

# 0Cr13 不锈钢连铸坯高温物理性能研究

刘洪军, 吴鑫, 李亚敏

(兰州理工大学 有色金属合金及加工教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 为了制定合理的连铸工艺, 减少连铸坯边裂缺陷的发生, 分别采用热膨胀分析仪和同步热分析仪测试了 0Cr13 铁素体不锈钢连铸坯的高温性能, 并对其在 950~1300 °C 的相变行为进行了研究。热膨胀分析表明, 0Cr13 不锈钢从室温到 1200 °C 升温过程中热膨胀曲线是非线性的; DSC 分析表明, 0Cr13 不锈钢在 849~890 °C 存在一明显的晶型转变; 高温相变研究表明, 0Cr13 不锈钢在 950 °C 的高温组织基本为奥氏体; 当温度大于 1150 °C 时高温奥氏体含量迅速减少, 1300 °C 时基体组织基本为铁素体。根据研究结果可确定 0Cr13 不锈钢二冷区温度应大于 910 °C, 最佳轧制温度为 950~1050 °C。

**关键词:** 高温物理性能; 0Cr13 不锈钢; 热分析; 组织

中图分类号: TG142.71

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2010)16-0052-03

## Study on Physical Properties of 0Cr13 Stainless Steel Continuous Casting Billet at High Temperature

LIU Hongjun, WU Xin, LI Yamin

(Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys and Processing, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In order to establish proper continuous casting processes and reduce the occurrence of edge cracks in continuous casting billets, the physical properties of 0Cr13 ferritic stainless steel continuous casting billet at high temperature were tested by thermal dilatometer and synchronous thermal analyzer. The phase transition behavior between 950 °C and 1300 °C was also investigated. The testing results of thermal dilatometer thermo dilatometric analysis show that the dilatometric curve is nonlinear in the process of temperature elevation from room temperature to 1200 °C. The DSC analysis indicates there is a obvious crystal transfer between 840 °C and 890 °C. The investigation of phase transition at high temperature shows that the microstructure of 0Cr13 stainless steel at 950 °C is almost austenite; the amount of austenite reduces when temperature is above 1150 °C; the microstructure is almost ferrite at 1300 °C. According to the results, it can be determined that the temperature of second cooling zone should be above 910 °C, and the best rolling temperature zone is from 950 °C to 1050 °C.

**Key words:** physical properties at high temperature; 0Cr13 stainless steel; thermal analysis; microstructure

以往习惯上把 0Cr13 不锈钢统称为铁素体钢, 或马氏体-铁素体钢, 或半铁素体钢<sup>[1]</sup>。从金相工作者的角度来看, 这种笼统的称法是不确切的。基于 13% 铬不锈钢含碳量的不同, 并考虑到一般加热后淬火的工艺条件, 含碳低的 13% 铬不锈钢可能处在  $\gamma + \alpha(\delta)$  两相状态而含碳高的 13% 铬不锈钢中的碳化物不可能充分溶解, 所以低碳 0Cr13 不锈钢连铸坯很可能为马氏体-铁素体不锈钢。双相钢在高温阶段会发生复杂的相变<sup>[2]</sup>, 这将降低 0Cr13 不锈钢

高温阶段的塑性、增加其裂纹敏感性<sup>[3]</sup>, 因此只有准确掌握了 0Cr13 不锈钢连铸坯的高温物理性能才能制定合理的连铸工艺, 以提高连铸坯的质量, 减少连铸坯边裂缺陷的发生。本文对低碳 0Cr13 不锈钢连铸坯的高温物理性能和组织进行了研究, 为该钢种连铸连轧二冷工艺、轧制工艺的制定提供参考。

## 1 实验方法

### 1.1 试样规格

用线切割从 0Cr13 不锈钢连铸坯上取样, 热膨胀试样取样方向为平行于拉坯和垂直于拉坯, 试样尺寸为  $\phi 6 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ ; DSC 以及 TG 曲线的测试只需要少量样品, 试样尺寸为  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ; 高温相变用试样尺寸为  $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 。

