

高耐食クラッド鋼

Corrosion Resistant Clad Steels

1. はじめに

クラッド鋼は、炭素鋼または低合金鋼の鋼板（母材）の片面または両面に、ステンレス鋼やニッケル合金などの合せ材を接合した複合鋼板であり、構造部材として必要な強度をもつと同時に（母材部分）、耐食性などの機能も兼ね備え（合せ材部分）、しかも、母材部分まで合せ材と同一の材質で製造するのに比し安価であるという優れた特長を有している。このため、クラッド鋼は、造船、压力容器、エネルギー分野を主とした種々の産業分野で使用されてきた。昨今、資源開発における腐食環境の厳しい物件が増加していることを背景に、高耐食クラッド鋼の需要が高まっている。そこで、本製品・技術紹介では、JFE スチールの高耐食クラッド鋼について紹介する。

2. JFE スチールの高耐食クラッド鋼の特長

2.1 高耐食クラッド鋼の製造方法

クラッド鋼には、圧延クラッド鋼、爆着クラッド鋼、肉盛クラッド鋼などがある。JFE スチールでは、世界でも有数の強力な圧延機（最大圧延荷重 9 000 t）を擁する西日本製鉄所（福山地区）厚板工場において、圧延クラッド鋼を製造

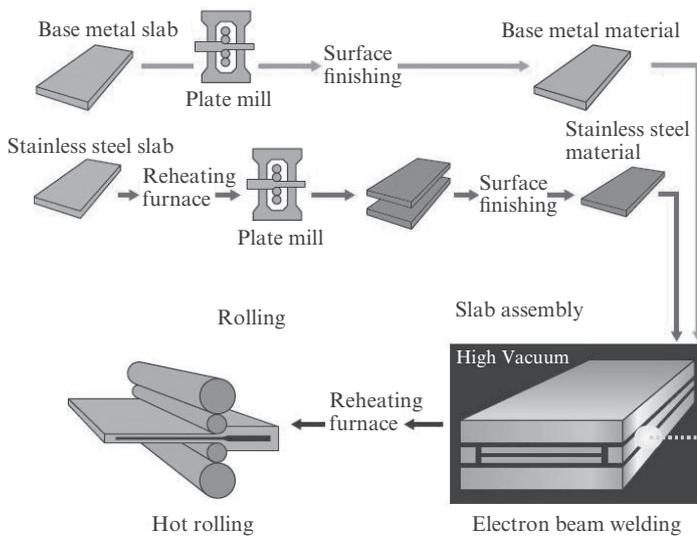


図 1 圧延クラッド鋼の製造フロー

Fig. 1 Schematic illustration of roll cladding process

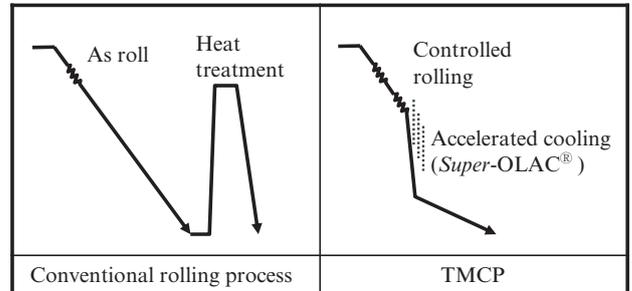


図 2 従来圧延プロセスと TMCP の比較

Fig. 2 Conventional rolling process and thermo-mechanical control process (TMCP)

している。図 1 にその製造フローを示す。圧延クラッド鋼は、広幅、長尺鋼板の製造が可能であるとともに、良好な平坦度および板厚精度を有することが特長である。これに加え、JFE スチールでは、長年に渡って培われてきた鋼板強硬化技術である TMCP (thermo-mechanical control process) の適用が可能である。図 2 に TMCP の模式図を従来圧延プロセスと比較して示す。TMCP では、母材の溶接性を損なわずに強硬化を達成できるとともに、後述のように、加速冷却による合せ材の耐食性確保も可能である。

2.2 ステンレスクラッド鋼

JFE スチールでは、ケミカルタンカーや各種プラントの反応容器、CRA (corrosion resistant alloy) クラッドパイプ向けに多くのステンレスクラッド鋼製造実績がある。合せ材にニッケルクロム系ステンレス鋼の SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L やクロム系ステンレス鋼の SUS410S, SUS410L, 母材に JIS 規格, ASTM 規格 (ASTM : ASTM International), ASME 規格 (ASME : American Society of Mechanical Engineers), API 規格 (API : American Petroleum Institute) 鋼種を用いたステンレスクラッド鋼がその代表例として挙げられる。

図 3 に、SUS304 および SUS316 の耐粒界腐食性能 (JIS G 0571:しゅう酸エッチング試験) に及ぼす TMCP 製造因子: 最終加工温度と加工後の冷却速度の影響を示す。図中の数値はピッカース硬さである。加工後に加速冷却を行なうことにより、合せ材における冷却中の炭化物析出を抑制することが可能であり、溶体化処理なしでも良好な耐食性が得られることが分かる¹⁾。JFE スチールでは、2012 年に、API 5L X65 を母材とした 316L クラッドパイプ原板 2 400 t を TMCP 適用にて製造している。

