

## 温度对 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 高氮钢的热变形行为和组织的影 响

王 敏<sup>1,2</sup> 郎宇平<sup>2</sup> 吴兴惠<sup>1</sup>

(1 云南大学物理科学与技术学院材料系,昆明 650091; 2 钢铁研究总院,北京 100081)

**摘 要** 通过 Gleeble 1500D 热模拟实验,研究了 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 高氮奥氏体不锈钢(%: 0.12C、22.05Cr、15.52Mn、1.64Ni、0.58N)在 900~1300℃,应变速率( $\dot{\epsilon}$ )0.005 s<sup>-1</sup>时拉伸热变形行为及其组织变化。结果表明,该高氮钢在 1100~1250℃ 时塑性较好。1220℃ 断面收缩率最大为 59%。拉伸断口处组织的观察表明,900~1000℃ 拉伸时,已发生再结晶,有较细的晶粒生成;1000~1100℃ 时,再结晶的晶粒长大,有锯齿状的晶界;1100~1300℃ 时有铁素体出现,而且随温度的升高,铁素体含量增多,1300℃ 时晶界发生了融化现象。

**关键词** 高氮奥氏体不锈钢 热变形行为 组织

## Effect of Temperature on Behavior of Hot Deformation and Structure of High Nitrogen Steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6

Wang Min<sup>1,2</sup>, Lang Yuping<sup>2</sup> and Wu Xinghui<sup>2</sup>

(1 Dept of Materials, School of Physical Science and Technology, Yunnan University, Kunming 650091; 2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** Tensile hot deformation behavior and structure change of high nitrogen austenite stainless steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6 (%: 0.12C, 22.05Cr, 15.52Mn, 1.64Ni, 0.58N) with strain rate ( $\dot{\epsilon}$ ) 0.005 s<sup>-1</sup> at 900~1300℃ have been studied by Gleeble 1500D thermal simulator. Results show that the high nitrogen steel has nice plasticity at 1100~1250℃ with the maximum reduction of area is 59% at 1220℃. The observations on structure at tensile fracture show that as the steel tensions at 900~1000℃ the recrystallization occurs with forming fine grains, at 1000~1100℃ the recrystallized grain grows with serrated grain boundary, at 1100~1300℃ the ferrite occurs and with increasing temperature the amount of ferrite increases, and at 1300℃ the melting phenomena of grain boundaries occurs.

**Material Index** High Nitrogen Austenite Stainless Steel, Hot Deformation Behavior, Structure

高氮奥氏体不锈钢具有高强、高韧等优异的力学性能,优良的耐蚀性能、耐磨性和磁性能,以氮代镍稳定奥氏体组织又能大幅降低原材料成本。目前,高氮不锈钢的抗拉强度已达到 3600 MPa<sup>[1]</sup>,氮含量最高达到 1.3%,点蚀当量值(PREN)达到 73.8<sup>[2]</sup>。

近几年来,伴随着以控制轧制技术为代表的热加工工艺的开发与应用,开展了大量关于高氮钢的热加工工艺的研究,如硫、铝等合金元素对高氮钢的热塑性的影响<sup>[3]</sup>;变形方式、加热制度等热加工工艺对热塑性的影响等<sup>[4-9]</sup>。有关高温热拉伸塑性的研究,大多试图通过分析、比较不同温度下的拉伸断口形貌来解释热塑性的大小<sup>[8,9]</sup>,但对拉伸试样金相组织分析的文献较少。本实验通过 Gleeble 1500D 热拉伸模拟,研究了 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 高氮钢在 900~1300℃ 的拉伸塑性和高温变形组织特征,并比较了不同加热制度对其热加工塑性的影响。

### 1 试验材料与方法

#### 1.1 热塑性试验

Mn16Cr22Ni1.6N0.6 高氮钢(%: 0.12C、22.05Cr、15.52Mn、0.58N、0.42Si、1.64Ni、0.003S、0.014P)在 Gleeble 1500D 热模拟机上进行高温拉伸试验:以 0.005 s<sup>-1</sup>应变速率,在 900~1300℃ 拉伸至断裂,测定断面收缩率和抗拉强度的值。

