

0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 高氮奥氏体不锈钢电渣锭的高温塑性

李建新 赵英利 张云飞 嵇爽 张坤 邢承亮
(河钢集团钢研总院, 石家庄 050000)

摘要 试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢经 1 t 非真空感应炉冶炼, 并重熔成电渣锭。在电渣锭中心取样, 通过 Gleeble 3800 热模拟试验机对试验钢进行 800 ~ 1 250 °C, 应变速率 0.005 ~ 10 s⁻¹ 的高温拉伸试验, 得出温度和应变速率对试验钢断面收缩率的影响, 并观察了各温度拉伸后的组织。试验结果表明, 随着温度从 800 °C 升高至 1 250 °C, 试验钢抗拉强度从 327 MPa 下降到 68 MPa, 断面收缩率由 22% 升至 55%; 1 200 °C 时, 应变速率从 0.01 s⁻¹ 增加到 10 s⁻¹ 时, 试验钢的抗拉强度从 43 MPa 增加至 109 MPa, 断面收缩率从 38% 提高至 71%。综合实验结果, 高氮奥氏体不锈钢 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 最优的变形参数为: 1 200 ~ 1 250 °C, 应变速率 1 ~ 10 s⁻¹。

关键词 高氮奥氏体不锈钢 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 电渣锭 高温塑性 组织

Thermoplasticity of ESR Ingot of High Nitrogen Austenite Stainless Steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N

Li Jianxin, Zhao Yingli, Zhang Yunfei, Ji Shuang, Zhang Kun and Xing Chengliang
(Technology Research Institute, Hesteel Group, Shijiazhuang 050000)

Abstract The tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N is melted by 1 t non vacuum induction furnace and remelted to ESR ingot. By sampling at center of ESR ingot and using Gleeble 3800 thermo-simulation testing machine the thermo tensile examination of tested steel at 800 ~ 1 250 °C with strain rate 0.005 ~ 10 s⁻¹ has been carried out to get the effect of temperature and strain rate on reduction of area of tested steel, and the structure of steel tensile-tested at each temperature is observed. Examination results show that with temperature increasing from 800 °C to 1 250 °C the tensile strength of tested steel decreases from 327 MPa to 68 MPa and the reduction of area of steel increases from 22% to 55%; at 1 200 °C with strain rate increasing from 0.01 s⁻¹ to 10 s⁻¹ the tensile strength of tested steel increases from 43 MPa to 109 MPa and the reduction of area of steel increases from 38% to 71%. Integrating the experimental results it is obtained that the optimized deformation parameters for high nitrogen austenite stainless steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N are rolling at 1 200 ~ 1 250 °C with strain rate 1 ~ 10 s⁻¹.

Material Index High Nitrogen Austenite Stainless Steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N, ESR Ingot, Thermoplasticity, Structure

奥氏体不锈钢中加入氮元素, 不但可以与锰共同作用以代替金属镍, 降低生产成本, 还可以提高材料的力学性能和耐蚀性能, 氮的加入也会改善奥氏体稳定性、热膨胀性等^[1]。因为拥有诸多优点, 高氮奥氏体不锈钢受到科研工作者广泛关注, 并对它进行了深入的研究, 取得了一定的成果。已应用到海洋工程、汽车、发电机转子护环等领域^[2]。

高氮奥氏体不锈钢的锻造温度区间较小, 变形抗力大, 锻造过程中容易出现裂纹, 这也是限制高氮不锈钢发展和应用的重要因素。如中国自行生产的 Mn18Cr18N 高氮不锈钢, 屈服强度高达 1 000 MPa, 应用于汽轮发电机的转子护环^[3]。Mn18Cr18N 高氮不锈钢加工过程中, 面临的主要问题是在锻造过

程中容易出现表面开裂, 每一火次后都要对表面进行扒皮处理, 延长生产周期, 材料浪费, 提高生产成本, 严重限制了 Mn18Cr18N 高氮不锈钢的量化生产^[4]。

本文通过对高氮奥氏体不锈钢进行高温塑性实验, 探究温度和变形速度对高氮奥氏体不锈钢的高温塑性的影响, 并通过观察断口附近微观组织深入探究塑性变化的机理。结合实验与生产实际, 确定最优的热加工制度。

