

© 1986 ISIJ

耐すきま腐食性チタン材料の性能と利用技術 技術報告

上窪 文生*・佐藤 広士*²・下郡 一利*²

Performance and Usage of Titanium Materials Resistant to Crevice Corrosion

Fumio KAMIKUBO, Hiroshi SATOH and Kazutoshi SHIMOGORI

Synopsis :

The crevice corrosion in the chloride solutions at elevated temperatures is one of the important corrosion problems in titanium from the practical point of view. At present, Ti-0.15%Pd alloy, Ti-0.3%Mo-0.8%Ni alloy and PdO/TiO₂-Ti (commercially pure titanium coated with a mixture of PdO and TiO₂) have been industrially used as countermeasure against the crevice corrosion. In this report, the crevice corrosion resistances of these three materials have been evaluated by means of immersion tests for crevice corrosion and electrochemical tests. The results have revealed that all of three materials showed a far more excellent resistance than commercially pure titanium, and that Ti-0.15%Pd alloy and PdO/TiO₂-Ti were at the almost same level and a little superior to Ti-0.3%Mo-0.8%Ni alloy. Furthermore, a guideline for the effective usage of these materials, which might enable each material to exhibit its maximum advantage, has been proposed on the basis of the obtained corrosion resistance as well as the mechanical property and the service experience.

1. 緒 言

チタンの耐食性において特筆すべき点が、塩素イオンに対するすぐれた耐食性にあることは広く認識されており、海水や塩化物を含むプロセス流体を扱う装置材料として実用されている。しかし、塩化物環境においてチタンの耐食性がオールマイティというわけではなく、高温条件下ではすきま腐食の可能性が生じる。チタンの主要用途環境が塩化物系環境であり、特にステンレス鋼などが孔食や応力腐食割れの問題から適用しにくい高温高濃度の腐食性の厳しい条件で使用されることが多いため、すきま腐食はチタンの耐食性において実用上重要な問題点の一つになっている。

このようなことから、チタンのすきま腐食に関しては Cl⁻ イオン濃度、温度、溶液 pH などの環境側因子の影響について数多く検討され^{1)~4)}、それらによつてすきま腐食発生の限界条件がかなり明らかにされている。また同時に、すきま腐食防止対策についても研究が行われ、耐食用途として最も多く使用される工業用純チタン (以後 C.P.Ti : Commercially Pure Titanium と記す) を基準とした耐すきま腐食性チタン材料がいくつか開発されてきた。

現在、工業的規模で実用されている耐すきま腐食用チタン材料としては、最も古くから実績のある Ti-0.15%Pd 合金⁵⁾ (以後 Ti-0.15Pd と記す) に加えて、最近では Ti-0.3%Mo-0.8%Ni 合金⁶⁾ (以後 Ti-0.3Mo-0.8Ni と記す) が注目され適用例が増大傾向にある。また、C.P.Ti の表面を PdO と TiO₂ の混合酸化物で被覆処理した材料⁷⁾ (以後 PdO/TiO₂-Ti と記す) が簡便なすきま腐食防止用表面処理として利用されている。

本稿では、上記 3 種類の耐すきま腐食性材料の耐食性能を C.P.Ti との比較において評価した結果を報告するとともに、それぞれの特徴を活かしうる、効果的な利用技術 (材料の使い分け方) についての一つの考え方をあわせて提言する。

2. 耐すきま腐食性能の比較評価

2.1 試験方法

2.1.1 供試材と試験片

市販級の C.P.Ti (ASTM B265 Grade 2 相当) と Ti-0.15Pd (同 Grade 7 相当) および工場規模で試作した Ti-0.3Mo-0.8Ni (同 Grade 12 相当) を供試材として使用した。これら材料の化学成分は Table 1 に示すとおりであり、いずれも板厚 3 mm の冷間圧延板

昭和 60 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 9 月 30 日受付 (Received Sep. 30, 1985)

* (株)神戸製鋼所材料研究所 (Materials Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Chuo-ku Kobe 651)

*² (株)神戸製鋼所材料研究所 工博 (Materials Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

Table 1. Chemical compositions of test materials.

