

Ti-Ni 形状記憶合金肉盛材の 耐キャビテーション壊食性

○福井大学[院] 守山なぎさ
原子力機構 矢田浩基

福井大学 服部修次
原子力機構 月森和之

Cavitation Erosion Resistance of Ti-Ni Shape Memory Alloy Build-up Weldings

Nagisa MORIYAMA, Shuji HATTORI, Hiroki YADA and Kazuyuki TUKIMORI

1 緒 言

現在、耐壊食性に優れた工業材料としてコバルト基合金のステライトが原子力発電プラント用の部材として使用されている。しかし、ステライトを使用する場合には、Co が原子炉中に流出し、放射線を受けると放射化してプラント内の放射線量を増加させる⁽¹⁾という問題がある。そこで、Co を含まない耐壊食性に優れた代替材料が望まれている。本研究では、Ti-Ni 形状記憶合金の耐壊食性が非常に優れていることを報告している⁽²⁾。しかし、Ti-Ni 形状記憶合金は非常に高価で、成形加工が困難であるために構造材料として難点がある。

本研究では、Ti-Ni 肉盛材料を使用しキャビテーション壊食試験を行った。肉盛材料の製作過程で、粉体の条件が異なる 5 種類の Ti-Ni 肉盛材料を施した試験片を用いてキャビテーション壊食試験を行い、耐壊食性と壊食抵抗を検討した。また、各種の Ti-Ni 肉盛材料と参照材料の壊食試験結果を比較し、壊食特性を検討した。

2 試験材料および試験装置

2.1 試験材料 各種の Ti-Ni 形状記憶合金粉体と参照材料の SUS304 の化学成分を表 1 に示す。化学成分はミルシートによる。本試験では、Ti45-Ni55 と Ti55-Ni45 の肉盛材料を使用した。Ti45-Ni55 は純 Ti と純 Ni 粉体を形状記憶効果を示す原子量%50:50 となる割合で混合して肉盛したものである。Ti55-Ni45 は下地肉盛に Ni を使用したために、Ni が肉盛部に拡散することを考慮して Ti を多く含むようにしたものである。さらに、表 1 に示す化学成分をもつ形状記憶合金粉 Ti-Ni alloy A, Ti-Ni alloy B, Ti-Ni alloy C による肉盛材を使用した。キャビテーション壊食試験片はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の母材に純 Ni 粉体で下地肉盛を作成し、Ti-Ni 合金粉体を用いてプラズマ移行アーク粉体 (PTA) 肉盛法を施した試験材料を用いた。参照材料としてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 単一材を用いた。各試験片の試験面はエメリー紙 #1200 で研磨した後、パフ仕上げにより鏡面状とした。各種試験材料の機械的性質

を表 2 に示す。

2.2 試験装置 本試験では、ASTM G32-03⁽³⁾に規定されている磁わい振動装置を用いて静置試験片法でキャビテーション壊食試験を行った。振動子の先端に SUS304 製の直径 16mm のディスクを取り付け、ディスクと平行にすき間 1mm 隔てて試験片を対向させて静置した。振動子の共振周波数は 19.5kHz で、ディスク全振幅は 50μm 一定とした。試験液はイオン交換水を用い、恒温装置で液温を 25±1℃に保持した。壊食による質量減少量は、精密天秤(感度 0.01mg)で測定した。試験結果は、質量減少量を材料の密度で除して体積減少量を求め、体積減少量を試験面積(201mm²)で除した平均壊食深さ(MDE)で整理した。壊食面の形状は非接触表面形状測定システム(㈱キーエンス製 LMS-3D: 分解能 0.1μm, 測定間隔 2.0μm)で測定した。壊食面の観察は走査型電子顕微鏡(SEM)(㈱日立ハイテクノロジー製 Miniscope TM-1000: 倍率~10000 倍)で行った。また、成分分析はエネルギー分散型 X 線分析装置(SwiftED-TM: 検出可能元素 Na₁₁~U₉₂)で行った。

