JFE 技報 No. 46
（2020 年 8 月）p. 78–79

ケミカルタンカー用 TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板

TMCP Type KSUS329J3L Clad Steel Plates for Chemical Tankers

1. はじめに

ケミカルタンカーは，液体の化学薬品などを運搬する船舶である。その中でもカーゴタンクは極めて過酷な腐食環境にあり，また高比重の積荷や波浪など厳しい荷重条件に耐える必要があるため，耐食性に優れ，かつ高強度のステンレス鋼板やステンレスクラッド鋼板が主に使用されている。JFE スチールでは高耐食クラッド鋼板を製造しており[1]，今回，ケミカルタンカーのカーゴタンクに使用可能な，二相ステンレス鋼「KSUS329J3L」を合せ材とする「TMCP 型 KSUS329J3L ステンレスクラッド鋼板」を開発し，（一財）日本海事協会より製造法承認を取得した。

2. TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板のコンセプト

図 1 はケミカルタンカーのカーゴタンク断面模式図である。日本国内建造のケミカルタンカーのカーゴタンクには，主にオーステナイト系ステンレス鋼の KSUS316L を合せ材としたステンレスクラッド鋼が使用されてきたが[2]，ヨーロッパでは二相ステンレス鋼のカーゴタンクが主流であり[3]，日本国内建造のものでも，耐食性の面でカーゴタンクの隔壁に二相ステンレス鋼（KSUS329J3L）を適用する事例が増えている。KSUS329J3L は溶体化処理により優れた耐食性を示すが，900℃前後の温度域では，金属間化合物などの耐食性を劣化させる有害な析出物が生成しやすいという特性がある[4]。従って，KSUS329J3L クラッド鋼板製造において，熱間圧延状態では析出物による耐食性劣化が生じ，溶体化処理状態では母材の機械的特性が劣化するという課題があった。そこで，圧延時に TMCP 技術（thermo-mechanical control process）を適用することで，有害な析出物の生成とそれに伴う耐食性の劣化を抑制し，機械的特性と両立させた。**図 2** に TMCP 技術による析出物抑制の模式図を示す。

3. TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の特性

今回開発した TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の，合せ材部分のミクロ組織を**写真 1** に示す。フェライト相とオーステナイト相がおよそ 1：1 の組織を呈しており，金属間化合物などの耐食性に有害な析出物は生成していない。

TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の耐孔食性および耐りん酸腐食性を**表 1** に示す。耐孔食性は JIS G 0578 B 法に準拠した，塩化第二鉄腐食試験により評価した。孔食発生臨界温度：CPT（Critical Pitting Temperature）は，溶体化処理：ST（Solution treatment）を施した KSUS329J3L と同等の 50℃であり，優れた耐孔食性を有している。耐りん酸腐食性は，積荷となる粗製りん酸を模擬した 50℃の試験溶液（50 % P_2O_5＋3 % H_2SO_4＋0.5 % Fe^{3+}＋0.5 % F^-＋0.03 % Cl^-）に腐食試験片を 120 時間連続浸漬させ，試験前後の重量変化から算出した腐食速度により評価した。腐食速度は

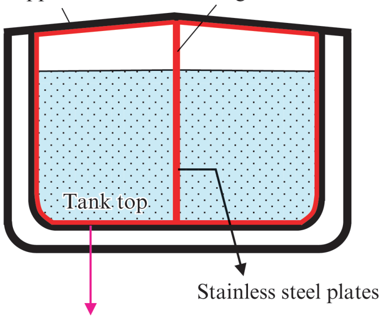


図 1　ケミカルタンカーのカーゴタンク断面（模式図）
Fig. 1　Schematic illustration of cross-sectional cargo tank of chemical tanker

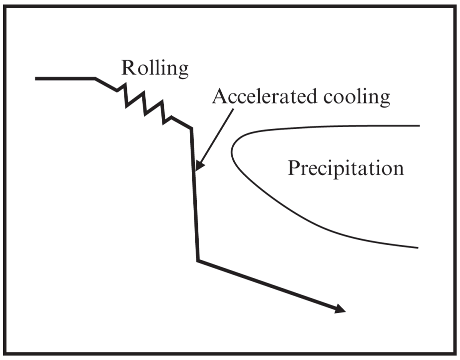
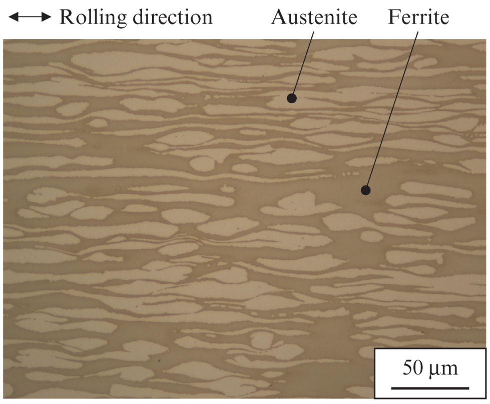