Ti alloy	ASTM grade (B256)	Chemical composition (wt%)							
		Fe	O ₂	N ₂	H ₂	Mo	Ni	Pd	Ti
C. P. Ti	G2	0.053	0.074	0.004	0.002	—	—	—	Bal.
Ti-0.3Mo-0.8Ni	G12	0.048	0.125	0.002	0.002	0.28	0.87	—	Bal.
Ti-0.15Pd	G7	0.046	0.081	0.003	0.003	—	—	0.16	Bal.

(ミル焼鈍仕上がり)を用いた。PdO/TiO₂-Ti は既報⁷⁾のとおり、基材 C.P.Ti 板の表面をサンドブラスト処理し、PdCl₂ と TiCl₃ の混合溶液を塗布した後、大気中で加熱焼成して PdO と TiO₂ の混合酸化層(皮膜中の PdO と TiO₂ の mol% 比を 70 : 30 に調整したもの、また皮膜厚さは約 0.4 μm)を形成させた。

これら供試板より種々の形状の試験片を機械加工し、浸漬すきま腐食試験用試験片および電気化学特性測定用試験片(すきま構造型電極および自由表面電極)を作製した。まず、浸漬すきま腐食試験片の形状を Fig. 1 に示す。試験片(a)は、Ti 板両面に PTFE (ポリ四ふつ化エチレン樹脂: 商品名テフロン)製の多重溝つきスペーサ⁸⁾を当て Ti 製ボルト・ナットで締めつけたもので、一枚の Ti 板に合計 32 個(片面 16 個)の人工すきまを付与し、すきま腐食発生率(付与した全すきま数に対する腐食発生すきま数の割合)を評価したものである(以降、試験片(a)をマルチクレビス試験片と称す)。一方、試験片(b)は、Ti 板 2 枚(C.P.Ti 同士および C.P.Ti と異種 Ti 材の組合せ)を重ね合わせ、PTFE

製平板スペーサを介して Ti 製ボルト・ナットで締めつけたもので、主として金属/金属すきま構造における耐すきま腐食性チタン材の C.P.Ti に対する防食効果を調べるために使用した。

次に、電気化学特性測定用試験電極として、まず 25 × 25 mm (中央にボルト穴あり)の Ti 板の一端に 1.6 φmm の Ti 線をスポット溶接し、これに Ti 板と同じ形状の PTFE 板を重ね、PTFE 製ボルト・ナットで締めつけたものをすきま構造型電極とした。さらに、15 × 20 mm の Ti 板に Ti 線をスポット溶接し、有効表面積 1 cm² を残して他の部分をふつ素系塗料で絶縁被覆したものを自由表面電極とした。

試験片の表面状態は、PdO/TiO₂-Ti を除いて # 400 エメリ紙による湿式研磨仕上げとした。

2.1.2 すきま腐食試験

各種塩化物水溶液中に Fig. 1 に示した試験片を浸漬し、沸騰状態で所定時間保持した後、試験片を解体してすきま腐食発生の有無を目視にて観察し、すきま腐食発生率などを評価した。

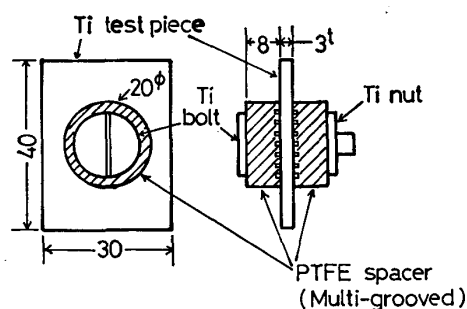
また、すきま構造型試験電極については、その自然電位(以後 E_{cor} と記す)を連続的に測定し、後に詳述するように E_{cor} が急激に卑側に移行した時までの経過時間をすきま腐食開始時間として評価した。

2.1.3 電気化学特性測定試験

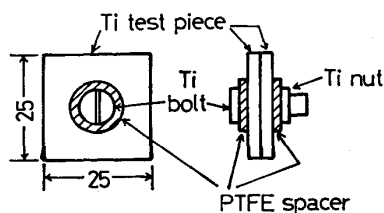
Ar ガスの連続吹き込みにより脱気した 60°C ~ 沸点の 1 M NaCl 水溶液中に自由表面電極を浸漬し、HCl 水溶液を所定量添加しつつ E_{cor} を測定した。 E_{cor} が不働態域の値から活性溶解域の値に移行する時の HCl 添加量を脱不働態化限界 HCl 濃度として求めた。

