技術報告

261. 熱間圧延法による異材継手の開発

永井 崇之*, 武田 誠一郎*, 田中 康正*,
小川 和博**, 中筋 和行**, 池永 慶章**

(1994年 5月27日 受 理)

*Development of Dissimilar Metal Transition Joint
by Hot Roll Bonding Technique*

By Takayuki NAGAI, Seiichiro TAKEDA,
Yasumasa TANAKA, Kazuhiro OGAWA,
Kazuyuki NAKASUJI and Yoshiaki IKENAGA

Metallurgically bonded transition joints which enable to connect reprocessing equipments made of superior corrosion resistant valve metals (Ti-5Ta, Zr or Ti) with stainless steel piping is needed for nuclear fuel reprocessing plants.

The authors have developed dissimilar metal transition joints between stainless steel and Ti-5Ta, Zr or Ti with an insert metal of Ta by the hot roll bonding process, using the newly developed mill called "rotary reduction mill". In the R&D program, appropriate bonding conditions in the manufacturing process of the joints were established.

This report presents the structure of transition joints and the manufacturing process by the hot roll bonding technique. Then, the evaluation of mechanical and corrosion properties and the results of demonstration test of joints for practical use are described.

KEYWORDS : fuel reprocessing, stainless steels, titanium-tantalum alloy, corrosion resistant alloys, zirconium, tantalum, dissimilar metal joints, hot roll bonding, insert metal, mechanical properties, corrosion, manufacturing, corrosion resistance, material testing

I. 緒 言

使用済核燃料再処理プラントでは、主な装置材料として耐食性に優れたステンレス鋼が用いられてきた。しかし、再処理プラントの中には、U、Puや核分裂生成物等を含む高温の硝酸溶液を扱う装置があり、腐食環境が厳しくなることから、これら装置材料には、より耐食性が優れるチタン5%タンタル合金(Ti-5Ta)、Zr、Ti等のバルブメタルの適用も考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、バルブメタル製装置を再処理プラントに採用した場合、周辺のスแตนレス鋼配管との接続が必要となる。通常配管の接続は、閉じ込めの信頼性向上や保守

作業の軽減を図るため、フランジ式継手やねじ込み式継手等よりも溶接継手等の金属接合継手が望ましい。しかし、バルブメタルとステンレス鋼の接合に従来の溶融溶接法を用いた場合、接合部に脆弱な金属間化合物が生じるため、接合強度や耐食性が劣り、健全な継手を得ることができない。

そこで、異種材料の継手として、閉じ込めに対する信頼性が高い金属的に接合された異材接合管継手の開発が望まれてきた。この管継手の適用により、バルブメタル製装置とステンレス鋼製配管

* 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 (Tokai Works, Power Reactor and Nucl. Fuel Dev. Corp.)

** 住友金属工業(株) (Sumitomo Metal Ind., Ltd.)

の接続は、管継手を介して管継手両端へ同種材料を溶接することで可能となる。これまで管継手の製造方法としては、爆発接合法⁽³⁾や厚板圧延ミルによる熱間圧延法⁽⁴⁾が提案されてきた。これらの接合法による管継手の製造は、ステンレス鋼板とバルブメタル板を重ねて爆接または圧延を行い、板状の異材接合クラッド鋼板を製作し、このクラッド鋼板から管継手形状に加工することにより行う。しかし、これら管継手は、クラッド鋼の板厚方向が管継手の長さ方向となるため、管継手の接合界面と管継手両端の溶接部との間隔が比較的短くなる問題点が生じる。

上記の問題点を踏まえ、新たに開発された3軸傾斜型特殊圧延機(以下、特殊圧延機)⁽⁵⁾を用いた熱間圧延法による管継手(以下、熱間圧延管継手)の開発を行ってきた。本報では、この特殊圧延機を用いた熱間圧延管継手の開発成果をまとめ、熱間圧延管継手の構造、製造方法および性能について述べる。

