

# 管材 双相不锈钢 Sandvik SAF 2707 HD®



数据表 S-1877-CHS 2008 年 5 月

**Sandvik SAF 2707 HD** 是一种适用于强腐蚀性工况的高合金双相不锈钢（奥氏体-铁素体），尤其适用于含强酸和氯化物的环境，其主要特性为：

- 抗点蚀和间隙腐蚀性优异
- 在含氯化物环境中，有极佳的抗应力腐蚀性
- 抗一般腐蚀性极佳
- 机械强度极高
- 具有设计优势的物理特性
- 可焊性好

## 化学成分（名义值），%

| C     | Si  | Mn  | P     | S     | Cr | Ni  | Mo  | 其余              |
|-------|-----|-----|-------|-------|----|-----|-----|-----------------|
| 最大    | 最大  | 最大  | 最大    | 最大    |    |     |     |                 |
| 0.030 | 0.5 | 1.5 | 0.035 | 0.010 | 27 | 6.5 | 4.8 | N=0.4<br>Co=1.0 |

## 标准

钢材类型  
山特维克牌号 SAF 2707 HD  
UNS S32707

产品标准  
无缝管和焊管：ASTM A789、A790

认证  
ASME 2586 规范（不含外部压力，但以后会补充）。  
特殊材料认证（PMA），奥氏体-铁素体钢材  
Sandvik SAF 2707HD（无缝管）：  
PED（压力设备指令）97/23/EC 和 AD2000。

## 供货形式

无缝管  
Sandvik SAF 2707 HD 无缝管可以典型换热器管材尺寸供货。  
交货可以是固溶退火加酸洗，或表面轻磨。

## 机械性能

以下数据适用于厚度在 4mm 以下经过固溶热处理的无缝钢管。

### 在 20°C (68°F) 时

#### 公制单位

| 屈服强度            | 抗拉强度  | 延伸率      | 洛氏硬度 |
|-----------------|-------|----------|------|
| $R_{p0.2}^{a)}$ | $R_m$ | $A^{b)}$ | HRC  |
| MPa             | MPa   | %        |      |
| 最小              | 最小    | 最小       | 最大   |
| 700             | 800   | 25       | 34   |

#### 英制单位

| 屈服强度            | 抗拉强度  | 延伸率      | 洛氏硬度 |
|-----------------|-------|----------|------|
| $R_{p0.2}^{a)}$ | $R_m$ | $A^{b)}$ | HRC  |
| ksi             | ksi   | %        |      |
| 最小              | 最小    | 最小       | 最大   |
| 101             | 116   | 25       | 34   |

1MPa = 1N/mm<sup>2</sup>

<sup>a)</sup>  $R_{p0.2}$  和  $R_{p1.0}$  分别对应产生 0.2% 和 1.0% 变形量的屈服强度。

<sup>b)</sup> 根据  $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ ，其中  $L_0$  为初始标距， $S_0$  为初始横截面积。

## 高温下的特性

如果 Sandvik SAF 2707 HD 长时间暴露于超过 250°C (480°F) 的高温条件下，其微观结构会发生变化，可导致耐冲击强度降低。但这不一定会影响材料在工作温度下的性能。例如，换热器管材可毫无问题地用于高温条件。欲了解更多详情，请联系山特维克。

### 公制单位

| 温度，°C | 屈服强度<br>$R_{p0.2}^{a)}$<br>MPa<br>最小 | $R_{p1.0}^{a)}$<br>MPa<br>最小 | 抗拉强度<br>$R_m$<br>MPa<br>最小 |
|-------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 50    | 645                                  | 760                          | 900                        |
| 100   | 600                                  | 670                          | 850                        |
| 150   | 560                                  | 640                          | 840                        |
| 200   | 540                                  | 590                          | 830                        |
| 250   | 510                                  | 570                          | 810                        |
| 300   | 500                                  | 560                          | 790                        |

