

尿素プラント用高耐食二相ステンレス鋼 DP28W™ の開発

小川和博¹⁾* 山寺芳美²⁾* 樋口淳一³⁾*
長島英紀¹⁾** 坂田英二²⁾**

1. 緒 言

近年、環境問題と食糧問題は世界規模で高い関心を集め、我が国においても重要な課題と認識されており産業界においても様々な取り組みが行われている。化学プラントの分野においても同様であり、肥料原料となる尿素は、人口増加に伴う食糧需要の高まりに加え、最近では化粧品の原料やディーゼルエンジン車の排出ガス還元剤としても使われているため、世界的に需要が伸び続けており、それに伴い、尿素製造プラントの建設も活発化している。尿素の安定供給のためには製造プラントの安定操業が重要となるが、プラントでの尿素合成過程で発生する非常に腐食性の高いアンモニウムカーバメート(Urea-Carbamate)等による腐食が特に溶接部において発生し、補修、部材の取替え等のメンテナンスによる休止を余儀なくされていた⁽¹⁾⁽²⁾。

この解決策として新たに溶接部を含む耐食性を大幅に改善した二相ステンレス鋼(商品名「DP28W™」)を開発し実プラントに適用した。その結果、検査・補修間隔を約2倍に延長することができメンテナンスコスト削減、安定操業に貢献している⁽³⁾。本稿ではDP28W™(以下TMを省略)の成分設計のポイント、特徴、実用化状況について延べる。

2. DP28W の特徴

(1) 優れた耐食性

尿素プラント(図1)では尿素合成過程で発生する非常に腐食性の高いアンモニウムカーバメート(Urea-Carbamate)環境中において高い耐食性を有する。

(2) 優れた強度

フェライト相とオーステナイト相からなる二相組織でありかつ高Nであることから後述のようにオーステナイト系ステンレス鋼を遙かに凌駕する高い強度を有している。

(3) 優れた溶接性

溶接性の観点からの合金設計の最適化を行うことで尿素製造プラント用材料としてこれまで使われていたオーステナイト系ステンレス鋼(SUS316系, 310系, 以下、本文の図表中ではSUS省略)や二相ステンレス鋼(329J4L系)において必ずしも十分とは言えなかった溶接熱影響部(Heat Affected zone, 以下HAZ)および溶接金属での優れた耐食性、機械的性質(靱性)を実現している。

* 住友金属工業株式会社
総合技術研究所：1)主監部長研究員
鋼管カンパニー：2)特殊管カスタマー技術部長
3)シンガポール事務所担当課長

** 東洋エンジニアリング株式会社
エンジニアリング統括本部：1)材料技術チームリーダー
2)ビジネスリーダー

High Corrosion Resistant Duplex Stainless Steel for Urea Plants; Kazuhiro Ogawa*, Yoshimi Yamadera*, Jun-ichi Higuchi*, Eiki Nagashima**, Eiji Sakata**(*Sumitomo Metal Industries, Ltd., **Toyo Engineering Corporation)

2011年10月28日受理

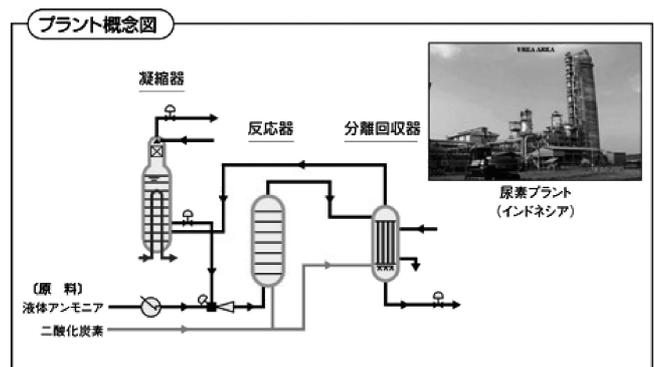


図1 尿素製造プラントの概念図。

3. DP28W の材質設計のポイント

稼働中の尿素製造プラントに浸漬することにより評価した結果、図2に示すように耐食性の確保にはMo, Nを添加した前提でCr量を約28%以上添加することが有効である。しかしながらCr, Mo量を高めて高耐食化した二相ステンレス鋼の溶接熱影響部(Heat Affected Zone, 以下HAZ)においては溶接熱サイクルを受けた際の組織変化(金属間化合物, 炭窒化物の生成)による脆化と耐食性劣化に配慮する必要がある。そのため、特に顕著となりやすい金属間化合物, シグマ相の生成抑制に配慮して材質設計する必要がある。さらには溶接部の重要な構成要素である溶接金属での耐食性確保が可能な専用の溶接材料も合わせて開発した。

具体的には、Moの一部を拡散速度が相対的に小さいWに置き換えて1%Mo-2%Wとすることで高耐食性を維持しつつ、HAZでの金属間化合物の抑制の両立を達成している。

