

# 粉末冶金无镍奥氏体不锈钢的渗氮研究

李丹丹, 陈 强, 蔡一湘

广东省工业技术研究院(广州有色金属研究院), 广东 广州 510650

**摘 要:**在粉末冶金无镍奥氏体不锈钢的烧结冷却过程中,以气体渗氮方式对其进行渗氮处理.通过对其渗氮层金相组织的观察及力学性能和耐腐蚀性能的测试,结果表明,随着渗氮温度的升高,奥氏体不锈钢随炉冷却时析出物增多,其表层氮含量和表面硬度先增加后趋于平缓,抗弯强度先增加后下降并趋于稳定,而耐腐蚀性降低.

**关键词:**无镍奥氏体不锈钢;渗氮;力学性能;抗腐蚀性

**中图分类号:**TG142.71

**文献标识码:**A

奥氏体不锈钢具有极好的抗腐蚀性和生物相容性,并且无磁性,因而在许多行业中有着广泛的应用.生产中使用的奥氏体不锈钢以镍铬不锈钢为主.由于镍资源严重紧缺,含镍不锈钢的价格猛增,同时镍离子是一种潜在的致敏因子,所以,生产节镍或无镍不锈钢制品有着重要的经济和社会意义<sup>[1-2]</sup>.

氮作为合金元素加入不锈钢中可提高奥氏体的稳定性,在不影响钢的塑性和韧性的前提下可提高钢的强度,并可代替不锈钢中的部分镍<sup>[3]</sup>.同时,氮在自然界中大量存在,成本低廉,用它取代镍可以实现产品质量和成本方面的双收益.本文介绍了粉末冶金不锈钢样品在烧结冷却过程中,以气体渗氮方式对其进行渗氮处理,并对其组织和力学性能进行研究.

## 1 试验部分

### 1.1 试样制备

本试验所用材料为北京安泰公司氮气雾化法生产的高锰无镍不锈钢粉末,粒度小于150  $\mu\text{m}$ ,主要化学成分列于表1.

表1 粉末的主要化学成分

Table 1 Main chemical compositions of the powder

| 元素成分   | Cr    | Mn    | Mo   | N    |
|--------|-------|-------|------|------|
| 质量分数/% | 17.45 | 22.38 | 1.80 | 0.43 |

将8 g石蜡用庚烷热熔解后,加入1000 g不锈钢粉末中充分混合均匀,在80  $^{\circ}\text{C}$ 保温2 h后用筛子筛分,去除团聚的粉末颗粒.然后加入质量分数为0.5%的润滑剂,在600~700 MPa压力下压制30.96mm $\times$ 12.47mm $\times$ 6.43mm试样.在1320  $^{\circ}\text{C}$ 真空烧结2 h后随炉冷却,分别在600, 850, 900, 950, 1000, 1050  $^{\circ}\text{C}$ 时充入氮气进行渗氮处理.

### 1.2 测试方法

用化学方法测定试样表面的氮含量.按ISO6508标准用HDI-1875型布洛维硬度计测定试样硬度.按ISO 3325标准用电子拉伸试验机测试抗弯强度.盐雾腐蚀性测试条件为:质量分数5%盐水、连续喷雾、温度35  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于98%、时间24 h,参照ISO9227标准确定相对比较等级.用OM-NIMENT-3图象分析仪分析材料的显微组织.

收稿日期:2011-06-23

作者简介:李丹丹(1983-),女,贵州惠水人,本科.

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 显微组织

图1为不同温度下经渗氮处理的渗氮层显微组织.从图1可以看到明显的孪晶.这是由于在压制过

程中粉末受到强烈挤压而发生塑性变形,且变形速度极快,晶体通过孪生的方式在晶粒内部产生孪晶带.在600℃渗氮,金相组织为均匀的奥氏体,晶界上没有出现析出相.在850℃渗氮,晶界和晶内都有少量析出相.在900℃渗氮,析出相由晶界向晶内生长.在950℃以上渗氮,析出相随渗氮温度升高向晶

