

抵抗溶接法によるチタンと鋼材の接合に関する研究

古澤秀雄^{*1}、川本直樹^{*1}

Resistance Welding of Titanium and Steel

Hideo FURUZAWA^{*1} and Naoki KAWAMOTO^{*1}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

抵抗溶接法により、安価で簡易なチタンクラッド鋼の製作を試みるため、スポット溶接機を用いてチタンと鋼材（SPCC、SUS304、SUS430）との抵抗溶接を行い、加圧力や電流、通電時間と接合部でのナゲット形成状態及び接合強度との関係を調べた。いずれの組み合わせにおいても、加圧力の増加にともないナゲットが形成されなくなった。これは、接触抵抗と発熱量の低下によるものであることが分かった。また、せん断強さにおいては、ほぼ同等の強さを示したものの、加圧力が低い場合、十字引張強さでは低下した。これは接合界面に形成されるナゲットに発生した割れが、十字引張強さに影響したもので、圧着（コロナボンドのみ）の試料よりも低下したものである。

1. はじめに

チタンは優れた耐食性を有し、特に海水に対する腐食はほとんど生じない。このため、海水を冷却水とする熱交換器などに多く使用されている。また、硫酸化合物や硝酸化合物、アルカリ及び塩素ガスなどに対する耐食性にも優れていることから、これらの化学反応槽などにも使用されている。

一方、チタンクラッド鋼は、母材の鋼材にチタンの薄板を圧延や爆着などによりライニングした材料であるが、板厚の組み合わせによってはチタン材と同程度の価格である。また、抵抗溶接法によるチタンクラッド鋼の製造に関する特許には、インサート材に銀などの高級金属を用いる方法¹⁾²⁾があるが、コスト面や接合強度などに問題があり普及していないのが現状である³⁾。

本研究では、インサート材などを用いずに抵抗溶接法により、安価で簡易なチタンクラッド鋼の製作を試みるため、加圧力、電流及び通電時間の溶接条件並びにチタンと鋼材との接合部のナゲット形成状態及び接合強度の関係を調べた。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は、合わせ材として板厚 0.5mm のチタン（TP270C）母材として板厚 2.0mm の冷間圧延鋼材（SPCC）オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）及びフェライト系ステンレス鋼（SUS430）の 3 種類を用いた。

2.2 抵抗溶接条件

各鋼種ごとに、表に示す抵抗溶接条件により抵抗溶接を行った。なお、抵抗溶接（スポット溶接）にはインバータ直流抵抗溶接機を用い、電極にはラジアス形クロム銅（先端曲率半径 $r=50\text{mm}$ ）を用いた。

表 抵抗溶接条件

加圧力(kN)	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
溶接電流(kA)	5.0, 6.0, 7.0
通電時間(サイクル)	2, 4, 6

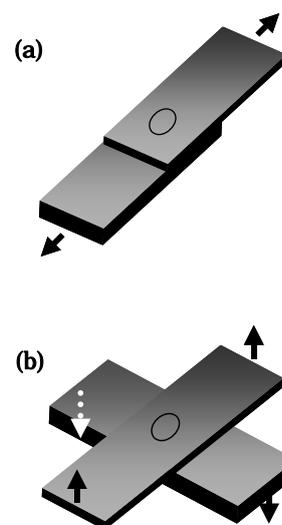


図1 接合強度用試験片の形状
(a)せん断試験片, (b)十字引張試験片

*1 工業技術部 加工技術室

2.3 接合部の評価

接合部の機械的特性は、JIS Z 3136 によるせん断試験と JIS Z 3137 による十字引張試験により評価した。その試験片形状を図 1 に示す。また、溶接部の中心を通る線上で切断した後、断面を研磨し、接合界面のナゲット形成状態と反応相の生成状態を光学顕微鏡により観察した。

