

熱交換器用二相ステンレス鋼管の開発

Development of Duplex Stainless Steel Tubing for Heat Exchangers

東 茂樹/Shigeki Azuma・総合技術研究所 鋼管・鋼材研究部 主任研究員

幸 英昭/Hideaki Miyuki・総合技術研究所 鋼管・鋼材研究部 主任研究員

菅 孝雄/Takao Kan・関西製造所 特殊管技術室 参事

小川和博/Kazuhiro Ogawa・本社 人事第二部 人材開発室 参事 工博

要 約

石油精製や化学工業のプラントに適用される二相ステンレス鋼管として、従来の住友ラインアップと、更に品種構成を充実するために開発した3鋼種を紹介した。DP 11 A (23 %Cr-4 %Ni-0.3 %Mo-1.5 %Cu-0.15 %N)は、オーステナイトステンレス鋼SUS 304 (L)あるいはSUS 316 (L)に比べて耐応力腐食割れ性に優れ、200 ppm Cl⁻以下の比較的低濃度の塩化物環境での使用が可能である。DP 3 N (25 %Cr-7 %Ni-3 %Mo-0.5 %W-0.5 %Cu-0.3 %N)とDP 3 W (25 %Cr-7 %Ni-3 %Mo-2 %W-0.5 %Cu-0.3 %N)は、ともに二相ステンレス鋼の中でも最も高い耐食性を有し、いわゆるスーパーステンレス鋼の範囲に属する。DP 3 N, DP 3 Wは海水に代表される高濃度の塩化物環境での使用にも耐える。

Synopsis

Sumitomo's lineup of duplex stainless steel (DSS) tubes for oil refinery and chemical industry plants are introduced, including three new DSS tubes developed in order to enrich the DSS lineup. DP 11 A (23 %Cr-4 %Ni-0.3 %Mo-1.5 %Cu-0.15 %N) is more resistant to chloride stress corrosion cracking (SCC) than conventional austenitic stainless steels such as SUS 304 (L) and SUS 316 (L), and can be applied to mild environments containing comparatively low chloride concentrations, such as, 200 ppm Cl⁻ or lower. Both DP 3 N (25 %Cr-7 %Ni-3 %Mo-0.5 %W-0.5 %Cu-0.3 %N) and DP 3 W (25 %Cr-7 %Ni-3 %Mo-2 %W-0.5 %Cu-0.3 %N) are the most corrosion resistant among the DSSs and categorized as 'super' stainless steels. DP 3 N and DP 3 W are resistant to higher chloride environments such as sea water.

1. 緒 言

近年、石油精製や化学工業などのプラントにおいて、熱交換器伝熱管用および各種配管用として二相ステンレス鋼管の使用が広まりつつある。第1表に代表的なステンレス

鋼管の特長と問題点を示す。二相ステンレス鋼は、フェライト系あるいはオーステナイト系ステンレス鋼に比較して強度が高いなどの特長を有している。特に、耐食性においては、Ni含有量が少ないため比較的安価でありながら高いCr, Moを含有する高耐食材質が可能なこと、また塩化物

第1表 各種ステンレス鋼の特徴

Table 1 Characteristics of various stainless steel

| Steel types | Physical properties | Practical characteristics |
|-------------|---|---|
| Austenitic | Nonmagnetic Low thermal conductivity | Excellent formability and weldability, Poor SCC resistance (18-8 type) |
| Ferritic | Magnetic High thermal conductivity | Rather poor weldability, Excellent SCC resistance |
| Duplex | Magnetic Medium thermal conductivity | Good formability and weldability, Higher strength Good SCC resistance |
| Martensitic | Magnetic High thermal conductivity | Higher strength Poor weldability |

応力腐食割れに対してフェライト系ほどではないもののオーステナイト系に比べると格段に優れた抵抗性を有すること、が大きな特長となっている¹⁾。

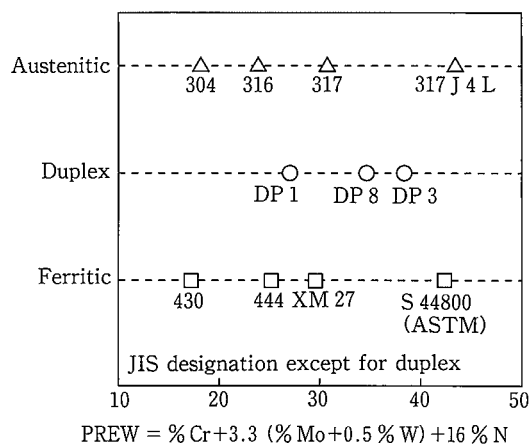
最近、化学工学会により行われたアンケート調査の結果でも、プラント機器材料の選定において、二相ステンレス鋼の耐食性能上の長所が重視され、SUS 304やSUS 316など汎用オーステナイト系ステンレス鋼でSCCの発生が懸念される場合の対策材として最も多く用いられ、かつ実際に有効であることが判明している²⁾。

本報では、当社の二相ステンレス鋼管シリーズを概説し、最近の二相ステンレス鋼管の開発と新鋼種の性能を紹介する。

2. 当社の耐食二相ステンレス鋼管

当社の主な二相ステンレス鋼管を第2表に示す³⁾。一般の耐食用途に用いられる二相ステンレス鋼管は、Cr量で整理すると18%Cr系(DP 1)、22%Cr系(DP 8)、25%Cr系(DP 3)がある。これらはいずれも耐食性向上のためにCrに加えMoを2~3%含有している。また、特殊な耐食用では、硝酸環境用のDP 10(板材はNAR-SN 5)、尿素製造プラントでの高酸化性環境用のDP 12がある。