II. 管継手の構造

熱間圧延管継手は、特殊圧延機を用いた熱間圧延法によって接合を行うため、爆発接合法等による管継手と異なった構造になる。以下に、熱間圧延管継手の形状および構成材料を述べる。

1. 管継手の形状

熱間圧延管継手では、Fig. 1に示すように、中央部にバルブメタルとステンレス鋼の接合部があり、管継手の一端がバルブメタル、他端がステンレス鋼となる。この管継手の接合部は、小径のバ

Fig. 1 Schematic drawing of transition joint by hot roll bonding

ルブメタル管と大径のステンレス鋼管が熱間圧延により、インサート材(Ta箔)を介して接合された同軸二重管構造となる。ここで、Ta箔をインサート材として用いることにより、接合界面において局所的に発生する腐食を回避することができる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

2. 管継手の構成材料

熱間圧延管継手の構成材料には、バルブメタルとしてTi-5Ta, ZrおよびTiを、ステンレス鋼としてSUS304L(304L)を、インサート材にTaをそれぞれ用いる。ここで、Ti-5TaはR-Ti-5Ta(Rは再処理施設用材料規格を示す)を、ZrはASTM B550-R60702を、TiはTB35HおよびTB35C(JIS H4650)を用い、304LはSUS304L(JIS G4303), SUS 304LTP(JIS G3459), SUS304LTB(JIS G3463)およびR-SUS304ULCを用いる。また、TaはTaH(JIS H4701)を用いる。

これにより、熱間圧延管継手の材料組合せは、Ti-5Ta/Ta/304L, Zr/Ta/304L, Ti/Ta/304Lの3種類となる。

III. 管継手の製造方法

熱間圧延管継手の製造は、外層材に304L鋼管、インサート材にTa箔、芯材にバルブメタル棒を用いて、内部を高真空に保持したパッケージを組み立てた後、熱間圧延により圧延棒を製作し、仕上げ加工することにより熱間圧延管継手を得る。以下に各工程の概略を述べる。

1. 入手材料の表面加工

バルブメタル丸棒、304L鋼管等の入手材料を、Fig. 2に示すパッケージ形状に加工し、接合面となるバルブメタル丸棒表面と304L鋼管内表面の凹凸をなくすため、研磨等により表面加工を行う。

Outside diameter: 40mm

Fig. 2 Composite package for hot roll bonding

2. 接合用パッケージの組立

表面加工後, Fig. 2 に示すように, 304L 鋼管中へ Ta 箔を巻いたバルブメタル丸棒を挿入し, 304L 鋼管両端へ端栓(304L 鋼板)を電子ビーム溶接(EBW)する。この際, 接合界面への異物介入を防ぐため, パッケージ内を高真空に脱気して密封する。

3. パッケージの熱間圧延処理

パッケージを高温に加熱し, Fig. 3 に示すように, 特殊圧延機により圧延を行い, Ta を介してバルブメタルと 304L を接合した Fig. 4 (a) に示す同軸円柱形状の圧延棒を製作する。この特殊圧延機は, 圧延ラインの 3 個の傾斜圧延ロールが等間隔に配置され, パッケージ周方向に均一な圧力を加えることができる。

Fig. 3 Hot roll bonding process by rotary reduction mill

4. 圧延棒の中ぐり加工

同軸円柱形状の圧延棒の中心を中ぐり加工し, Fig. 4 (b) に示すように, 内側がバルブメタル管, 外側が 304L 鋼管からなる同軸二重管形状の接合材に加工する。

5. 接合材の仕上げ加工

同軸二重管形状の接合材の一端のバルブメタルの一部と他端の 304L の一部を切削し, Fig. 4 (c) に示すような熱間圧延管継手形状に仕上げる。また必要に応じて, Fig. 4 (d) に示すように, 熱間圧延管継手 304L 側にレジューサを溶接することにより, 両端の管径が等しい熱間圧延管継手を製造することもできる。