3 試験結果および考察

図 1 に MDE 曲線を示す。Ti-Ni alloy(laboratory)は、これまで本研究室で得られている肉盛材のキャビテーション壊食試験結果である。いずれの材料も、MDE は壊食速度が極めて遅い期間である潜伏期を過ぎた後、急激に増加し壊食速度が最大となる最大速度期に至り、直線的に増加する。潜伏期は最大速度期の傾き部の延長線と時間軸との交点までの時間として定義した。参照材料の潜伏期は、SUS304 が約 2 時間、Ti-Ni laboratory は約 16 時間である。それに対し試験材料の潜伏期は、Ti45-Ni55 が約 10 時間、Ti55-Ni45 が約 5 時間、Ti-Ni alloy A が約 19 時間、Ti-Ni alloy B が約 6 時間、Ti-Ni alloy C が約 13 時間である。純 Ti、純 Ni 混合粉体肉盛材料と Ti-Ni 形状記憶合金粉体肉盛材料では、Ti-Ni 形状記憶合金粉体肉盛材料の方が優れた耐壊食性を示している。これは、

Table 1 Chemical composition of materials

(mass%)								
Material	Ti	Ni	Co	C	O	N	Al	Mg
Ti-Ni alloy A	Bal.	54.4	1.98	0.009	0.250	0.008	—	—
Ti-Ni alloy B	Bal.	49.8	—	—	—	—	—	—
Ti-Ni alloy C	Bal.	54.7	≤0.01	0.006	0.21	0.007	0.099	0.015

(mass%)						
Material	C	Si	Mn	P	Cr	Ni
SUS304	0.071	0.48	1.12	0.025	18.47	8.21

Table 2 Hardness of build-up weldings

Material	Hardness (HV0.2)
Ti45-Ni55	312
Ti55-Ni45	520
Ti-Ni alloy A	610
Ti-Ni alloy B	685
Ti-Ni alloy C	703
SUS304	218

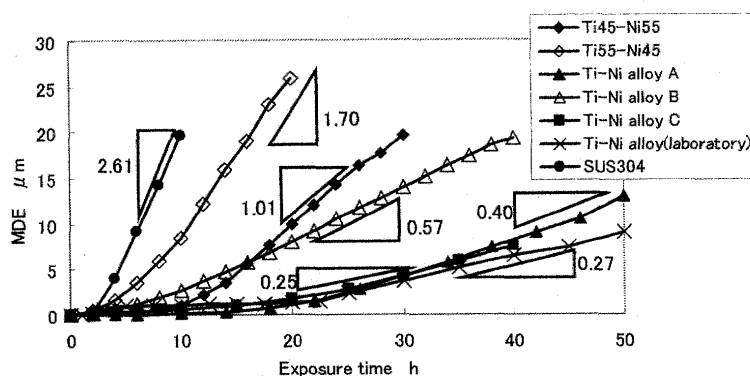


Fig.1 MDE curves

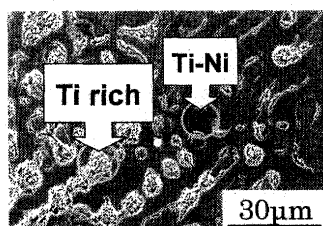


Fig.2 SEM photographs of eroded surface of Ti45-Ni55

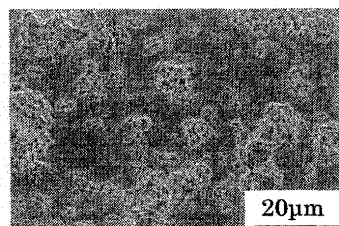


Fig.3 SEM photographs of eroded surface of Ti-Ni alloy A

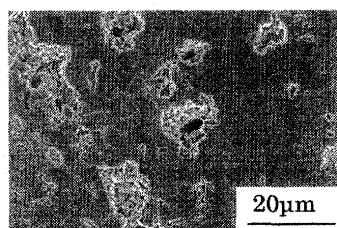


Fig.4 SEM photographs of eroded surface of Ti-Ni alloy B

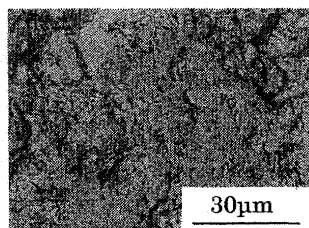


Fig.5 SEM photographs of eroded surface of Ti-Ni alloy C

純 Ti, 純 Ni 混合粉体肉盛材料では粉末同士がうまく混ぜ合わされていなかったためと考えられる。しかし、どの試験材料も SUS304 より優れた耐壊食性を示す肉盛材料である。図中の三角形は最大速度期のこう配を示す。Ti-Ni alloy C は、この配が最も小さい値であるので、他の Ti-Ni 形状記憶合金粉体肉盛材料と比較しても耐壊食性に非常に優れていることがわかる。