また、沸騰 1 M NaCl + 1 M HCl 溶液中において自由表面電極のアノードおよびカソード分極曲線を測定した。

なお、いずれの試験においても、試験容器は還流冷却式コンデンサ付きの容量 2 l のガラスフラスコを使用し溶液は特級試薬と脱イオン水にて調製した。電気化学的評価においては、照合電極として Ag/AgCl 電極を、対極として白金めつき Ti を採用した。



(a) Ti/PTFE multi-crevice specimen



(b) Ti/Ti crevice specimen

Fig. 1. Specimens for crevice corrosion tests (unit : mm).

2.2 試験結果

2.2.1 すきま腐食発生率

Table 2 に、Ti/PTFE マルチクレビス試験片によるすきま腐食発生率の比較評価結果を示す。C.P.Ti は 20% NaCl 溶液 (pH 4) および 42% MgCl₂ 溶液においてそれぞれ 13% および 56% のすきま腐食発生率を示したが、Ti-0.3Mo-0.8Ni, Ti-0.15Pd および PdO/TiO₂-Ti はいずれも発生率が 0% (すきま腐食の発生皆無) であった。このことから、3種類のチタン材料はいずれも C.P.Ti に比較して耐すきま腐食性がすぐれており、これらの条件下においてはそれらの間に差のないことがわかった。

pH を 1.5~6 に調整した沸騰 20% NaCl 溶液中において同様にしてすきま腐食発生率を求め、pH に対して整理した結果を Fig. 2 に示す。C.P.Ti は pH が低いほどすきま腐食発生率が高くなり、pH 1.5 では約 80% 近くに達した。これに対し、Ti-0.15Pd および PdO/TiO₂-Ti は pH にかかわらず発生率が 0% であり、また Ti-0.3Mo-0.8Ni は pH 6~2 までは 0%、pH 1.5 において約 7% を示した。したがって、Ti-0.15Pd, PdO/TiO₂-Ti および Ti-0.3Mo-0.8Ni とも

Table 2. Occurrence rate of crevice attack for titanium materials in boiling chloride solutions.

Material	Occurrence rate of crevice attack (%)	
	20% NaCl (pH4) 240 h	42% MgCl ₂ 48 h
C. P. Ti	13	56
Ti-0.3Mo-0.8Ni	0	0
Ti-0.15Pd	0	0
PdO/TiO ₂ -Ti	0	0

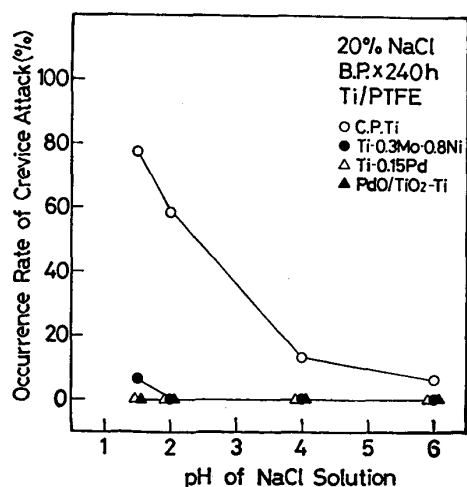


Fig. 2. Influence of solution pH on occurrence rate of crevice corrosion in Ti materials in boiling 20% NaCl solution.

C.P.Ti よりはるかにすぐれた耐すきま腐食性を有することが確認されたが、バルク溶液の pH が低い苛酷な腐食性条件では Ti-0.15Pd と PdO/TiO₂-Ti がほぼ同等で Ti-0.3Mo-0.8Ni よりやや良好であり、わずかながら差のあることも明らかになった。

2.2.2 すきま腐食開始時間

すきま構造型電極の E_{cor} の経時変化測定結果の代表例として、C.P.Ti および Ti-0.3Mo-0.8Ni の沸騰 42% MgCl₂ 溶液中における曲線を Fig. 3 に示す。C.P.Ti の場合、浸漬後約 15 h までは E_{cor} は約 -0.35 V vs Ag/AgCl (以下、電位の表示はすべて Ag/AgCl 基準であるので“vs Ag/AgCl”は省略する) であったが、急激に卑側に移行して -0.63 V となり、その後は約 -0.6 V 付近でほぼ安定した。48 h 経過後、すきま構造を解体してみるとすきま部には明らかに激しい腐食の発生が認められた。そこで別の試験電極を複数用いて、 E_{cor} の急激な変化が生じる手前と直後において電極の観察を行い、この急激な変化がすきま腐食の開始に対応していることを確認した。したがって、C.P.Ti のすきま腐食開始時間を 15 h と決定した。Ti-0.3Mo-0.8Ni