收稿日期: 2010-01-07

作者简介: 刘洪军(1974-), 男, 河北景县人, 副教授, 博士, 主要从事有色金属及其成型方面的研究; 电话: 0931-2976572;

E-mail: liuhongjung@163.com

### 1.2 测试方法

采用 STA449C 同步热分析仪测试了 0Cr13 不锈钢的 DSC(差热)、TG(失重)等参数,升温速率为 10 K/min,最高温度为 1400 °C<sup>[3]</sup>。

用标样测定获得基线;对 DSC、TG 等各测试 1~2 次;如果测试结果有异常情况出现(包括结果的正确性和不能达到所测试的温度),再重新测试一次。

利用 NETZSCH DIL402EP 热膨胀分析仪测试热膨胀性能,实验中首先要用标样获得基线。同时测定试样升温过程的热膨胀曲线。本次试验升温温度为 30~1200 °C,升温速率为 3 K/min,实验中通 Ar 气保护,室温为 20 °C。

高温相变研究采用箱式电阻炉,分别将试样加热到 950、1050、1150 和 1300 °C,保温 1h 后水冷至室温,对热处理后的试样进行抛磨,并用 30 g CuSO<sub>4</sub>+10 g HCl+60 g H<sub>2</sub>O 溶液进行腐蚀,然后用 Mef-3 金相显微镜观察金相组织。

## 2 测试结果及分析

### 2.1 热膨胀性能的测试结果及分析

0Cr13 不锈钢升温过程热膨胀率(试样的相对伸长量  $dL/L_0$ )与温度的变化关系如图 1 所示。图 1 中实线为平行于拉坯方向的试样所测得的热膨胀率变化情况,虚线为垂直于拉坯方向的试样测得的。可以看出,平行于拉坯方向的试样与垂直于拉坯方向的试样测试得到的结果基本重合,这说明取样方向基本不会影响测试结果。测试曲线有两个拐点,分别为 849 °C 和 890 °C。由 Fe-Cr 相图可知,Cr 含量在 12% 左右时,会在 850 °C 左右进入奥氏体封闭区,即发生奥氏体相变。从热膨胀曲线可推知,0Cr13 不锈钢的相变点如下:849 °C 左右的点为  $A_1$  点(奥氏体转变开始的温度,此点以下为测试钢种的珠光体+铁素体区);890 °C 左右的点为  $A_3$  点(奥氏体转变的结

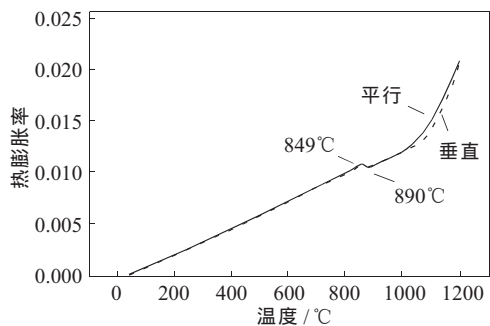


图 1 0Cr13 不锈钢热膨胀实测曲线图  
Fig.1 The dilatometric curves of 0Cr13 stainless steel

束点,此点以上为测试钢种的奥氏体区)。垂直于拉坯方向的试样所测得的相变点温度与平行于拉坯方向的试样所测得的基本重合,略小的差异可通过无限延缓升温速度来消除,但连铸冷却过程中温降必有一定速度,所以没有实际意义。

从图 1 还可看出,在一定温度范围内,随着温度的升高,0Cr13 不锈钢的热膨胀率逐渐增大,但基本是线性增加;而在 849~890 °C 的相变区域中,热膨胀率逐渐降低,但不是线性变化;890 °C 以上的高温区,热膨胀率又基本是线性增加。