### 英制单位

| 温度，°F | 屈服强度<br>$R_{p0.2}^{a)}$<br>ksi<br>最小 | $R_{p1.0}^{a)}$<br>ksi<br>最小 | 抗拉强度<br>$R_m$<br>ksi<br>最小 |
|-------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 100   | 93                                   | 113                          | 132                        |
| 200   | 87                                   | 98                           | 124                        |
| 300   | 81                                   | 93                           | 122                        |
| 400   | 78                                   | 85                           | 120                        |
| 500   | 74                                   | 82                           | 117                        |
| 600   | 72                                   | 81                           | 114                        |

无缝管 Sandvik SAF 2707 HD

抗冲击强度

Sandvik SAF 2707 HD 的抗冲击强度极强。图 1 表示冲击能量（KCV）。韧脆转变温度为 -50℃（-58°F）以下。

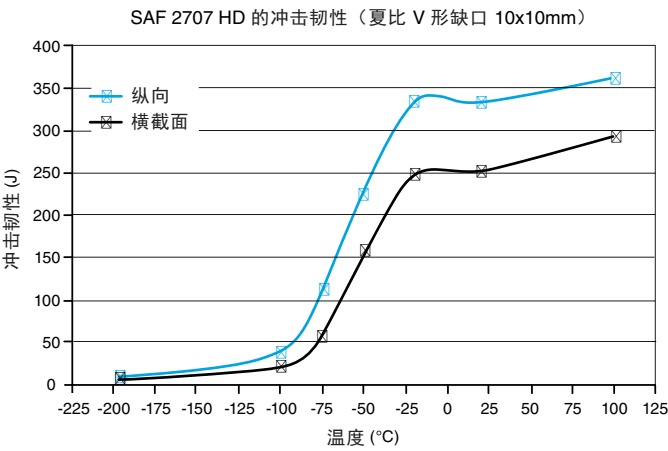


图 1. 通过标准 V 型坡口试件 10x10mm（每一温度平均 3 件）测得的 Sandvik SAF 2707 HD 冲击功曲线。母材取自 200x13mm 经固溶退火（1100℃）后的热拔管材的纵向与横向部位。

物理特性

比重  
7.8 g/cm<sup>3</sup>, 0.28 lb/in<sup>3</sup>

比热容

| 公制单位<br>温度，°C | J/(kg °C) | 英制单位<br>温度，°F | Btu/(lb °F) |
|---------------|-----------|---------------|-------------|
| 20            | 470       | 68            | 0.11        |
| 100           | 495       | 200           | 0.12        |
| 200           | 530       | 400           | 0.13        |
| 300           | 560       | 600           | 0.13        |
| 400           | 590       | 800           | 0.14        |

导热率

公制单位，W/(m°C)

| 温度，°C       | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 |
|-------------|----|-----|-----|-----|-----|
| SAF 2707 HD | 12 | 14  | 16  | 18  | 19  |
| AISI 316L   | 14 | 15  | 17  | 18  | 20  |

英制单位，Btu/(ftth°F)

| 温度，°F       | 68 | 200 | 400 | 600 | 800 |
|-------------|----|-----|-----|-----|-----|
| SAF 2707 HD | 7  | 8   | 9   | 10  | 11  |
| AISI 316L   | 8  | 9   | 10  | 10  | 12  |

热膨胀

Sandvik SAF 2707 HD 的热膨胀系数与碳钢相同。以下数值为温度范围内的平均值。

公制单位，x10<sup>-6</sup>/°C

| 温度，°C       | 30-100 | 30-200 | 30-300 | 30-400 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| SAF 2707 HD | 12.5   | 13     | 13.5   | 14     |
| AISI 316L   | 16.5   | 17     | 17.5   | 18     |

英制单位，x10<sup>-6</sup>/°F

| 温度，°F       | 86-200 | 86-400 | 86-600 | 86-800 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| SAF 2707 HD | 7      | 7.5    | 7.5    | 7.5    |
| AISI 316L   | 9.5    | 9.5    | 10     | 10     |

电阻率

| 温度，°C | μΩm  | 温度，°F | μΩinch |
|-------|------|-------|--------|
| 22    | 0.75 | 72    | 29.5   |

弹性模量 (x10<sup>3</sup>)

| 公制单位<br>温度，°C | MPa | 英制单位<br>温度，°F | ksi  |
|---------------|-----|---------------|------|
| 20            | 197 | 68            | 28.5 |
| 100           | 189 | 200           | 27.5 |
| 200           | 178 | 400           | 25.7 |
| 300           | 168 | 600           | 24.2 |