二相ステンレス鋼の耐食性は、Cr、MoおよびN含有量



第1図 各種ステンレス鋼の耐食性における位置付け

Fig.1 Rating of stainless steels on corrosion resistance

に相関があるので、主要な鋼種の耐食性指標 $PREW = \%Cr + 3.3(\%Mo + 0.5\%W) + 16\%N$ によりグレード分けして第1図に示す。図中には、比較として代表的なオーステナイト系およびフェライト系ステンレス鋼も併記した。二相ステンレス鋼シリーズは、PREW 値においてオーステナイト系およびフェライト系ステンレス鋼とほぼ重なるが、① SUS 304やSUS 430に相当する最も低いCr、Mo合金量の鋼種、および② PREW 値が40以上のいわゆるスーパーステンレス鋼に属する鋼種は開発されていなかった。

本報では、①経済性を重視した低合金タイプおよび②最高耐食性を有するスーパーステンレス鋼タイプについて、成分設計と開発鋼種の諸特性を紹介する。

3. 経済型二相ステンレス鋼管 DP 11 A の開発

3-1 DP 11 A の合金組成

DP 11 Aの開発では、経済性を向上(製造コストを削減)しながら、同時にSUS 304、SUS 316等のオーステナイト系ステンレス鋼と同等以上の耐食性を確保すること为目标とした成分最適化を行った。製造コスト削減には、比較的高価な合金元素であるNiとMoの低減を主眼とした。Ni、Moの低減は、組織および耐食性への影響を考慮する必要があった。すなわち、二相ステンレス鋼として適正なフェライト相/オーステナイト相比率(一般に1:1)の維持、および耐食性能の確保である。

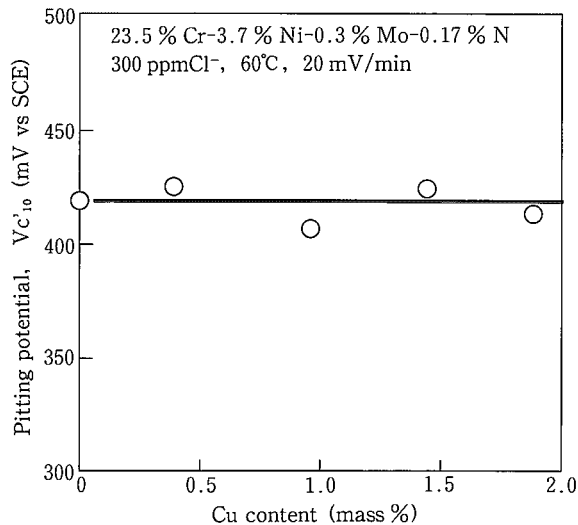
従来、最もNi、Mo含有量の低かったDP 1から、単純にNi、Moのみを低減すると、二相組織バランスの変化とMoの低減による耐食性の低下は避けられない。そこで、DP 11 Aの開発では、フェライト安定化元素(Cr、Mo、Si)とオーステナイト安定化元素(Ni、Cu、N)の含有量を、適正な二相バランスであるフェライト/オーステナイト比率として1:1が得られるように調整した。つまり、Ni、Mo含有量の低減の影響をCr、Cu、N含有量の増加により補った。耐食性の面では、Mo含有量の低減にともなう耐食性低下をCr、N含有量の増加により補った。

また、DP 11 Aでは、Ni低減に際してCuを増量したことが特徴である。二相ステンレス鋼の耐食性に及ぼすCu量

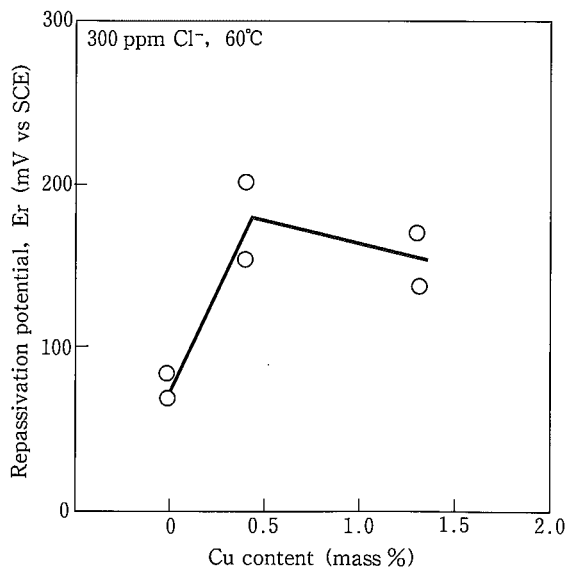
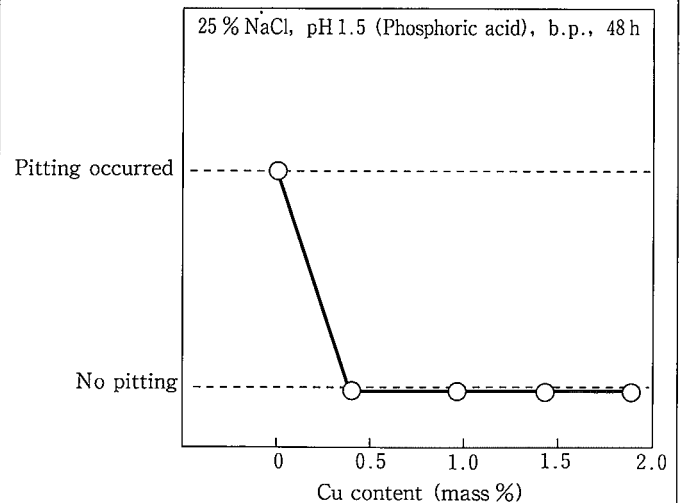
第2表 当社の耐食二相ステンレス鋼管(DP シリーズ)