3 . 実験結果及び考察

3.1 せん断強さと溶接条件の関係

チタンと各鋼種の組み合わせにより得られたせん断強さと通電時間、加圧力との関係を図 2 に示す。図 2 (a) の Ti/SPCC (溶接電流 : 7.0kA) の組み合わせの場合、加圧力 1.0kN と比較し、加圧力 3.0kN において、高いせん断強さを示した。また、両者の通電時間による強度への影響は少ないものの、加圧力を 5.0kN に増加した場合、通電時間 2 サイクルでは接合されないが、通電時間を増加させるにつれて強度の増大が顕著であった。一方、図 2 (b) の Ti/SUS304 (溶接電流 : 7.0kA) の場合には、加圧力 1.0kN では通電時間を増加させると強度が低下したが、加圧力を 5.0kN に増加させることにより強度が増大し、通電時間の増加による強度の低下は起こらなかった。また、ここでは図示しないが、加圧力 4.0kN、溶接電流 7.0kA、通電時間 6 サイクルの溶接条件において、チタン同種材と同様に母材から破断した。図 2 (c) の Ti/SUS430 (溶接電流 : 6.0kA) では、Ti/SPCC の場合とほぼ同様な傾向が見られ、加圧力を 5.0kN に増加した場合、通電時間 2 サイクルでは接合されないが、通電時間を増加させるにつれて強度の増大が顕著であった。

3.2 十字引張強さと溶接条件の関係

十字引張試験の結果を図 3 に示す。図 3 (a) の Ti/SPCC (溶接電流 : 7.0kA) の組み合わせに対しては、加圧力 1.0 及び 3.0kN では通電時間による強度への影響は僅かであるが、加圧力を 5.0kN に上げると通電時間の増加により強度が著しく増大し、通電時間 6 サイクルにおいて最大強さを示した。一方、図 3 (b) の Ti/SUS304 (溶接電流 : 7.0kA) については、加圧力 1.0kN と比較し、加圧力 5.0kN では、十字引張強さが向上した。また、両者の通電時間による強度への影響は少ないものの、加圧力 3.0kN で通電時間の増加による強度の顕著な増大が見られ、通電時間 6 サイクルにおいて最大強さを示した。図 3 (c) の Ti/SUS430 (溶接電流 : 6.0kA) では、加圧力 1.0 及び 3.0kN において通電時間の増加により強度が低下した。しかし、Ti/SPCC と同様に、加圧力 5.0kN では通電時間の増加により強度が増大し、通電時間 6 サイクルでは他の加圧力と比較し、高い強さを示した。

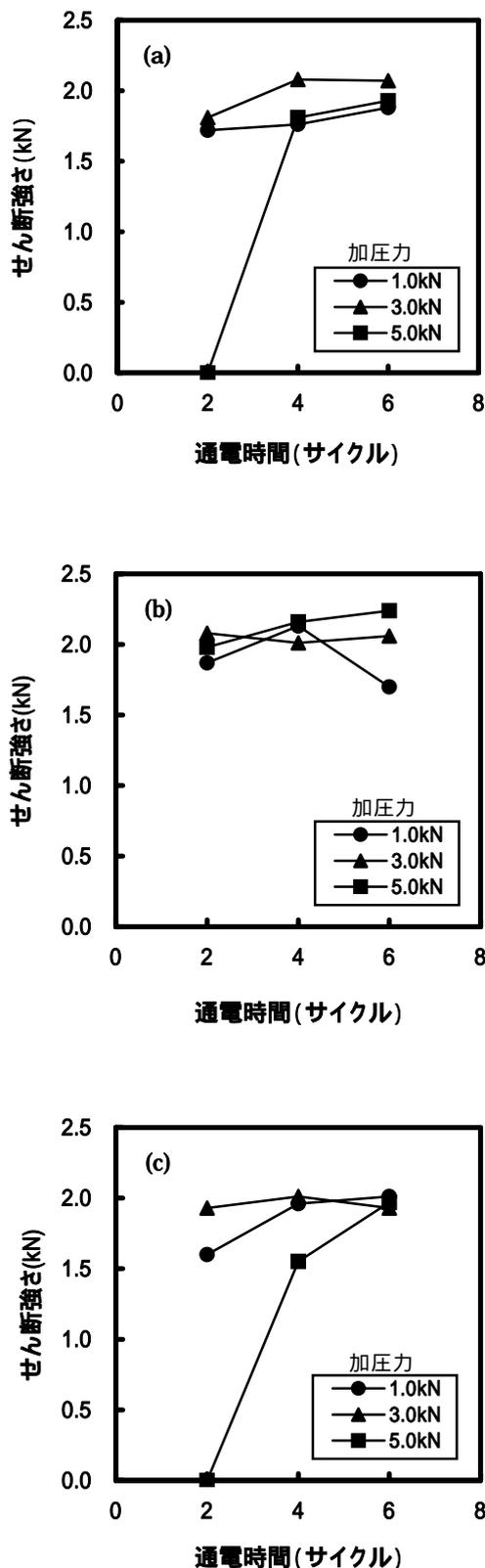


図 2 せん断試験結果

(a)Ti/SPCC (溶接電流 7.0kA)

