

# 奥氏体不锈钢低温气体渗碳的组织性能\*

李 朋, 潘 邻, 张良界, 杨闽红, 朱云峰, 马 飞

(武汉材料保护研究所, 武汉 430030)

**摘 要:** 低温盐浴渗碳、等离子渗碳等低温渗碳工艺在提高奥氏体不锈钢表面强度的同时,会降低其耐蚀性能。为克服上述缺陷,开发了一种高效兼顾表面强度与耐蚀性能的表面强化工艺的低温气体渗碳技术。采用该工艺对 304、316 奥氏体不锈钢进行渗碳处理,并对得到的奥氏体不锈钢低温渗碳组织性能进行分析。结果表明,随着温度升高,试样表面强度提高,而腐蚀性能下降。470℃是兼顾强化与耐蚀性能的低温气体渗碳工艺参数。

**关键词:** 奥氏体不锈钢; 低温气体渗碳; 硬度; 耐蚀性

**中图分类号:** TG156.81      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9289(2013)02-0097-05

## Structure and Properties of Anti-corrosion Carburized Layers in Austenitic Stainless Steels

LI Peng, PAN Lin, ZHANG Liang-jie, YANG Min-hong, ZHU Yun-feng, MA Fei  
(Wuhan Research Institute of Materials Protection, Wuhan 430030)

**Abstract:** Low temperature carburizing process, such as salt bath carburizing and plasma carburizing can improve the surface strength of the austenite stainless steel, but reduce the corrosion resistant performance. A gas carburizing technology at low temperature was developed, which can both improve the surface strength and corrosion resistant performance. 304 and 316 austenitic stainless steel were carburized by low temperature carburizing process, and the hardness and performance was analyzed. The results show that the surface strength enhances, however, the corrosion resistance reduces with the temperature increase. The austenitic stainless steel shows good strength and corrosion resistance under the condition of 470 °C.

**Key words:** austenitic stainless steel; gas carburizing at low temperature; hardness; corrosion resistance

### 0 引 言

奥氏体不锈钢大量应用于化工、汽车、食品工业、药品机械、电器元件、海运及海洋构件、装饰及生活用品等领域,是目前使用最为广泛的金属耐腐蚀材料。但奥氏体不锈钢存在表面强度不高的突出问题,直接表现为硬度、抗磨损性能及抗疲劳性能低,严重影响奥氏体不锈钢的使用范围,或是大幅度降低零部件的使用寿命。因此,奥氏体不锈钢的表面强化问题,成为制约这类材料应用的瓶颈<sup>[1-2]</sup>。为提高奥氏体不锈钢的表面强度及耐磨损性能,以往采用的表面强化技术以低温盐浴

渗碳和离子渗碳为主,用这种方法处理过的奥氏体不锈钢虽然表面强度得到显著增强,但是却在一定程度上降低了材料的耐蚀性能<sup>[3]</sup>。为了有效解决奥氏体不锈钢的表面强度与耐蚀性兼顾的问题,文中在消化、吸收国外低温渗碳技术<sup>[4-7]</sup>的基础上提出一种高效的奥氏体不锈钢低温渗碳工艺,该工艺在不降低奥氏体腐蚀情况下,能显著的提高其表面硬度。采用该工艺对 304、316 奥氏体不锈钢进行低温气体渗碳处理,对得到的奥氏体不锈钢试样进行组织性能和腐蚀性能的分析与研究。

**收稿日期:** 2012-12-07; **修回日期:** 2013-03-07; **基金项目:** \* 国家自然科学基金(50975210)

**作者简介:** 李朋(1982-),男(汉),湖北武汉人,工程师,硕士; **研究方向:** 低温气体渗碳

**网络出版日期:** 2013-03-26 16:02; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20130326.1602.005.html>

**引文格式:** 李朋,潘邻,张良界,等.奥氏体不锈钢低温气体渗碳的组织性能[J].中国表面工程,2013,26(2):97-101.

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为 AISI304, AISI316 奥氏体不锈

钢(简称 304、316),其化学成分见表 1。试样的尺寸为 20 mm×20 mm×5 mm,试验前,对试样进行简单的去油、去污预处理,然后用酒精将工件擦拭干净。

表 1 AISI304 和 AISI316 奥氏体不锈钢材料的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of AISI 304 and 316 austenitic stainless steel ( $w/\%$ )

Material	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Ti	Fe
AISI304	18.30	10.48	0.00	2.10	0.48	0.07	0.00	Bal.
AISI316	17.10	10.01	2.04	1.48	0.40	0.08	0.00	Bal.