1 试验

1.1 材料准备

试验材料由河钢集团钢研总院自行炼制。经过 1 t 非真空感应炉冶炼出 Φ300 mm 的铸锭, 切掉头

表 1 试验钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of tested steel / %

C	Si	Mn	Cr	P	S	N
0.05	0.32	14.40	18.86	0.008	0.001 5	0.7

尾后进行电渣重熔,提高材料质量,在电渣锭中心部位选取试验材料。将试验材料进行固溶处理,在 1 050 ℃ 保温 1 h 后淬火。试验钢的具体成分如表 1 所示。

1.2 高温塑性试验

为研究变形温度和变形速率对高温塑性的影响规律,将经过固溶处理后的试验钢加工成标准拉伸试样。分别在不同温度(800、900、950、1 000、1 050、1 100、1 150、1 200、1 250 ℃)和不同应变速率(0.005、0.05、0.1、0.5、1、10 s⁻¹)下进行高温拉伸试验。首先对设备进行抽真空,防止氧气在高温时氧化设备和试样,对试验结果产生影响;以 5 ℃/s 的升温速率将试样均匀加热至 1 200 ℃,然后保温 3 min,然后再以 5 ℃/s 的速率降温或升温至试验温度,保温 5 s 后按设定的应变速率进行试验。

2 试验结果及分析

2.1 温度对高温塑性的影响

依据高温拉伸试验结果,绘制出不同变形温度和应变速率的流变应力曲线,并测量计算出每组试样的断面收缩率。图 1 为应变速率为 0.05 s⁻¹ 时,800 ~ 1 250 ℃ 温度下的高温拉伸试验结果。图 1 中部分曲线在开始阶段出现波浪型曲线或者下降曲线,分析原因是在初始阶段试样出现滑脱造成的,对流变应力没有影响。从图 1 中可以看出,试验钢抗拉强度相对较高。随温度的升高,抗拉强度出现下降趋势,从 800 ℃ 时的 327 MPa 下降到 1 250 ℃ 时的 68 MPa。且在温度小于 900 ℃ 时,流变应力显著变大,因此材料在进行热变形过程中,最低温度控制在 900 ℃ 以上。

分析原因,氮以间隙固溶体形式存在,占据八面体间隙位置,更易于在固溶体中均匀分布;铁基与氮化物之间的界面能小于铁基和碳化物之间的界面能,所以氮化物更易形成弥散的细小强化相;氮降低奥氏体中密排不完全位错,限制了含间隙杂质原子团的 Splintered 位错运动,导致抗拉强度相对于普通奥氏体不锈钢,处于高位。随着温度的升高,原子的热运动加剧,原子更加活跃,原子间相互作用力减弱,因此容易随着外力而运动,导致抗拉强度下降^[5-6];断面收缩率也随温度升高呈上升趋势,如

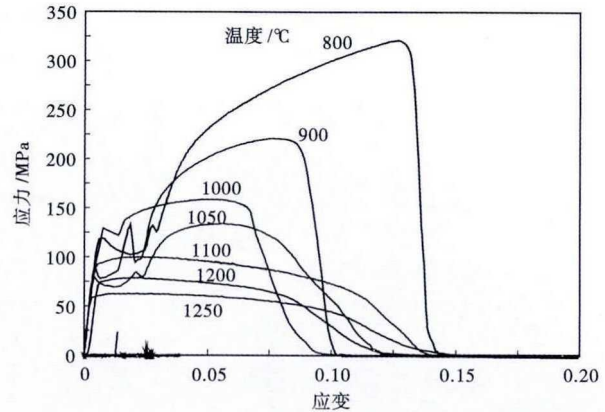


图 1 试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢的流变应力曲线,应变速率 0.05 s⁻¹

Fig. 1 Flow stress curves of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N, strain rate 0.05 s⁻¹

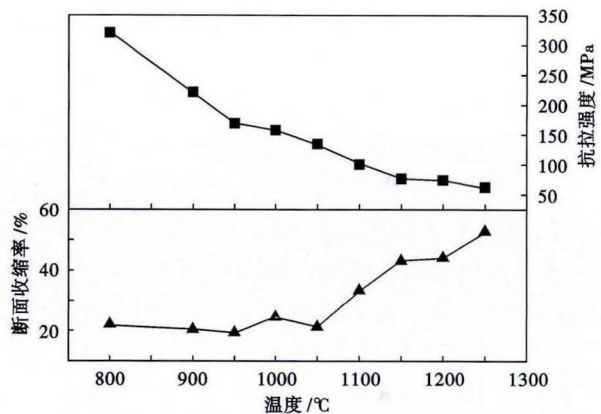


图 2 温度对试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢抗拉强度及断面收缩率的影响

Fig. 2 Effect of temperature on tensile strength and reduction of area of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N