6. 配管への組込み

配管への組込みは, バルブメタル製装置からの配管と周辺 304L 製配管の接続部に, Fig. 4 (e) に示すように, 熱間圧延管継手を溶融溶接法により共材溶接する。この際, 本熱間圧延管継手は, 接

合界面と溶接部との間隔を比較的長くとることができる。

Fig. 4 Manufacturing process of transition joint

IV. 接合材の性能

接合材の性能と製造条件との関係を把握することを目的に, 接合材の性能に影響を及ぼすと考えられる種々の条件をパラメータとして, 接合材供試体を製造し, 接合材の接合強度および耐食性の評価試験を実施した。

1. 接合材供試体

供試体は, バルブメタル丸棒表面と 304L 鋼管内面を表面粗度 $6.3\mu\text{m}(R_{\text{max}})$ に加工した後, 第 III-2 節に示した方法により組み立てた接合用パッケージを, 熱間圧延することによって製造した。熱間圧延条件の接合界面への影響を評価するため, 大きな影響を及ぼすと考えられるパッケージ外径(20~60 mm), 圧延温度(1,123~1,273 K), 圧下比(1.1~1.6)をパラメータとして行なった。供試体の製造に用いた材料の化学組成および機械的性質を Table 1 に示す。なお, 後述する評価試験に供する試験片は, 供試体より再加工を行なった。

2. 接合材の断面状況

(1) 断面真円度

断面真円度の評価には, パッケージ外径 40 mm, 圧延温度 1,173 および 1,273 K, 圧下比 1.1~1.6 で製造した Ti/Ta/304L 接合材を用いた。真円度は, 接合材を圧延方向と直交する方向に切断

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of materials used for mechanical and corrosion test

	Chemical composition (mass%)									0.2% offset strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
	O	N	H	Hf	Fe+Cr	C	Ti	Ta	Zr			
Ti-5Ta	0.093	0.003	0.0021	—	0.031	—	bal.	5.0	—	294	407	49
Zr	0.126	0.0021	—	0.0058	0.097	0.003	—	—	bal.	319	400	27
Ti	0.095	0.006	0.0043	—	0.068	0.03	bal.	—	—	343	431	29
Ta	0.008	0.0015	0.0005	—	0.0010	0.0010	—	bal.	—	—	—	—
304L	0.013	0.48	1.51	0.0010	0.031	10.40	18.40	—	—	185	545	70

し、この断面の接合界面径を45°間隔に4点測定し、(1)式により定義した。

$$[\text{真円度}] = 1 - \frac{[\text{最大径}] - [\text{最小径}]}{[\text{平均径}]} \quad (1)$$

その結果、Fig. 5に示すように、真円度は圧下比が小さい範囲では良好であるが、圧下比が1.4を超えると低下し、圧延温度が高い1,273 Kでは、この低下傾向が顕著になった。

Fig. 5 Effect of reduction ratio on roundness at bonding interface (Ti/Ta/304L joint)

次に、外径減少率と界面径減少率の関係を、パッケージ外径20~60 mm、圧延温度1,173 K、圧下比1.3~1.4で製造したTi/Ta/304L接合材により求めた。その結果、Fig. 6に示すように、外径と界面径の減少率は1:1となり、接合界面と外面の延伸方向の塑性変形歪がほぼ等しくなることがわかった。

(2) 接合界面の元素分布

界面元素分布の評価には、パッケージ外径40 mm、圧延温度1,173 K、圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材を用いた。光学顕微鏡による断面観察の結果、Photo. 1に示すように、いずれの接合界面とも

Fig. 6 Relation between reduction ratio at outside diameter and reduction ratio at bonding interface (Ti/Ta/304L joint)

接合状態は良好であり、割れや接合不良の欠陥および析出相の生成は認められなかった。また、合金平衡状態図からTa/304L接合界面に金属間化合物の生成が予測されたが、SEMによる断面観察の結果、Photo. 2に示すように、金属間化合物の生成は認められなかった。さらに、Ta/304L接合界面を直交する方向にEPMAによる元素分析を行なった結果、Fig. 7に示すように、接合界

