

· 组织和性能 ·

温度和变形参数对 Q345C 钢连铸坯热塑性的影响

王生朝¹ 赵刚¹ 鲍思前¹ 石海宁² 樊磊² 罗海燕³

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 柳州钢铁集团公司技术中心, 柳州 545002;

3 广西冶金研究院合金材料研究所, 南宁 530023)

摘要 用 Gleeble-2000 热模拟机研究了 Q345C 钢 250 mm × 1 300 mm 连铸坯热履历-连铸坯冷却过程和冷坯加热过程(300 ~ 1 320 ℃)的温度变化,应变速度(3 ~ 3 × 10⁻⁴ s⁻¹)和降温速率(1 ~ 20 ℃/s)对热塑性的影响。结果表明,Q345C 钢从 1 320 ℃ 冷却到钢的Ⅲ脆性区,冷却速度越高,钢在Ⅲ脆性区塑性越差;在 600 ~ 850 ℃,连铸坯冷装加热后的热塑性要好于从液态直接冷却到这个温度区间的热塑性;在钢的Ⅲ脆性区内,钢的热塑性随变形速率增大而变好。

关键词 Q345C 钢 连铸坯 热塑性 断面收缩率 变形速度

Effect of Temperature and Deformation Parameters on Hot Ductility of Concasting Slab of Steel Q345C

Wang Shengzhao¹, Zhao Gang¹, Bao Siqian¹, Shi Haining², Fan Lei² and Luo Haiyan³

(1 College of Material and Metallurgical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;

2 Technology Center, Liuzhou Iron and Steel (group) Co, Liuzhou 545002;

3 Alloy Materials Research Institute, Metallurgical Research Institute of Guangxi, Nanning 530023)

Abstract The effect of heating history- temperature change in cooling process of concasting slab and in heating process (300 ~ 1 320 ℃) of cold slab, strain rate (3 ~ 3 × 10⁻⁴ s⁻¹) and cooling rate (1 ~ 20 ℃/s) on hot ductility of 250 mm × 1 300 mm concasting slab of steel Q345C has been studied by using Gleeble-2000 thermal/strain simulation testing machine. Results show that cooling from 1 320 ℃ to Ⅲ brittle zone, the higher cooling rate the lower hot ductility of steel in Ⅲ brittle zone; at 600 ~ 850 ℃, the hot ductility of concasting slab with cold charge practice is better than that with practice of direct cooling from liquid to this temperature region; and in Ⅲ brittle zone of steel, with increasing deformation rate the hot ductility of steel becomes better.

Material Index Steel Q345C, Concasting Slab, Hot Ductility, Reduction of Area, Deformation Rate

钢的高温热塑性不仅受变形温度的影响,同时热履历、变形速率、冷却速度等其他因素也对钢的热塑性有很大的影响。根据这些影响因素可以判断出不同条件下钢的脆性产生原因,由此可制定出合理的加工工艺制度,提高产品的质量^[1,2]。

本文通过模拟 Q345C 钢在冷装后加热时的热塑性变化以及在Ⅲ脆性区 750 ℃ 不同变形速率和冷却速率对钢的热塑性的影响,分析了钢在不同条件下的脆化原因,并指出了避免产生这种脆化的生产工艺条件。

1 实验材料和设备

取 Q345C 连铸坯试样,连铸坯断面尺寸 250 mm × 1 300 mm,试样切割位置分布在铸坯的中部(以铸坯宽度的中点为原点,在中点左右 1/4 铸坯宽度范围内)且靠近铸坯上表面。试验所需试样尺寸为 Φ10 mm × 120 mm,两端螺纹螺距为 1.5 mm,螺纹长

15 mm,螺纹方向为顺时针,化学成分见表 1。

实验设备采用 Gleeble-2000 试验机,测试时试样处在真空条件下。

2 实验方案

2.1 连铸坯冷装和热塑性恢复的模拟

在 Gleeble-2000 热模拟试验机上,以 10 ℃/s 的加热速率加热到 1 320 ℃,保温固溶处理 3 min,然后以 3 ℃/s 的速率降温到 300 ℃,在该温度下保温 5 min,然后 10 ℃/s 的加热速率分别加热到测试温度 600、650、700、750、800、850、900、950、1 000、1 050 ℃。在不同测试温度下保持 3 min 后,以 3 × 10⁻³ s⁻¹ 的应变速率进行拉伸试验,如图 1 所示,直到拉断。测得拉伸试样的断面收缩率(RA),拉断后立即

表 1 实验用钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ti	V	Nb
0.086	0.18	1.412	0.018	0.01	0.036	0.039	0.003	0.001	0.027