为了研究不同的加热制度对热塑性的影响,改变保温时间或保温温度:(1)不同的保温时间:温度升至 1200℃,保温 10 min 与保温 1 min 进行对比。(2)不同的保温温度:1100℃ 拉伸时,温度升至 1200℃,保温 1 min,以 10℃/s 速度降至 1100℃ 拉伸,与 1100℃ 下保温 1 min 直接拉伸相对比。

#### 1.2 高温拉伸后变形区的金相组织的观察

截取高温拉伸区,观察高温拉伸变形区的金相组织:沿试样长度方向中心线(即 1/2 处)切割方法

将试样剖开,取1/2面处直接制成金相试样用于组织观察。采用电解腐蚀方法腐蚀试样,腐蚀剂为:10%铬酸溶液;腐蚀温度:室温;电压:5.5V。在 OLYMPUS.GX51 型光学显微镜和 SISCAS V8.0 金相分析软件上观察和采集照片。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 高温拉伸热塑性

由图1可见,在试验温度范围内,随着变形温度的升高,抗拉强度逐渐下降,由900℃时的236.67 MPa 接近直线下降至1300℃时的9.9 MPa。该钢的断面收缩率随温度的变化呈现出台阶型的变化趋势,当温度在900~1150℃时,呈现较好的塑性,断面收缩率为40%~45%;当温度在1100~1250℃时,塑性又有明显提高,呈现大于50%的断面收缩率,尤其1220℃时,断面收缩率最大,约为59%;当温度在1250~1300℃时,断面收缩率急剧从52%下降至0。

### 2.2 高温拉伸断口处的金相组织

图2中断口处的轴截面金相组织表明,900~1000℃时,有较细的晶粒生成,原因可能是发生了再结晶。1000~1100℃时与900~1000℃时相比,结晶的晶粒有长大的现象,且可以看到锯齿状的晶界;1100~1300℃时均有铁素体存在(图2中白

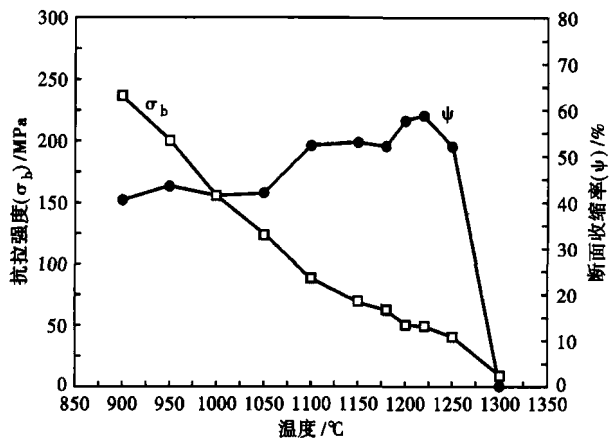


图1 温度对 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 钢拉伸强度和断面收缩率的影响,应变速率  $0.005 \text{ s}^{-1}$

Fig. 1 Effect of temperature on tensile strength and reduction of area of steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6, strain rate  $0.005 \text{ s}^{-1}$

色的小圆点),而且随温度的升高,铁素体含量增多,这与图3用 Thermo-calc 相图软件计算的结果相吻合。计算不同温度下的相含量,如奥氏体(FCC)、铁素体(BCC)、碳、氮化物( $M_{23}C_6$ 、HCP)和中间相(SIGMA),纵坐标表示相的摩尔分数。从图3可以看到,在900~950℃有碳、氮化物( $M_{23}C_6$ 、HCP)析出,1100℃以上有铁素体(BCC)生成。