Fig. 7 EPMA analysis along Ta/304L bonding interface

(a) Ti-5Ta/Ta/304L

(b) Zr/Ta/304L

Photo. 1 Micrograph at bonding interface of transition joints **Photo. 2** Micrograph at Ta/304L bonding interface observed by SEM **Fig. 8** Evaluation of shear strength of bonding interface

面には金属間化合物の生成を示す濃度分布の停留域は認められなかった。この理由として、FeとTa、NiとTaの金属間化合物の成長速度が、報告例⁽⁷⁾から推測して本熱間圧延条件では極めて遅く、観察可能な大きさの金属間化合物が生成しなかったためと考えられる。

3. 接合材の接合強度

(1) 評価方法

接合強度の評価として、せん断試験と引張試験を行なった。せん断試験は、パッケージ外径40 mm、圧延温度1,123~1,273 K、圧下比1.1~1.6で製造した接合材から、**Fig. 8 (a)**に示す形状のせん断試験片を制作し、同図**(b)**に示すように、接合界面と平行方向に荷重を与えてせん断強度を求めた。なお、せん断強度の評価基準は、ステンレスクラッド鋼(JIS G3601)のせん断強さ規格値(200 MPa以上)とし、各接合材について3片ずつせん断強度の測定を行い、これら3片の平均値を接合材のせん断強度とした。また、引張試験は、パッケージ外径40 mm、圧延温度1,173 K、圧下比1.4

で製造した接合材から引張試験片を製作し、試験温度を室温~525 Kとして行なった。引張試験片は、圧延方向と直交する方向に接合材を切断し、**Fig. 9**に示すように、接合界面を挟んで304L側、パルブメタル側に同種材料を電子ビーム溶接し、接合界面が試験片中央となるように機械加工した。

Fig. 9 Tensile test specimen

(2) せん断強度

Ti/Ta/304L接合材のせん断試験の結果, Fig. 10に示すように, 評価基準200 MPaを満たす接合材は, 熱間圧延条件が圧延温度1, 150 K以上, 圧下比1.1以上であることがわかった。ただし, 圧下比が1.6と大きい場合, せん断強度が200 MPaを下回った。

Fig. 10 Effect of hot roll bonding conditions on shear strength of bonding interface (Ti/Ta/304L joint)

また, Table 2に示すように, パッケージ外径40 mm, 圧延温度1, 173 K, 圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材も, 評価基準を満たすことが確認できた。

Table 2 Shear strength of bonding interface(Ti-5Ta/Ta/304L and Zr/Ta/304L joints)

	Shear strength(MPa)
Ti-5Ta/Ta/304L	267
	274
Zr/Ta/304L	236
	252

(3) 引張強度

パッケージ外径40 mm, 圧延温度1, 173 K, 圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材について, 試験温度が室温から523 Kまでの引張試験を行なった。その結果, Fig. 11に示すように, 試験温度が高くなるに従って, 引張強度は低下する傾向が見られたが, 試験片の破断位置が, すべてTi-5TaまたはZrの

母材となり, 接合界面での破断は見られなかった。したがって, これら接合材は, 母材と同等程度以上の引張強度を有していると考えられる。

Fig. 11 Relation between test temperature and tensile strength of bonding interface

4. 接合材の耐食性

(1) 試験方法

耐食性の評価方法として, 浸漬腐食試験および応力腐食割れ(SCC)試験を行なった。浸漬腐食試験は, パッケージ外径40 mm, 圧延温度1, 173 K, 圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材を用い, Fig. 12に示す形状の浸漬腐食試験片を製作して試験に供した。試験液は, 再処理プロセス液を考慮したTable 3に示す液組成の溶液を用い, 沸騰状態で3.6Ms(1, 000 h)浸漬試験を行なった。この際, 試験液の液量は