Table 2 Sumitomo's lineup of duplex stainless steel tubing

| Steel | Specification | | Chemical composition (mass %) | | | | | Recommendable environment |
|-------|---------------|----------|-------------------------------|-----|-----|------|---------------|---|
| | JIS | ASTM UNS | Cr | Mo | Ni | N | Others | |
| DP 1 | — | S 31500 | 18 | 2.7 | 5 | — | — | Weak chloride (≤ 200 ppm Cl^-) |
| DP 8 | SUS 329 J 3 L | S 31803 | 22 | 3 | 6 | 0.15 | — | Weak chloride (≤ 200 ppm Cl^-) |
| DP 3 | SUS 329 J 4 L | S 31260 | 25 | 3 | 7 | 0.15 | 0.5 Cu, 0.5 W | Sea water ($\leq 10\,000$ ppm Cl^-) |
| DP 10 | — | — | 27 | — | 8.3 | 0.1 | — | Nitric acid (Medium conc.) |
| DP 12 | SUS 329 J 4 L | S 31260 | 25 | 2.8 | 7 | 0.15 | 0.5 Cu, 0.5 W | Urea plant |

第2図 孔食電位 $V_{c'10}$ に及ぼすCu量の影響Fig.2 Effect of Cu content on pitting potential, $V_{c'10}$

の影響を検討した。第2図に孔食電位に及ぼすCu量の影響を示す。孔食電位にはCuは影響しない。これは孔食電位測定では、外部からの高速な電位上昇により強制的に発生させた孔食の萌芽段階を検出しており、孔食内での溶解を抑制するCuの効果が発現しないためと考えられる。実環境では、自然浸漬状態での腐食発生抵抗性がより重要となる。実環境での局部腐食抵抗性を評価できるすき間腐食再動電位 E_r 測定および孔食浸漬試験によりCuの影響を評

第3図 すき間再動電位 E_r に及ぼすCu量の影響Fig.3 Effect of Cu content on repassivation potential, E_r 

第4図 耐孔食性に及ぼすCu量の影響

Fig.4 Effect of Cu content on pitting corrosion resistance

価した。第3図に、 E_r に及ぼすCu量の影響を示す。再動電位はCu添加により上昇し、耐すき間腐食性が向上することがわかる。第4図には、リン酸酸性塩化物環境での孔食発生に及ぼすCu量の影響を示す。Cu含有鋼は孔食を発生せず、Cu添加が耐孔食性向上に有効である。

これらの結果から決定したDP 11 Aの化学組成を第3表に示す。本成分は、前述の通り、低コスト化のためNiとMoを低減しながら、適正な二相バランスと耐食性の確保を図っている。

3-2 DP 11 A の性能

3-2-1 機械的性質

DP 11 Aの引張性質を第4表に示す。他の二相ステンレス鋼と同様、オーステナイト系およびフェライト系ステンレス鋼に比べて、引張強さ、耐力とも高い。

3-2-2 耐食性

(1)耐酸性

第5図にDP 11 Aの各種酸中腐食速度をSUS 304 L, SUS 316 Lと比較して示す。耐酸性の向上にはステンレス鋼の合金成分のCr, Ni, Mo, Cuが有効である。DP 11 Aは、Mo量が低いもののCrおよびCuが高いために、汎用オーステナイト系ステンレス鋼SUS 304 L, SUS 316 Lに比べて優れた耐酸性を有していた。DP 11 Aは、SUS 304 L, SUS 316 Lが活性溶解する濃度・温度であっても不動態を維持しており、微量酸、極低濃度の酸性環境へも適用が可能である。

第3表 DP 11 Aの化学組成 (mass %)

Table 3 Chemical composition of DP11A

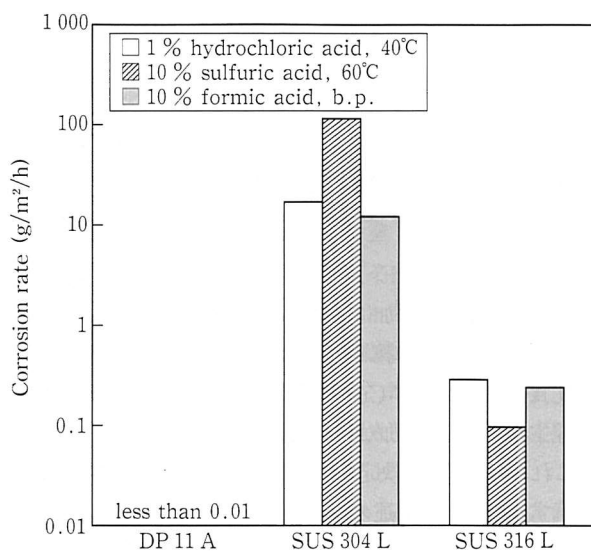
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | N | Others |
|---------------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|---------|-----------|-------|-----------|----------------|
| Specification | ≤0.03 | ≤1.00 | ≤1.50 | ≤0.035 | ≤0.03 | 1.0~3.0 | 3.0~5.0 | 22.0~26.0 | ≤0.50 | 0.10~0.30 | W≤0.20, V≤0.20 |
| Typical | 0.015 | 0.46 | 0.93 | 0.025 | 0.001 | 1.32 | 3.75 | 23.8 | 0.36 | 0.171 | 0.10 W, 0.10 V |

技術報文

第4表 DP 11 Aの引張性質

Table 4 Tensile properties of DP11A

| | Tensile strength (N/mm ²) | 0.2 % proof stress (N/mm ²) | Elongation (%) |
|-------------------------|--|--|-------------------|
| Specification | ≥600 | ≥400 | ≥25 |
| Typical 25.4 φ×2.2 t | 774, 762 | 581, 584 | 39, 42 |