溶接材料に関しては、母材に近い適正なフェライト/オーステナイト比率となり、かつ炭窒化物, 金属間化合物が生じない凝固組織が溶接のままの状態(As weld)で得られると

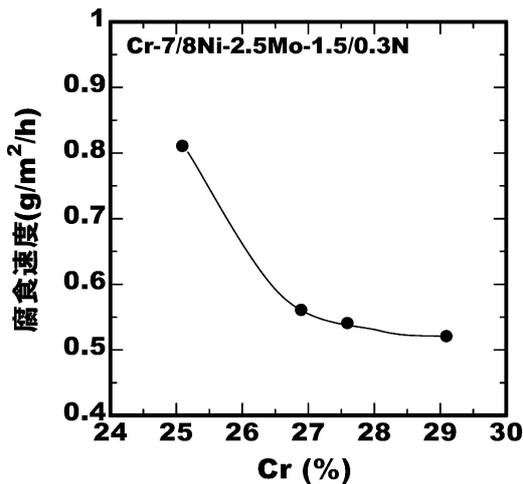


図2 尿素プラント環境での耐食性とCr量.

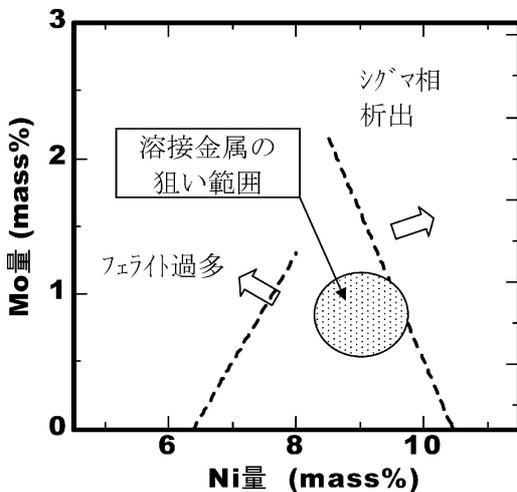


図3 溶接金属設計の考え方.
(28Cr-Ni-Mo-2W-0.2N)

もにブローホール等の欠陥が生じないように母材と異なるN, Ni量に最適化している(図3).

4. DP28W の特性

上述の成分設計思想に基づいて尿素プラントに必要とされるシームレス鋼管, 厚板, 溶接材料を開発し商品化した。(図4). 主要な化学組成は28Cr-Ni-3Mo-2W-Nであり固溶化熱処理状態でフェライト相が約40%となるようにNi, Nを添加している。機械的性質の例を表1に示す。DP28Wの0.2%耐力は316Lの2.7倍程度の近い高い値を有している。

(1) 母材および溶接継手の耐食性

DP28Wは高CrかつMo, W, Nを適正添加していることから、図5に示すように尿素製造プラントで生じるアンモニアカーボメート環境において早期に安定な不動態皮膜を形成する。そのため、溶接継手においても従来の尿素製造プラント用材料として使われていたオーステナイト系ステンレス鋼(SUS316系)や二相ステンレス鋼(SUS329J4L系)に比べて、高い耐食性を有している。図6に示すように溶接部の局部腐食はSUS316Lでは顕著に生じており、また329J4Lでも軽微ではあるが生じているが、DP28Wでは局部腐食はほとんど認められていない。図7に示すように溶接継手の腐食速度もDP28Wでは329J4Lに比べて6割程度に低減している。

(2) シグマ相析出特性

図8は900°Cで等温加熱した際のシグマ相の析出成長挙動の比較である。溶接熱サイクル時の析出を支配する短時間側でのシグマ相の析出速度はDP28Wでは既存鋼329J4L(25Cr-



図4 開発したDP28Wシームレス鋼管(押し広げおよび扁平試験後の外観).

表1 DP28W鋼管の機械的性質の例.

	0.2%耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)
DP28W	647	934	42
329J4L	610	822	50
316L	234	518	52

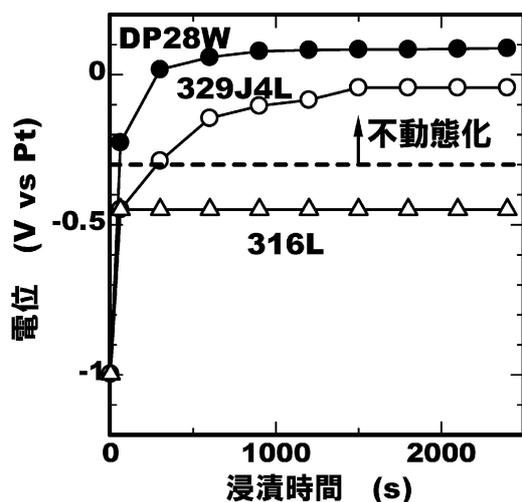


図5 アンモニアカーボメート環境での不動態化傾向 (DP28W は早期に不動態化).