### 1.2 试验方法

试验在自制的保温式多功能等离子化学热处理低温渗碳炉内进行,保温式的炉体结构可进一步提高炉内工件的温度均匀性,特别适合于不锈钢的低温硬化处理。炉内放置高度为 200 mm 的三脚架,将 304、316 奥氏体不锈钢试样悬挂其上面,为精确控制炉内温度将  $\Phi 3$  mm 的铠装热电偶置于三脚架中心部分,用于测量并控制炉内的温度。不锈钢低温渗碳流程及工艺参数如图 1 和表 2 所示。

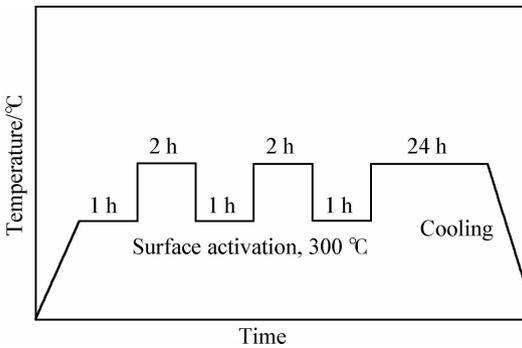


图 1 低温气体渗碳流程图

Fig. 1 Schematic diagram of low-temperature gas carburizing

表 2 低温气体渗碳工艺参数表

Table 2 Process parameters of low temperature gas carburizing

No.	Pretreatment		Carburizing	
	holding time/h	temperature/°C	holding time/h	temperature/°C
1	1	300	24	470
2	1	300	24	500

观察样品的显微组织和微观形貌,用 HVS-1000 型显微硬度计测量渗碳试样硬化层横截面的硬度分布,载荷砝码为 25 g,保压时间 10 s,CS 电化学工作站分析试样的耐蚀性。