### 2.2 DSC、TG 测试结果及分析

用 STA449C 同步热分析仪对 0Cr13 不锈钢进行了同步热分析,由于钢熔化后有可能侵蚀刚玉坩埚,如果刚玉坩埚被腐蚀,钢液将粘住和损害分析仪的核心部件刚玉质支架和热天平,所以最高分析温度确定为 1400 °C,实验结果如图 2 所示。

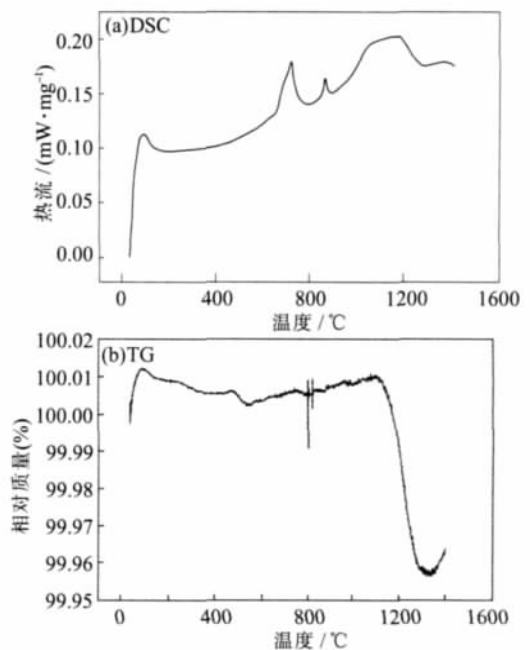


图 2 0Cr13 不锈钢 DSC 与 TG 曲线  
Fig.2 The DSC and TG curves of 0Cr13 stainless steel

从图 2(a)可以看出,在中温区,热量的变化峰值有两个,其峰值温度分别为 710 和 870 °C,出现峰值的温度应该是在所给定的升温速度下连铸坯试样的相变(晶型转变)速度达到最大的温度点,在这一晶型转变中,有一定的热量变化(在连铸二冷过程中连铸坯属于降温行为,在这一晶型转变区域将放出更多的热量)。这说明在 0Cr13 不锈钢连铸过程中要特别注意控制连铸坯二冷区表面或表层温度,应使其处于二次低延性以上的高温区域<sup>[4-7]</sup>,即 870 °C 以

上 40℃左右的温度范围,以避免连铸坯大的晶型转变而产生裂纹;而轧制温度范围的确定还应参考 1100~1300℃连铸坯的相组成。

从图 2(b)可看出,0Cr13 不锈钢试样在升温过程中质量变化较小,从 30~1580℃试样共减重 0.04%。这说明试样中气体等含量少,实验中试样的保护(隔绝空气)效果好。在 200℃以内的失重分析中,试样质量有少许增加的现象是测试仪器固有的,与试样本身的增重无关。

### 2.3 高温相组织测验结果及分析

为了确定 0Cr13 不锈钢的最佳轧制温度区间,对 0Cr13 不锈钢的高温相组织进行了研究,测验结果如图 3 所示。根据 Fe-Cr 相图可知,0Cr13 不锈钢

在 850℃左右进入奥氏体封闭区,即发生奥氏体相变;当温度上升至 1333℃左右时会进入单相铁素体区。从图 3 可看出,0Cr13 不锈钢在 950℃保温 1h 淬火后基体上的组织为马氏体,其高温组织基本为奥氏体;当保温温度高于 1150℃时,马氏体(高温奥氏体)含量迅速减少,1300℃时基体组织基本为铁素体,但沿晶界仍有少量马氏体。

对于 0Cr13 铁素体不锈钢来说,局部凝固区奥氏体含量的增加是不利的,因为残余的元素容易显微偏析,降低初始坯壳的强度,增加高温脆性,导致凹陷和微裂纹的出现。因此,连铸过程一定要保证初始坯壳到结晶器间均匀地传热,避免降低局部冷却速度,确保初始坯壳均匀生长,特别是保证结晶器液面

