

Sanicro® 35是一款结合了超级奥氏体不锈钢和镍基合金两者最佳特性的合金材料。该牌号具有出色的防腐蚀性能，可用于严苛的海水应用和其他高氯环境。

该牌号具有以下特点：

- 出色的耐点蚀和耐缝隙腐蚀性能
- 出色的耐应力腐蚀开裂性能
- 在酸性和碱性环境下具有超高的耐均匀腐蚀性
- 超高耐磨损腐蚀性能
- 非常高的机械强度
- 使用镍合金耗材具有优良的可焊性

Standards

- : N08935
- 符合NACE MR0175/ISO15156-3:2015(石油、石化和天然气工业- 油气开采时用于含H₂S环境的材料。第3部分：抗开裂耐蚀合金(CRA)和其他合金)用于4a型和4c型材料。
- 符合ANSI/NACE MR0103/ISO17495-1:2016(石油、石化和天然气工业-腐蚀性石油炼制环境中抗硫化物应力开裂材料的选择)用于高合金奥氏体不锈钢和镍基合金。

产品标准

- 无缝管材和管道：ASTM B163, ASTM B677

认证

- 美国机械工程师协会规范案例2982-1。《锅炉和压力容器规范》，第VIII卷，第I和第II分卷。
- 特殊材料评估(PMA)预批准，TÜV文件1326W043219

化学成分(名义值)

Chemical composition (nominal) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
≤0.030	≤0.5	0.8	≤0.030	≤0.020	27	35	6.5	0.2	0.3

应用领域

由于Sanicro® 35具有极好的耐点蚀和缝隙腐蚀性能，因此特别适用海水冷却或加热的应用。Sanicro® 35对酸性环境中也具有很高的抵抗力，使其适用于多种应用。

耐腐蚀性能

均匀腐蚀

与铬和钼含量较低的不锈钢相比，Sanicro® 35具有良好的耐盐酸性，因此可应用于存在盐酸的环境。参见图1。



图1. 在盐酸中的等腐蚀速率曲线。曲线表示腐蚀速率为0.1毫米/年。Sanicro® 35对硫酸和硝酸具有很高的耐受性。等腐蚀速率曲线见图2和图3。



图2. 在硫酸(充气)中的等腐蚀速率曲线。曲线表示腐蚀速率为0.1毫米/年。



图3. 在硝酸中的等腐蚀速率曲线。曲线表示腐蚀速率为0.1毫米/年。

Sanicro® 35在甲酸和乙酸的混合物中也表现良好, 请参见表1。

表1. 沸腾条件下, Sanicro® 35在乙酸(CH₃COOH)和甲酸(HCOOH)的混合物中的腐蚀速率。

Concentration CH ₃ COOH (乙酸浓度), %	50	50	50	50
Concentration HCOOH (甲酸浓度), %	10	15	20	25
Corrosion rate (腐蚀速率), mm/year	0.00	0.00	0.00	0.01

Sanicro® 35在碱性条件下也表现良好, 在苛性碱溶液中显示出很高的耐腐蚀性, 请参见表2。

表2. 不同浓度和温度下, Sanicro® 35在氢氧化钠(NaOH)中的腐蚀速率。

Concentration NaOH (氢氧化钠浓度) %	40	50	60	70
Temperature (温度) (°C)	120	120	120	130

Corrosion rate (腐蚀速率), mm/year	0.06	0.05	0.03	0.01
--------------------------------	------	------	------	------

点蚀

Sanicro® 35的主要优点之一是具有优异的抗点蚀性能。抗点蚀性来自于高含量的铬、钼和氮。耐点蚀当量值(PREN)可用于根据化学成分和耐点蚀性能对合金进行比较和排序。耐点蚀当量值(PREN)定义为, 重量-%;

耐点蚀当量值=%铬 + 3.3 x %mo钼 + 16 x %氮

Sanicro® 35的名义耐点蚀当量值(PREN)约为52, 与Sanicro® 625镍基合金(625合金)相当。这明显高于海水应用中常用的超级双相钢和6钼奥氏体牌号的耐点蚀当量值(PREN)。作为参考, Sandvik SAF 2507®和Sandvik 254 SMO的最小PREN值为42.5。

根据ASTM G48 C法, 在6%三氯化铁(FeCl₃)中测定了临界点蚀温度(CPT)。在3M MgCl₂溶液中的恒电位试验中也测定了临界点蚀温度(CPT)。该试验是在改良的不锈钢电化学临界点蚀温度测试(ASTM G150)中进行的, 原来的溶液浓度为1M NaCl, 以允许对高合金材料进行CPT测量。测量的CPT值见表3。

表3. Sanicro® 35与Sandvik 254 SMO的临界点蚀温度对比。在ASTM G48中, 在具有P120表面的试样上测量临界点蚀温度, 在G150 mod. 中, 在具有P600表面的试样上测量临界点蚀温度。

Alloy (合金)	CPT (°C)	
	Mod. G150 in 3M MgCl ₂	ASTM G48 method C
Sanicro® 35	110	>85 ¹⁾²⁾
Sandvik 254 SMO	67	65 ³⁾
Alloy C276	N/A	>85 ¹⁾²⁾
Alloy 625	N/A	>85 ¹⁾²⁾