Fig. 12 Corrosion test specimen

Table 3 Test solution for corrosion test

	Concentration (g/m ³)
HNO ₃	8 × 10 ³ (mol/m ³)
Ru ³⁺	1
Ce ³⁺	0.5
Fe ³⁺	200
Cr ³⁺	50
Ni ²⁺	50

500 cm³とし、518 ks(144 h)ごとに液更新を行なった。浸漬試験後の評価は、試験片断面の304L母材部の腐食状況と接合界面の局所的な腐食状況を光学顕微鏡により観察し、腐食深さを測定した。SCC試験は、浸漬腐食試験片と同条件で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材を用いて、接合界面のSCC感受性の評価を行なった。SCC試験片は、Fig. 13に示すように、接合材長手方向に接合界面を配し、接合界面底部まで断面方向に先端半径0.5 mmのスリットを入れた。試験片に加える平滑部での応力は、Ti-5Ta、

Fig. 13 SCC test specimen

Zrの393 Kにおける耐力(230, 240 MPa)の80%の引張荷重とした。試験液は、浸漬試験と同様にTable 3に示す溶液とし、1.8 Ms(500 h)試験した後、スリット部先端の断面を光学顕微鏡で観察した。

(2) 腐食深さ

浸漬腐食試験の結果、Photo. 3に示すように、304L母材部に若干の粒界腐食が観察され、Ta/304L接合界面近傍にも304L母材部と同等な腐食が見られた。しかし、Ta/304L接合界面への選択的な腐食は見られなかった。この304L母材部に若干の粒界腐食が認められた理由としては、腐食試験条件が再処理プロセス液を考慮した液組成の溶液を用いたものの、試験液温度が沸点であり、管継手の適用環境(373 K以下)より高いためと考えられる。一方、Ti-5Ta/TaおよびZr/Ta接合界面には、腐食の痕跡は認められなかった。したがって、これら接合材は良好な耐食性を有していたものと考えられる。また、Ti-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材の腐食深さを比較した結果、両者に差は認められなかった。

(a) Ti-5Ta/Ta/304L

(b) Zr/Ta/304L

Photo. 3 Micrograph at bonding interface of transition joints after corrosion test

(3) 応力腐食割れ感受性

SCC試験の結果、Photo. 4のスリット先端部の断面写真に示すように、Ti-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材とも、応力が集中しているスリット先端部において、局所的な腐食の発生が認められなかったことから、再処理プロセス液を考慮した液組成の溶液において、これら接合材にSCC感受性はないものと推察される。

5. 熱間圧延条件の検討

本熱間圧延管継手の製造上の特徴は、特殊圧延機を用いるため、接合界面に対して長手方向に加えて円周方向にも大きな変形を加えられる点にある⁽⁵⁾。従来の厚板圧延ミルによる熱間圧延接合では、高い接合強度を得るために3～8程度の圧下比を要するとの報告がある⁽⁸⁾。ところが、本法による接合材では、1.4程度の低い圧下比で高い接

Photo. 4 Micrograph at bonding interface of transition joints after SCC test

合強度が得られている。これは、厚板圧延ミルでは変形がほとんど圧延方向であるのに対し、特殊圧延機では長手方向と円周方向の変形が同時に接合界面へ加えられ、新生面の露出が大きく、接合界面部の金属結合の達成を促進したためと考えられる。ただし、圧延温度が低い場合、原子量の大きいTaとの金属結合は十分に行われず、圧延温度が1,173 K以上必要になったものと考えられる。

一方、圧延温度が1,173 K、圧下比1.6の熱間圧延条件では、接合材の接合強度が低くなった。これは、圧下比が大きい場合、真円度が低下する傾向にあることから推定すると、円形断面のパッケージ外面が、Fig. 14に示すように、三角形に近い形状となるため接合界面への圧力が低下し、十分な接合強度が得られなかったものと考えられる。また、圧延温度1,273 Kでは、バルブメタルの変形抵抗が304Lの変形抵抗よりも小さいため、バルブメタルの軸方向(圧延方向)の伸びが304Lの軸方向の伸びに比べて大きく、接合界面に加わる圧力が弱まり、接合強度が低下したものと考えら