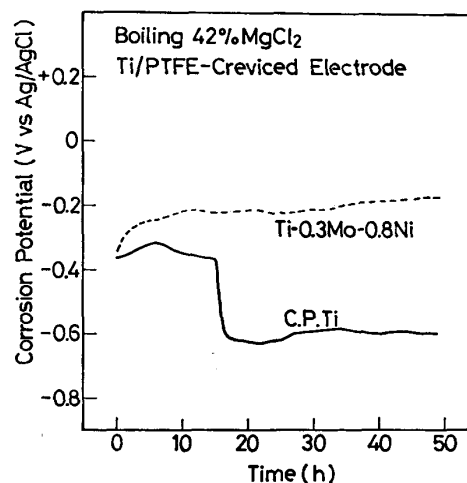


Fig. 3. Variation of corrosion potential of Ti/PTFE-creviced electrode with time in boiling 42% MgCl₂ solution.

Table 3. Time to initiation of crevice attack for titanium materials in boiling chloride solutions (Ti/PTFE-creviced electrode).

Material	Time to initiation of crevice attack (h)		
	6% NaCl (pH6)	20% NaCl (pH4)	42% MgCl ₂
C. P. Ti	220	92	15
Ti-0.3Mo-0.8Ni	720<	720<	168
Ti-0.15Pd	720<	720<	240<
PdO/TiO ₂ -Ti	720<	720<	240<

は浸漬後 48 h まで -0.2 V 付近で安定しており, 事実 48 h の時点ではすきま腐食は発生していなかった。

このような手法で $MgCl_2$ 溶液のほか $NaCl$ 溶液においても Ti 材料のすきま腐食開始時間を調べ比較した。結果をまとめて Table 3 に示す。C.P.Ti は, 6% $NaCl$ 溶液 (pH 6) および 20% $NaCl$ 溶液 (pH 4) においてすきま腐食開始時間がそれぞれ 220 h, 92 h となり, 42% $MgCl_2$ 溶液では前記のとおり 15 h であった。一方, Ti-0.3Mo-0.8Ni, Ti-0.15Pd および PdO/TiO₂-Ti については両 $NaCl$ 溶液中とも 720 h 以内にすきま腐食が発生しなかった。また, 42% $MgCl_2$ 溶液では Ti-0.15Pd と PdO/TiO₂-Ti は 240 h 内にすきま腐食の発生は認められなかったが, Ti-0.3Mo-0.8Ni のすきま腐食開始時間は 168 h となった。これらの結果は, 前項で述べたすきま腐食発生率による材料間の耐すきま腐食性比較評価結果の傾向とかなり良く一致した。

2.2.3 脱不働態化限界 HCl 濃度

チタンのすきま腐食は, すきま内溶液中の Cl^- イオンの濃縮と pH の低下により, すきま内においてチタンが不働態から活性溶解へ移行する現象であると考えられる⁹⁾。したがって, 不働態の維持能力の大小が耐すきま腐食性の大小と比例関係にあるとみなすことができるので, すきま内の pH 低下を想定して, 各 Ti 材の脱不働態化限界 HCl 濃度 (いわゆる *depassivation pH* の概念と同一) を評価した。ここでは, 材料間の相対比較を主目的としたため, 簡素化したモデル溶液として脱気した 1 M $NaCl$ 溶液 (HCl 添加, 60°C~沸点) を使用した。

Fig. 4 に代表的な測定例として, 沸点における各種 Ti 材料の E_{cor} (自由表面電極) の HCl 添加量 (濃度) に対する変化を示す。C.P.Ti は HCl 濃度 0.06 M ま