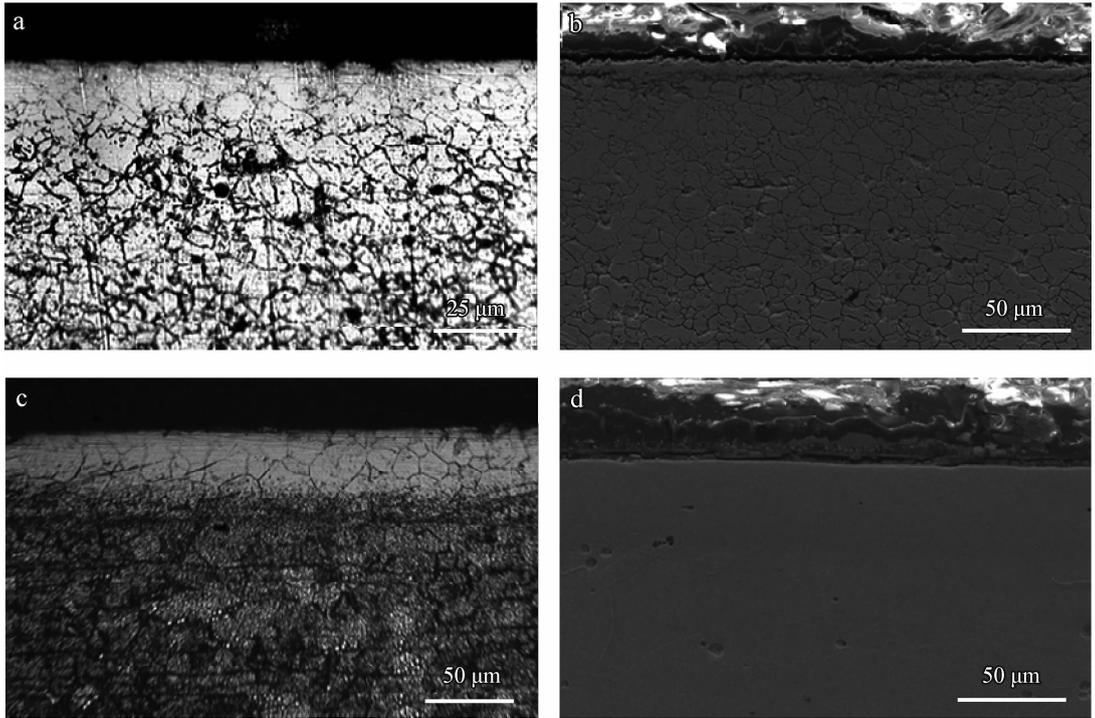
## 2 试验结果与分析

### 2.1 AISI304 奥氏体不锈钢试样的微观形貌

图 2 为 304 不锈钢经 24 h 低温渗碳处理后的微观形貌。经过 500 °C 工艺处理的试样白亮层(光学显微镜下白亮区域)厚度为 20~30  $\mu\text{m}$ ,渗层区域组织致密,如图 2(a)所示;试样渗层与基体分界线不明显,基体区域晶界粗大,如图 2(b)所示。470 °C 工艺处理的试样白亮层厚度有 15~30  $\mu\text{m}$ ,渗层区域组织比基体致密,如图 2(c)所示;试样渗层与基体分界线明显,基体区域组织致密,如图 2(d)所示。由图 2(b)(d)可见,500 °C 基体表面无疏松层,无论渗层还是基体区域,其组织要致密很多。

### 2.2 AISI316 奥氏体不锈钢试样的微观形貌

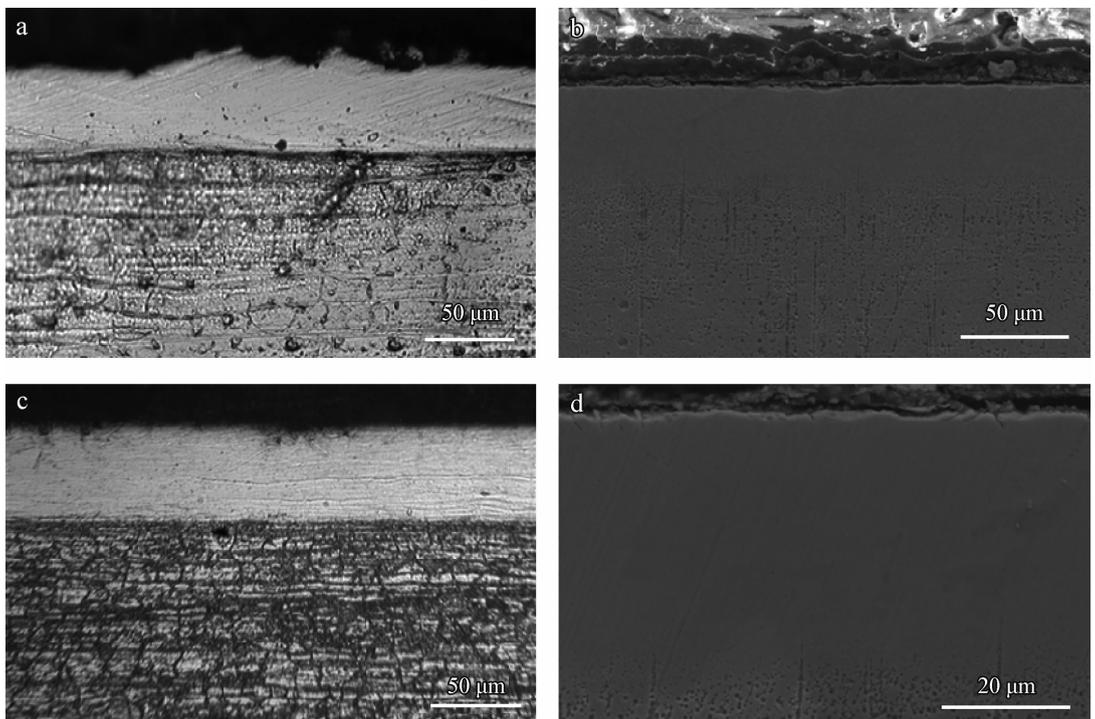
图 3 为 316 不锈钢经 24 h 低温渗碳处理后的微观形貌。经过 500 °C 工艺处理的试样白亮层(光学显微镜下白光区域)厚度为 40~50  $\mu\text{m}$ ,渗层区域组织致密,如图 3(a)所示。渗层区域组织比基体致密;试样渗层与基体分界线明显,渗层区域组织致密,如图 3(b)所示。470 °C 工艺处理的试样白亮层厚度为 30~40  $\mu\text{m}$ ,渗层与基体分界线明显,渗层比较均匀,渗入效果较好,如图 3(c)所示;试样渗层、扩散层与基体分界线明显,渗层区域组织致密,如图 3(d)所示。