Fig. 14 Schematic illustration of deformation in cross section under hot roll bonding with excess reduction ratio

れる。

以上より、接合強度および耐食性に優れた熱間圧延管継手の熱間圧延条件は、圧延温度1,173 K、圧下比1.2~1.4が適当と考えられる。

V. 管継手の長期耐久性

熱間圧延管継手の長期耐食性を評価することを目的に、管継手供試体を製作し、腐食ループ試験を行なった。

1. 腐食ループ試験

(1) 管継手供試体

熱間圧延管継手の長期耐食性を評価するため、Fig. 15に示す大径と小径のTi-5Ta/Ta/304L管継手各1体、小径のZr/Ta/304L管継手1体を腐食ループ試験の供試体とした。これらの供試体は第三章の製造方法に従って製造し、管継手両端に

Fig. 15 Transition joints for corrosion loop test

フランジを溶接したフランジ付管継手としている。管継手供試体の熱間圧延条件は、大径管継手が圧延温度1,173 K、圧下比1.1、小径管継手が圧延温度1,223 K、圧下比1.4で行なった。

(2) 試験条件

腐食ループ試験は、熱間圧延管継手を再処理プラントへ適用した場合を想定し、前述の接合材の耐食性評価に用いた溶液と同様に Table 3 に示す液組成の溶接を循環しながら、21.6 Ms(6,000 h)行なった。熱間圧延管継手を設置した位置の環境条件は、小径管継手を温度 333 K、流量 $0.06 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ の硝酸溶液が流れる液相部に、大径管継手を温度 385 K、流量 $2.92 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (溶液換算) の硝酸蒸気(硝酸濃度：約 2 mol/l)が流れる気相部に装着した。

2. 長期耐食性評価

(1) 評価方法

腐食ループ試験後の熱間圧延管継手供試体の評価項目として、耐圧試験により気密性を、浸透探

傷試験により接合部表面を、断面観察により耐食性をそれぞれ評価を行なった。耐圧試験は、JIS B8243に従って、熱間圧延管継手供試体を窒素ガスで 0.4 MPa に加圧し、1.8 ks(30 min)後の圧力および温度の変化を測定することにより行なった。浸透探傷試験は、熱間圧延管継手供試体を長手方向に半割りにして、JIS Z2343に従って染色浸透探傷により欠陥指示模様の観察を行なった。断面観察は、熱間圧延管継手供試体の接合部の長手方向断面を研磨し、光学顕微鏡により観察を行なった。

(2) 気密性

熱間圧延管継手供試体の気密性を耐圧試験により評価した結果、いずれの管継手供試体とも、Table 4 に示すように、圧力の低下はなく、膨らみや漏洩等は認められなかった。したがって、これら熱間圧延管継手供試体は、21.6 Ms の腐食ループ試験後も気密性を維持していたものと考えられる。

Table 4 Results of pressure test of transition joints after corrosion loop test

	Before		After 1.8 ks	
	Pressure (MPa)	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Temperature (K)
Ti-5Ta/Ta/304L large joint	0.397	283.0	0.401	284.4
Ti-5Ta/Ta/304L small joint	0.394	283.0	0.397	284.5
Zr/Ta/304L small joint	0.394	282.7	0.396	283.8

(3) 接合部表面

熱間圧延管継手供試体の接合部表面を浸透探傷試験により観察した結果、いずれの管継手供試体の接合部付近の表面とも、赤色指示は認められなかった。このことから、これら熱間圧延管継手供試体は、21.6 Ms の腐食ループ試験後も接合部表面に欠陥等は発生せず、健全な状態を維持していたものと考えられる。

(4) 耐食性

熱間圧延管継手供試体の接合部断面を観察した結果、硝酸溶液が流れる液相部に装着した Ti-5Ta/Ta/304L および Zr/Ta/304L 管継手供試体は、いずれの接合界面も腐食の痕跡は認められなかった。しかし、硝酸蒸気が流れる気相部に装着した Ti-5Ta/Ta/304L 管継手供試体の Ta/304L