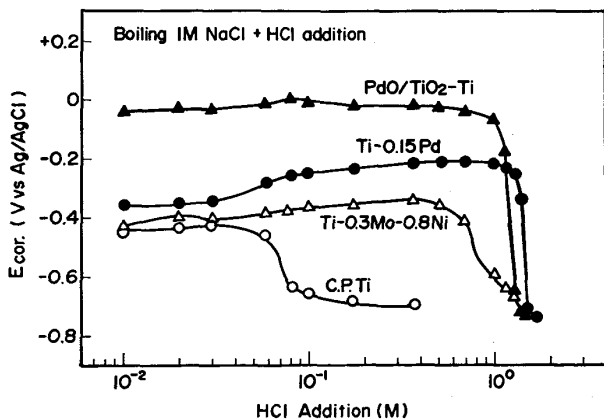


Fig. 4. Variation of corrosion potentials of Ti materials in boiling 1M $NaCl$ solution with HCl addition (free-surface electrode).

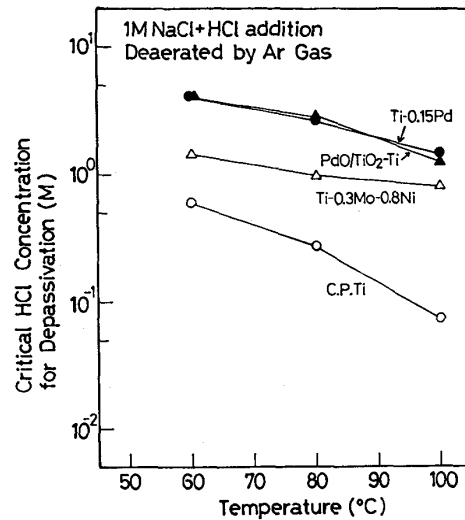


Fig. 5. Influence of temperature on critical HCl concentration for depassivation of Ti materials in deaerated 1M $NaCl$ solution with HCl addition.

では不働態化していたが (不働態域の電位にある) が, 0.08 M HCl になると E_{cor} が急激に卑になり活性溶解域の電位となった。これより C.P.Ti の脱不働態化限界 HCl 濃度は約 0.07 M であることがわかり, 同様にして Ti-0.3Mo-0.8Ni, PdO/TiO₂-Ti および Ti-0.15Pd についてそれぞれ約 0.8 M, 1.3 M および 1.4 M という値が得られた。

このようにして得られた脱不働態化限界 HCl 濃度と溶液温度との関係を Fig. 5 に示す。いずれの材料についても温度が高くなるにつれて限界 HCl 濃度は低くなったが, 材料間の序列をみると, C.P.Ti が最も低く次いで Ti-0.3Mo-0.8Ni であり, Ti-0.15Pd と PdO/TiO₂-Ti が最も高くほとんど同じ値であった。したがって, Ti-0.15Pd と PdO/TiO₂-Ti が不働態維持能力が最も大きく (高水素イオン濃度すなわち低 pH まで不働態を維持できる), 浸漬すきま腐食試験などによって評価された耐すきま腐食性能の序列とよく合致することがわかった。

2.2.4 酸性塩化物溶液中における分極特性

前述のような不働態維持能力, すなわち耐すきま腐食特性を考察する目的で, 沸騰 1 M $NaCl$ +1 M HCl 溶液中における各種 Ti 材料のアノードおよびカソード分極曲線を測定した。結果を Fig. 6 に示す。

C.P.Ti は E_{cor} が -0.67 V であり, アノード分極曲線から活性溶解/不働態の遷移挙動が明らかに見られた。Ti-0.3Mo-0.8Ni は, E_{cor} が -0.55 V と C.P.Ti より貴であり, アノード溶解電流ピークは低く, またカソード分極性は小さかった。すなわち, アノード溶解の抑制とカソード分極性の減少作用の相乗効果により