(a) 500 °C metallograph (b) 500 °C SEM (c) 470 °C metallograph (d) 470 °C SEM

图 2 不同温度条件下 304 不锈钢的低温渗碳微观形貌

Fig. 2 Microstructure of 304 stainless steel after gas carburizing at different temperature



(a) 500 °C metallograph (b) 500 °C SEM (c) 470 °C metallograph (d) 470 °C SEM

图 3 不同温度条件下 316 不锈钢的低温渗碳微观形貌

Fig. 3 Microstructure of 316 stainless steel after gas carburizing at different temperature

### 2.3 渗层硬度

图4为两种奥氏体不锈钢材料渗层的硬度分布。从图4(a)中可以得知,经500℃处理的304不锈钢渗层区域硬度值在960 HV<sub>0.025</sub>左右,硬度梯度下降比较平缓,硬度在550 HV<sub>0.025</sub>以上的区域有32 μm,经470℃处理的304不锈钢渗层区域硬度值在810 HV<sub>0.025</sub>左右,硬度梯度也下降平缓,但硬度在550 HV<sub>0.025</sub>以上的区域只有12 μm。经500℃处理的316不锈钢渗层区域硬度值在960 HV<sub>0.025</sub>左右,硬度梯度下降比较缓,硬度在550 HV<sub>0.025</sub>以上的区域约26 μm。经470℃处理的316不锈钢渗层区域硬度值在850 HV<sub>0.025</sub>左右,硬度梯度也下降平缓,但硬度在550 HV<sub>0.025</sub>以上的区域有18 μm。

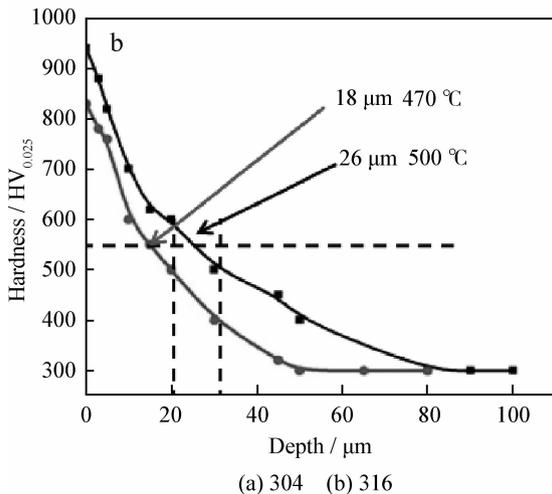
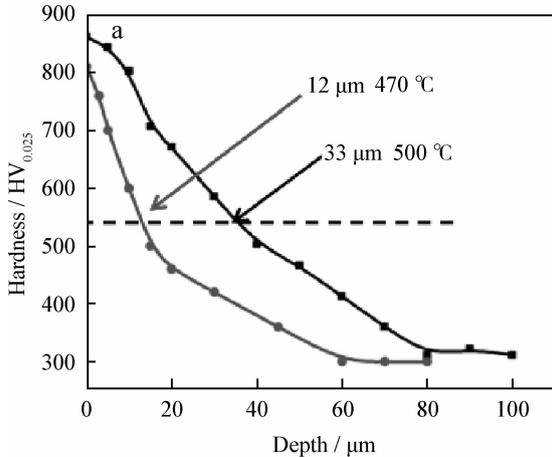