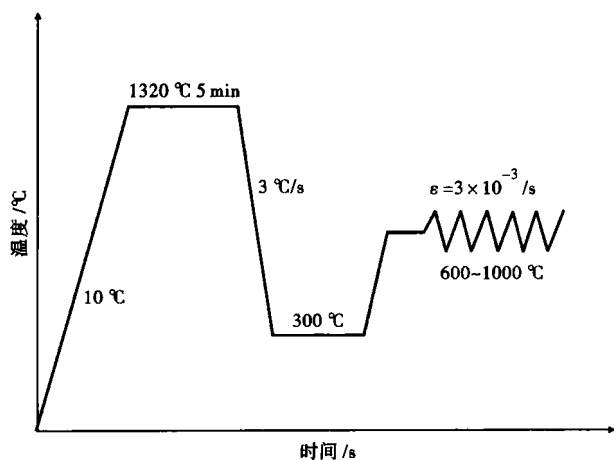


图 1 模拟冷装加热过程热加工工艺曲线

Fig. 1 Curve of heating process of slab simulating cold charge practice

对断口附近区域大量喷水冷却,保留高温组织。

2.2 变形速率对钢的热塑性的影响

考察不同拉伸速率对钢的热塑性的影响,以 10 °C/s 的加热速率加热到 1 320 °C,保温固溶处理 5 min,然后以 3 °C/s 的速率降温到 750 °C,在该温度下保持 3 min 后,分别以 3 、 3×10^{-1} 、 3×10^{-2} 、 $3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 的应变速率进行拉伸试验,直到拉断。测得拉伸试样的断面收缩率 RA ,拉断后立即对试样断口附近区域大量喷水冷却,保留高温组织。

2.3 降温速率对钢的热塑性的影响

测试降温速率对试验钢的热塑性的影响,以 10 °C/s 的加热速率到 1 320 °C,保温固溶处理 5 min,然后分别以 1、5、15、20 °C/s 的速率降温到 750 °C,在该温度下保持 3 min 后,以 $3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的应变速率进行拉伸试验,直到拉断,拉断后立即对试样断口附近区域大量喷水冷却,保留高温组织,测得拉伸试样的断面收缩率 RA 。

3 结果与分析

3.1 不同热履历钢的热塑性

由图 2“冷装”曲线可以看出,连铸坯冷却后再加热温度低于 900 °C 时,钢的断面收缩率较低,均在 60% 以下,塑性比较差;当再加热温度高于 900 °C 后,断面收缩率开始大幅度上升,加热至 950 °C 时,断面收缩率已经达到 80% 以上;随着加热温度的继续上升,断面收缩率变化不大,基本维持在 80% 以上,在最高实验加热温度 1 050 °C 时,断面收缩率达到最大值 85.2%。

由图 2 同时可见,模拟连铸曲线为从 1 320 °C 直接冷却到测试温度所得曲线。可以看出,两种温度

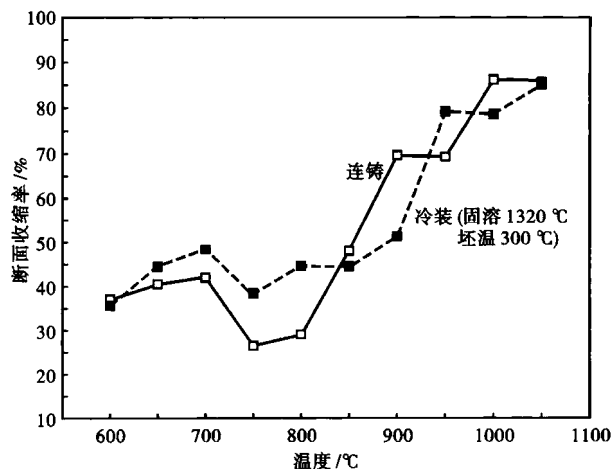


图 2 模拟冷装工艺和连铸直接冷却的 Q345C 钢板坯热塑性曲线

Fig. 2 Curves of hot ductility of steel Q345C slab simulating cold charge practice (1) and concasting direct cooling

制度下,Q345C 钢在 850 °C 以下的断面收缩率较低,钢处于脆性区。在这个范围内,模拟冷装后加热条件下 Q345C 钢的热塑性要好于模拟连铸矫直过程条件。这是因为,冷装过程中,连铸坯组织经历 $\gamma \rightarrow \alpha$ 和 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变过程,而 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变过程对 γ 晶粒有细化作用,提高了钢的塑性;而模拟连铸过程中钢的组织并未经过这一相变过程,仍保持粗大的晶粒组织,塑性相对较差。

3.2 变形速率对热塑性的影响

图 3(a) 为 Q345C 钢在 750 °C 变形温度下应变速率与断面收缩率的关系曲线。由图 3(a) 可以看出,随着变形速度的升高,钢的断面收缩率也提高。当变形速率低于 $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 时,断面收缩率低于 60%,塑性较差;当变形速率为 $3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 时,断面收缩率最低,为 22.2%。当变形速率达到 $3 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以上时,钢的塑性很高,在 3/s 时达到最大值。产生这种变化的原因在于,当变形速率低时, $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变受到抑制, α 相薄膜厚度小,延性低,受到应力作用时,应变集中于 α 相,局部应变的结果是在晶界上形成裂纹, RA 较低;而快速应变可以加快 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变,同时,作为母相 γ 也呈同步变形,难以在 α 相产生应力集中,所以 RA 随着变形速率的增大而提高。