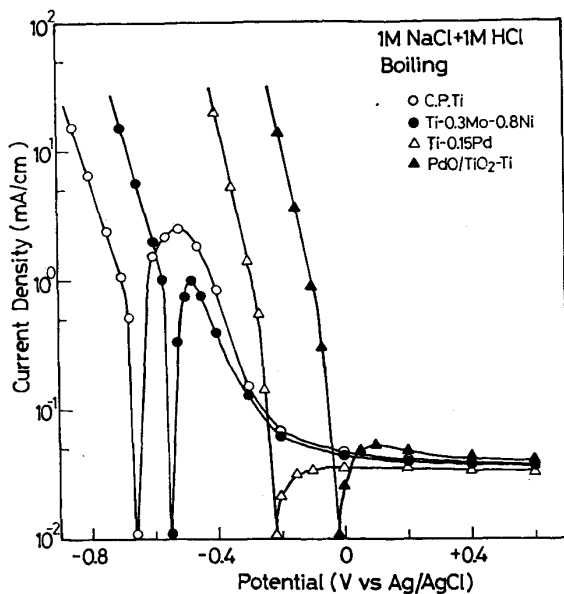


Fig. 6. Polarization curves of Ti materials in boiling 1M NaCl+1M HCl solution.

良好な耐すきま腐食性を発揮するものと考えられる。Ti-0.15Pd と PdO/TiO₂-Ti は $E_{cor.}$ がさらに貴であり、アノード分極曲線には不動態保持電流のみが得られ、またカソード分極性の小さいことが特徴であった。これらはいずれも表面の濃縮 Pd¹⁰⁾ および PdO/TiO₂ 皮膜中の PdO の水素発生過電圧が小さいことにより、Ti が安定な不動態に保持されるため、すぐれた耐すきま腐食性を示すものと理解される。

2.2.5 C.P.Ti に対するすきま腐食防止効果

実用装置や機器において Ti 部材にすきま構造が形成される場合、特に熱交換器の伝熱管と管板との接合部のような金属/金属すきま構造の場合、両方の Ti 部材が耐すきま腐食性材料であればその材料自身の耐食性能だけが焦点となるが、片方に C.P.Ti が使用されることもあり、耐すきま腐食性材料の C.P.Ti に対する防食能力も実用上重要と考えられる。

そこで、C.P.Ti と異種 Ti 材料の組合せから成るすきま試験片を用いて、沸騰 20% NaCl 溶液 (pH 4) 中における浸漬試験を実施した。結果は Table 4 に示すとおり、Ti-0.15Pd や PdO/TiO₂-Ti と組み合わせた場合には C.P.Ti にも全くすきま腐食は発生しなかったが、Ti-0.3Mo-0.8Ni との組合せでは、C.P.Ti 同士の場合に比較すると腐食の程度は軽微であったが C.P.Ti にはわずかにすきま腐食が認められた。したがって、C.P.Ti に対する防食効果の点においても Ti-0.15Pd および PdO/TiO₂-Ti は Ti-0.3Mo-0.8Ni に比較して優るものと考えられる。

ただし、Table 4 に示した腐食試験条件では C.P.Ti

Table 4. Result of crevice corrosion test for crevice specimens of C.P.Ti/dissimilar Ti material assembly in boiling 20% NaCl solution of pH4 (240H).

Crevice specimen assembly	Occurrence of crevice attack*	
	C.P.Ti	Coupled Ti material
C. P. Ti with C. P. Ti	×	×
C. P. Ti with Ti-0.3Mo-0.8Ni	△	○
C. P. Ti with Ti-0.15Pd	○	○
C. P. Ti with PdO/TiO ₂ -Ti	○	○

* ×: Severe attack, △: Slight attack, ○: No attack

は Ti-0.15Pd や PdO/TiO₂-Ti により完全に防食されたが、さらに腐食性の厳しい条件下における防食効果については、より広範囲な検討が必要であるものと考えられる。

3. 耐すきま腐食性チタン材料の効果的な使い分け

前章において、現在工業的に利用されている 3 種類の耐すきま腐食性チタン材料の性能を比較評価した。これら材料は、その生い立ちや歴史的に見た適用実績に差があるほか、耐食性能以外の材料特性などにおいてもそれぞれ特徴をもっている。一般に、耐食材料だけでなく、材料の利用に関する指針はさまざまな要因が複雑に絡みあうため必ずしも容易ではないが、チタン製の装置においてすきま腐食対策を講じる上では、対策材料を効果的に使い分けることが得策になるものと考えられる。

Table 5 は、耐すきま腐食性チタン材料を適材適所に、それぞれの利点を最大限に発揮させるよう効果的に使用するための一つの指標として、著者らの考え方をまとめたものである。