接合界面の 304L 母材側に、約 0.15 mm の腐食による減肉(腐食速度： $7.9 \times 10^{-9} \text{ mm/s}$ (0.25 mm/yr))が認められた。これは、気相部の温度が 385 K と高く、304L にとって厳しい腐食環境であったためと考えられる。そこで、本腐食ループ試験と同様な硝酸蒸気環境下で 304L の腐食試験を行なった結果、腐食速度が $4.8 \times 10^{-9} \text{ mm/s}$ (0.15 mm/yr) となった。このことから、Ta/304L 接合界面の 304L 母材側の腐食は、Fig. 16 に示すように、304L のみが腐食したものであり、接合界面が選択的に腐食したものでないと推定できる。したがって、これら熱間圧延管継手供試体は、21.6 Ms の腐食ループ試験後も接合界面の選択的な腐食は発生せず、母材と同等の耐食性を有していたと考えられる。

Fig. 16 Micrograph and illustration at Ta/304L bonding interface of large transition joint after corrosion loop test under vapor phase

VI. 結 言

本報では、特殊圧延機による熱間圧延管継手の開発成果をまとめ、熱間圧延管継手の製造方法、接合材の性能および熱間圧延管継手の長期耐食性について述べた。以下に主な成果を示す。

- (1) 特殊圧延機を用いた圧延により、Ti-5Ta/Ta/304L、Zr/Ta/304LおよびTi/Ta/304L熱間圧延管継手の製造が可能であることがわかった。熱間圧延条件は圧延温度1,173 K、圧下比1.4が適正と考えられる。
- (2) 圧延温度1,148~1,273 K、圧下比1.1~1.5で製造したTi/Ta/304L接合材は、せん断強度が200 MPa以上あり、圧延温度1,173 K、圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材も、せん断強度が200

MPa以上あることがわかった。

- (3) 圧延温度1,173 K、圧下比1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L接合材は、母材と同等以上の引張強度を有することがわかった。
- (4) また、この接合材は金属イオンを含む硝酸環境において優れた耐食性を示すことがわかった。
- (5) 圧延温度1,173 Kまたは1,223 K、圧下比1.1または1.4で製造したTi-5Ta/Ta/304LおよびZr/Ta/304L熱間圧延管継手は、21.6 Ms(6,000 h)の腐食ループ試験により長期耐食性を有することが確認できた。

以上の接合材の性能および熱間圧延管継手の長期耐久性の評価結果より、本熱間圧延管継手が、再処理施設の異材接合管継手として適用可能ながわかった。

— 参 考 文 献 —

- (1) AUCHAPT, P., PATARIN, L., TARNERO, M.: *Proc. Int. Mtg. Fuel Reprocessing and Waste Management, Am. Nucl. Soc.*, p. 2~15 (1984).
- (2) 梶村治彦, 長野博夫: 金属会報, **31**(8), 725 (1992).
- (3) 小沼 勉, 松本俊美, 浅野長一, 舟本孝雄, 広瀬保男, 佐々田泰宏: 原子力誌, **30**(9), 793 (1988).
- (4) 小川和博, 島田一夫, 鈴木一弘, 中村春雄, 三浦 実, 梶村治彦: 原子力学会「昭63秋の大会」予稿集, L41.
- (5) NAKASUJI, K., KURODA, K., HAYASHI, C.: *ISIJ Int.*, **31**(6), 620 (1991).
- (6) 板橋 靖, 武田誠一郎, 林 正太郎: 原子力学会「1989年会」要旨集, L48.
- (7) 小川和博, 小溝裕一, 三浦 実: 溶接学会全国大会講演概要, 第46集, 206 (1990).
- (8) 吉原征四郎, 川並高雄, 内藤浩光, 黒澤文夫, 加古幸博: 鉄と鋼, **73**, A83 (1987).