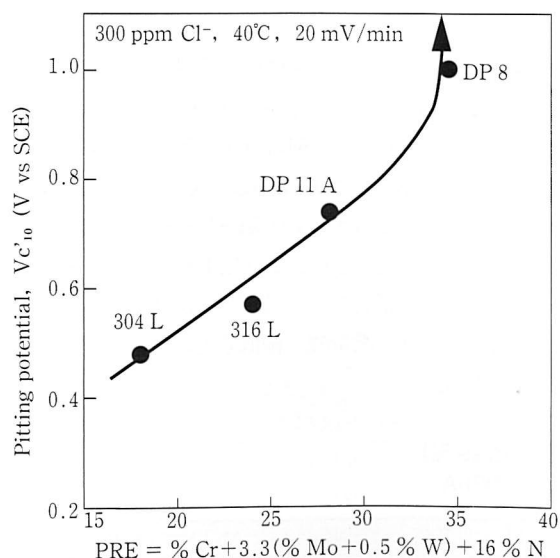
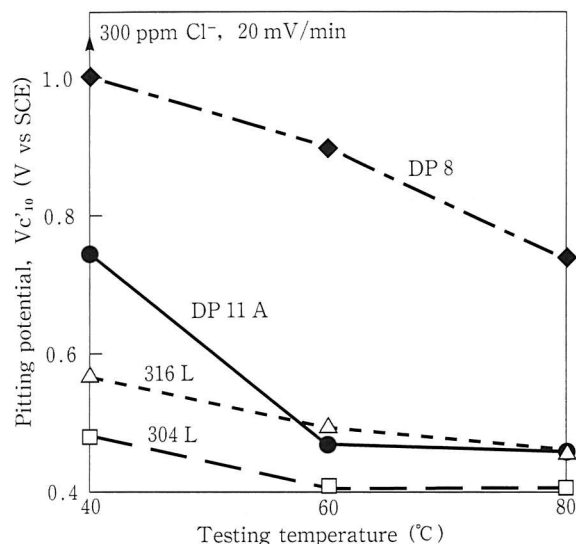


第5図 DP 11 Aの耐酸性

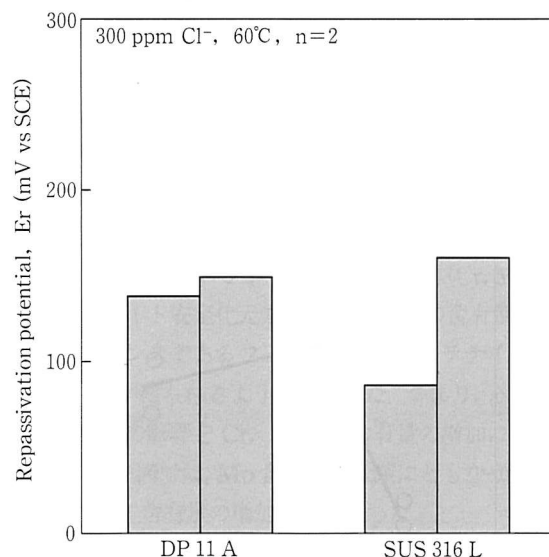
Fig.5 Acid corrosion resistance of DP11A

(2)耐孔食・すき間腐食性

第6図に DP 11 A の孔食電位を示す。耐孔食性は前述のように PREW 値と良い相関がある。DP 11 A は、40°Cでは、304 L、316 L よりも優れる。第7図に孔食電位に及ぼす温度の影響を示す。60°C以上の高温では孔食電位は低下するが、DP 11 A は 316 L と同等の耐孔食性を保っていた。第8図に、すき間再不動態化電位を示す。孔食と同様すき間腐食に対しても 316 L と同等の性能を有していた。

第6図 DP 11 Aの孔食電位 $V_{c'_{10}}$ Fig.6 Pitting potential, $V_{c'_{10}}$ of DP11A第7図 DP 11 Aの孔食電位 $V_{c'_{10}}$ に及ぼす温度の影響Fig.7 Effect of temperature on pitting potential, $V_{c'_{10}}$ of DP11A

す温度の影響を示す。60°C以上の高温では孔食電位は低下するが、DP 11 A は 316 L と同等の耐孔食性を保っていた。第8図に、すき間再不動態化電位を示す。孔食と同様すき間腐食に対しても 316 L と同等の性能を有していた。



第8図 DP 11 Aのすき間再不動態化電位

Fig.8 Repassivation potential for crevice corrosion of DP11A

(3)耐応力腐食割れ(SCC)性

第5表に沸騰試験による耐応力腐食割れ評価結果を示す。リン酸酸性高濃度塩化物環境(1)では、SUS 304 Lが孔食を起点として応力腐食割れ SCC を発生したが、DP 11 A は孔食発生も無く良好な耐食性を示した。一方、重クロム酸含有中性塩化物環境(2)では、SUS 316 L が孔食を起点として SCC を発生したが、DP 11 A は孔食を発生するものの SCC には至らず、優れた耐 SCC 性を有することが確認

された。第6表に中性低濃度塩化物環境での SCC 試験結果を示す。中性環境でも DP 11 A は SUS 316 L よりも優れた耐 SCC 性を有していた。

3-2-3 溶接性

DP 11 A は SUS 304 などオーステナイト系ステンレス鋼と同様、熱交換器チューブとして良好な溶接性を有している。DP 11 A 鋼管の溶接材料としては、既存の二相ステンレス鋼溶接材料が使用できる。

第7表に当社製 22% Cr 二相ステンレス鋼溶接材料 DP 8 T を用いた場合の溶接継手性質を示す。引張りおよび曲げ特性は良好であった。また溶接部の孔食電位も母材と

