

## 00Cr25Ni7Mo4N 超级双相不锈钢热加工性能的研究

王晓峰<sup>1</sup> 陈伟庆<sup>1</sup> 宋红梅<sup>2</sup>

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 宝钢研究院不锈钢技术中心,上海 201900)

**摘要** 通过 Gleeble 热模拟机对真空感应炉熔炼的 00Cr25Ni7Mo4N 锻材进行高温拉伸和单道次及连续 4 道次压缩试验。结果表明,在 900 ~ 1 250 °C 的范围内随温度提高和在 950 ~ 1 100 °C 时随道次递增,00Cr25Ni7Mo4N 钢的最大变形抗力逐渐下降;在 1 050 ~ 1 250 °C 时,00Cr25Ni7Mo4N 钢的变形抗力较低,断面收缩率高于 60%,具有较好的热塑性;当应变速率为 10/s 且温度高于 1 000 °C,及应变速率为 50/s 且温度高于 1 100 °C 时,钢的热加工性较好。

**关键词** 双相不锈钢 00Cr25Ni7Mo4N 应力-应变 热加工性

## A Study on Hot Workability of Super Duplex Stainless Steel 00Cr25Ni7Mo4N

Wang Xiaofeng<sup>1</sup>, Chen Weiqing<sup>1</sup> and Song Hongmei<sup>2</sup>

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technology Center of Stainless Steel, Baosteel Institute, Shanghai 201900)

**Abstract** Test of tensile properties and compression with single pass and continuous 4 pass at elevated temperature for forged bar of steel 00Cr25Ni7Mo4N melted by vacuum induction furnace has been carried out by Gleeble thermal simulator. Results showed that at 900 ~ 1 250 °C, with increasing temperature and at 950 ~ 1 100 °C with progressive increasing pass, the maximum deformation resistance of steel 00Cr25Ni7Mo4N gradually decreased; at 1 050 ~ 1 250 °C the deformation resistance of steel 00Cr25Ni7Mo4N was lower and the reduction of area was more than 60% with better hot plasticity; the steel had better hot workability as strain rate 10/s at  $\geq 1 000$  °C and as strain rate 50/s at  $\geq 1 100$  °C.

**Material Index** Duplex Stainless Steel 00Cr25Ni7Mo4N, Stress-Strain, Hot Workability

00Cr25Ni7Mo4N 是第三代超级双相不锈钢的代表钢种,具有非凡的抗点蚀能力和优良的综合性能。由于双相不锈钢的两相组织具有不同的晶体结构,即体心立方的铁素体和面心立方的奥氏体,在热变形过程中,两相组织的软化机制不同,铁素体的软化机制是动态回复,而奥氏体的主要软化机制是动态再结晶<sup>[1,2]</sup>。因此在热加工过程中,奥氏体和铁素体中应力和应变分布不均衡,在热轧热锻过程中容易开裂。00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢热轧板的生产在我国还处于研发阶段,国内某些大型不锈钢生产企业投入了不少精力进行研究,研发中遇到的主要问题之一就是热轧过程中的轧板开裂。

本文有针对性地研究了 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢在高温下的变形抗力、断面收缩率、应变速率等这些和热加工性能相关的参数及规律,以便为实际生产提供可靠的参数和理论依据。

### 1 试验方法

用真空感应炉冶炼 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢,锻造成形,其化学成分的分析结果和标准要求如表 1 所示。

表 1 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢的化学成分/%  
Table 1 Chemical composition of duplex stainless steel Cr25Ni7Mo4N / %

| 项目   | C           | Si          | Mn          | P            | S            | Cr      | Ni    | Mo    | N           |
|------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------|-------|-------|-------------|
| 分析结果 | 0.007       | 0.66        | 1.13        | 0.023        | 0.005        | 24.84   | 6.99  | 3.65  | 0.298       |
| 标准要求 | $\leq 0.03$ | $\leq 0.80$ | $\leq 1.20$ | $\leq 0.035$ | $\leq 0.020$ | 24 ~ 26 | 6 ~ 8 | 3 ~ 5 | 0.24 ~ 0.32 |

