

## TTS443 高铬铁素体不锈钢的开发

邹勇

(太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003)

**摘要** 针对 304(Cr18-Ni8 型)奥氏体不锈钢和 430(Cr17 型)铁素体不锈钢的特性,通过试验和分析 Cr、Cu、Nb、Ti 等合金元素对铁基合金材料性能的影响,开发出一种高铬铁素体不锈钢-TTS443(成分:0.010C、21Cr、0.40Cu、0.25Nb、0.20Ti、0.012N)。该钢种的耐蚀性能与 304 奥氏体不锈钢相当,具有良好的成形性与焊接性能, TTS443 铁素体不锈钢是 304 奥氏体不锈钢理想代替材料。

**关键词** 高铬铁素体不锈钢 耐蚀性 成形性 焊接性

## Development of a High-Chromium Ferritic Stainless Steel TTS443

Zou Yong

(Technology Center, Taiyuan Iron and Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

**Abstract** In the light of specific properties of austenitic stainless steel 304 (type Cr18-Ni8) and ferritic stainless steel 430 (type Cr17), a high-chromium ferritic stainless steel TTS443 (成分:0.010C, 21Cr, 0.40Cu, 0.25Nb, 0.20Ti, 0.012N) has been developed by testing and analyzing the effect of Cr, Cu, Nb, Ti element on properties of iron base alloy material. The corrosion resistance of new developed steel is equal to that of austenitic stainless steel 304, and has better formability and weldability. The ferritic stainless steel TTS443 is an idea material to substitute for austenitic stainless steel 304.

**Material Index** High-Chromium Ferritic Stainless Steel, Corrosion Resistance, Formability, Weldability

针对我国镍资源短缺的现状,大力发展高性能铁素体不锈钢对我国经济的发展具有重要意义。本文着重介绍一种性能优良、不含 Ni 和 Mo,可在许多领域代替 304 的高铬铁素体不锈钢。

### 1 合金设计

为了达到与 304 不锈钢相当的耐蚀性并具有良好的成形性,同时克服 430 铁素体不锈钢的缺点,新钢种的设计概念是通过提高 Cr 含量、降低 C 和 N 含量、加入少量的 Cu、添加适量的 Ti 或 Nb 稳定化元素。另外,优化从冶炼到最终的热处理工艺,提高

新钢种的性能。

#### 1.1 铬

在氧化性介质中,钢的耐蚀性随 Cr 含量的提高而增加<sup>[1]</sup>。另一方面 Cr 是铁素体形成元素,足够量的 Cr 可使钢变成单一的铁素体不锈钢<sup>[2]</sup>。

在目前 430 与 304 耐蚀性对比结果的基础上结合材料开发的目标,在实验室条件下研究了 17%、19%、21%、23% 4 种 Cr 含量对材料点蚀电位的影响(试样除 Cr 以外,其余为 Fe、C、N 含量极低),具体的结果如图 1 所示。从图 1(a)中的数据可知,随