図 2　TMCP 技術による析出物抑制（模式図）
Fig. 2　Schematic illustration of preventing precipitation with accelerated cooling

2020 年 3 月 6 日受付

Copyright © 2020 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.



(Position: 1/4t of cladding material)

写真 1　TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼合せ材のミクロ組織

Photo 1　Microstructure of cladding material part of TMCP type KSUS329J3L clad steel

表 1　TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の耐食性

Table 1　Corrosion resistance of TMCP type KSUS329J3L clad steel plates

	CPT (°C)	Corrosion rate*1 (mm/y)
KSUS329J3L clad (TMCP)	50	0.0
KSUS329J3L plate (ST)	50	0.0

CPT: Critical pitting temperature (JIS G 0578 B)
ST: Solution treatment
*1 Immersion test in phosphoric acid for 120 h at 50°C
50%P_2O_5 + 3%H_2SO_4 + 0.5%Fe^{3+} + 0.5%F^- + 0.03%Cl^-

表 2　TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の機械的特性

Table 2　Mechanical properties of TMCP type KSUS329J3L clad steel plates

Thickness (mm)		Tensile test*1			Charpy impact test*2
Base metal	KSUS329J3L	YS (N/mm^2)	TS (N/mm^2)	El (%)	vE_{-20}(J)
13	3	450	557	22	387
KD36 Specification		≧373	≧515	≧17	≧34

YS: Yield strength, TS: Tensile strength, El: Elongation, vE_{-20}：Absorbed energy at −20°C
*1 Full thickness tensile test
*2 Base metal Charpy impact test

溶体化処理を施した KSUS329J3L と同等の 0.0 mm/y であり，りん酸中における安定した耐食性を確認している。

表 2 に KSUS329J3L クラッド鋼板の引張試験の結果と，母材の−20℃における衝撃吸収エネルギーを示す。引張試験片はクラッド鋼の母材および合せ材の全厚から，衝撃吸収エネルギーを評価するシャルピー衝撃試験片は母材部から採取した。引張特性および衝撃吸収エネルギーはいずれも，KD36 のスペックを満足している。

4.　おわりに

以上のように，TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板は，優れた耐食性を有しており，KA，KB，KD，KA32～36，KD32～36 において最大板厚 16 mm まで，日本海事協会から型式承認を取得している。また，溶接性および疲労特性についても問題のない特性を有していることを確認しており[5)]，ケミカルタンカーのカーゴタンクへの実船適用が進んでいる。

TMCP 型 KSUS329J3L クラッド鋼板の適用は，ケミカルタンカーの更なる安全性および信頼性の向上につながることが期待される。

参考文献

1）高耐食クラッド鋼．JFE 技報．2014, no. 33, p. 75–76.
2）鈴木伸一，村岡隆二，小日向忠，遠藤茂，堀田知夫，小俣一夫．造船用鋼材．JFE 技報．2003, no. 2, p. 37–44.
3）たとえば，Stainless Steel World December 1996. vol. 10, no. 8, p. 28–29.
4）Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels. 3rd edition, IMOA, 2014.
5）緒方洋典，堺田和昌，春山雄介，深井英明，黒沼洋太，勝田順一，岡田公一，矢島浩，安藤翼，福井努．二相ステンレスクラッド鋼板のケミカルタンカーへの適用に関する基礎研究．日本海事協会会誌．2018, no. 322, p. 151–164.

〈問い合わせ先〉（2021年10月～）
JFE スチール　厚板セクター部
TEL：03-3597-3183　FAX：03-3597-4567
ホームページ：http://www.jfe-steel.co.jp/products/atuita/index.html
Email：t-atsuitasec@jfe-steel.co.jp

Copyright © 2020 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.　禁無断転載