加工成  $\Phi 10$  mm  $\times$  120 mm 的试样,在 Gleeble 热模拟机上进行高温拉伸,试验温度为 900 ~ 1 250 °C,温度间隔 50 °C;测定试样的高温变形抗力和断面收缩率。

加工成 10 mm  $\times$  15 mm  $\times$  20 mm 的试样,在 Gleeble 热模拟机上进行单道次(试验温度为 950 ~ 1 200 °C,温度间隔 50 °C,应变速率分别为 10/s 和 50/s)和连续 4 道次(试验温度为 950 ~ 1 100 °C,温度间隔 50 °C,应变速率为 50/s)的平面应力-应变试验,测定其应力-应变曲线。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 高温拉伸性能

试验温度在 900 ~ 1 250 °C,温度间隔 50 °C,测

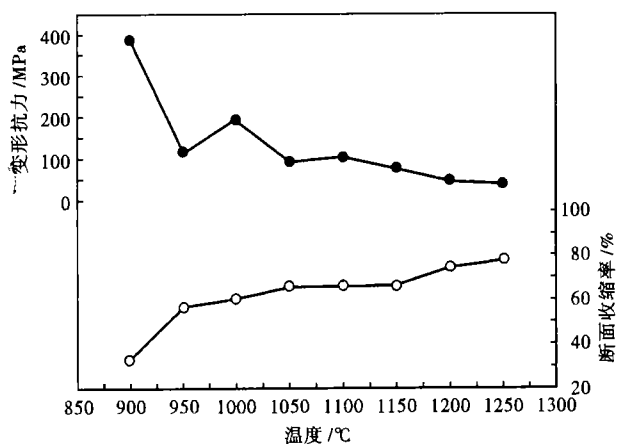


图 1 温度对 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢变形抗力及断面收缩率的影响

Fig. 1 Effect of temperature on deformation resistance and reduction of area of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N

定试样的高温变形抗力和断面收缩率,试验结果如图 1 所示。

从图 1 可见,在该试验条件下,试验温度为 900 °C 时,试样的变形抗力明显高于其它温度下的变形抗力,此温度下的断面收缩率明显较低,这是由于铁素体相中钼和镍的存在,尤其是钼,扩大了 σ 相的形成温度范围和缩短了形成时间,致使 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢在此温度下有 σ 金属间相析出,σ 相是危害性极大的一种析出相,它硬而脆,使钢的热塑性明显降低。试验表明在 900 °C 等温 1 min 即有 1.31% 的 σ 相在晶界析出,如图 2 所示(图中黑色区域为 σ 相,灰色区域为铁素体相,白色区域为奥氏体相);当试验温度在 1 050 ~ 1 250 °C 时,试样的变形抗力较低,强度值波

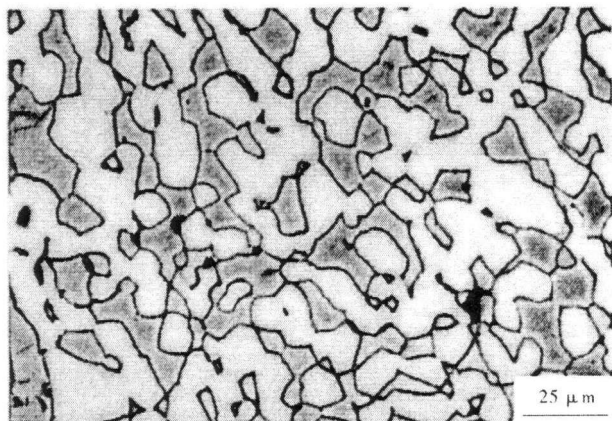


图 2 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢的组织形貌,900 °C 1 min  
Fig. 2 Morphology of structure of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N, at 900 °C for 1 min