(b)Ti/SUS304 (溶接電流 7.0kA)

(c)Ti/SUS430 (溶接電流 6.0kA)

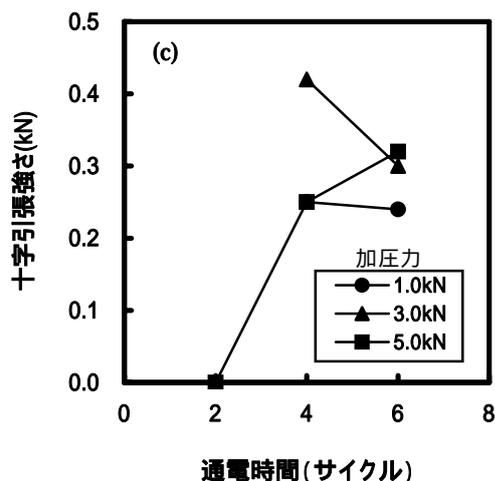
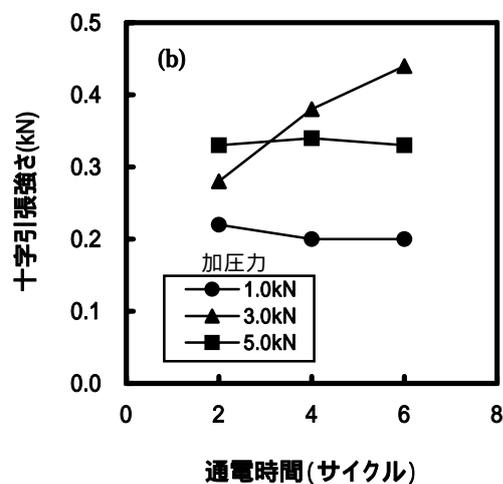
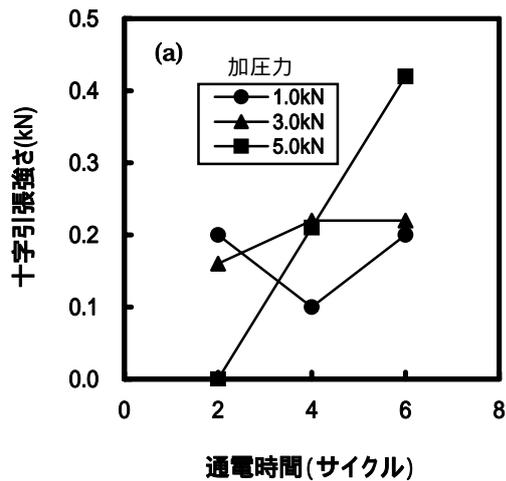


図3 十字引張試験結果

- (a)Ti/SPCC (溶接電流 7.0kA)
- (b)Ti/SUS304 (溶接電流 7.0kA)
- (c)Ti/SUS430 (溶接電流 6.0kA)

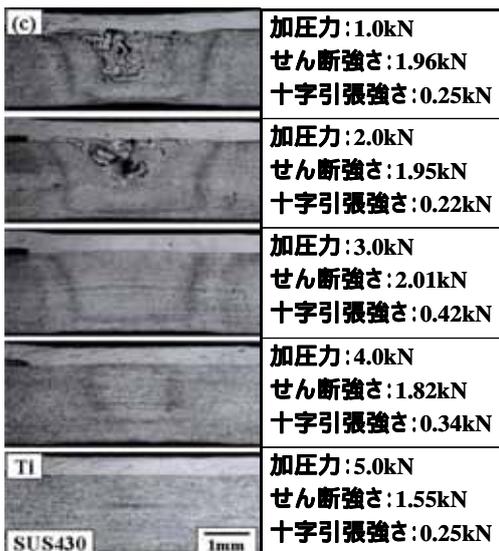
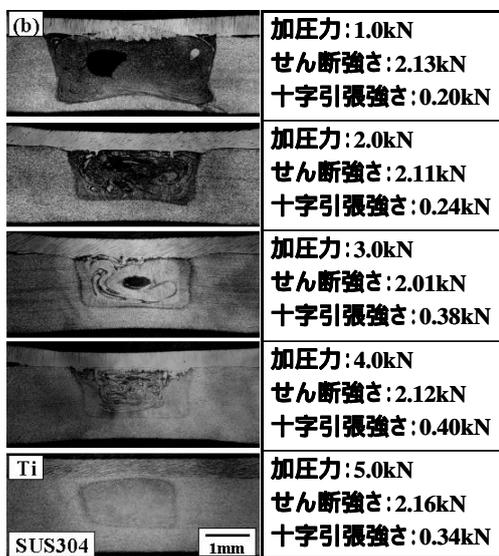
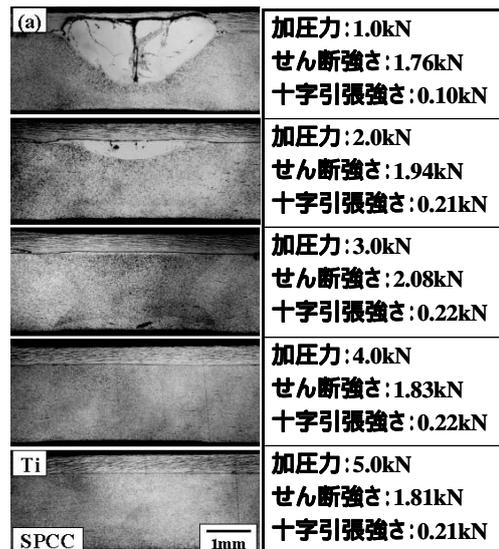