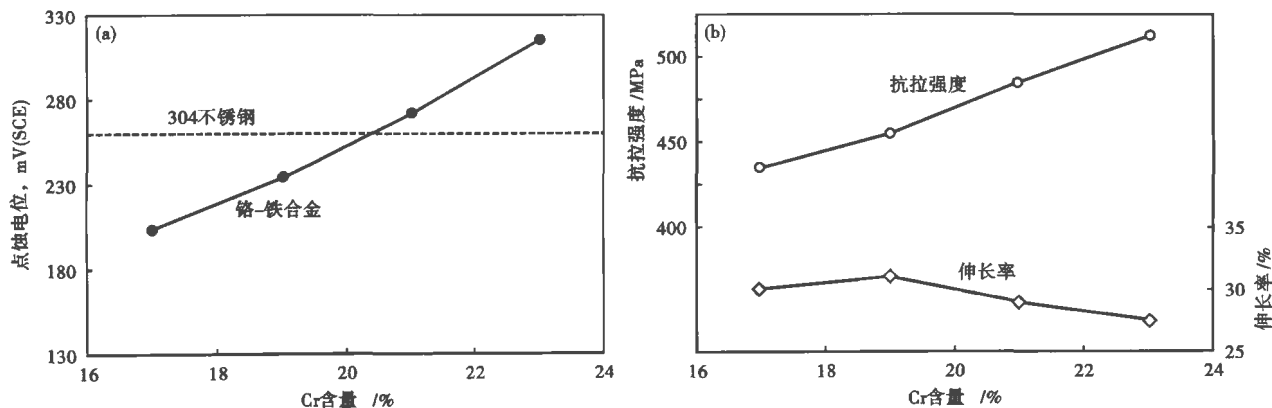


图 1 Cr 含量对铬-铁合金点蚀电位(a)和力学性能(b)的影响

Fig. 1 Effect of Cr content on pitting potential (a) and mechanical properties of (b) chromium-iron alloy

着钢中 Cr 含量的增加,铁素体不锈钢点蚀电位升高,其耐蚀性能提高。当 Cr 含量达到 19% 时,其点蚀电位达到与 304 相当。

虽然 Cr 提高材料的耐蚀性能,但也显著影响力学性能,强度升高、伸长率下降(图 1b),即恶化材料的加工性能,严重阻碍材料的应用。为成功开发这种新材料,必须解决其加工性能差的问题,才能实现开发目标和广泛应用。

## 1.2 铜

Cu 可以改善高铬铁素体不锈钢的加工性能,并且 Cu 本身具有较好的抗还原性腐蚀能力,可提高材料的耐蚀性。因 Cu 的熔点较低,其加入量不能过多,否则会降低材料的热塑性,造成热轧困难。

为此在实验室设计了添加 0.40%、0.70%、

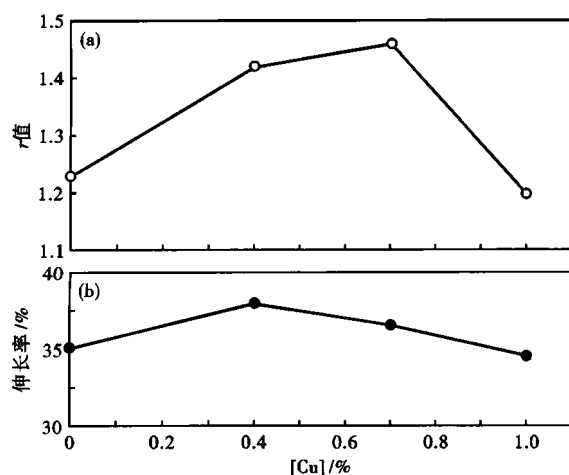


图 2 Cu 含量对 21Cr-Fe 合金塑性应变比( $r$  值)(a)和伸长率(b)的影响

Fig. 2 Effect of Cu content on plastic strain ratio ( $r$  value) (a) and elongation (b) of 21Cr-Fe alloy

1.0% 的 Cu (试样 Cr 含量 21%,其余为 Fe, C、N 含量极低)对材料的平面塑性应变比  $r$  值、伸长率影响的试验(图 2)。从图 2 中的数据可知,Cu 含量在 0.40% 左右时,材料的  $r$  值、伸长率等性能均最佳。

## 1.3 其它

随 C、N 含量的增加,铁素体不锈钢脆性转变温度明显上移,且晶间腐蚀敏感性增加,并使钢的一般腐蚀性下降<sup>[2]</sup>。另外,C、N 含量对材料成形性

的影响也较大,随 C、N 含量增加,材料的塑性应变比( $r$  值)显著下降。从铁素体不锈钢材料的成形性、耐蚀性和脆性转变温度等方面考虑,C、N 都是越低越好。

为了防止 C、N 的危害,即晶间腐蚀,一方面是降低 C、N 含量,另一方面是添加稳定化元素<sup>[3]</sup>。针对开发的新材料,进一步降低 C、N 含量需增加大量成本,因此需添加稳定化元素。目前在铁素体不锈钢中普遍使用的稳定化元素是 Nb 或 Ti。