1) 根据ASTM G48, 该方法最高试验温度为85°C。

2) 方法 C

3) 方法 E

缝隙腐蚀

耐缝隙腐蚀性与耐点蚀性同等重要, 因为缝隙很少能被完全避免。Sanicro® 35在氯化物环境中具有优异的耐缝隙腐蚀性能。临界缝隙腐蚀温度(CCT)已根据不锈钢电化学临界点蚀温度测试(ASTM G150)在1M NaCl中加载恒电位测试, 并根据ASTM G48用HCl酸化的6%FeCl₃测试临界缝隙腐蚀温度, 请参见表4。

表4. 根据各种试验方法, Sanicro® 35与某些合金的CCT值比较。根据不锈钢电化学临界点蚀温度测试的标准试验(ASTM G150), 施加的电位为700 mV vs.SCE。在不锈钢电化学临界点蚀温度测试(ASTM G150)的标准试验中, 使用P600砂纸对平面试样进行湿磨, 在ASTM G48中使用P120进行湿磨。

CCT (°C)

Alloy (合金)	ASTM G150 ¹⁾	ASTM G48 method D ²⁾	ASTM G48 method F ³⁾
Sanicro [®] 35	100	52.5	45
Alloy C276		52.5	42.5
Alloy 625		45	25
Sandvik 254 SMO	75		35

1) 根据ISO 18070施加3 Nm的扭矩形成缝隙

2) 施加的扭矩为0.28 Nm

3) 施加的扭矩为1.58 N

海水试验

加速实验室试验对不同合金的排序非常有用，然而，实际应用环境试验也很有价值。海水对许多合金具有腐蚀性。Sanicro[®] 35在30°C的天然海水中进行了90天的测试，其中生物膜是活性的，也在0.5 ppm的氯化海水中进行了较高温度的测试。

表5. 表面用P120砂纸打磨的平面试样在真实海水中进行试验。

Test condition (试验条件)	Pitting corrosion	Crevice corrosion ¹⁾
30°C natural seawater (30°C天然海水)	No	No
80°C chlorinated seawater (80°C氯化海水) (0.5 ppm residual Cl)	No	N/A

1) 符合ISO标准认证18070的缝隙成型器，施加的缝隙扭矩为3牛每平方毫米。

应力腐蚀开裂

ASTM316型普通奥氏体钢在温度高于约60°C(140°F)的氯化物溶液中易发生氯化物诱发应力腐蚀开裂(SCC)。这种敏感性随着镍含量的增加而降低。铬含量在20%以上也是有益的。Sanicro[®] 35具有优异的抗SCC性能。表6显示了这一点，它显示了40%氯化钙溶液中SCC试验的结果。在500小时恒载试验后，该牌号没有出现开裂或腐蚀，外加载荷相当于100°C下实际极限抗拉强度的90%。应注意，90%抗拉强度极限(UTS)的高荷载会导致试样的塑性变形。

表6. 在100°C(210°F)，pH(酸碱度)值为6.5的充气40%氯化钙中，不同合金的应力腐蚀开裂测试结果。

Alloy (合金)	% of UTS	Time to failure (h)	Remark
Sanicro [®] 35	90	>500	No attack
Sanicro [®] 28	90	>500	No attack
ASTM TP 316	90	<70	Pitting and cracking

Sanicro[®] 35在NACE MR 0175/ISO 15156测试六级环境中不会出现应力腐蚀开裂。根据NACE TM0198, 对冷加工 Sanicro[®] 35材料(140 KSI和180 KSI)进行慢拉伸测试(SSRT)。环境分压为500 psi 硫化氢(H₂S)和500 psi 二氧化碳(CO₂)。使用20wt-%氯化钠作为试验溶液, 温度为175°C±3°C。对于140 ksi和180 ksi材料, 两个试样在腐蚀环境中进行试验, 一个在氮气中进行试验。所有试验均在相同的温度下进行。其中惰性环境下样品的延性断裂, 其断裂时间、断裂伸长率、塑性应变和破坏面积相比于非惰性环境试样均大于92%, 表明无应力腐蚀开裂。

氢脆

Sanicro[®] 35具有很高的奥氏体相稳定性, 因此具有出众的抗氢脆性。Sanicro[®] 35并非沉淀硬化型材料, 后者可能会发生氢脆。

Sanicro[®] 35固溶退火材料在4°C、3%氯化钠(NaCl)、-1050 mVSCE条件下的恒载试验中, 在表7中的两种不同荷载下未出现开裂。这表明该合金不易发生氢脆, 是深海应用的一个可行的选择。

表7. Sanicro[®] 35在4°C、3%氯化钠(NaCl)和-1050 mVSCE条件下进行恒载试验。

Load/Yield strength (屈服强度), %	Load (负荷), MPa	Time to failure (失效时间), h	Cracking (开裂), Yes/No
100	427	>500	No
120	509	>500	No

