

文章编号: 1003-7837(2003)02-0136-04

烧结 316L 不锈钢精确渗氮强化工艺的研究

张立华, 蔡一湘, 谭立新

(广州有色金属研究院, 国家钛及稀有金属粉末冶金工程技术研究中心, 广东 广州 510651)

摘 要: 研究了烧结 316L 不锈钢真空烧结后的渗氮强化处理工艺。结果表明, 通过控制渗氮气体压力和渗氮温度可以精确地控制烧结 316L 的渗氮含量, 材料的氮含量随氮气压力和温度的升高而增加, 保温时间对氮含量的影响不大。渗氮处理能有效提高材料的抗弯强度和硬度, 但降低了其塑性和耐腐蚀能力。 $w(N)=0.4\%$ 的试样具有较好的综合性能。

关键词: 粉末冶金; 真空烧结; 316L; 渗氮

中图分类号: TF124.53 **文献标识码:** A

粉末冶金烧结奥氏体(SS-300 系列)不锈钢在工业中应用广泛, 其中烧结 316L 具有优良的耐腐蚀性能。奥氏体不锈钢经热处理后不发生相变, 不能通过热处理进行硬化, 在对强度和耐磨性要求较高的场合下, 其应用受到一定的限制。在奥氏体不锈钢粉末中若添加 Cu, Si, Al 等元素, 可在烧结温度下形成液相, 有利于烧结致密化, 提高材料的力学性能。在 316L 中加入 SiC, 1100℃ 烧结 1 h, 可接近全致密化, 并生成 Fe-SiC 相, 使材料得到强化^[1]。但液相烧结所引起的大收缩率不利于产品尺寸的精确控制, 所生成的界面相会降低材料的耐蚀性。此外, 烧结气氛对烧结 316L 材料的性能有很大影响^[2,3]。分解氨气氛烧结的材料其硬度、强度明显高于真空烧结, 这是由于氨分解气氛中的氮在烧结条件下渗入烧结件形成合金氮化物。高密度粉末注射成形(MIM)不锈钢在烧结和致密化过程中, 用氮气代替氨气可实现渗氮强化。MIM316L 不锈钢渗氮强化时固态扩散的最大氮浓度 $w(N)=0.4\%$ ^[4]。

本研究针对烧结 316L 不锈钢, 设计了一种渗氮新工艺, 即粉末压坯在真空条件下烧结, 烧结收缩阶段完成后通入氮气进行渗氮强化。这种工艺可实现材料的精确渗氮, 使烧结 316L 零件的尺寸得以精确控制并具有优良的强度、硬度及耐蚀综合性能。

1 试验方法

试验原料为水雾化法制得的粒径小于 0.150 mm 的 316L 不锈钢粉, 主要化学成分($w/\%$)为: Cr 16.0~18.0, Ni 10.0~14.0, Mn 0.0~2.0, Si 0.0~1.0, S 0.0~0.03, C 0.0~0.03, Mo 2.0~3.0, Fe 余量, 粉末中添加 1% 的硬脂酸锌。

试样以 800 MPa 压力成形, 压坯密度 6.680 g/cm³, 模压成形坯在 550℃ 脱脂后, 再在 ZKS-50 真空烧结炉烧结, 烧结温度 1260℃, 保温时间 1 h, 降温至 700~1100℃ 后通入氮气,

收稿日期: 2003-09-15

作者简介: 张立华 (1968-), 男, 湖南澧县人, 工程师, 硕士研究生。

氮气压力 0.03~0.13 MPa, 渗氮时间 30~60 min.

性能测试方法: 密度测试执行 ISO2738 标准; 硬度测试执行 ISO6508 标准; 抗弯强度测试执行 ISO3325 标准; 盐雾腐蚀性能测试执行 ISO9227 标准. 氮含量测试方法为标准化学成分分析方法.

2 试验结果与分析

2.1 渗氮工艺与材料氮含量的关系

图 1 为烧结 316L 在渗氮压力 0.08 MPa、温度 950℃、保温时间 30 min 的条件下, 试样中氮含量从表层到内部的变化(试样厚度约 10 mm, 最终密度 7.085 g/cm³). 由图 1 可见, 试样中氮含量从表层到芯部只减少了 0.02%, 这是由于烧结 316L 存在一定数量的连通孔隙, 有利于氮气的进入并被吸附、分裂和扩散所致. 图 2 为渗氮压力 0.08 MPa, 渗氮温度 950℃ 时, 试样中氮含量与保温时间的关系. 从图 2 可以看出, 随保温时间的延长, 试样中氮含量有微少增加.