图 2 所示,在 800 ~ 1 050 ℃,材料的断面收缩率只有 25% 左右,说明此时试验钢的塑性较差,在热加工过程中易出现裂纹等缺陷。温度高于 1 150 ℃,断面收缩率增加到 40% 以上,1 250 ℃ 时断面收缩率为 55%,此时试验钢表现出良好的塑性。

图 3 为各个温度下拉伸断口附近组织金相,从图 3 中可以看出,800 ℃ 时铁素体呈鱼骨状规则分布在奥氏体晶界上,此时铁素体体积较大。1 100 ℃ 以下时,在断口附近裂纹源较多,变形时容易在此处出现裂纹。随着温度的升高,铁素体体积逐渐变小,当温度继续升高,铁素体开始分解扩散。在 1 200 ℃ 以上时,铁素体基本全部分散,尺寸变小,使整体组织受力更加均匀,不易出现应力集中,提高了材料的断面收缩率。因此试验钢在 1 150 ~ 1 250 ℃ 表现出良好的塑性。在此温度区间内进行热加工可以提高

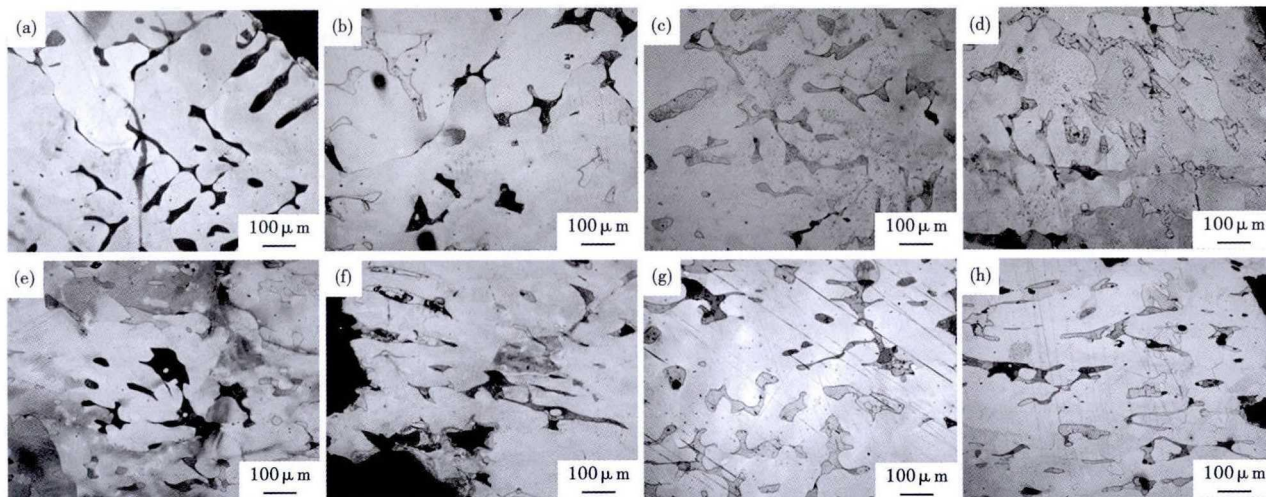


图 3 试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢(a)800 °C,(b)900 °C,(c)950 °C,(d)1 000 °C,(e)1 050 °C,(f)1 100 °C,(g)1 150 °C 和 (h)1 200 °C 拉伸试样组织形貌

Fig. 3 Morphology of tensile specimen structure of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N testing at (a) 800 °C, (b) 900 °C, (c) 950 °C, (d) 1 000 °C, (e) 1 050 °C, (f) 1 100 °C, (g) 1 150 °C and (h) 1 200 °C