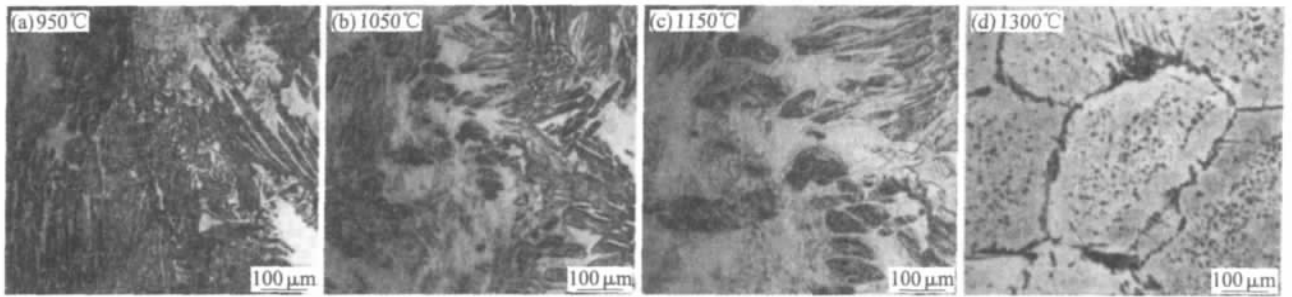


图 3 0Cr13 不锈钢不同温度淬火得到的金相组织  
Fig.3 The microstructure of 0Cr13 stainless steel quenched at different temperature

的稳定对坯壳均匀生长有着至关重要的作用<sup>[8]</sup>。而对于轧制来说,应使连铸坯处于单相奥氏体区或高温相组织大部分为奥氏体的温度区间,对于实验所测试的钢种来说,这个温度区为 950~1050℃。

## 3 结论

(1) 取样方向不影响 0Cr13 不锈钢的热膨胀性能,从室温到 1200℃升温过程中热膨胀曲线是非线性的,热膨胀曲线存在 849 和 890℃两个拐点,这两个温度点分别为测试条件下该钢种的  $A_1$  和  $A_3$  点。

(2) 0Cr13 不锈钢在 710 和 870℃左右存在较明显的晶型转变,连铸坯在此温度范围内容易产生裂纹,连铸过程中要特别注意控制连铸坯二冷区表面或表层温度处于二次低延性以上的高温区域,即 870℃以上 40℃左右的温度范围。

(3) 0Cr13 不锈钢在 950℃的高温组织基本为奥氏体;当温度大于 1150℃时高温奥氏体含量迅速减少,1300℃时基体组织基本为铁素体,但沿晶界仍有少量马氏体。由高温组织确定 0Cr13 不锈钢的

最佳轧制温度区间为 950~1050℃。

### 参考文献:

- [1] 陈德和. 不锈钢的性能和组织[M]. 北京:机械工业出版社, 1977.
- [2] 徐建林,居春艳,季根顺. 不锈钢相变的研究进展[J]. 热加工工艺, 2008, 37(14):104-107.
- [3] 王世珩. 0Cr13 钢最佳性能的成分控制范围的研究小结[J]. 特钢通讯, 1990, (2):66-68.
- [4] 陈登福,龙木军,韩志伟,等. 60Si-2Mn 钢连铸坯的高温物理性能研究 [Z]. 2006 年全国冶金物理化学学术会议, 济南: 2006.
- [5] Mintz B, Yue S, Jonas J J. Hot ductility of steels and its relationship to the problem of transverse cracking during continuous casting [J]. International Materials Reviews, 1991, 36(5):187-217.
- [6] Mintz B, Mohamed Z, Abushosha R. Influence of calcium on hot ductility of steels [J]. Materials Science and Technology, 1989, 5(7):682-688.
- [7] 李延生. 连铸坯缺陷的成因及防止对策[J]. 炼钢, 1998, (3): 55-58.
- [8] 徐军,蔡才,李伯平. 430 和 410S 不锈钢边裂机理分析及工艺改进[J]. 宝钢技术, 2008, (6):55-57. □