図 2 は、SEM で撮影した Ti45-Ni55 の 30 時間後の壊食面を示す。壊食面は、Ti と Ti-Ni の境界から壊食され、Ti-Ni が塊として脱落している。Ti55-Ni45 の 20 時間後の壊食面は紙面の都合上省略するが、図 2 と比較してより多くの欠陥が観察できる。また、壊食面の脱落痕の形状が Ti45-Ni55 と似ている。

図 3 は、SEM で撮影した Ti-Ni alloy A の 50 時間後の壊食面を示す。壊食ピット同士が結合し拡大する。図 4 は、SEM で撮影した Ti-Ni alloy B の 40 時間後の壊食面を示す。中央部分に欠陥が観察できる。処女面に欠陥が存在すると、欠陥を起点に損傷を受けやすくなる⁽¹⁾。従って、潜伏期の短い理由として考えられるのは、Ti-Ni alloy B の処女面に欠陥が存在していたことである。図 5 は、SEM で撮影した Ti-Ni alloy C の 50 時間後の壊食面を示す。Ti-Ni alloy A と同様に欠陥は見られず、壊食も微細な壊食ピット同士が結合し、拡大していることがわ

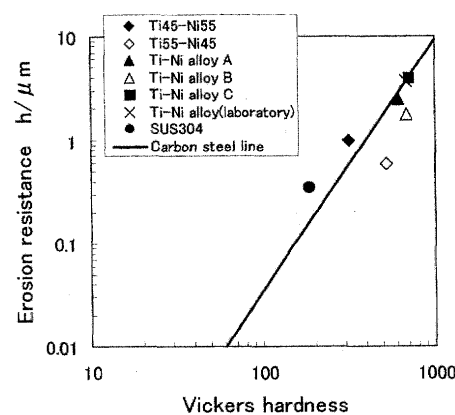


Fig.6 Relation between Vickers hardness and erosion resistance

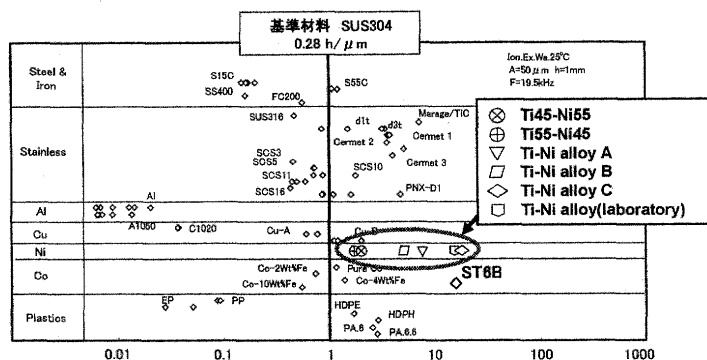


Fig.7 Normalized erosion resistance of various alloys

かる。これらの材料は Ti45-Ni55 や Ti55-Ni45 に比べて徐々に脱落しているため、耐壊食性に優れている。

図 6 は、ビッカース硬さと壊食抵抗の関係を示したものである。図中の直線は、本研究で構築したデータベースを基に炭素鋼 68 種類を解析した結果から得られた壊食抵抗の基準線である⁽⁷⁾。試験材料の壊食抵抗はほぼ硬さと良い相関性を示すと言える。

図 7 は、本研究でこれまで得られた各種工業材料の壊食抵抗を、SUS304 を基準として対数目盛りで示したものである。図中には、鉄鋼材料、ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅合金、ニッケル合金、コバルト合金、プラスチックの壊食抵抗が示されており、SUS304 の数百分の 1 から数十倍の変化を示す。今回研究を行った Ti-Ni 系合金粉体で肉盛された材料は、SUS304 より約 2~10 倍の優れた壊食抵抗を示す。またステライト 6B と比較しても、同等以上の壊食抵抗を示す材料が製作でき、Ti-Ni 肉盛材料はステライトに代わる材料として使用できることを示している。

4 結言

(1)混合粉による肉盛材料は、肉盛施工時に均質な金属間化合物とはならないので、耐壊食性の向上は得られない。金属間化合物を粉体化した合金粉を用いて肉盛する必要がある。

(2)硬い材料ほど耐壊食性に優れている。

(3)Ti-Ni 形状記憶合金肉盛材の耐壊食性は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 に比べて 2~10 倍は優れている。

(参考文献省略)