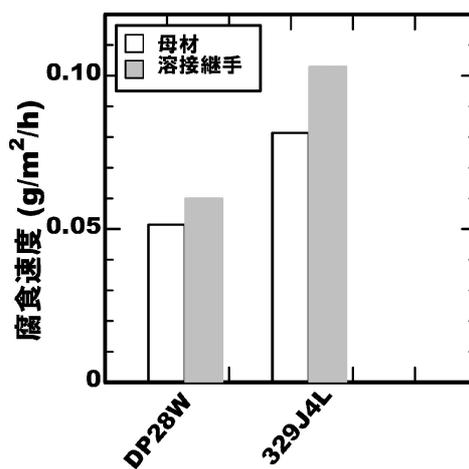


図7 溶接継手の耐食性.

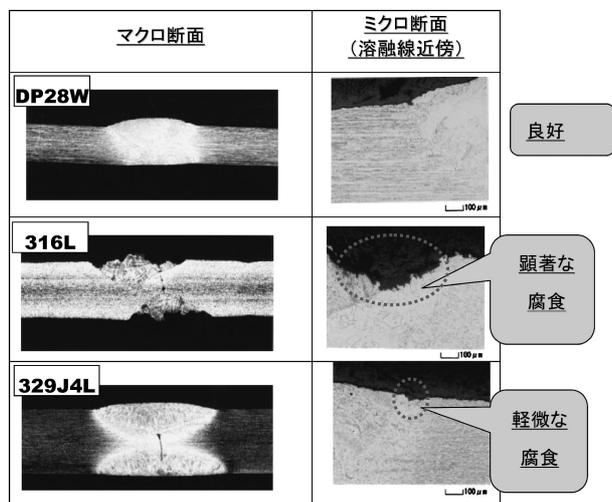


図6 溶接継手の腐食状況.

7Ni-3Mo-0.2N)の約1/3に抑えられている. DP28Wでは析出駆動力に影響の大きいMoを1%に抑え, 拡散の遅いWを2%としているためである(4). そのため溶接施工においてHAZでシグマ相の析出が生じるリスクは小さい.

5. 実用化状況とその効果

2003年からは新設の尿素プラント用材料として実用化し, 既に9基分に使用され, 世界的な食糧需要の高まりにより継続的な尿素製造プラントの建設が予定される中, 今後, 益々採用実績は増えていくと予想される. DP28Wの使用により, これまでは溶接部での腐食にともなう定期的な取替を余儀なくされていた尿素プラントの最も過酷な部位においても大幅な取り替え間隔の延長が可能となり, 結果としての稼働率が大幅に向上したことによる経済的効果も大きい. 例えば日本国内のユーザーにおいては, 1年周期で点検・補修を実施していたものが, 本鋼を採用した機器に交換することで2年周期となり, 収益力の向上とコスト削減に寄与している. さらに耐食性ととも本鋼の特徴の1つである高い強度(従来鋼の1.5~2倍)により, チューブなどの

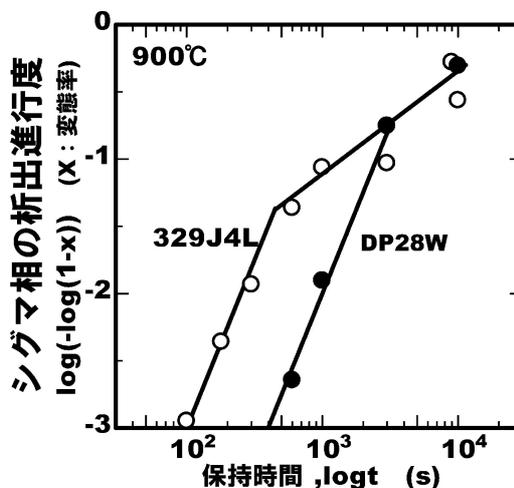


図8 等温加熱時のシグマ相の析出成長.

耐圧部材を薄肉化することができ, 伝熱性能の向上と機器の軽量化を両立している.

また, 特許については, 2011年10月時点で日本, 欧米を含む16ヶ国で登録されている.

6. 本開発の社会的意義

本開発成果により尿素製造プラントの長寿命化, 安定操業への寄与を通して, 世界規模の課題である食糧増産に不可欠な尿素肥料の安定供給に貢献している. また近年尿素はディーゼルエンジン車の排出ガス還元剤にも用いられており, その安定供給を通して環境保護にも寄与する社会貢献の大きい技術である. 現在本鋼と省エネプロセスを組み合わせることで環境負荷の低い尿素プラントを実現しており, 今後世界中での普及が期待される.

文 献

- (1) 長島英紀, 樋口淳一: 配管技術, 48(2006), 9-14.
- (2) 長島英紀: 配管技術, 53(2011), 30-33.
- (3) N. Hirohata and E. Nagashima: Duplex Stainless Steel DP28W™ Enhances Safety and Economy of Urea Plant, Proc of NITROGEN+SYNGAS 2007, Bahrain, 25-28 February, (2007).
- (4) 小川和博, 岡本 弘, 五十嵐正晃, 植田昌克, 森 友希, 小林経明: 溶接学会論文集, 14(1996), 368-375.