动较小,而断面收缩率都高于 60%,且波动比较平缓,试样的热塑性较好。

### 2.2 高温压缩性能

(1) 单道次平面应力-应变试验。针对实际的要求,进行了试样高应变速率(50/s)和低应变速率(10/s)的平面应力-应变热塑性试验,结果如图 3 所示,试样温度与最大变形抗力的关系如图 4 所示。

由图 3 可知,一般情况下,在同一应变速率下,对应于同一应变值,变形温度越高,所对应的应力值越低,并且随着变形温度的升高,应力峰值有向应变减小方向移动的趋势。由于在较低温度下变形时,加工硬化率较高,变形温度越高,更易于发生奥氏体的动态再结晶。当变形温度降低时,应力峰值向应变增大的方向移动,表明了峰值应变越大,奥氏体的

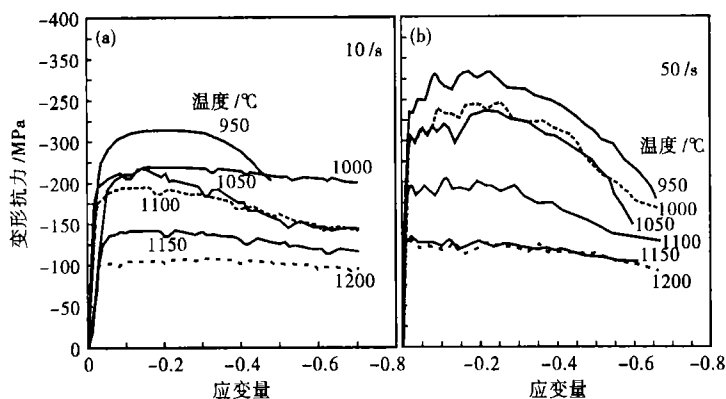


图 3 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢的应力-应变曲线:(a) 10/s;(b) 50/s

Fig. 3 Stress-strain curves of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N: (a) 10/s; (b) 50/s

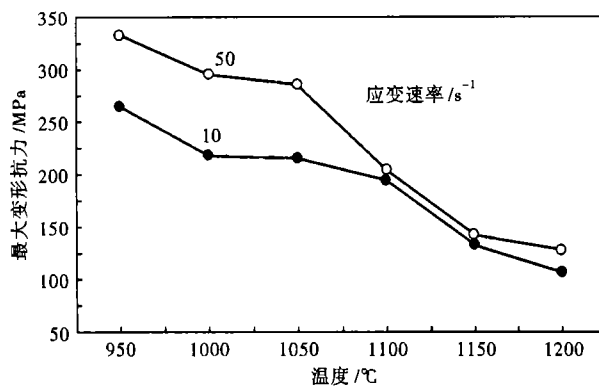


图 4 温度对 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢最大变形抗力的影响

Fig. 4 Effect of temperature on maximum deformation resistance of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N

动态再结晶越难进行。

在不同温度的压缩变形过程中,当试样达到一定的应变值时变形抗力将出现一个峰值。试样在应

变速率为10/s的情况下,温度在高于1 000 ℃时,应力-应变曲线出现稳定的平台;在应变速率为50/s的情况下,温度在高于1 100 ℃时,应力-应变曲线出现比较稳定的平台。试样的稳态区越长,表明钢的热塑性越好。

由图4可见,在950~1 200 ℃范围内,同一温度下,应变速率高(50/s)的试样的变形抗力均高于应变速率较低(10/s)的试样的变形抗力,说明在同一温度下,应变速率越大所抵抗的变形抗力也越大。

(2)连续道次平面应力-应变试验。为了模拟精轧机连续大变形速率条件下的实际工况,进行了连续4道50/s的平面应力-应变试验,试验温度为950~1 100 ℃,温度间隔50 ℃。试验结果如图5所示,试验温度与最大变形抗力的关系如表2所示。