## 2 显微组织

最终确定的 TTS443 铁素体不锈钢的化学成分见表 1。

表 1 TTS443 铁素体不锈钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of ferritic stainless steel TTS443 / %

C	Cr	N	Ni	Nb	Ti	Cu
0.010	21	0.012	-	0.25	0.20	0.40

新钢种采用 85 t VOD 冶炼,铸坯经低温热轧、冷轧,得到 2B 表面(冷轧、热处理、酸洗或除鳞、光亮加工)。图 3(a)是新钢种冷轧板母材的显微组织,由铁素体相和稳定的 Nb(N,C)或 Ti(N,C)相组成,图 3(b)为热影响区组织。

## 3 新钢种的性能

钢种采用 VOD 冶炼,连铸板坯经过热轧、冷轧,得到 1.0 mm 冷轧板。

### 3.1 耐蚀性

#### 3.1.1 点蚀电位

不锈钢在 NaCl 介质中的腐蚀形态主要是点蚀,

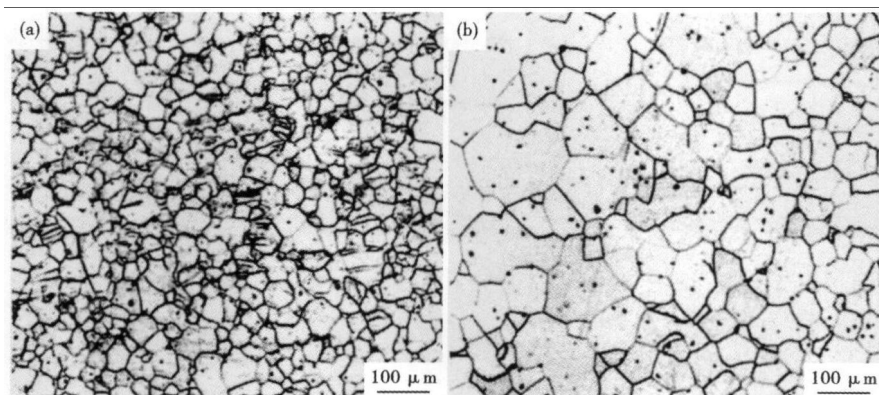


图 3 TTS443 铁素体不锈钢冷轧板母材(a)和热影响区(b)的组织形貌  
Fig. 3 Morphology of structure of base metal (a) and heat affected zone (b) of high-chromium ferritic stainless steel TTS443 cold rolled sheet

点蚀电位越高,耐点蚀性能越好。图4是按照GB17899-1999(室温下在3.5% NaCl溶液中不锈钢的点蚀电位)电位测量方法所测量的结果。由图4可以看出,TTS443冷轧板的点蚀电位略高于SUS304奥氏体不锈钢,明显大于SUS430不锈钢。

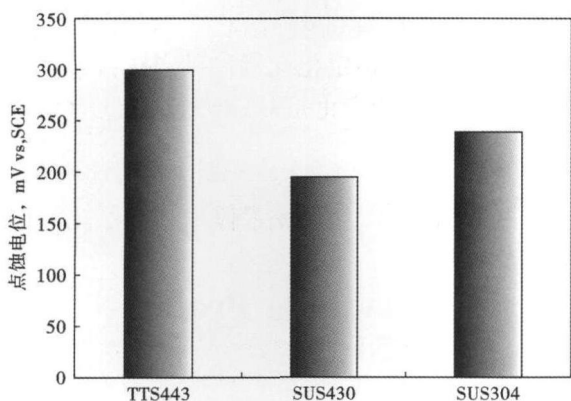


图4 TTS443、SUS430和SUS304不锈钢的点蚀电位  
Fig. 4 Pitting potential of steel TTS443, SUS430 and SUS304