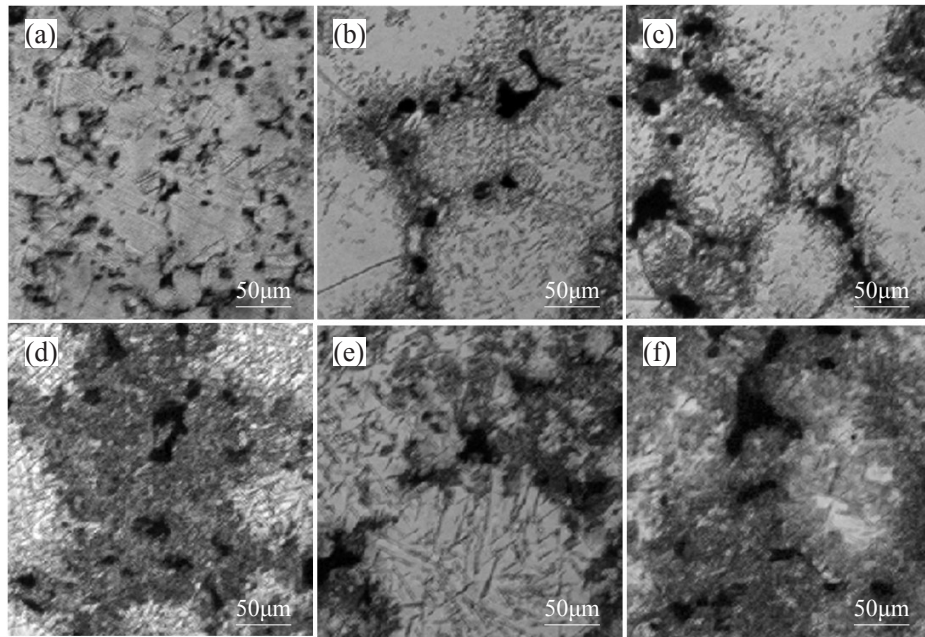


图1 不同温度下渗氮试样的显微组织

(a)600℃;(b)850℃;(c)900℃;(d)950℃;(e)1000℃;(f)1050℃

Fig.1 Microstructures of the samples nitrided at different temperature

内长大,从而布满整个晶粒内部.

试样在随炉冷却过程中,由于冷却速度比较缓慢,随着温度的降低,氮在奥氏体不锈钢中的固溶度下降,所以在奥氏体晶界上有大量氮化物析出,一般认为是 $\text{Cr}_2\text{N}$ 相<sup>[4]</sup>.

### 2.2 渗氮层的氮含量

渗氮温度对渗氮层氮含量的影响如图2所示.由图2可知,随渗氮温度的升高,试样表面的氮含量大幅增加,增加到一定程度趋于平缓.在600℃时含氮质量分数仅为0.025%,850℃时大幅增加到0.8%,900℃时达到1.43%,950℃以后略有增长,但增加幅度不大.

### 2.3 硬度

在600,850,900℃经渗氮处理的试样的表面硬度分别为HRB55,HRB78,HRB96,高于950℃时渗

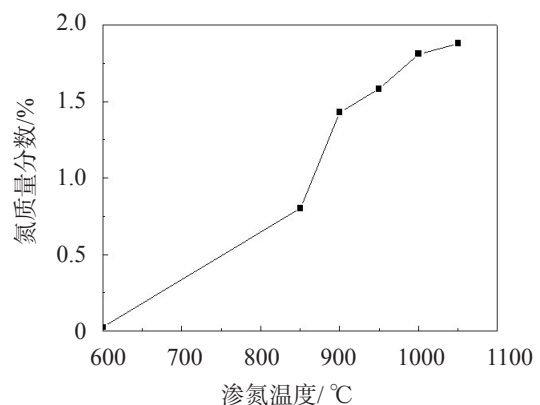


图2 渗氮温度对渗氮层氮含量的影响

Fig.2 Nitrogen concentration of the nitrided layer at different nitriding temperature

氮试样的表面硬度均达到HRB100以上,这与氮含量随温度升高而增加的趋势是一致的.硬度增加的

主要原因是氮的固溶强化和氮化物沉淀析出强化共同作用的结果<sup>[5]</sup>。所以,采用渗氮工艺可以提高奥氏体不锈钢的表面硬度,使其应用更加广泛。

## 2.4 抗弯强度

不同渗氮温度下试样的抗弯强度如图3所示。由图3可知,渗氮温度低于950℃时,随渗氮温度升高渗氮试样的抗弯强度逐渐提高;其后有所降低并趋于平缓。这可能是由于无镍的高氮Cr-Mn-N奥氏体钢中存在韧脆转变(DBT)现象,并且韧脆转变温