耐腐蚀性

均匀腐蚀

Sandvik SAF 2707 HD 对有机酸（如：甲酸和乙酸）的耐腐蚀性极强，见图 2 与图 3。即使在受污染的酸中仍然具有耐腐蚀性。因此，在标准奥氏体易发生严重腐蚀的环境中，该材料可有效代替高合金奥氏体不锈钢与镍基合金。

温度，°C(°F)

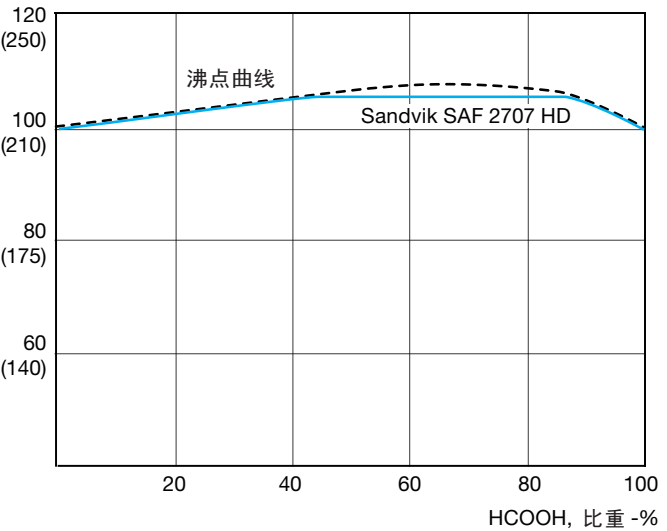


图 2. 在充气甲酸介质中的均匀腐蚀曲线图。曲线表示在静止测试溶液中，速率为 0.1mm/年（4mpy）。

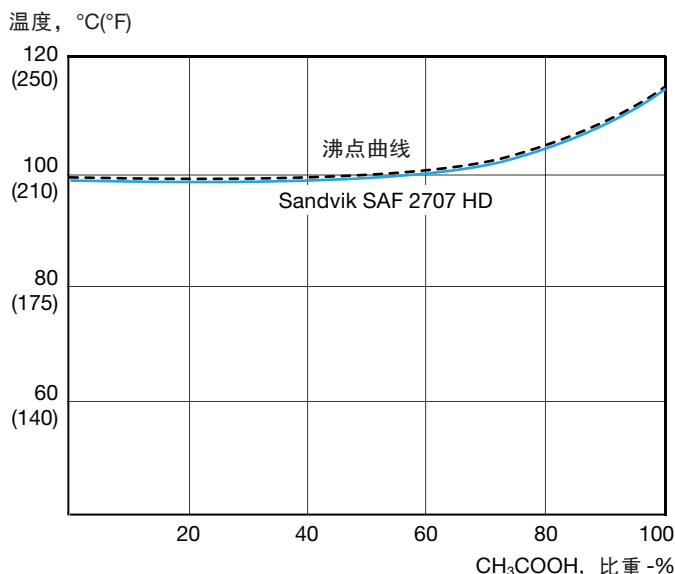


图 3. 在充气乙酸介质中的均匀腐蚀曲线图。曲线表示在静止测试溶液中，腐蚀速率为 0.1mm/年（4mpy）。

在一定的浓度范围内，其对无机酸的耐腐蚀性与高合金奥氏体不锈钢相当或更高。图 4 为硫酸溶液中的腐蚀速率图，显示 Sandvik SAF 2707 HD 在浓度高达 50% 的  $H_2SO_4$  溶液中的耐腐蚀性优于 Sandvik SAF 2507 和 316L。

