

## 0.29C-1.20Cr-0.30Ni-0.35Mo 合金钢的高温力学性能

王 勇 苏春霞 张鹏远

(鞍钢新轧钢股份有限公司技术中心,鞍山 114001)

**摘 要** 中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢用 50 kg 真空感应炉冶炼,并通过 Gleeble-3800 试验机测定了该试验钢在 600 ~ 1 400 °C 的力学性能-最大力值(载荷)和断面收缩率。试验结果表明,中碳 Cr-Ni-Mo 钢的脆性区(断面收缩率 ≤ 60%)为 910 ~ 700 °C,其塑性区为 1 320 ~ 910 °C。该钢连铸坯应避免在 910 ~ 700 °C 进行矫直,以便减少铸坯裂纹。

**关键词** 中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢 高温机械性能 裂纹敏感性

## High Temperature Mechanical Properties of Alloy Steel 0.29C-1.20Cr-0.30Ni-0.35Mo

Wang Yong, Su Chunxia and Zhang Pengyuan

(Technology Center, Angang New Roll Steel Co Ltd, Anshan 114001)

**Abstract** The medium carbon alloy steel Cr-Ni-Mo was melted by a 50 kg vacuum induction furnace, and the mechanical properties of test steel-maximum load and reduction of area at 600 ~ 1 400 °C have been measured by Gleeble-3800 test machine. The test results showed that brittle region (reduction of area ≤ 60%) of the medium carbon Cr-Ni-Mo steel was 910 ~ 700 °C and its plastic region was 1 320 ~ 910 °C. Its cast billet shouldn't be straightened at 910 ~ 700 °C in order to decrease cast billet crack.

**Material Index** Medium Carbon Cr-Ni-Mo Alloy Steel, High Temperature Mechanical Properties, Crack Sensitivity

目前一般用热塑性(断面收缩率)和热强性(最大力值-载荷)来表示连铸钢高温力学性能<sup>[1]</sup>,本研究采用铸态试样,通过在 Gleeble-3800 热力学模拟试验机上进行热拉伸试验,测试了不同温度条件下的高温力学性能。

### 1 试验材料及方法

中碳 Cr-Ni-Mo 试验用钢采用 50 kg 真空感应炉进行冶炼,Q235、20MnSi 钢则采用 100 t 转炉进行冶炼,并进行 VD 真空处理,三者的化学成分见表 1,然后从试验钢锭及铸坯上取样加工成 Φ6 mm × 120 mm,两端 M6 螺纹的热模拟试样。

表 1 试验钢的化学成分/%  
Table 1 Chemical compositions of test steels/%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr
中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢	0.29	0.30	0.50	0.015	0.005	0.30	0.35	1.20
Q235	0.17	0.22	0.45	0.016	0.008	-	-	-
20MnSi	0.19	0.40	1.35	0.015	0.009	-	-	-

试验在 Gleeble-3800 试验机上进行。将试样直接通入电流使其加热,试样夹持好后,在真空状态下将试样以 9 ~ 11 °C/s 的速率升温到 1 340 °C,保温 5

min 后,以 2 ~ 4 °C/s 降(或升)到温度 T(温度范围 600 ~ 1 430 °C,再分别以 50 °C 或 25 °C 的温度区间进行升温),保温 2 min 后,以 10<sup>-3</sup>/s 的速率将试样拉伸,直到拉断。测得拉伸过程中的最大力值,试样拉断后测量其断口直径,计算出断面收缩率。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 I 区-熔点 T<sub>m</sub> ~ 1 320 °C

从图 1 中可以看出,熔点 T<sub>m</sub> ~ 1 320 °C 的 I 区的断面收缩率随着温度的升高发生陡降,而降低的原因是由于在晶粒的晶界处析离出液相膜,特别是硫化物(FeS、MnS)以及磷和其它杂质元素促使形成了这种低熔点相<sup>[2]</sup>,最终在固液交界处产生裂纹。从热塑性曲线上可以获得两个重要的数据:零塑性温度 ZDT(Zero Ductility Temperature),即塑性为零时的温度约为 1 400 °C;MDT(Middle Ductility Temperature),即塑性为 60% 时的温度约为 1 300 °C。而从热强性曲线上也可以得到一个重要数据:零强度温度 ZST(Zero Strength Temperature),即强度为零时的温度为 1 420 °C。