制造

弯曲

Sanicro[®] 35弯曲所需用力高于标准奥氏体不锈钢, 这是由于较高屈服强度造成的。该牌号具有出色的可成型性, 可以冷弯至更小的弯曲半径。

胀接

Sanicro[®] 35可以像标准奥氏体不锈钢一样胀接到管板材料中。

供货形式

Sanicro[®] 35可以以无缝管及管道形式供货。

热处理

管材在固溶退火状态下交付。如果后续加工后需要热处理, 请联系山特维克。

机械性能

下图适用于固溶退火状态下的材料。

在20°C (68°F)时

公制单位

Proof strength (屈服强度)	Tensile Strength (抗拉强度)	Elongation (延伸率)
$R_{p0.2}^a$	R_m	$A_{2''}$
MPa	MPa	%
≥425	≥750	≥35

英制单位

Proof strength (屈服强度)	Tensile Strength (抗拉强度)	Elongation (延伸率)
$R_{p0.2}^a$	R_m	$A_{2''}$
ksi	ksi	%
≥62	≥109	≥35

1兆帕= 1牛顿/平方毫米

a) $R_{p0.2}$ 和 $R_{p1.0}$ 分别对应0.2%和1.0%变形量下屈服强度。

b) 基于 $L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$, 其中 L_0 是原始标距, S_0 是原始横截面积。

在高温下

高于600°C (1110°F)的温度下会析出金属间相。因此, 钢材不应长时间暴露在这个温度下。

公制单位

Temperature (温度)	Proof strength (屈服强度)	Tensile strength (抗拉强度)	Elongation (延伸率)
	$R_{p0.2}$	R_m	A
°C	MPa	MPa	%
	Min.	Min.	Min.
100	350	680	35
200	300	620	35
300	275	600	35
400	250	580	35

英制单位

Temperature (温度)	Proof strength (屈服强度)	Tensile strength (抗拉强度)	Elongation (延伸率)
	R _{p0.2}	R _m	A
°F	ksi	ksi	%
	Min.	Min.	Min.
200	51	98	35
400	43	90	35
600	39	87	35
800	36	84	35

物理性能

密度: 8.1克/立方厘米, 0.29磅/立方英寸

热导率

Temperature (温度), °C	W/(m °C)	Temperature (温度), °F	Btu/(ft h °F)
20	10.0	68	6.0
100	12.0	200	7.0
200	13.5	400	8.0
300	15.5	600	9.0
400	17.0	800	10.0

比热容

Temperature (温度), °C	J/(kg °C)	Temperature (温度), °F	Btu/(lb °F)
20	450	68	0.11
100	470	200	0.11
200	500	400	0.12
300	510	600	0.12
400	530	800	0.13

热膨胀系数

公制单位, $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Temperature (温度), $^{\circ}\text{C}$	30-100	30-200	30-300	30-400
Sanicro [®] 35	14.0	14.5	15.0	15.5
Carbon steel (碳钢)	12.5	13.0	13.5	14.0
ASTM 316L	16.5	17.0	17.5	18.0

Imperial units (英制单位), $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$

Temperature (温度), $^{\circ}\text{C}$	86-200	86-400	86-600	86-800
Sanicro [®] 35	8.0	8.0	8.5	8.5
Carbon steel (碳钢)	7.0	7.0	7.5	8.0
ASTM 316L	9.5	9.5	10.0	10.0

电阻率

Temperature (温度), $^{\circ}\text{C}$	$\mu\Omega\text{m}$	Temperature (温度), $^{\circ}\text{F}$	$\mu\Omega\text{inch}$
20	1.0	68	39

弹性模量, $\times 10^3$

Temperature (温度), $^{\circ}\text{C}$	MPa	Temperature (温度), $^{\circ}\text{F}$	ksi
20	190	68	28.0
100	185	200	27.0
200	180	400	26.0
300	175	600	25.0
400	170	800	24.5

焊接

Sanicro[®] 35的可焊性良好, 适合的熔焊方法是非熔化极惰性气体保护电弧焊(TIG) (GTAW, 钨极惰性气体保护焊)。

焊接应在低热量输入, 最高1.2 kJ/mm和层间温度低于100 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行。应使用直接焊道。不需要预热和焊后热处理。为了保持焊接接头的耐腐蚀性, 必须在焊接后进行彻底清洁, 以确保去除所有氧化物和热着色。推荐使用氩气(Ar) + 2%氮气(N₂)作为TIG焊接的保护气体和背部保护气体, 以实现焊接接头的机械性能和耐腐蚀性的最佳组合。

如果焊缝受到约束，则焊接全奥氏体不锈钢和镍基合金通常会导致焊缝出现热裂的危险。但是，Sanicro[®] 35具有很高的纯度，因此与大多数镍基合金相比，不易发生热裂。

建议使用镍基合金UNS N06059 (ERNiCrMo-13, NiCr23Mo16) 焊丝或焊条作为气体保护电弧焊的填充材料。在焊接状态下，应避免无填丝的焊接。

Disclaimer: Recommendations are for guidance only, and the suitability of a material for a specific application can be confirmed only when we know the actual service conditions. Continuous development may necessitate changes in technical data without notice. This datasheet is only valid for Alleima materials.