图4 304和316在不同渗碳温度下的硬度

Fig. 4 Hardness of the carburizing layer of 304 and 316 stainless steel at 500℃

### 2.4 耐蚀性能

图5是经不同温度条件下渗碳处理的和未处理的304奥氏体不锈钢的Tafel极化曲线。根据图5得出该Tafel曲线的相关数据(见表3)。其中,点蚀电位取Tafel曲线阳极极化区电流密度为10 μA/cm<sup>2</sup>处对应的电位<sup>[10]</sup>。数据说明,经过500℃处理的试样自腐蚀电位下降严重,而经过470℃处理的试样自腐蚀电位变化都不大,试样的腐蚀电流均仅有微小增加。

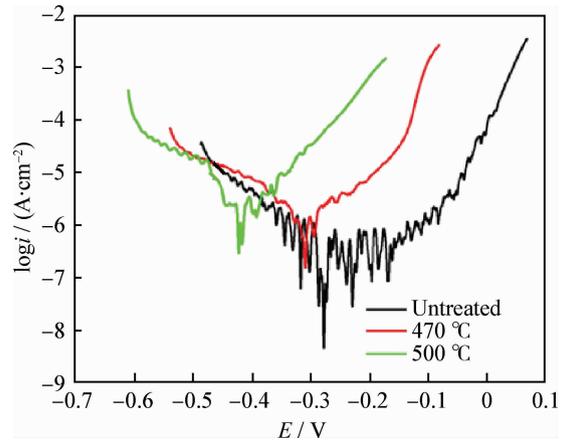


图5 304不锈钢的Tafel极化曲线

Fig. 5 Tafel polarization curves of 304 austenitic stainless

表3 不同条件下304不锈钢的Tafel极化结果

Table 3 Tafel polarization results of 304 stainless steel under different conditions

Conditions	Corrosion potential/mV	Current density/(A·cm <sup>-2</sup> )
Untreated	-289.0	6.326×10 <sup>-8</sup>
470℃, 48 h	-310.2	7.068×10 <sup>-7</sup>
500℃, 48 h	-423.3	1.102×10 <sup>-6</sup>

图6是经不同工艺处理和未处理的316试样的Tafel极化曲线。根据图6得出该Tafel曲线的相关数据(见表4)。数据说明,经过500℃处理的试样,自腐蚀电位严重下降,腐蚀电流增加了一个数量级,并且其Tafel曲线未出现阳极钝化区。而经过470℃处理的试样自腐蚀电位和腐蚀电流变化都不大,仅维钝电流稍有降低,470℃处理试样的点蚀电位有降低。

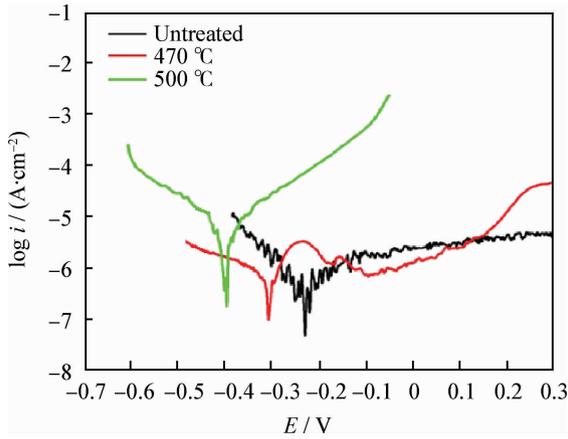


图6 316 不锈钢的 Tafel 极化曲线

Fig. 6 Tafel polarization curves of 316 austenitic stainless

表4 不同条件下 316 不锈钢的 Tafel 极化曲线结果

Table 4 Tafel polarization curve of 316 stainless steel under different conditions