第5表 DP 11 A の耐応力腐食割れ性

Table 5 SCC resistance of DP11A

- (1) リン酸性塩化物環境
(1) Acidic chloride environment with phosphoric acid
(25% NaCl, pH 1.5 (phosphoric acid), b.p., single U-bend specimen)

| Steel | Surface observation (○: No corrosion) | | | |
|-----------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | After 24 hr | After 48 hr | After 72 hr | After 96 hr |
| DP 11 A | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SUS 304 L | Pitting | SCC | SCC | SCC |
| SUS 316 L | ○ | ○ | ○ | ○ |

- (2) 重クロム酸含有中性塩化物環境
(2) Neutral chloride environment with perchloric acid
(25% NaCl, 1% sodium perchlorate, b.p., single U-bend specimen)

| Steel | Surface observation (○: No corrosion) | | | |
|-----------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | After 24 hr | After 48 hr | After 72 hr | After 96 hr |
| DP 11 A | ○ | Pitting | Pitting | Pitting |
| SUS 316 L | Pitting | SCC | SCC | SCC |

第6表 中性低濃度塩化物環境での応力腐食割れ試験結果

Table 6 SCC test results of DP11A in neutral chloride environments

(150°C, air saturated, 500 h, double U-bend specimen)

| Steel | 100 ppm Cl ⁻ | | 1 000 ppm Cl ⁻ | |
|-----------|-------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| | Inner specimen | Outer specimen | Inner specimen | Outer specimen |
| DP 11 A | × ○ | ○ ○ | × × | ○ ○ |
| SUS 316 L | × × | × ○ | × × | × × |

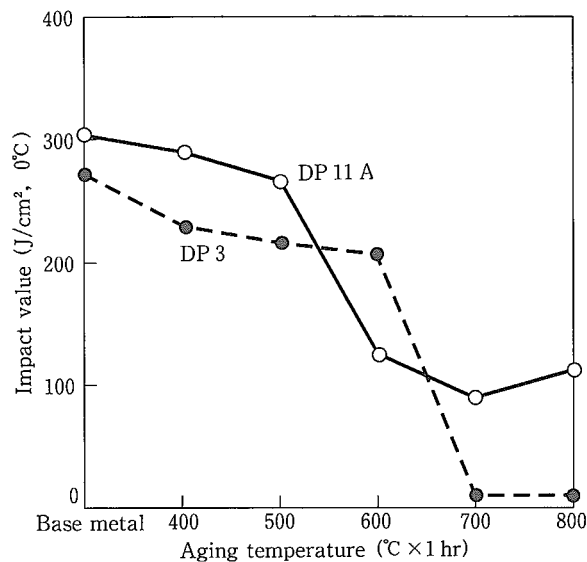
○: No SCC, ×: SCC occurred

第7表 DP 11 A の溶接継手の機械的性質

Table 7 Mechanical properties of welded joint of DP11A

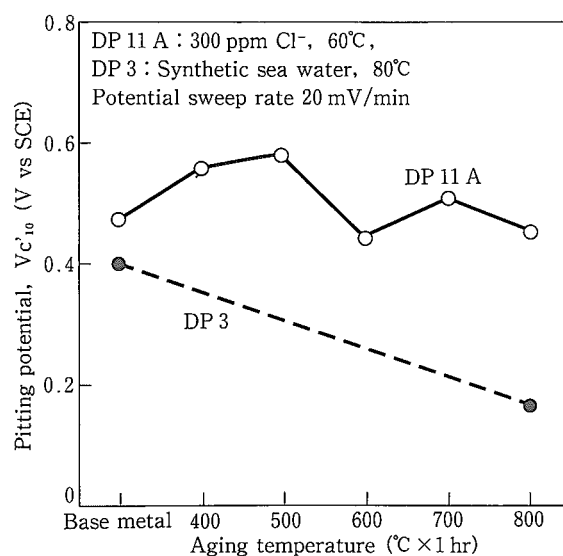
(30° Y-shape edge, GTA welding, 8~13 A, 50~150 V, 4~12 cm/min)

| Tensile test | | Bending test | |
|---------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| Tensile strength (N/mm ²) | Ruptured portion | Cap face bend | Root face bend |
| 726, 724 | Weld metal | Good | Good |



第9図 DP 11 A と DP 3 のシャルピー衝撃値に及ぼす時効熱処理の影響

Fig.9 Effect of aging on impact value of DP11A and DP3



第10図 DP 11 A と DP 3 の孔食電位に及ぼす時効熱処理の影響

Fig.10 Effect of aging on pitting potential, $V_{c'10}$ of DP11A and DP3

同等であった。

3-2-4 その他の性能

DP 11 A は二相ステンレス鋼の中で最も合金元素量が少ないため、高温に保持された場合、硬化、脆化および耐食性劣化に対する抵抗性が優れている。

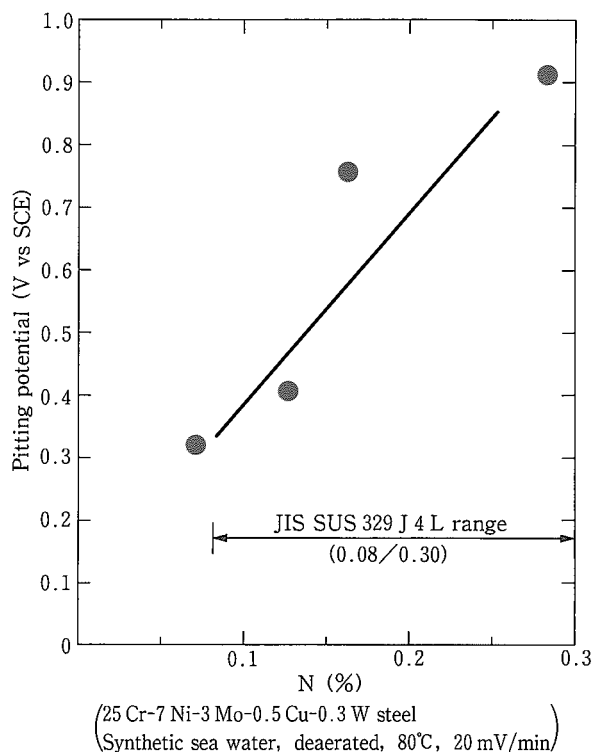
DP 11 A と既存二相ステンレス鋼 DP 3 のシャルピー衝撃値および孔食電位に及ぼす時効熱処理の影響を、それぞれ第9図、第10図に示す。DP 3 は 700~800°C の時効により金属間化合物(σ 相)が析出するため、靱性と耐孔食性が