まず Ti-0.3Mo-0.8Ni は、耐食性能は Ti-0.15Pd や PdO/TiO₂-Ti と完全には同等でないものの、比較的緩やかな腐食性条件では十分な性能を有しており、C.P.Ti よりは格段にすぐれている。またこの合金は、高温強度が ASTM Grade 2 クラスの C.P.Ti より高く、許容応力設計値を大きくとることができる¹¹⁾という特長を兼備しており、さらに Ti-0.15Pd に比較してはるかに安価である。したがって、Ti-0.3Mo-0.8Ni は、C.P.Ti にとつてすきま腐食性環境がクリティカルにあるような条件で、しかも高温機械的特性もあわせて要求されるようなケースにおいて、その有用性が最大限に発揮されるものと考えられる。

次に Ti-0.15Pd は、耐食性能はきわめて高く、これまで良好な使用実績を蓄積している。Ti-0.3Mo-0.8Ni と同様に、機器の構造 (設計) や運転上、すきま構造形

Table 5. A consideration on effective application of crevice-corrosion-resistant Ti materials.

Ti materials	Effective usage for maximum advantage		
	Crevice structure formation	Conditions for crevice corrosion	Remarks
Ti-0.3Mo-0.8Ni	Not always fixed	Not so aggressive	High-temperature strength
Ti-0.15Pd	Ditto	Fairly aggressive	Excellent service performance
PdO/TiO ₂ -Ti	Rather fixed	Ditto	Simple coating

Table 6. Typical examples of industrial application of crevice-corrosion-resistant Ti materials.

Ti material	Application		Service conditions (possibility of crevice corrosion in C.P. Ti)	Crevice structure formation in Ti component
	Process	Equipment		
Ti-0.3Mo-0.8Ni	Oil refinery	Shell&Tube heat exchanger	Hydrocarbon+Cl ⁻ 90~170°C (Critical)	Not fixed (Scale deposit)
Ti-0.15Pd	Salt purification	Concentrator	Cl ⁻ ≈20%, pH2 120~130°C (Probable)	Not fixed (Salt deposit)
PdO/TiO ₂ -Ti	Fertilizer synthesizing	Mono-tube type heat exchanger	Cl ⁻ ≈30%, pH5 130~140°C (Possible)	Fixed (Flange/gasket)

成部位が必ずしも特定されない場合においても問題なく使用可能である。ただし、白金族元素である Pd を合金元素として含有するため、コスト面では必ずしも有利とは言えない。したがって、Ti-0.15Pd は、環境条件が厳しく、耐すきま腐食性能にきわめて高い信頼性が要求されるような場合に限定して適用されていくものになると予測される。

一方 PdO/TiO₂-Ti は、前二者が耐食合金であるのに対し、C.P.Ti への耐食表面処理であるという点に最大の特徴が存在する。この処理は簡便であるため、素材だけでなく加工された機器への適用も可能である。耐食性能も Ti-0.15Pd とほぼ同等レベルと評価される。ただし、耐食性は表面の非常に薄い PdO/TiO₂ 皮膜により維持されるため、すきま構造形成部位がかなり予測限定されるような場合に有用性が特に大きく、従来もフランジのガスケット面や伝熱管の管板への装着部などに実用例が多い。すなわち、腐食性溶液の流動が大きく皮膜の機械的な損傷が懸念されるようなケースや、チューブの内面などで不特定部位にスケールデポジット等によるすきま構造の形成が予想されるようなケースには、Ti-0.3Mo-0.8Ni や Ti-0.15Pd の適用がより実用的になるものと考えられる。

Table 6 に、それぞれの耐すきま腐食性材料の代表的な実用例を示す。いずれの例も、上述したような特徴を生かした適用例であり、今後もこのような利用技術に則して使用されていくものと予想される。

4. 結 言

チタンのすきま腐食防止用の対策材料として工業的に使用されている、Ti-0.3Mo-0.8Ni、Ti-0.15Pd および PdO/TiO₂-Ti の耐食性能を比較評価した。また、それぞれの特長を活かして効果的に使い分けるための目安として、耐食性能だけではなく機械的性質も勘案した利用技術について次のように提言した。すなわち、