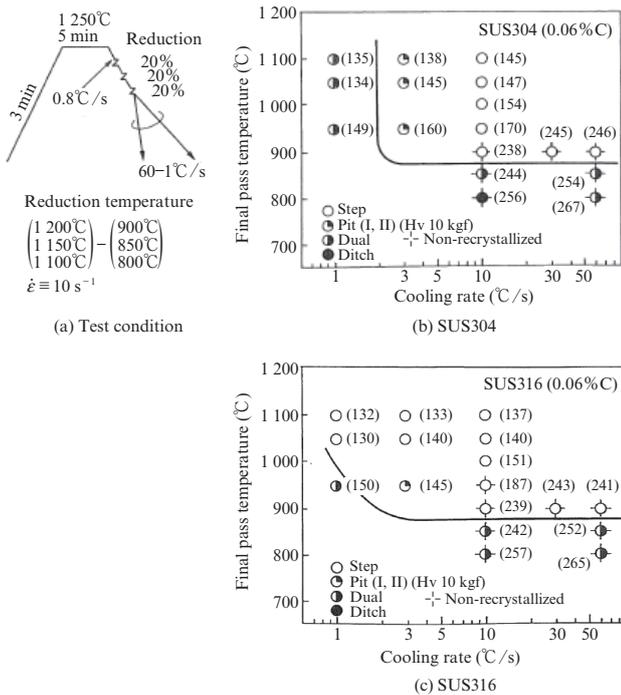


図3 ミクロ組織、硬さ、炭化物析出に及ぼす冷却速度と最終加工温度の影響¹⁾

Fig. 3 Effects of cooling rate and final pass temperature on microstructure, hardness and carbide precipitation¹⁾

海水環境においては、上記汎用ステンレス鋼は孔食・すきま腐食を生じる可能性がある。これまで、耐海水ステンレス鋼としては多くの鋼種が開発されているが、クラッド鋼の合せ材として適用すると耐食性が劣化するという課題があった。JFE スチールでは、クラッド鋼の合せ材として用いることを想定した、耐海水ステンレス鋼 JSL310Mo を独自開発、25% Cr-4.5% Mo-0.2% N を基本成分系とし、Ni 量の最適化と微量 B の添加により、優れた熱間加工性と、クラッド材において溶体化熱処理材と同等の耐食性を実現している²⁾。2006 年には、JSL310Mo を合わせ材としたステンレスクラッド鋼が、図 4 に示す南極観測船「新しらせ」の船体喫水部に採用されている³⁾。今後も、その優れた耐食性から、砕氷船や港湾鋼構造物、海水淡水化装置など大きな需要が期待される。

2.3 ニッケル合金クラッド鋼

合せ材は JIS H 4551 NW4400 (ニッケル-銅合金板) の他、ASTM B443 UNS N06625 (Alloy 625) などの海外規格についても適用可能である。母材は、JIS G 3602 (ニッケルおよびニッケル合金クラッド鋼) に示す鋼種の多くが適用可能である。これらニッケル合金クラッド鋼は、Cl⁻濃度が高

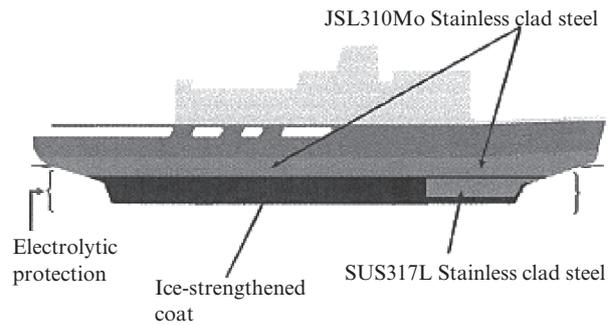


図4 「新しらせ」において JSL310Mo ステンレスクラッド鋼が使われている部位³⁾

Fig. 4 Applied area of JSL310Mo stainless clad steel for the new icebreaker "SHIRASE"³⁾

く、H₂S、CO₂ ガスなどの腐食性ガスを含む石油・ガス生産・精製プラントやラインパイプなどに使われる。JFE スチールでは、ニッケル合金の C 量を低くすることで、焼きならし型クラッド鋼、TMCP 型クラッド鋼のいずれにおいても溶体化処理材と同等の優れた耐食性を示すことを確認している⁴⁾。このような基礎検討を積み重ねたうえで、JFE スチールでは、API 5L X65 を母材とした ASTM B424 UNS N08825 (Alloy 825) クラッドパイプ 3 000 t を TMCP 適用にて製造した実績がある⁵⁾。今後、新規に開発されるガス田では、サワー環境などの劣悪な条件になるものが増加すると予想されており、ニッケル合金クラッド鋼市場の大きな伸びが期待される。

3. おわりに

現在、JFE スチールでは、2 000 t~3 000 t/月の高耐食クラッド鋼生産能力を有している。クラッド鋼製造に際し、TMCP の利点を活かすことができるのが JFE スチールの強みである。今後も品質と経済性の向上に努め、お客様にご愛顧いただける高耐食クラッド鋼を積極的に製造・販売していく所存である。

参考文献

- 1) 本田正春ほか. 日本鋼管技報. 1987, no. 116, p. 17.
- 2) NKK 技報. 1990, no. 132, p. 96.
- 3) 山内豊. ユニバーサル造船テクニカルレビュー. 2009, no. 4, p. 1.
- 4) 小林泰男ほか. 日本鋼管技報. 1988, no. 120, p. 15.
- 5) 平忠明. 溶接学会全国大会講演概要. 1991, no. 49, p. 14.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 厚板営業部チタン・クラッド室
TEL: 03-3597-3362 FAX: 03-3597-3891
ホームページ: <http://www.jfe-steel.co.jp/products/atuita/index.html>