方法

试验材料用 200 kg 真空感应炉冶炼,经锻造、热轧成形,化学成分见表 1。将板材加工成尺寸 (mm) 为 20 × 15 × 10 的平面应变压缩试样。试验过程中为减少接触面的摩擦,避免不均匀变形,在试样两端面加钼片进行润滑。热变形在真空中进行,

将热模拟加工后的试样经砂轮粗磨,金相砂纸细磨,抛光机抛光,用 40 °C 的 CuCl₂、HCl、酒精和水混合溶液腐蚀。

在 900 ~ 1 200 °C 的温度范围内进行平面应变压缩试验。应变速率为 10 s⁻¹ 和 50 s⁻¹,试样厚度由 10 mm 压缩至 3 mm,变形量为 70%。试验温度为 900 ~ 1 100 °C 的试样,以 10 °C/s 的速率将试样加热到试验温度,保温 3 min,进行平面应变压缩;试验温度为 1 150、1 200 °C 的试样,以 10 °C/s 的速度加热至试验温度,保温 30 s,进行平面应变压缩。对试验后的试样立即进行水淬。试样压缩参数见表 2。

2 试验结果及分析讨论

2.1 平面应变压缩状态下的应力应变曲线

表 1 试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test steel / %

项目	C	Cr	Ni	Mo	N	Si	Mn	S	P
试样	0.02	22.5	5.43	3.18	0.12	0.47	1.89	0.01	0.024
标准	≤0.03	21.0 ~ 23.0	4.5 ~ 6.5	2.5 ~ 3.5	0.08 ~ 0.20	≤1.00	≤2.00	≤0.03	≤0.035

表 2 00Cr22Ni5Mo3N 双相钢平面压缩参数

Table 2 Plane compression parameters for dual phase steel 00Cr22Ni5Mo3N

变形温度/ ℃	变形量/ %	保温时间/ s	应变速率/ s^{-1}	
			(1)	(2)
900 ~ 1 100	70	180	10	50
1 150 ~ 1 200	70	30	10	50

图 1(a) 是不同变形温度、变形量 70%、应变速率 $10 s^{-1}$ 的应力应变曲线。从图 1(a) 可见, 当试样达到一定应变时, 变形抗力出现一个峰值; 随变形温度升高, 变形抗力逐渐减小, 当变形温度 $\geq 1 000$ °C 时, 应力变化较平缓, 试样产生稳态塑性变形。

图 1(b) 是不同变形温度、变形量 70%、应变速率 $50 s^{-1}$ 的应力应变曲线。由图 1(b) 可见, 当试验温度较低时, 与应变速率为 $10 s^{-1}$ 的应力应变曲线相似, 变形抗力出现峰值; 随着试验温度的升高, 其

应力变化比较平缓, 试样产生稳态塑性变形, 但是, 其流变应力出现了波浪形的变化。因为在如此高的应变速率下, 两相中的应变分布将变得很不均匀, 铁素体获得的应变受到奥氏体的阻碍而出现不连续的软化, 从而使得应力应变曲线发生如图 1(b) 所示的波浪形的状态。

00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢试样峰值变形抗力与温度的关系见图 1(c)。由图 1(c) 可见, 试样的峰值变形抗力随变形温度的升高而急剧降低; 而且, 应变速率对其峰值应力有明显影响, 应变速率为 $50 s^{-1}$ 试样的峰值应力比应变速率为 $10 s^{-1}$ 试样有明显提高, 在各试验温度, 其差值达到 40 ~ 60 MPa, 可见, 应变速率对其峰值应力的影响十分显著。