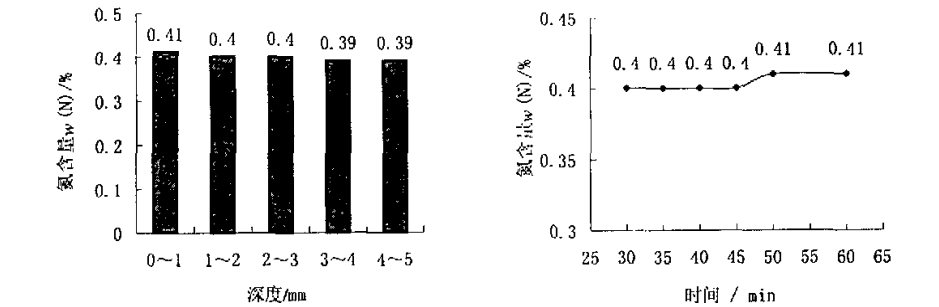


图 1 试样中氮含量与深度的关系

Fig. 1 Relationship between nitrogen content and penetrated depth

图 2 试样中氮含量与保温时间的关系

Fig. 2 Relationship between nitrogen content and heat holding time

在保温时间 60 min 时, 不同渗氮温度和氮气压力的条件下, 试样的氮含量列于表 1. 从表 1 可以看出, 氮气压力为 0.13 MPa 时, 试样的氮质量分数为 0.5% 以上(超出仪器测量范围); 随着氮气压力降低, 试样中氮含量明显下降, 当氮气压力为 0.03 MPa 时降到 0.28% (1100℃); 在相同的氮气压力条件下, 随着渗氮温度升高, 试样的氮含量有所提高; 渗氮氮气压力对氮含量的影响大于温度的影响.

表 1 渗氮温度和氮气压力对试样中氮含量的影响

Table 1 Effect of treating temperature and nitrogen gas pressure on nitrogen content

试样	N ₂ 压力/MPa	渗氮温度/℃	w(N)/%
1	0.13	1100	>0.5
2	0.08	1100	0.45
3	0.03	1100	0.28
4	0.13	950	>0.5
5	0.08	950	0.41
6	0.03	950	0.26
7	0.13	850	>0.5
8	0.08	850	0.38
9	0.03	850	0.21

注: 1) 保温时间 60 min.

以上试验表明,对于烧结 316L 不锈钢真空烧结后的渗氮,可以通过对氮气压力、渗氮温度和保温时间这些工艺参数的调整,精确控制材料的氮含量.在批量生产中通过选择适当的压力和温度,保证了烧结 316L 不锈钢零件中氮的质量分数稳定在 0.38%~0.42%.

2.2 氮含量与材料性能的关系

表 2 列出了不同氮含量材料的性能测试数据.从表 2 看出,未经渗氮处理的烧结 316L 进行抗弯试验时没有发生断裂;经渗氮处理的 316L 材料,其强度、硬度明显提高,但塑性大大降低. $w(N)>0.41\%$ 的试样,其抗弯强度的增加趋缓; $w(N)>0.5\%$ 的试样,其抗弯强度反而低于 $w(N)$ 为 0.41% 和 0.45% 试样的抗弯强度,但硬度的提高较明显.这可能是氮含量过高的试样在孔隙和晶界有较多的 Cr_2N 相析出,造成应力集中,从而诱发裂纹并扩展,导致强度降低. Cr_2N 为高硬度金属氮化物,因此随氮含量增加材料硬度增加.盐雾腐蚀等级随氮含量的增加而降低,表明采用真空烧结后再经渗氮处理的 316L,其耐蚀性降低,尤其是高氮含量的材料. $w(N)=0.41\%$ 的试样其盐雾腐蚀等级可达到 9 级,抗弯强度和硬度均比未经渗氮处理的试样高许多.烧结 316L 经渗氮处理后,密度有微小降低,这是由于渗入氮原子后,材料体积略有膨胀.图 3 为 $w(N)=0.41\%$ 的试样(a)与未渗氮的试样(b)的金相组织.从图 3 看出,两种试样均为奥氏体组织,孔隙度和孔隙分布状态均无明显差别,晶粒尺寸基本相同,表明渗氮处理未对材料的显微结构产生不利影响.