### 2.3 不同的加热制度对高温拉伸热塑性的影响

热模拟试验时,加热制度对试验钢的高温性能

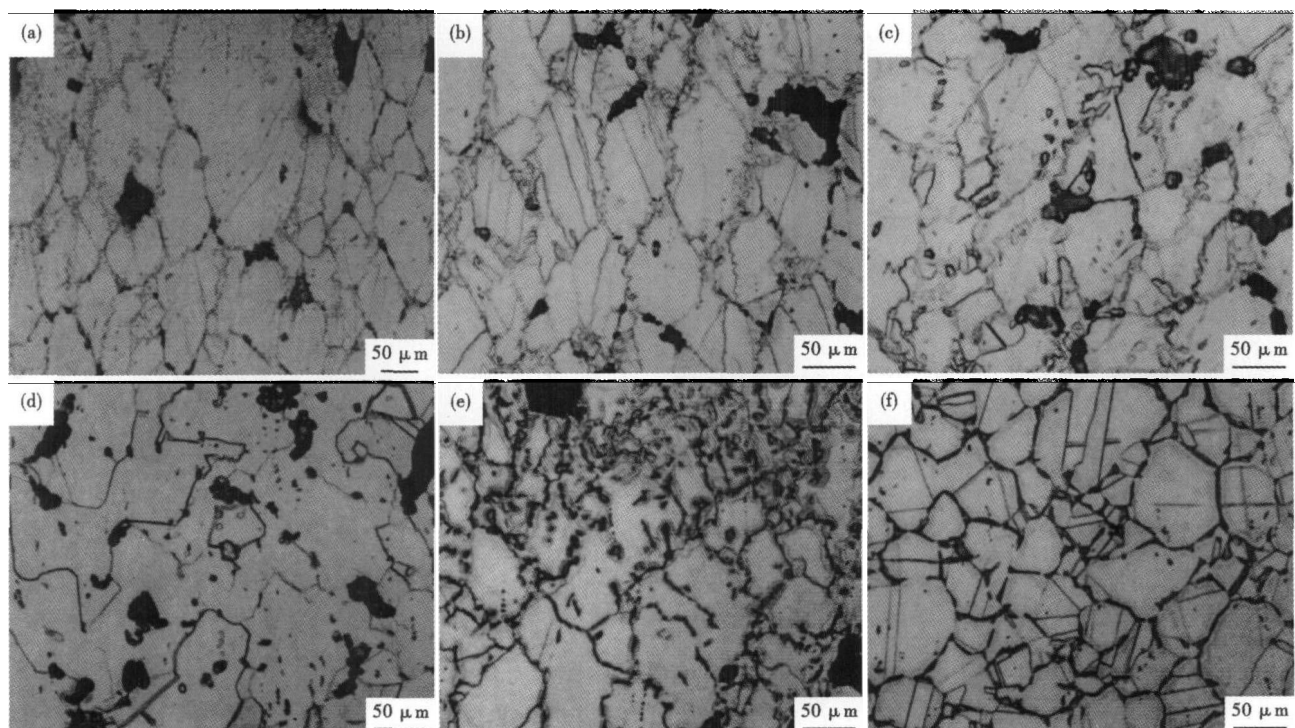


图2 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 钢高温拉伸断口处的组织:(a)900℃;(b)1000℃;(c)1100℃;(d)1200℃;(e)1250℃;(f)1300℃

Fig. 2 Structure of steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6 at high temperature tensile fracture: (a)900℃;(b)1000℃;(c)1100℃;(d)1200℃;(e)1250℃;(f)1300℃

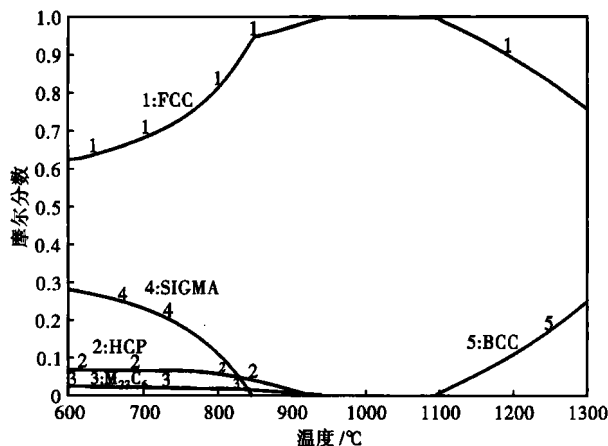


图 3 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 钢 Thermo-calc 相图

Fig.3 Phase diagram of steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6 calculated by Thermo-calc software

影响很大。一般情况下,实验都尽可能的模拟材料在工业生产时的加热过程,比如先升温到较高高度,然后再降温拉伸,这个过程就是模拟的工业生产加热然后热加工(锻造或者轧制等)的过程。由于实验室加热采用的是电流直接加热,加热方式和工厂的大不相同。为此,试验通过改变加热制度,以考察其对试验钢高温性能的影响。