図4 各加圧力によるナゲットの形成変化

- (a)Ti/SPCC (溶接電流 7.0kA, 通电時間 4 サイクル)
- (b)Ti/SUS304 (溶接電流 7.0kA, 通电時間 4 サイクル)
- (c)Ti/SUS430 (溶接電流 6.0kA, 通电時間 4 サイクル)

3.3 ナゲット形成状態と溶接条件の関係

図2で得られた結果を元に、通電時間4サイクルで接合を行った。その場合の各接合体で観察された加圧力によるナゲットの形成変化を図4に示す。合わせて強度試験により得られた各試験片のせん断強さと十字引張強さも示した。いずれの組み合わせにおいても加圧力の増加に伴いナゲット形成領域が縮小している。これは、圧力の増加に伴い、合わせ面の接触抵抗が減少するためと考えられる。そのため、Ti/SUS304(加圧力:5.0kN)においては、TiとSUS304を合わせた板厚中央部にコロナボンドが形成されており、発熱量の低下を顕著に示している。

本実験条件では、せん断強さは加圧力にほとんど依存していないが、十字引張強さは低加圧力では顕著に低下した。これは、ナゲット内部に発生した割れが十字引張試験に影響しているものと推測された。

3.4 せん断試験の破壊形式

Ti/SPCCのせん断試験前後の断面を図5に示す。加圧力1.0kN、溶接電流7.0kA、通電時間4サイクルで溶接した。せん断試験後の接合部の破面は、界面破断と呼ばれる破壊が生じており、ナゲットのほとんどが剥がれている。これは、接合界面に形成されたナゲット及び化合物相に発生した割れに起因すると考えられる。したがって、ナゲット及び化合物相の形成を抑制する必要があると思われる。

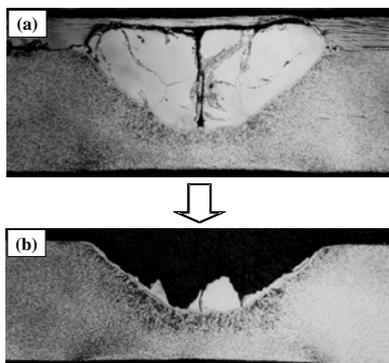


図5 Ti/SPCC せん断試験前後の断面
(a)せん断試験前, (b)せん断試験後

4. 結び

抵抗溶接法により、安価で簡易なチタンクラッド鋼の製作を試みるために、加圧力、電流及び通電時間などの溶接条件とチタンと鋼材との接合部のナゲット形成状態及び接合強度の関係を調べた。その結果、Ti/SUS304において、せん断試験によりチタン同種材と同様に母材部から破断し、2.16kN以上のせん断強さを与える溶接条件を見出すことができた。また、加圧力を高めてナゲットの形成を抑制し、合わせ材のチタンにダメージを与えない圧着接合(コロナボンドのみ)が可能となる溶接条件を見出すことができた。

文献

- 1) 特開昭 63-238985
- 2) 特公平 3-69632
- 3) 川本, 清水: 愛知県工業技術センター研究報告, 33, 55 (1997)