### 3.1.2 盐雾腐蚀试验

按照GB10125-1988《人造气氛中的腐蚀实验—盐雾试验(SS试验)》,在 $(50 \pm 5)$  g NaCl/L、 $(35 \pm 2)$  °C条件下连续喷雾840 h,试验结果得出,430不锈钢锈蚀最严重,TTS443铁素体不锈钢锈蚀比304奥氏体不锈钢轻。

### 3.1.3 模拟潮湿海洋大气环境中的耐蚀试验

由TTS443铁素体与304奥氏体不锈钢在模拟湿热含Cl<sup>-</sup>环境中,连续放置720 h的腐蚀形貌(图5)可见,TTS443与304不锈钢一样,几乎不发生腐蚀,只是在悬挂试样的孔周围有轻微的锈斑,这是由于钻孔时破坏了周围的钝化膜所致。

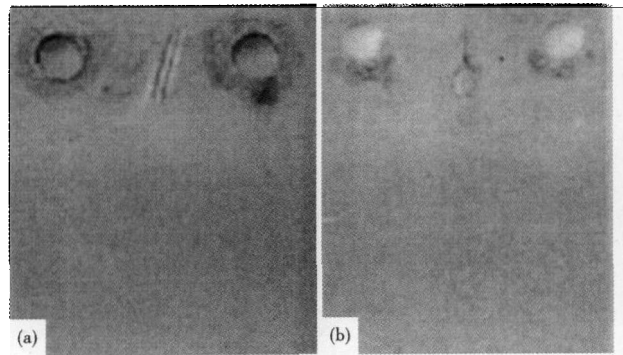


图5 304钢(a)和TTS443钢(b)的腐蚀形貌-湿热环境720 h  
Fig. 5 Morphology of corrosion of steel 304 (a) and steel TTS443 (b) in moist-heat air for 720 h

## 3.2 力学性能及成形性能

通过降低钢中C、N含量、添加适量的Cu、Nb、Ti,使新钢种TTS443获得了良好的力学性能和成形性能(表2)。从r值、极限深冲比(LDR)、锥杯值(CCV)和杯突值(IE)结果看,TTS443与304不锈钢的成形性能基本相当。

表2 TTS443铁素体不锈钢的力学性能和成形性能  
Table 2 Mechanical properties and formability of ferritic stainless steel TTS443

钢种	力学性能			成形性能				
	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率A <sub>50</sub> /%	硬度(HV)	平均r值	IE	LDR	CCV
TTS443	315	470	34	154	1.45	9.0	2.36	38.6
304	285	650	60	176	1.0	12.1	2.21	37.7

## 3.3 焊接性能

通过降低C、N含量、添加Nb、Ti元素,使TTS443高铬铁素体不锈钢获得良好的焊接性能。焊缝的力学性能与母材相当、热影响区晶粒长大程度较小(图3b)、无晶间腐蚀倾向。

## 4 应用

TTS443高铬铁素体不锈钢具有与SUS奥氏体不锈钢相当的性能且价格优势明显,目前已广泛应用于电梯、深冲制品、餐厨具等领域,成为SUS304奥氏体不锈钢的理想代替材料。

## 5 结论

(1) TTS443不含Ni、Mo等贵金属,成本低且价格波动小。

(2) 耐蚀性能与304奥氏体不锈钢相当,同时具有良好的成形性和焊接性,可在大多数领域代替SUS304的奥氏体不锈钢。

(3) 该材料已在电梯装饰、深冲制品、餐厨具等领域大量应用,并成为这些行业的首选材料。

### 参考文献

- 1 陆世英. 不锈钢概论. 北京:中国科学技术出版社,2007
- 2 陆世英. 不锈钢. 北京:原子出版社,1998
- 3 Gordon W. 铁素体不锈钢的稳定化. 孙守信译. 冶钢译丛,1997(1):45

邹勇(1975-),男,工程师,2000年北京科技大学毕业,不锈钢产品及工艺技术开发。

收稿日期:2011-07-08