材料的成材率。

2.2 应变速率对高温塑性的影响

在1 200 °C 温度下,分别以不同的应变速率(0.005、0.05、0.1、0.5、1、10 s⁻¹)进行高温塑性试验,流变曲线如图 4 所示。由图 4 可知,随着应变速率的增加,抗拉强度总体上呈现出增加的趋势。应变速率为 0.005 s⁻¹时抗拉强度为 53 MPa,当应变速率增加为 10 s⁻¹时,抗拉强度增加到 115 MPa。这是因为随着应变速率的增加,变形时间递减,不能提供充足的时间进行动态再结晶软化,因此抗拉强度提高。

图 5 为 1 200 °C 时抗拉强度及断面收缩率随应变速率的变化曲线。由图 5 可知,在应变速率为 0.005 s⁻¹时,断面收缩率为 38%,塑性较差。当应

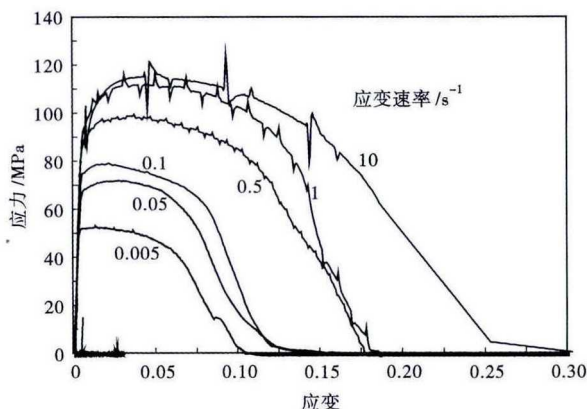


图 4 1 200 °C 时,试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢的流变曲线

Fig. 4 Flow stress curves of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N at 1 200 °C

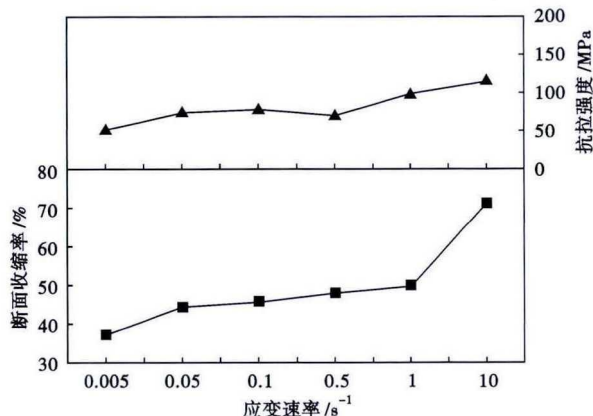


图 5 1 200 °C 时应变速率对试验 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 钢抗拉强度以及断面收缩率的影响

Fig. 5 Effect of strain rate on tensile strength and reduction of area of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N at 1 200 °C

变速率增加到 10 s⁻¹时断面收缩率增加到 71%。随着应变速率的增加,断面收缩率呈现上升趋势,即应变速率的增加提高了试验钢的塑性。

分析原因,可能是因为温度效应^[7],拉伸变形过程中,氮元素提高了材料的变形抗力,组织中孪晶以及滑移面数量增多,而大量孪晶和滑移面的生成可以抑制位错移动以及晶界的扩展,增加了不锈钢的加工硬化率^[8]。因此材料在变形过程而释放热量更高,实际变形温度高于设定温度。如图 6 为 1 200 °C 时不同应变速率下的实际拉伸温度,在 430 s 时开始进行拉伸,在应变速率为 0.005 s⁻¹时,拉伸比较缓慢,整个拉伸过程持续约 17 s,单位时间产生的变形热相对较少,同时为设备提供充足的反应时