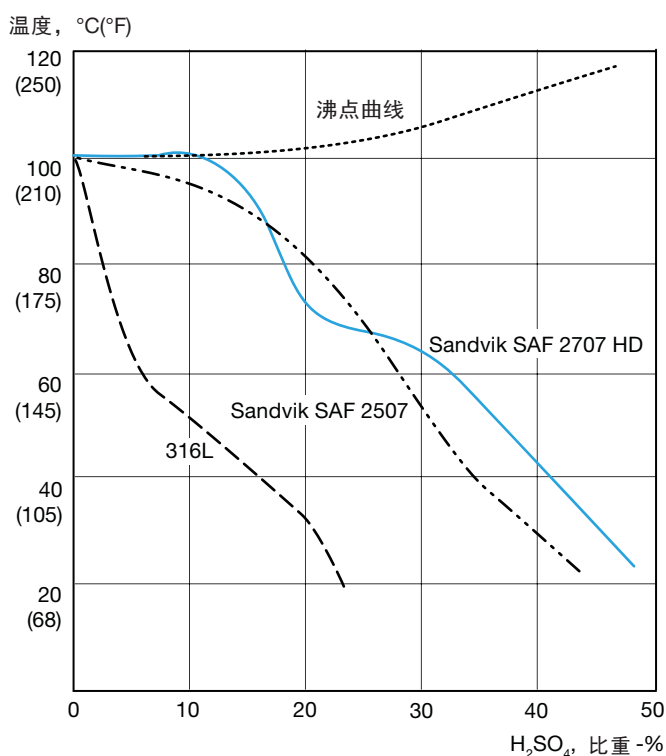


图 4. 在充气硫酸介质中的均匀腐蚀曲线图。曲线表示在静止测试溶液中，腐蚀速率为 0.1mm/年（4mpy）。

### 抗点蚀和缝隙腐蚀

不锈钢的抗点蚀和缝隙腐蚀性主要取决于铬、钼和氮的含量。在氯化物环境中用来衡量耐点蚀和缝隙腐蚀性能的参数为 PRE 值（抗点蚀当量）。

PRE 值定义为，重量比  $PRE = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N$ 。  
SAF 2707 HD 的最低 PRE 值为 48。

针对不锈钢进行的最严苛点蚀试验为 ASTM G48，即暴露于 6%  $FeCl_3$  中。在改良型 ASTM G48A 试验中，样品置于介质中 24 小时。当检测到点蚀造成质量损失（>5mg），试验结束。若未发现质量损失，则每次升高温度 5°C（9°F），对该样品继续试验。

Sandvik SAF 2707 HD 在氯化物溶液中的耐腐蚀性由临界点蚀温度（CPT）表示，并通过“绿死”方法确定（1%  $FeCl_3$  + 1%  $CuCl_2$  + 11%  $H_2SO_4$  + 1.2%  $HCl$ ）。

缝隙腐蚀试验在 6% 的  $FeCl_3$  溶液中进行，缝隙如 MTI-2 程序所述，在样品上施加 0.28Nm 的扭矩形成裂缝。图 5 给出了试验值以及与 Sandvik SAF 2507 的比较。所有试验结果表明，Sandvik SAF 2707 HD 的试验值远远高于 Sandvik SAF 2507。

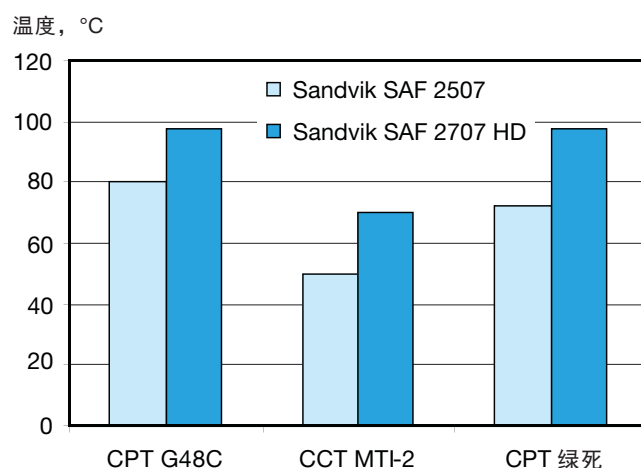


图 5. 改良型 G48A 试验与“绿死”水溶液中测得的临界点蚀温度。以及通过 MTI-2 程序指定裂缝试验得出的临界缝隙腐蚀温度。

图 6.显示了在不同氯化物浓度溶液中的电位测试结果。在高氯化物浓度溶液中， Sandvik SAF 2707 HD 的 CPT 值远远优于 Sandvik SAF 2507。图7显示了酸度增加所造成的影响。 Sandvik SAF 2707 HD 显示出比 6Mo+N 型奥氏体不锈钢更高的 CPT 值，尤其当 pH 值较低时。两次试验中施加的电位均为 600mV vs SCE，远远高于正常未氯化海水，所得到的临界温度要低于大多数实际工况。