顕著に低下する。DP 11 A は σ 相析出を加速する Mo が少ないため、時効による脆化および耐食性低下が起りにくい。従来の二相ステンレス鋼は厚肉材の鍛造、冷却時にシグマ相が析出し易いという問題があったが、DP 11 A では鋼管以外にも種々の形状が比較的容易に製造可能で、その点でも SUS 304, SUS 316 と同様広い分野への展開が期待される。

4. 高耐食二相ステンレス鋼管 DP 3 N, DP 3 W の開発

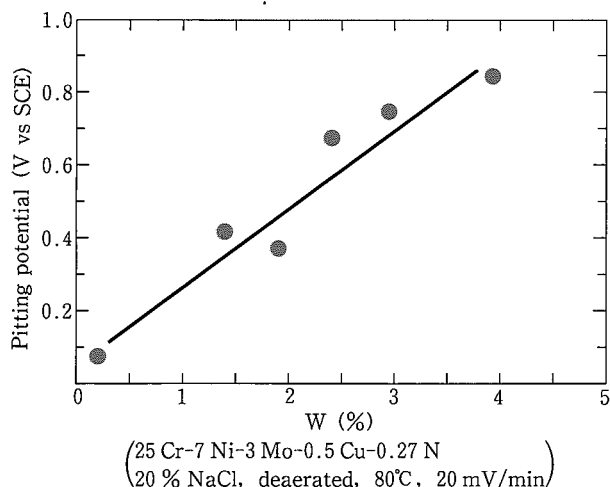
4-1 DP 3 N, DP 3 W の合金組成

DP 3 N, DP 3 W は 25 % Cr 二相ステンレス鋼 DP 3 の



第 11 図 孔食電位 $V_{c'_{10}}$ に及ぼす N 量の影響

Fig.11 Effect of N content on pitting potential, $V_{c'_{10}}$ of 25%Cr-3%Mo DSS



第 12 図 孔食電位 $V_{c'_{10}}$ に及ぼす W 量の影響

Fig.12 Effect of W content on pitting potential, $V_{c'_{10}}$ of 25%Cr-3%Mo DSS

耐食性を、Mo, W, N の増量により更に改善した鋼種である。DP 3 N は DP 3 規格内での高耐食性を確保したものであり⁴⁾、DP 3 W は W を DP 3 規格の上限 0.5 % を超える 2 % まで増量することにより最高の耐食性を実現したものである^{5),6),7),8)}。

第 11 図、第 12 図にそれぞれ孔食電位に及ぼす N, W の影響を示す。N および W が耐孔食性改善に有効であることがわかる。更に、W は Mo と異なり σ 相析出を加速せず逆に抑制することが判明している^{9),10)}。これらの知見に基づき、N と W の添加によって DP 3 よりも更に耐食性に優れた二相ステンレス鋼 DP 3 N と DP 3 W を開発した。

第 8 表に DP 3 N, DP 3 W の化学組成を示す。DP 3 N は DP 3 の規格範囲内で N, Cr, Mo を増量した鋼種である。したがって、DP 3 N は JIS, ASTM, ASME とともに従来 DP 3 と同一規格が適用される。また、DP 3 W は、W を溶接部において最も優れた耐食性が得られる最適値である 2 % まで増量した新しい鋼種である。

第 8 表 DP 3 N, DP 3 W の化学組成 (mass %)

Table 8 Chemical composition of DP3N and DP3W

| Steel grade | | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | W | N |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| DP 3 DP 3 N | SUS 329 J 4 L | ≤0.03 | ≤1.00 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.030 | Added | 4.50 ~7.50 | 21.0 ~26.0 | 2.50 ~3.50 | Added | 0.08 ~0.30 |
| | UNS S 31260 | ≤0.03 | ≤1.00 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.030 | Added | 4.50 ~7.50 | 21.0 ~26.0 | 2.50 ~3.50 | Added | 0.08 ~0.30 |
| | DP 3 typical | 0.022 | 0.42 | 0.93 | 0.028 | 0.002 | 0.49 | 7.35 | 25.35 | 3.15 | 0.41 | 0.14 |
| | DP 3 N typical | 0.012 | 0.43 | 0.54 | 0.018 | 0.001 | 0.50 | 6.75 | 25.30 | 3.29 | 0.45 | 0.28 |
| DP 3 W | UNS S 39274 | ≤0.03 | ≤0.80 | ≤1.0 | ≤0.030 | ≤0.0020 | 0.20 ~0.80 | 6.0 ~8.0 | 24.0 ~26.0 | 2.50 ~3.50 | 1.50 ~2.50 | 0.24 ~0.32 |
| | Typical | 0.017 | 0.30 | 0.50 | 0.015 | 0.001 | 0.48 | 6.70 | 24.70 | 3.12 | 2.05 | 0.26 |

4-2 DP 3 N, DP 3 W の性能

4-2-1 機械的性質

DP 3 N, DP 3 W の引張性質を第 9 表に示す。既存の二相ステンレス鋼と同様、フェライト系およびオーステナイト系に比べて、引張強さ、耐力とも高く高強度である。DP 3 N, DP 3 W は最も高合金の二相ステンレス鋼に分類され、合金元素の固溶強化作用によって高い強度が得られている。