- (1) Ti-0.3Mo-0.8Ni ; 高温強度をも活かし、すきま腐食性環境が比較的緩やかな条件下における利用。
- (2) Ti-0.15Pd ; 比較的高いイニシャルコストを考慮した、厳しい腐食環境条件における限定的利用。
- (3) PdO/TiO₂-Ti ; 表面処理材であることを考慮した、すきま構造が限定されるようなケースにおける利用。

今後、これらの耐すきま腐食性材料を有効に適用することにより、現状よりさらに広範囲な用途分野において、チタンはすきま腐食の問題を未然に防ぎつつ利用できるものと期待される。

文 献

- 1) 下瀬高明, 高村 昭: 日本金属学会誌, 29 (1965), p. 416
- 2) N. G. FEIGE and T. J. MURPHY: Proc. NACE (1969), Paper No. 7
- 3) 下郡一利, 佐藤広士, 泊里治夫: 日本金属学会誌, 42 (1978), p. 567
- 4) 辻川茂男, 寺岐史章: 第 32 回腐食防食討論会予稿集 (1985), p. 165 [腐食防食協会]

- 5) A. TAKAMURA: Corrosion, 23 (1967), p. 306
- 6) L. C. COVINGTON and H. R. PALMER: Paper presented at AIME Symposium on "Corrosion and Biomedical Applications of Titanium", Detroit, Michigan, Oct. 21-24 (1974)
- 7) T. FUKUZUKA, K. SHIMOGORI, H. SATOH and F. KAMIKUBO: Titanium '80 Science and Technology, Proc. 4th Int'l Conf. on Ti, ed. by H. KIMURA and O. IZUMI, Kyoto (1980), p. 2631 [Metall. Soc. AIME]
- 8) D. B. ANDERSON: ASTM STP 576 (1976), p. 231
- 9) 佐藤広士, 上窪文生, 下郡一利, 福塚敏夫: 防食技術, 32 (1983), p. 69
- 10) M. STERN and H. WISSENBERG: J. Electrochem. Soc., 106 (1959), p. 759
- 11) R. W. SCHUTZ, J. A. HALL and T. L. WARDLAW: チタニウム協会創立 30 周年記念シンポジウム論文集 (1982), p. 73 [チタニウム協会]

コ ラ ム

比靱性でよろしい?

わが国では、最近鉄鋼からチタン合金に研究対象を広げた研究者が増加し、チタン合金研究は大きな拡がりを見せている。私達もマルエージ鋼からチタン合金に変わった経歴のグループである。そのため、チタン合金の特性をマルエージ鋼のそれと対比させて位置づけるのを常としている。そして、このような比較が研究の一つの駆動力となり、また指針とし重要だと感じている。

比重の異なる高強度材料の強度特性は、比強度（強度/比重）や比弾性率（弾性率/比重）で表わされ、各種材料間の優劣を明りょうに比較することができる。それに対して、比強度で強度特性を表わした場合、靱性を何で表現すべきかということが明確にされていない。例えば、破壊靱性値で靱性を表わしその絶対値で評価すると、同一比強度でチタン合金はマルエージ鋼に比べて靱性が著しく劣る材料であるということになる。

この比較では片手落ち過ぎるため、近年、“比靱性”（破壊靱性/比重）という指標が提案されている。私も比靱性を用いて靱性を評価、比較している一人ではあ

るが、比靱性はその根拠が明確でなく、まだ市民権を得た用語とは見なされていないようである。

今後、材料を利用する立場だけではなく材料開発の視点からも、比重の異なる各種材料間の特性を比較する必要はますます多くなろう。その意味からも、比強度で強度特性を表示した場合、靱性指標を何にすべきか、比靱性でよろしいのかなどについて、ぜひ教えていただきたく、この場を借りてお願いするしだいである。

また、戸惑うことの一つに“用語”の問題がある。鉄鋼とチタン合金という狭い分野ではあるが、組織用語に違いがみられ、また同一用語でも内容の異なるものがある。用語定義の明確化と統一も考慮すべきであろう。この点に関連して、“比靱性”という表現に若干の抵抗を感じている。靱性には種々の定義があるが、破壊靱性を比重で割った指標を比靱性と表現してよろしいものかと。適切なネーミングを含めこれらの問題点を明確にすることは、私にとってはチタン合金研究に転進した意義を問いかけ続ける第一歩だと考えている。

(金属材料技術研究所 河部義邦)