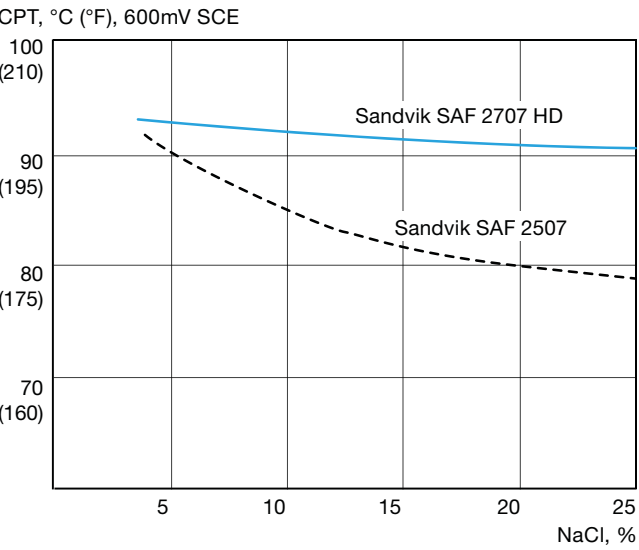


图 6. 在不同浓度 NaCl 溶液（3-25%）中，测得的临界点蚀温度（CPT）。（电位为 +600 mV SCE，试样表面打磨至 220 目）。

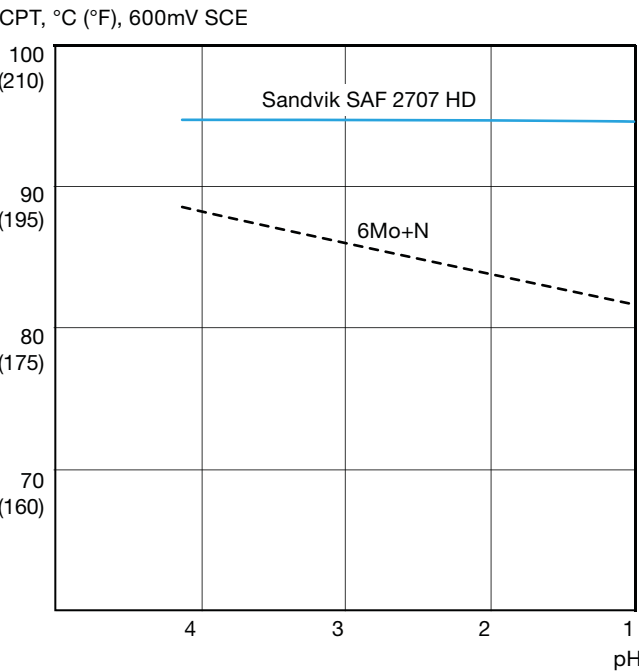


图 7. 在 3% NaCl 溶液且不同 pH 值中，测得的临界点蚀温度（CPT）。（电位为 +600 mV SCE，试样表面打磨至 220 目）。

应力腐蚀开裂

Sandvik SAF 2707 HD 在氯化物环境中的抗应力腐蚀开裂性极佳。图 8 表示高温下 Sandvik SAF 2707 HD 在氯化物溶液中的抗应力腐蚀开裂性（SCC）。在 1000 ppm Cl<sup>-</sup>/300°C 和 10000 ppm Cl<sup>-</sup>/250°C 时，不会发生应力腐蚀开裂。