4-2-2 耐食性

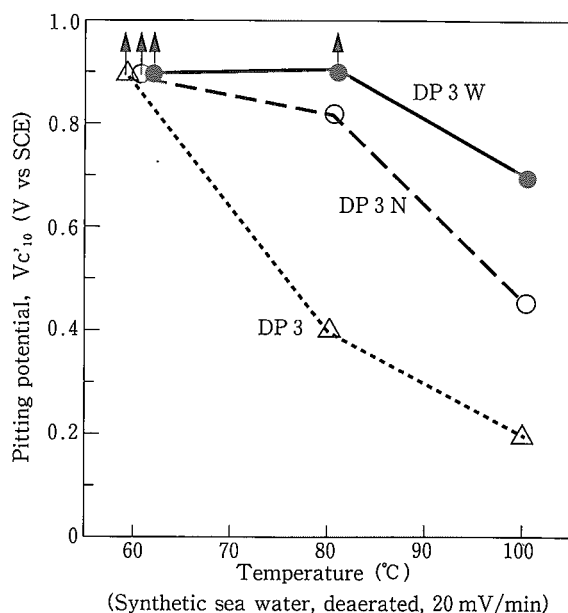
(1)耐孔食・すき間腐食性

第 13 図に孔食電位に及ぼす温度の影響を示す。孔食電位は高温ほど低下した。80℃以上での孔食電位は、DP 3 < DP 3 N < DP 3 W の順であり、高い W を含有する DP 3 W が最も優れていた。第 14 図には海水浸漬によるすき間腐食試験結果を示す。従来の DP 3 では軽微なすき間腐食が発生したが、DP 3 N, DP 3 W はともに、すき間腐食を発生せず、

第 9 表 DP 3 N, DP 3 W の引張性質と硬さ

Table 9 Tensile properties and hardness of DP3N and DP3W

| Steel grade | | Tensile strength (N/mm ²) | 0.2% proof stress (N/mm ²) | Hardness (HRC) |
|-------------|----------------|--|---|-------------------|
| DP 3 | SUS 329 J 4 L | ≥ 620 | ≥ 450 | — |
| | UNS S 31260 | ≥ 690 | ≥ 450 | ≤ 30.5 |
| | DP 3 typical | 815 | 610 | 25.4 |
| | DP 3 N typical | 822 | 568 | 25.3 |
| DP 3 W | UNS S 39274 | ≥ 800 | ≥ 550 | — |
| | Typical | 852 | 626 | 25.7 |

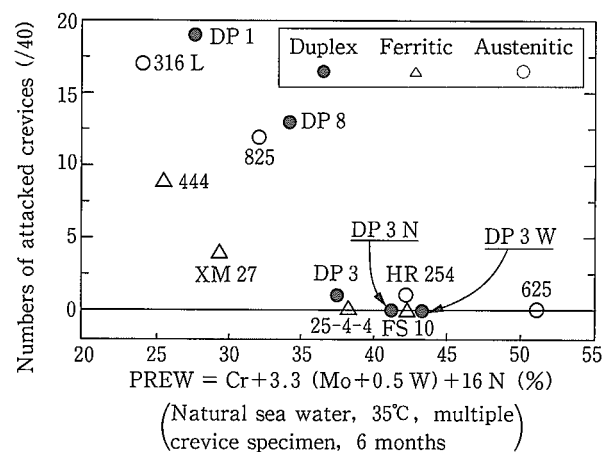


第 13 図 DP 3 N, DP 3 W の孔食電位 $V_{c'10}$ に及ぼす温度の影響

Fig.13 Effect of temperature on pitting potential, $V_{c'10}$ of DP3N and DP3W

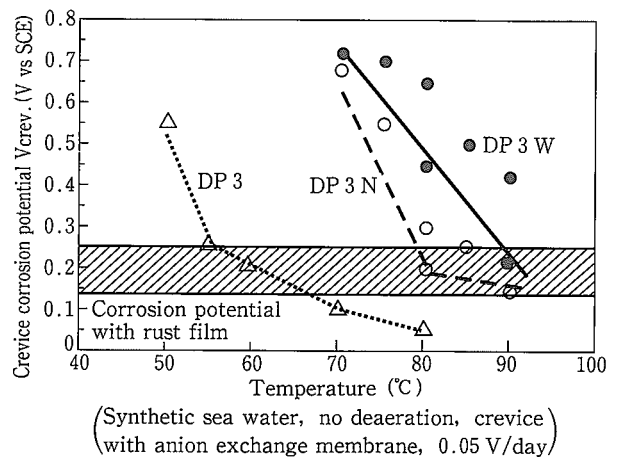
海水に対しても優れた耐食性を有することが確認された。

従来 DP 3 の主要用途である海水熱交換器では、鉄イオン注入や塩素注入などによって自然電位の上昇と孔食電位の低下が起り、単純な海水よりも過酷な腐食環境となることが知られている。このため従来 DP 3 では鉄イオン注入を適用する場合には使用温度が低温側に限定されていた^{11),12)}。海水熱交換器の腐食環境での二相ステンレス鋼の耐食性を評価するため、アニオン交換樹脂を挿入したすき間付き試験片を用いて定電位試験を行った。第 15 図にこの定電位試験の結果を示す。DP 3 では 55℃ 以上ですき間腐食電位が自然電位以下となり腐食発生の可能性があった。一方、DP 3 N, DP 3 W ではすき間腐食電位が高いことから、この限界温度が大きく上昇した。DP 3 N で約 70℃、DP 3 W で約 80℃ までの使用が可能と考えられる。