从热强性和热塑性曲线组合还可以得到参数  $\Delta T = ZST - T_{Z=20\%}$ ,其中  $T_{Z=20\%}$  为断面收缩率在

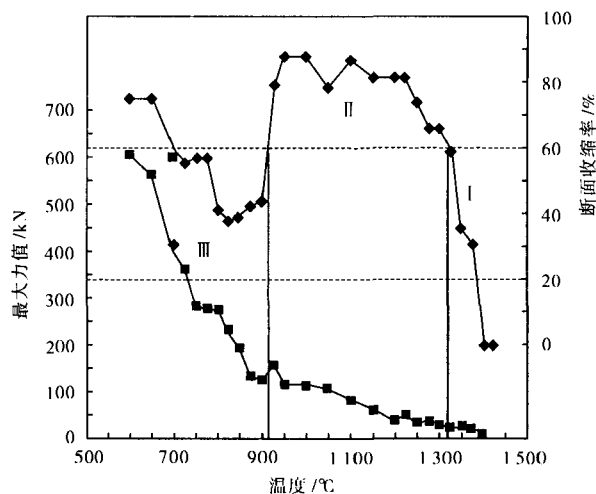


图1 0.29C-1.20Cr-0.30Ni-0.35Mo 钢的热塑性(断面收缩率)及热强性(最大力值)曲线

Fig.1 Curves of hot ductility (reduction of area) and hot strength (maximum load) of steel 0.29C-1.20Cr-0.30Ni-0.35Mo

20%时的温度,一般来讲,  $\Delta T$  这一温度范围越大,裂纹敏感性就越高,通常将此值作为裂纹敏感性的判据之一。通过检验,连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢的  $\Delta T$  值约为 40 °C ( $T_{Z=20\%} = 1380$  °C)。

将连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢的相关参数与 Q235 和 20MnSi 在 I 区的相关参数进行比较,列于表 2。从表 2 可见,连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢的 ZDT 及 ZST 温度与 Q235 和 20MnSi 钢相比,相差不多,但  $\Delta T$  值却明显降低,所以与 Q235 和 20MnSi 钢相比,连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢在 I 区的裂纹敏感性要比常用钢种 Q235 和 20MnSi 低。

表 2 3 种钢熔点附近温度区间裂纹敏感性的相关参数比较  
Table 2 Comparison of relative parameters for crack sensitivity at temperature interval nearby melting point of 3 kinds of steels

钢种	ZDT/°C	ZST/°C	$\Delta T$ /°C
中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢	1 400	1 420	40
Q235	1 380	1 450	100
20MnSi	1 380	1 400	50

当钢中促使形成低熔点相的硫化物及磷等有害杂质元素含量越多时,ZDT 和 ZST 就越低,导致裂纹敏感性越高。所以,炼钢过程中降低钢中杂质元素含量是降低钢的裂纹敏感性的有效途径之一。

## 2.2 II 区-1320~910 °C(奥氏体区)

从热塑性曲线(图 1)可以看出,II 区钢的断面收缩率很高,介于 60%~89% 之间,塑性较好。在 II 区,由于断面收缩率均高于 60%,因此在以连铸

正常拉速、弯曲、矫直情况下,铸坯不会出现裂纹<sup>[3]</sup>。如果有裂纹产生,主要是由于在奥氏体晶界上析出了硫化物或氧化物。当钢中 Mn/S 比增大或 S 含量降低时,钢的断面收缩率会得到改善<sup>[2]</sup>。因此在炼钢过程中,要严格控制钢中的 S、O 等杂质元素的含量,防止在奥氏体温度区间产生裂纹。

## 2.3 III 区-910~700 °C(奥氏体低温区及 $\alpha + \gamma$ 两相区)

从图 1 可以看出,III 区钢的断面收缩率降低,有一个明显的“脆性口袋区”,这是因为在此区间发生了奥氏体向铁素体的相变,在奥氏体的晶界上产生了薄膜状的初生铁素体,而铁素体的形变比奥氏体大,使得局部变形增加,在初生铁素体相处产生裂纹;另外在此温度区间还会在晶界上有质点( $AlN$ )沉淀析出,同样也会增加钢的脆性,加剧钢中裂纹的形成和扩展。

同时可见,在 910~700 °C 温度区间的断面收缩率均在 60% 以下为低塑性区,这对于铸坯表面和皮下裂纹的产生具有明显的影响。因此,在连铸生产时,应在这个“脆性口袋区”温度范围内,避免进行弯曲或矫直,否则就会使铸坯的裂纹加重。

## 3 结论

(1) 连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢铸坯高塑性区的温度范围为 1320~910 °C,在此区间可进行矫直和弯曲,有利于减少铸坯裂纹。

(2) 连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢在熔点附近温度区间的裂纹敏感性比常用钢种 Q235 和 20MnSi 低,其适应性更好。

(3) 连铸中碳 Cr-Ni-Mo 合金钢仍然存在一个“脆性口袋区”(断面收缩率  $\leq 60\%$ ),温度区间为 910~700 °C,因此在连铸过程中要避免在此区间进行弯曲、矫直,以减少裂纹的产生。

## 参考文献

- 1 铃木洋夫,西村哲,今村淳,等. Hot Ductility in Steels in the Temperature Range Between 900 and 600 °C. 铁と钢,1981,67:1180
- 2 史宸兴,余志祥,叶 枫,等. 实用连铸冶金技术. 北京:冶金工业出版社,1999
- 3 关卓明,沙庆云,刘国勋. 40Cr 和 20Mn2 钢一次晶体的高温塑性及动态再结晶. 特殊钢,1994,15(6):70

王 勇(1972-),男,工程师,1995 年东北大学毕业,金属材料研究。

收稿日期:2006-06-09