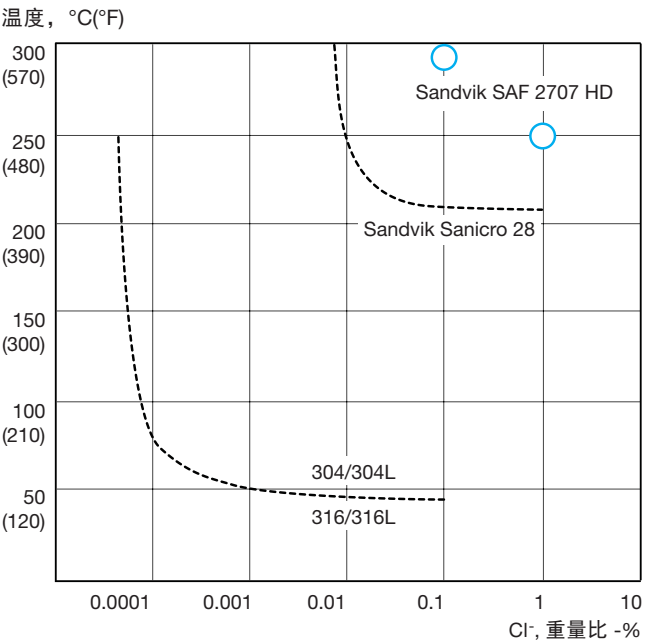


图 8. 在含氧量（大约 8 ppm）中性氯化物溶液中的 SCC 腐蚀曲线。试验 1000 小时。试验应力相当于试验温度时的屈服强度。

热处理

钢管的供货状态通常为热处理状态。如为了再加工，需要进一步热处理，推荐交货态为固溶热处理。更多详情，请联系山特维克。

焊接

Sandvik SAF 2707 HD 具有良好的可焊性。在热影响区，重新形成奥氏体的能力非常强，焊接接头的韧性、强度和耐腐蚀性极佳。

建议使用匹配的焊接填充金属，以获得具有最佳耐腐蚀性和机械特性的焊缝。可使用 Sandvik 27.9.5.L 焊丝。

建议采用钨极氩弧焊（TIG）焊接工艺。应在 0.2-1.5 kJ/mm 的热输入范围和最高 100°C（212°F）的层间温度下进行焊接。无需预热或焊后热处理。保护气体应含 Ar + 2-3% N<sub>2</sub>，根部气体应为纯 N<sub>2</sub>。对于管子和管板的焊接，如管板为双相钢，建议采用 Ar + 3% N<sub>2</sub>，使焊缝获得最佳微观结构。

### 加工性

---

#### 弯曲

Sandvik SAF 2707 HD 弯曲所需作用力高于标准奥氏体不锈钢，这主要是因为其较高的屈服强度。然而，可使用普通弯曲工艺进行冷弯，并且由于其高延展性，Sandvik SAF 2707 HD 可弯曲至非常小的弯曲半径。通常无需再进行热处理。若有必要，应采用固溶退火或电阻退火。

对于压力容器使用的冷弯管，如果没有进一步的热处理，也需要考虑最小允许弯曲半径的特殊情况。

#### 胀管

与奥氏体不锈钢相比，Sandvik SAF 2707 HD 具有更高的屈服强度和抗拉强度。这一点在管子与管板的胀接时要特别注意。可以使用常规的胀接方法，但需要较高的初始作用力，并要求采取一步到位法操作。总的来说，如果工作介质中含有高氯化物，管子与管板的连接应采取焊接形式，以防止缝隙腐蚀的危险。

#### 机加工

由于 Sandvik SAF 2707 HD 为双相钢材质（奥氏体-铁素体），其工具磨损特性与奥氏体不锈钢不同。所以切割数据（速度与进料）必须小于奥氏体不锈钢的推荐值。更多信息可根据需要提供。

### 应用

---

Sandvik SAF 2707 HD 为高性能双相不锈钢，专门适用于强酸、含氯化物的工况。一个典型的应用是管式换热器，用于炼油厂、石化及化工厂等加工工业中。

---

Sandvik 和 Sandvik SAF 2507 是 Sandvik Intellectual Property AB 的商标。

以上推荐仅供参考，具体适用的材料只有当我们确认服务工况条件后才能确认。产品的不断发展带来技术资料的更新，不做另行通知。该技术手册只针对山特维克的材料有效。其它的材料，包括相同国际标准下的材料，都不必要遵循本手册中机械和腐蚀性能参数。



山特维克材料科技

上海莘庄工业园区银都路 4599 号 电话: 4008 848 600 (钢管) 传真: 4008 853 699  
[www.smt.sandvik.com](http://www.smt.sandvik.com)