3.3 降温速率对钢的热塑性的影响

图 3(b) 为 Q345C 钢的断面收缩率同降温速率的变化关系。由图 3(b) 可以看出,随着降温速率的升高,钢的断面收缩率降低,钢的塑性变差。这是由于冷却速度很低时, $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变充分进行, α 相均匀形成于 γ 晶内和晶界,变形在晶内和晶界均匀发生,且微合金元素充分析出,晶粒细化,热塑性较好;

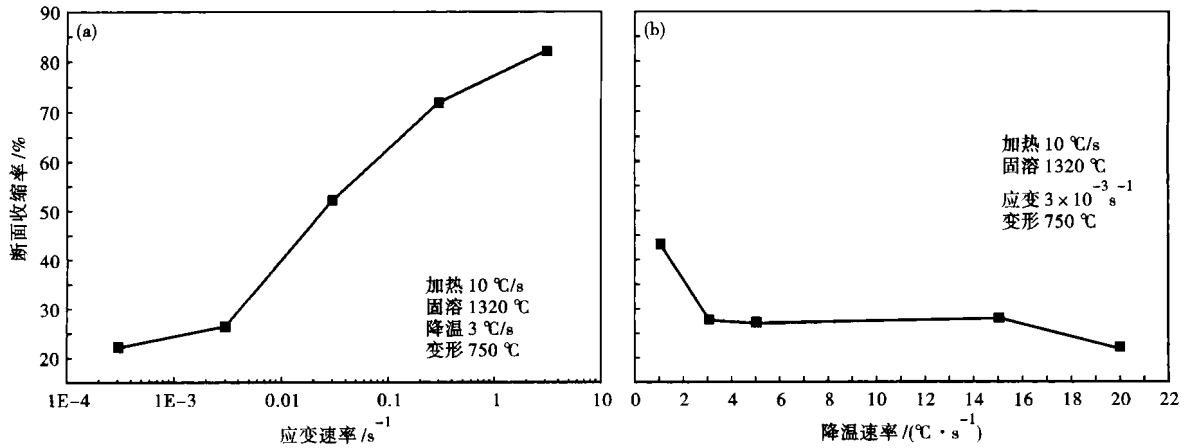


图 3 应变速率(a)和降温速率(b)对 Q345C 钢板坯热塑性的影响
Fig.3 Effect of strain rate (a) and cooling rate (b) on hot ductility of steel Q345C slab

随着冷速增大,过冷度增大,γ→α相变温度下降,γ晶内析出的α相量减少,当冷速继续增大时,α相呈网状分布于γ晶界,高温受力变形时会在γ晶界首先开裂,使得热塑性降低^[3,4]。

4 结论

(1)在 600 ~ 850 °C,连铸坯冷装加热后的热塑性要好于从液态直接冷却到这个温度区间的热塑性。这也是热装容易产生裂纹的原因之一,说明相变过程对钢的热塑性有改善作用。

(2)在钢的Ⅲ脆性区内,变形速率越大,钢的热塑性越好,当应变速率达到 3/s 时,断面收缩率可达到 80%,表现出较好的塑性。说明较高的应变速率可以改善钢在Ⅲ脆性区内的塑性。不过由于在连铸过程中的应变速率一般较低,且受到多种因素制约,通过调整应变速率的方法改善连铸坯的热塑性效果不大。

(3)钢从 1 320 °C 冷却到钢的Ⅲ脆性区温度

范围,冷却速度越高,钢在Ⅲ脆性区塑性越差。通过连铸过程中二次冷却的弱冷技术,可以减缓连铸坯降温速度,在随后的矫直过程中可以改善钢的热塑性,从而避免裂纹的产生。同时,二次弱冷可以减轻连铸坯不同位置的温度不均匀性,减小温度梯度,避免产生过大的热应力而使连铸坯形成裂纹。

参考文献

- 1 韩孝永. 连铸坯热送热装技术的应用. 有色金属, 2009, 59(1): 56
- 2 薛念福, 胡佐兴, 李安林, 等. 攀钢连铸坯热送热装及相关工艺研究. 钢铁钒钛, 1997, 18(3): 1
- 3 孙彦辉, 倪有金, 许中波, 等. 中碳钢高温力学和冶金行为. 北京科技大学学报, 2009, 31(6): 710
- 4 吴光亮, 孙彦辉, 周春泉, 等. CSP 板坯(Q235B)高温力学性能试验研究. 钢铁, 2006, 41(5): 73

王生朝(1970-),男,博士生,副教授,材料加工工程研究。

收稿日期:2010-11-15

邮发代号:38-183

欢迎订阅 2011 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司 邮编:435001