Conditions	Corrosion potential/mV	Current density/(A · cm <sup>-2</sup> )
Untreated	-230.4	8.539 × 10 <sup>-7</sup>
470 °C, 48 h	-308.1	6.271 × 10 <sup>-7</sup>
500 °C, 48 h	-395.2	8.308 × 10 <sup>-6</sup>

## 2.5 试验结果讨论

经过低温渗碳处理,奥氏体不锈钢渗碳层的金相组织不一致。经过 470 °C 处理的 304 和 316 奥氏体不锈钢表层为白亮层组织,渗层清晰可见。而经过 500 °C 处理的 304 奥氏体不锈钢白亮层组织并不明显,渗层的深度只能通过硬度测量来计算;316 奥氏体不锈钢白亮层很明显,但不均匀。两个牌号的奥氏体不锈钢中,500 °C 试样的白亮层均比 470 °C 试样的白亮层厚,这说明渗碳温度的提高,促进了此低温渗碳过程。但在 500 °C 渗碳温度下 304 试样中白亮层不明显,在 316 试样中白亮层不均匀。这说明在 24 h 的渗碳时间下,过度提高渗碳温度影响了渗层的质量。

经过 500 °C 处理的 304 试样略高于同样工艺条件下 470 °C 处理的表面硬度,但在 Tafel 曲线上表现出的腐蚀性能大幅度的降低,这说明随着温度的升高,试样表面的硬度在提高,腐蚀性能在下降。同样,经过 470 °C 处理的 316 试样略低于

同样工艺条件下 500 °C 处理的表面硬度,但其耐腐蚀性能基本与未处理试样相当,这说明 470 °C 温度点是兼顾强化与耐腐蚀性能的低溫气体渗碳工艺参数。

## 3 结论

(1) 奥氏体不锈钢经低温气体渗碳处理后,其表面强度得到显著提高。

(2) 温度是影响奥氏体不锈钢硬度、渗层深度、耐腐蚀性能的关键因素,在其它参数相同的条件下,当渗碳温度超过 500 °C 时,耐腐蚀性明显的下降;当渗碳温度在 470 °C 时,耐腐蚀性和未处理的基材相当。

## 参考文献

- [1] 王萌, 巩建鸣, 荣冬松. 奥氏体不锈钢低温气体渗碳工艺研究 [J]. 压力容器, 2012, 6(9): 45-46.
- [2] 李艳秋, 韩云杰. kolsterising-不损失耐腐蚀性的奥氏体不锈钢和双相不锈钢的表面硬化 [J]. 国外金属热处理, 2002, 23(6): 28-32.
- [3] 吴金金, 张良界, 潘邻, 等. 奥氏体不锈钢低温渗碳技术的研究现状及应用前景 [J]. 热处理技术与装备, 2009, 30(4): 22-27.
- [4] Cao Y, Ernst F, Michal G M. Colossal carbon supersaturation in austenitic stainless steels carburized at low temperature [J]. Acta Materialia, 2003, 11(51): 4171-81.
- [5] Michal G M, Ernst F, Kahn H, et al. Carbon supersaturation due to paraequilibrium carburization: Stainless steels with greatly improved mechanical properties [J]. J Acta Materialia, 2006, 54: 1597-1606.
- [6] Michal G M, Ernst F, Heuer A. H. Carbon paraequilibrium in austenitic stainless steel [J]. Metallurgical and Material Transactions A, 2006, 37A(6): 1819-24.
- [7] 张金芝. 奥氏体不锈钢的一种新型表面硬化技术 [J]. 国外金属热处理, 2004, 25(3): 46-47.
- [8] Buhagiar J. 25 years of S-phase [J]. Surface Engineering, 2010, 26(4): 229-232.
- [9] 胡庚祥, 蔡珣, 戎咏华. 材料科学基础(第三版) [M]. 上海: 上海交通大学出版社.
- [10] GB/T17899-1999, 不锈钢点蚀电位测量方法 [S].

作者地址: 武汉市汉口宝丰二路 126 号

430030

武汉材料保护研究所

Tel: (027) 8363 6995

E-mail: sobaba2012@163.com