表 2 氮含量与材料性能的关系¹⁾
Table 4 Relationship between material properties and nitrogen content

试样号	$w(N)/\%$	性能				
		抗弯强度/MPa	最大断裂位移/mm	硬度(HRB)	盐雾腐蚀等级	密度/(g·cm ⁻³)
1	>0.5	1020	1.1	88	8.0	7.083
2	0.45	1058	2.5	81	8.5	7.085
5	0.41	1029	2.6	73	9.0	7.085
6	0.26	853	4.0	63	9.2	7.090
9	0.21	743	5.2	42	9.2	7.090
0	0.01	595	—	23	9.5	7.093

注:1) 0 号样未经渗氮处理,其余为表 1 工艺制备的试样.

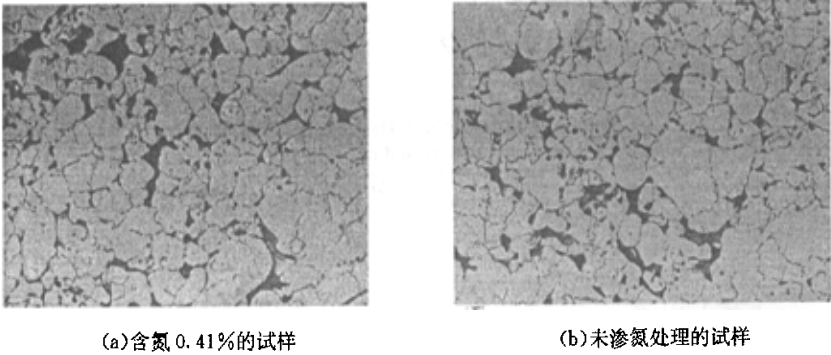


图 3 渗氮和未渗氮试样金相显微组织的比较,400×

Fig. 3 Microstructure of nitridation and non-nitridation samples,400×

3 结 论

渗氮强化处理烧结 316L 材料虽能有效地提高材料的强度和硬度,但降低了其塑性和耐腐蚀能力。材料的氮含量主要受渗氮氮气压力和处理温度的影响,通过控制氮气压力和渗氮温度可精确地控制烧结 316L 的氮含量。氮含量随氮气压力和温度的升高而增加。保温时间对氮含量的影响不大。厚度约 10 mm 的试样表层和内部的氮含量相差很少。渗氮后试样有轻微涨大, $w(N)=0.41\%$ 的试样的显微结构与未渗氮处理烧结件的基本相同,但强度、硬度和耐蚀性的综合性能有明显改善。

参考文献:

- [1] 郭庚辰. 奥氏体不锈钢粉末压坯的液相烧结[J]. 粉末冶金工业, 1998, 8(4): 30.
- [2] (美)美国金属学会编;金属手册(第七卷)[M]. 韩凤麟,译. 北京:机械工业出版社, 1994.
- [3] 郭庚辰. 氮基气氛中材料的脱硫与氮吸收[J]. 粉末冶金技术, 1992, 10(3): 217.
- [4] James R, Fred C. Nitrogen enhanced stainless steel by powder injection molding[J]. 安锦绣,译. 粉末冶金工业, 1997, 7(5): 38.

Study on precise nitridation process of sintered 316L stainless steel

ZHANG Li-hua, CAI Yi-xiang, TAN Li-xin

(National Engineering Research Center of P/M of Titanium and Rare Metals, Guangzhou
Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: Nitriding process of P/M 316L sintered in vacuum has been studied. The results show that the nitrogen content in the sintered 316L is increased with an increase of nitrogen pressure and nitriding temperature, and little increased with heat preservation time. The nitrogen content of the treated 316L can be controlled accurately by controlling the nitrogen gas pressure and nitriding temperature. Bending strength and hardness of the nitrided 316L material are improved, but its plasticity and corrosion resistance become slightly poor. The samples containing 0.41%N show good comprehensive properties.

Key words: P/M; sintering in vacuum; 316L; nitriding