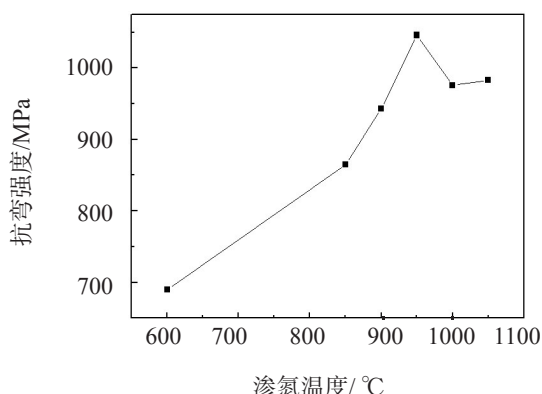


图3 渗氮温度对试样抗弯强度的影响

Fig.3 Buckling strength of the samples nitrided at different temperature

度(DBTT)与氮含量有关。曾有报道,建议高氮Cr-Mn-N奥氏体钢的氮含量应低于一定值<sup>[6]</sup>。

## 2.5 耐腐蚀性

不同渗氮温度下试样的盐雾腐蚀等级如图4所示。从图4可知,600℃渗氮试样的盐雾腐蚀等级为10级,即认为没有发生腐蚀。随着渗氮温度的升高,盐雾腐蚀等级降低。这是由于在奥氏体晶界上有大

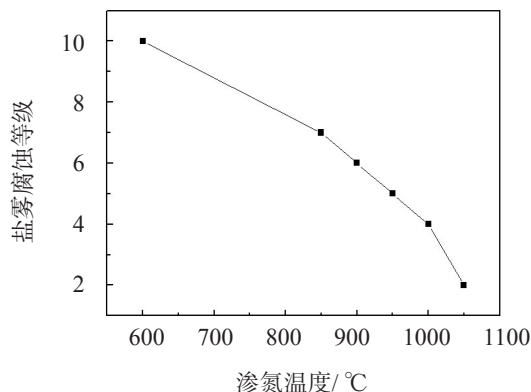


图4 不同渗氮温度下试样的盐雾腐蚀等级

Fig.4 Salt air corrosion grade at different nitriding temperature

量的 $\text{Cr}_2\text{N}$ 析出,而大部分Cr来自晶界附近的奥氏体基体。当晶界处的Cr含量低于钝化所需的临界浓度时,就形成了由处于活化态的晶界贫铬区与处于钝态的中心富铬区组成的具有较大电位差的活化-钝化电池,从而使基体失去了抗腐蚀能力,造成晶界腐蚀<sup>[7]</sup>。 $\text{Cr}_2\text{N}$ 析出越多,基体的耐腐蚀能力越弱。另外,在高氮、节镍的奥氏体不锈钢中,Mn含量提高也会使氮化物析出显著增加,从而进一步降低材料的耐腐蚀性能。

## 3 结 论

随渗氮温度的升高,奥氏体不锈钢随炉冷却时析出物增多,渗氮奥氏体不锈钢试样的氮含量和表面硬度先增加后趋于平缓,抗弯强度先增加后下降并趋于稳定,而耐腐蚀性降低。

## 参考文献:

- [1] 徐匡迪,高玉来,翟启杰.低镍不锈钢生产中的若干冶金学问题[J].钢铁,2004,39(7):1-6.
- [2] 任伊宾,杨柯,张炳春,等.新型医用无镍不锈钢性能研究[J].功能材料,2004,35(增刊):2351-2354.
- [3] 张鑫,刘静,李光强,等.超细晶高氮奥氏体不锈钢的制备及其性能[J].机械工程材料,2007,31(8):29-31.
- [4] SIMMONS J W. Influence of nitride( $\text{Cr}_2\text{N}$ ) precipitation on the plastic flow behavior of high nitrogen austenitic stainless steel[J]. *Seri Pta Metallurgicaet Materialia*, 1995, 32(2): 265-270.
- [5] 石锋.高氮奥氏体不锈钢的组织稳定性研究[D].沈阳:东北大学,2008.
- [6] UGGOWITZE P J, MAGDOWSKI R, SPEIDEL M O. Nickel free high nitrogen austenitic steels[J]. *ISIJ International*, 1996, 36(7):901-908.
- [7] 刘继冰.高氮无镍奥氏体不锈钢显微结构与性能分析[D].长春:长春工业大学,2010.

## Study on nitriding of powder metallurgy nickel-free austenitic stainless steel

LI Dandan, CHEN Qiang, CAI Yixiang

*Guangdong General Research Institute of Industrial Technology(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals),  
Guangzhou 510650, China*

**Abstract:** The nickel-free austenitic stainless steel was treated by gas nitriding during the sinter cooling. The microstructure of the nitrided layer was observed by SEM, and the mechanical property and decay resistance were also tested. The results showed that as the rise of nitriding temperature, more nitride precipitates were obtained during furnace cooling, and that the surface nitrogen content and surface hardness increased at first and then leveled off, and meanwhile the buckling strength increased at first, and decreased and then stabilized, but the decay resistance was decreased.

**Key words:** nickel-free austenitic stainless steel; nitriding; the mechanical property; decay resistance