第 14 図 DP 3 N, DP 3 W の耐すき間腐食性(海水浸漬試験)

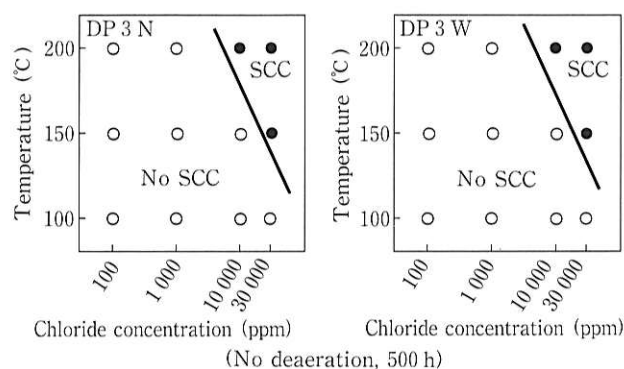
Fig.14 Crevice corrosion resistance of DP3N and DP3W in natural sea water



第 15 図 DP 3 N, DP 3 W のすき間腐食発生電位 V_{crev} に及ぼす温度の影響(海水熱交換模擬試験)

Fig.15 Effect of temperature on crevice corrosion potential, V_{crev} , of DP3N and DP3W (Electrochemical test simulated for heat exchanger)

技術報文



第16図 DP 3 N, DP 3 Wの耐応力腐食割れ性に及ぼす温度と塩化物濃度の影響

Fig.16 Effect of temperature and chloride concentration SCC resistance of DP3N and DP3W

(2)耐応力腐食割れ性

第16図に中性塩化物環境での応力腐食割れに及ぼす塩化物濃度と温度の影響を示す。DP 3 N, DP 3 Wとも従来DP 3とはほぼ同等の耐SCC性を有していた。

4-2-3 その他の性能

DP 3 N, DP 3 Wは、溶接性、拡張加工性、その他の実用性能において、従来DP 3と同様、良好な特性を有している。DP 3は、優れた耐食性によってこれまで多くの腐食環境に適用されてきたが、更に高耐食なDP 3 N, DP 3 Wが開発されたことで、より広い分野への適用拡大が期待される。

5. 結 言

二相ステンレス鋼管 DP シリーズのラインアップを紹介し、更に最近開発した新鋼種について述べた。

(1) DP 11 A (23 % Cr - 4 % Ni - 0.3 % Mo - 1.5 % Cu - 0.15 % N)は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 (L)あるいは SUS 316 (L)と同等以上の耐食性を有する経済型二相ステンレス鋼である。オーステナイト系に比較して耐応力腐食割れ性に優れ、200 ppm Cl⁻以下の比較的低濃度の塩化物環境での使用が可能で、耐酸性にも優れる。また、他の二相ステンレス鋼に比較し Mo 等の含有量が低いため、不適切な熱履歴による硬化・脆化・耐食性低下に対する抵抗性が優れている。

(2) DP 3 N (25 % Cr - 7 % Ni - 3 % Mo - 0.5 % W - 0.5 % Cu - 0.3 % N)と DP 3 W (25 % Cr - 7 % Ni - 3 % Mo - 2 % W - 0.5 % Cu - 0.3 % N)は、ともに二相ステンレス鋼の中でも最も高い耐食性を有し、いわゆるスーパーステンレス鋼の範囲に属する。DP 3 N, DP 3 Wは海水に代表される高濃度の塩化物環境での使用にも耐える。

これら3鋼種の開発によって、当社の二相ステンレス鋼管は、汎用ステンレス鋼である SUS 304 相当材から最も高耐食なスーパーステンレス鋼相当材まで、広いバリエーションを持つシリーズが完成した。今後、二相ステンレス鋼の更なる適用拡大が期待される。



東 茂樹/Shigeki Azuma

総合技術研究所 鋼管・鋼材研究部
主任研究員

(問合せ先：06(489)5729)

参考文献

- 1) 工藤勉夫, 東茂樹: 材料学会腐食防食部門委員会資料, **34** (1993), 177-2
- 2) 塩化物 SCC 対策鋼使用実績データ集, (1997), p.22, 化学工学会
- 3) 幸英昭, 東茂樹, 小川和博, 工藤勉夫, 西嶋夫: 住友金属, **42** (1990), p.272
- 4) 東茂樹, 幸英昭, 岡本弘, 瀬下一郎, 矢野秀則: 石油学会第36回年会, (1993), B-04
- 5) H. Okamoto: Proc. of Application of Stainless Steels '92, Stockholm, Sweden, (1992), p.360
- 6) M. Ueda, H. Okamoto, T. Kobayashi, K. Kondo, K. Ogawa and T. Kudo: Corrosion/93, Paper No.125, (1993), NACE
- 7) S. Azuma, H. Okamoto, K. Ogawa, H. Miyuki and I.

Seshimo: Proc. of Asian Symp. on Corr. and Protec. in Oil and Gas Operations Oil Refineries and Petrochem. Ind., Osaka, Japan, (1994), p.101

- 8) K. Kondo, M. Ueda, K. Ogawa, H. Okamoto and M. Igarashi: Proc. of Innovation Stainless Steel, Florence, Italy, (1993), p.191
- 9) 小川和博, 岡本弘, 植田昌克, 小林経明, 水田俊彦: 住友金属, **46** (1994), p.80
- 10) 近藤邦夫, 五十嵐正晃, 宮田佳織, 植田昌克, 小川和博, 岡本弘: CAMP-ISIJ, **7** (1994), p.1756
- 11) 幸英昭: 腐食防食'91 講演集, (1991), p.225
- 12) 石本裕保: 日本材料学会腐食防食部門委員会資料, **33** (1992), p.14