试验钢在1 100~1 200 °C保温1~10 min的拉伸试验表明,同一保温时间的不同温度下和同一温度的不同保温时间下,对Mn16Cr22Ni1.6N0.6钢的抗拉强度和断面收缩率没有明显影响。

#### 2.4 晶粒度对热塑性的影响

在试验时发现不同试样在同一制度下拉伸,其热塑性也发生了明显的不同,为此,对试样进行了组织分析。结果表明,试样的原始晶粒尺寸对其热塑性有较大的影响。表1是晶粒度与热塑性的关系。从表1中可以看出,同一拉伸条件下,晶粒度较大的,热塑性较好。这可能是因为初始晶粒较细,有

表 1 原始晶粒度对 Mn16Cr22Ni1.6N0.6 钢热塑性的影响  
Table 1 Effect of original grain size on hot plasticity of steel Mn16Cr22Ni1.6N0.6

温度/°C	断面收缩率/%	原始晶粒度
1 100	45.72	3
1 100	52.34	5
1 250	45.65	4
1 250	52.06	5
1 250	45.95	4

利于动态再结晶的发生,从而提高高温塑性<sup>[10]</sup>。

#### 3 结论

(1) Mn16Cr22Ni1.6N0.6 高氮钢断面收缩率随温度的变化呈现出台阶型的变化趋势,当温度在900~1 050 °C时,呈现较好的塑性,断面收缩率为40%~45%;当温度在1 100~1 250 °C时塑性又有明显提高,断面收缩率≥50%;尤其在1 220 °C时,断面收缩率最大,约为59%;当温度在1 250~1 300 °C时,断面收缩率从52%急剧下降至0。

(2) 900~1 000 °C时钢中有较细的晶粒生成,可能原因是发生了再结晶;1 000~1 100 °C时与900~1 000 °C时相比,结晶的晶粒有长大的现象且可以看到锯齿状的晶界;1 100~1 300 °C时均有铁素体存在,而且随温度的升高,铁素体含量增多,这与Thermo-calc相图软件计算的结果相吻合;1 300 °C时晶界发生了融化现象。

(3) 晶粒度对高氮钢热塑性影响较大。同一拉伸条件下,初始晶粒越细,热塑性越好。

(4) 在试验参数变动范围内改变加热制度,对高氮钢高温拉伸性能影响不大。

国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(编号:2004CB619103)

#### 参考文献

- Stein G, Huchlenbroich I. Manufacturing and Application of High Nitrogen Steels. Materials and Manufacturing Processes, 2004, 19:7
- Talonen Juho, Taulavuori Tero. Effect of Temperature on Tensile Behavior and Microstructure Evolution of Nitrogen Alloyed Austenitic Stainless Steel. High Nitrogen Steels. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006:52
- 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, 8(4):10
- 陈慧琴, 刘建生, 郭会光. 氮对 Mn18Cr18N 护环钢高温力学性能的影响. 特殊钢, 2005, 26(6):20
- 王书哈, 林兆森, 张维娜, 等. 高锰氮奥氏体不锈钢塑性变形机制及组织性能的研究. 稀有金属, 2006, 30(9):63
- 王松涛, 王威, 单以银, 等. 高强高韧高氮奥氏体不锈钢的热加工工艺. 世界钢铁, 2009, 9(1):46
- 武建国, 郭会光, 刘建生. Mn18Cr18N 护环钢热变形特性的试验研究. 大型铸锻件, 2004, 105(3):1
- 周勇, 郎宇平, 荣凡, 等. 奥氏体不锈钢 15Mn-22Cr-0.56N 的热塑性和轧制工艺对其性能的影响. 特殊钢, 2008, 29(1):22
- 张进, 李静媛, 王一德, 等. Mn18Cr18 高氮钢热加工工艺的研究. 锻压技术, 2009, 31(1):10
- El Wahabi M, Gavard L, Montheillet F, et al. Effect of Initial Grain Size on Dynamic Recrystallization in High Purity Austenitic Stainless Steels. Acta Materialia, 2005, 53(6):4605

王敏(1982-),男,硕士研究生,资源节约型不锈钢研究。

收稿日期:2009-10-27