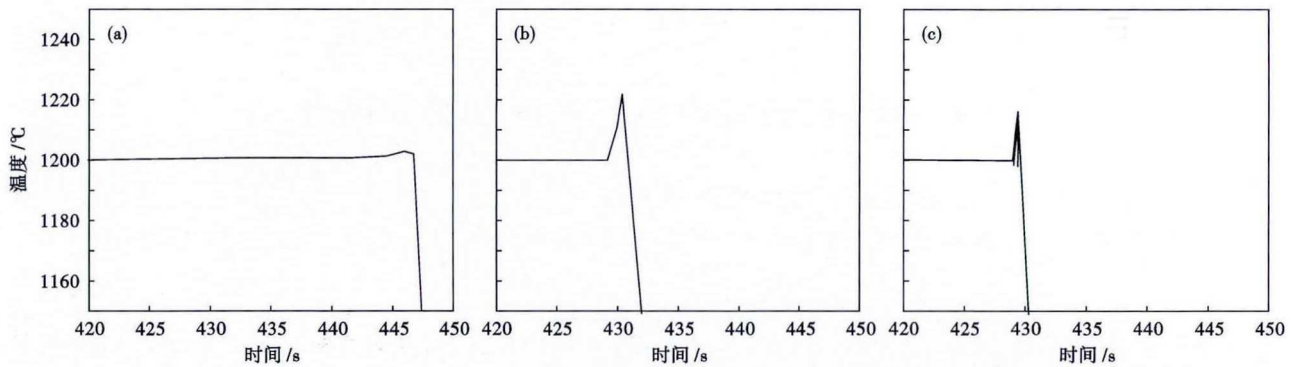


图6 1200 °C试验0.05C-14Mn-19Cr-0.7N钢高温拉伸过程中温度变化趋势,应变速率:(a)0.005 s⁻¹; (b)0.1 s⁻¹; (c)0.5 s⁻¹
 Fig.6 Tendency of temperature of tested steel 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N in tensile process at high temperature 1200 °C, strain rate: (a) 0.005 s⁻¹; (b) 0.1 s⁻¹ and (c) 0.5 s⁻¹

间对试样进行降温。因此整个变形过程基本在1200~1202 °C波动;应变速率增加到0.1 s⁻¹时,由于应变速率增加,拉伸过程持续时间减少到2 s,单位时间内变形量增大,产生的变形热增多,对于升高的温度,设备不能及时调整温度,实际拉伸在较高的温度下进行,在终止阶段温度升高到1226 °C。因此,应变速率虽然增加,相当于在更高的温度下进行拉伸,而温度的增加可以提高材料的塑性。所以在高应变速率条件下,塑性呈现上升的趋势。因此,综合流变应力与塑性变化规律,最佳的应变速率应控制在1~10 s⁻¹。

3 结论

(1)断面收缩率随着温度的增高而呈现上升的趋势,在1150~1250 °C断面收缩率增加到50%以上,此区间内试验钢塑性较好,此时铁素体弥散分布,更加均匀,减少应力集中。

(2)在1200 °C时以不同应变速率进行高温拉伸试验,应变速率增加,变形时间递减,不能提供充足的时间进行动态再结晶软化,抗拉强度上升。

(3)应变速率增加,由于变形过程中的温度效应,提高了实际变形温度,导致断面收缩率上升。

(4)综合流变应力与塑性变化规律,高氮奥氏体不锈钢最优的变形参数为1200~1250 °C,应变

速率控制在1~10 s⁻¹。

河北省科技计划项目资助(15211007D)

参考文献

- [1] 赵英利,张云飞,李博斌,等.非真空感应炉-电渣重熔冶炼高氮不锈钢的实验研究[J].河北冶金,2015(4):19-21.
- [2] 赵英利,李建新,张云飞,等.高氮不锈钢热轧开裂原因分析及工艺改进[J].河北冶金,2015(4):53-55.
- [3] 曹阳,姜周华,李花兵,等.高氮不锈钢粉末冶金制备技术的研究进展[J].中国冶金,2007,17(10):4-7.
- [4] 周维智,孙晓洁,徐国涛.Mn18Cr18N钢护环生产工艺研究概况[J].大型铸锻件,2001,1(1):52-54.
- [5] 孙前江,王高潮,李森泉.应变速率对TA15钛合金超塑性的影响[J].特种铸造及有色合金,2012,32(8):687-690.
- [6] 彤鹏.百万千瓦强度级1Mn18Cr18N护环制造工艺研究[D].大连:大连理工大学,2012.
- [7] 黑志刚.316LN不锈钢高温塑性与裂纹预测的研究[D].太原:太原科技大学,2012.
- [8] 李少峰,任学平,李殊霞,等.变形温度对00Cr22Ni5Mo3N双相不锈钢组织及超塑性影响[J].兵工学报,2013,34(11):1442-1447.

李建新(1963-),男,博士(2010年钢铁研究总院),工程师,1983年河北矿业学院(本科)毕业,钢铁冶金及新型材料研究。E-mail:hbsjs@126.com

收稿日期:2017-11-15