2.2 组织分析

平面应变压缩试样的应力、应变分布是不均匀

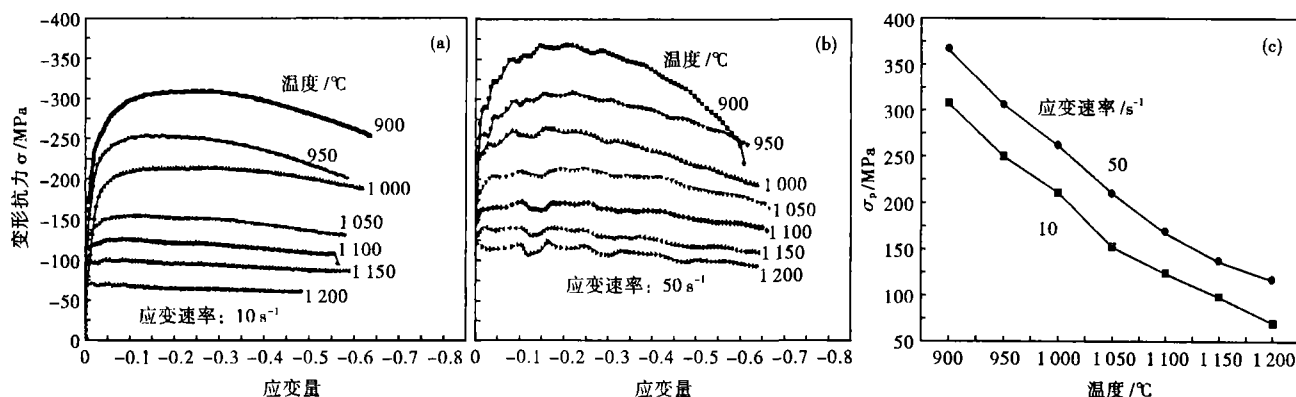


图 1 00Cr22Ni5Mo3N 双相钢应力应变曲线: (a) $10 s^{-1}$; (b) $50 s^{-1}$ 以及温度对钢的峰值变形抗力的影响 (c)

Fig. 1 Stress-strain curves of dual phase steel 00Cr22Ni5Mo3N: (a) $10 s^{-1}$; (b) $50 s^{-1}$; and effect of temperature on peak resistance to deformation of steel (c)

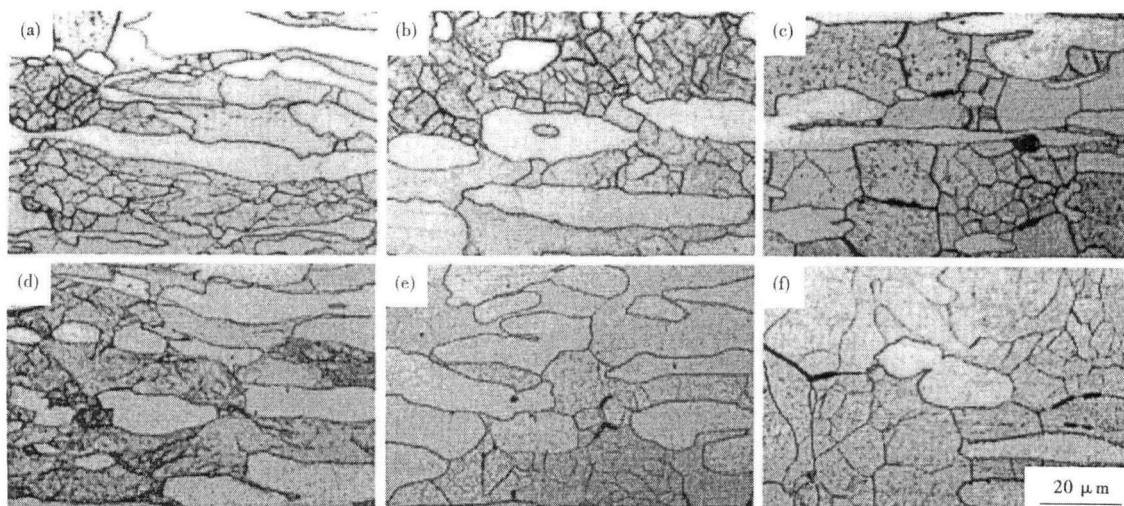


图 2 00Cr22Ni5Mo3N 双相钢组织: (a, b, c) $50 s^{-1}$; (d, e, f) $10 s^{-1}$; (a, d) 1000 °C; (b, e) 1100 °C; (c, f) 1200 °C; 基体- α , 岛屿状组织- γ

Fig. 2 Morphology of structure of dual phase steel 00Cr22Ni5Mo3N: (a, b, c) $50 s^{-1}$; (d, e, f) $10 s^{-1}$; (a, d) 1000 °C, (b, e) 1100 °C, (c, f) 1200 °C; matrix- α ; island- γ

的,实际应变等同名义应变的部位位于厚度中央水平线、压头边缘附近的位置^[5]。本试验对不同应变速率试样上该部位的组织观察结果表明,在1 000 ~ 1 200 °C 双相不锈钢中的铁素体组织均发生明显的回复及再结晶,而奥氏体组织没有明显变化,只是略有长大(图 2)。

为此进行了透射电镜的观察,如图 3、图 4 所示。图 3(a)为铁素体完全再结晶的形貌。图 3(b、c)为1 100 °C 变形过程中,奥氏体的动态变化情况,可见,即使是在1 100 °C,00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈

钢中的奥氏体也可以产生位错的聚集和形变亚晶。图 3(b)为变形过程中,位错进行移动并聚集形成位错墙,图 3(c)为奥氏体亚晶形貌。图 4 为1 200 °C 10 s^{-1} 应变速率变形的试样奥氏体在透射电镜的观察结果,由图 4 可见,在1 200 °C 高温变形过程中,部分奥氏体可以通过位错的移动、聚集、层错的形成及亚晶的形成进行软化,如图 4(a)、(b)为位错发生聚集成位错墙的明场、暗场形貌;图 4(c)显示了变形过程中层错的形成,而且位错在运动中可以跨过层错进行移动,由图 4(d)可见,在1 200 °C 动态变

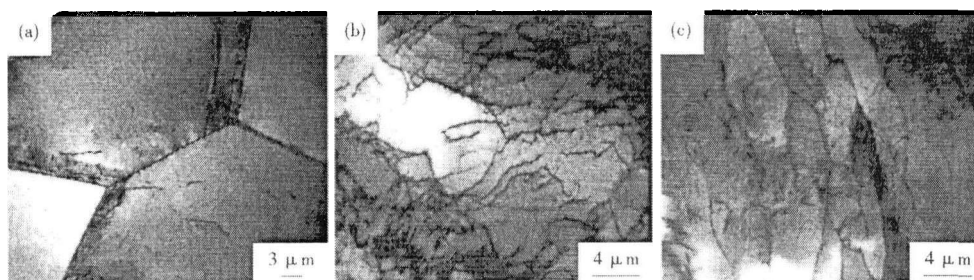


图 3 1 050 °C 变形铁素体再结晶组织(a);1 100 °C 变形奥氏体位错聚集(b)和亚晶界(c)形貌,TEM

Fig. 3 Recrystallization structure of ferrite deformed at 1 050 °C (a); morphology of dislocation accumulation (b) and subgrain boundary (c) of austenite deformed at 1 100 °C, TEM

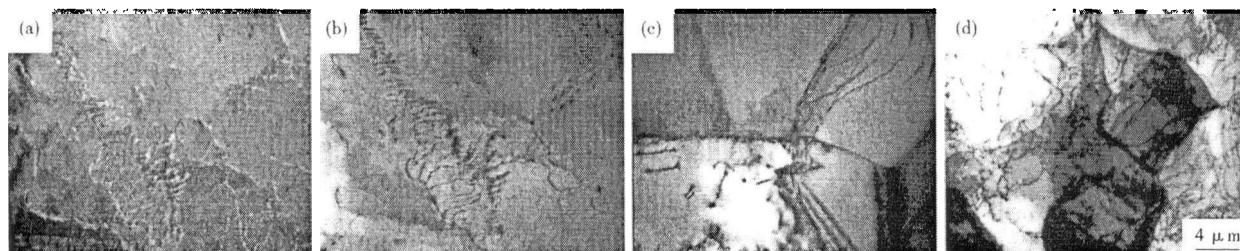


图 4 1 200 °C 奥氏体:位错聚集明场(a)和暗场(b);层错(c);亚晶界(d)

Fig. 4 Morphology of austenite deformed at 1 200 °C: accumulation of dislocation-bright field (a) and black field (b); layer structure (c); subgrain boundary (d)

形时,奥氏体还可以形成亚晶进行软化。

3 结论

(1)在 10 s^{-1} 和 50 s^{-1} 的高应变速率变形条件下,00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢试样的峰值变形抗力随变形温度的升高而急剧降低,并且应变速率为 50 s^{-1} 的试样其峰值应力比 10 s^{-1} 的试样有显著提高,在各试验温度下,其差值达到 40 ~ 60 MPa。

(2)在1 000 ~ 1 200 °C 变形温度区间,铁素体组织均可以发生完全动态回复及再结晶软化。在1 000 ~ 1 200 °C 高温变形过程中,部分奥氏体可以通过位错移动、聚集、层错的形成及形变亚晶的形成进行软化。

参考文献

- 1 吴 玖. 双相不锈钢. 北京:冶金工业出版社,1999
- 2 刘承志,王立新,李志斌,等. 含氮不锈钢生产工艺研究. 中国冶金,2004,14(5):6
- 3 李志斌,王立新,李国平,等. 提高含氮不锈钢的高温热塑性研究. 铸造设备研究,2001(4):10
- 4 王一德,李国平,王立新,等. 00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢板材的生产工艺. 特殊钢,2001,22(5):36
- 5 Karjalainen L Pentti, Oksman Kristiina, Steen Petteri. Comparison of the Thermomechanical Treatments of Certain Steel Conducted at a Pilot Plant and by Physical Simulation, Proceedings of the International Symposium on Physical Simulation. Delft, Duffers Scientific, Inc., 1992:43

毛伟强(1980-),男,研究生,2003年湖南科技大学毕业,不锈钢研究。

收稿日期:2007-03-26