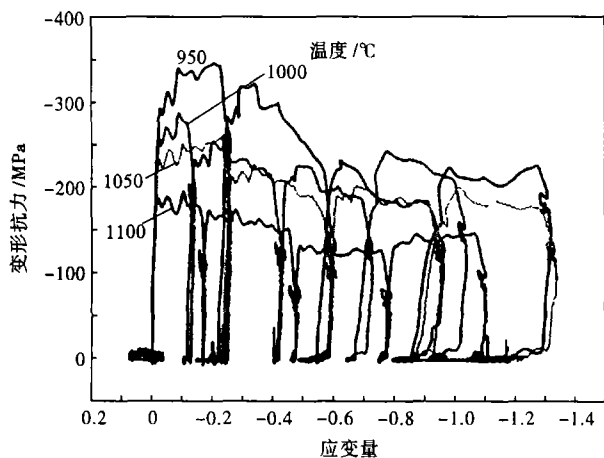


图5 00Cr25Ni7Mo4N 双相不锈钢连续4道次压缩的应力-应变曲线

Fig.5 Stress-strain curves of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N with continuous 4 pass compression

表2 温度对00Cr25Ni7Mo4N 不锈钢最大变形抗力的影响

Table 2 Effect of temperature on maximum deformation resistance of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo4N

| 温度/℃  | 最大变形抗力/MPa |        |        |        |
|-------|------------|--------|--------|--------|
|       | 1道         | 2道     | 3道     | 4道     |
| 950   | 347.88     | 322.30 | 231.51 | 225.05 |
| 1 000 | 287.69     | 254.67 | 225.82 | 243.01 |
| 1 050 | 260.23     | 227.05 | 201.29 | 199.41 |
| 1 100 | 195.69     | 173.28 | 132.38 | 146.59 |

由图5和表2可知,在试验条件下,除了第4道次1 000 ℃的最大变形抗力大于950 ℃的最大变形抗力,试验温度对其软化能力不明显外,随着试验温度的提高,各道次应变的最大变形抗力逐渐降低。随着道次的递增,除1 000 ℃和1 100 ℃时,其第4道次的最大变形抗力与第3道次接近,出现了随着应变增加加工硬化大于软化的现象外,最大变形抗力逐渐下降,这表示试验温度对其软化能力的影响是显著的。

由此可以得出,随着试验温度的提高,各道次应变的最大变形抗力呈逐渐降低趋势,随着道次的递增,最大变形抗力呈逐渐下降趋势,温度的提高和道次的递增对其软化能力的影响是显著的。

### 3 结论

(1)当试验温度在1 050~1 250 ℃时,试样的变形抗力较低,断面收缩率都高于60%,且波动比较平缓,试样的热塑性较好。

(2)试样在应变速率为10/s的情况下,温度在高于1 000 ℃时,应力-应变曲线出现稳定的平台;在应变速率为50/s的情况下,温度在高于1 100 ℃时,应力-应变曲线出现比较稳定的平台,试样热加工性较好。

(3)在950~1 200 ℃范围内,同一温度下,应变速率高(50/s)的试样变形抗力均高于应变速率较低(10/s)的试样的变形抗力。

(4)随着试验温度的提高,各道次应变的最大变形抗力呈逐渐降低趋势,随着道次的递增,最大变形抗力呈逐渐下降趋势,表明温度的提高和道次的递增对其软化能力的影响是显著的。

### 参考文献

1 吴 玟. 双相不锈钢. 北京:冶金工业出版社,1999  
2 陆世英. 不锈钢概论. 北京:中国科学技术出版社,2007

王晓峰(1979-),男,博士研究生,从事不锈钢研究。

收稿日期:2008-04-03

欢迎订阅 2009 年《特殊钢》杂志

(邮发代号:38-183) 定价:16.00 元/期,全年 96.00 元 全国各地邮局均可订阅