

# チタン合金の接合に関する研究

—チタン合金とステンレス鋼の接合技術の開発—

宮川和幸・勝又信行・石田正文・杉崎憲三郎\*

## Study on the Bonding Technique of Titanium Alloy

—The development of bonding method of the titanium alloy and stainless steel—

Wako MIYAGAWA, Nobuyuki KATSUMATA, Masafumi ISHIDA and Kenzaburo SUGISAKI\*

### 要 約

銀ろう (BAg-8) を用いて工業用純チタンとSUS304 のろう付を行い、その特性を調べた。その結果、接合温度 1,073K、1,103K 接合時間 1,800sec で、約 290MPa の接合強度が得られた。また、ろう付温度が 1,133K を超えると、接合強度は急激に減少した。EPMA を用いて接合界面を観察した結果、接合時間の増加に伴い、ろう材中の銅は主にチタンとの界面に偏析してくるが、ステンレス鋼内にも進入していくことがわかった。

### Abstract

In order to investigate brazing property, pure titanium for industry and SUS304 were brazed with silver-copper alloy (BAg-8) in a vacuum furnace. As a result, the tensile strength of the joint showed about 290MPa under the conditions for 1,800s at 1,073K and 1,103K. Brazing temperature at above 1,133K made the tensile strength sharply decreased. Copper in brazing filler mostly segregated to the interface of titanium and partly penetrated into SUS304.

### 1. 緒 言

チタン合金は、軽量・高強度・高耐食性等の優れた性質により、構造材料から民生品まで幅広く使われている。今後もその重要性は高まり、適用分野が増大してくることが推察され、それに伴い接合技術の必要性も増大してくる。現在チタンの接合にはアルゴン雰囲気中のTIG溶接が多く用いられているが、突き合わせ溶接もしくはすみ肉溶接に限定され、面接合は不可能である。また、熔融溶接法であることから異種金属との接合に適用すると脆弱な金属間化合物を形成し、著しい接合強度の低下を引き起こす。そこで、本研究ではろう付法により、チタン合金の信頼性の高い面接合・異種金属との接合技術の確立を目的とし、ステンレス鋼との接合実験を行った。

### 2. 実験方法

供試材には直径10mmの工業用純チタン丸棒（純度99.5%）およびオーステナイト系ステンレス鋼SUS304を用いた。いずれの素材も長さ50mmに切り出し、端面をエメリーペーパーで#1,200まで研磨した後、アセトン中で脱脂洗浄して接合用試験片とした。ろう材は市販の銀ろう (BAg-8) であり、厚さ約300 $\mu$ mの板状に圧延されたもの

表1 ろう材の組成および液相線温度

	構成元素 (mass%)		液相線温度 (K)
	Ag	Cu	
BAg-8	72.0	28.0	1,053

を約10×10mmに切り出して用いた。ろう材の組成、液相線温度と表1に示す。母材およびろう材は、図1に示した形状に配置しろう付を行った。雰囲気は2×10<sup>-4</sup>Pa以上の真空とし、ろう付温度は1,073K～1,193K、保持時間は300sec～3,600secの範囲でそれぞれ変化させ、ろう付試験片を作成した。

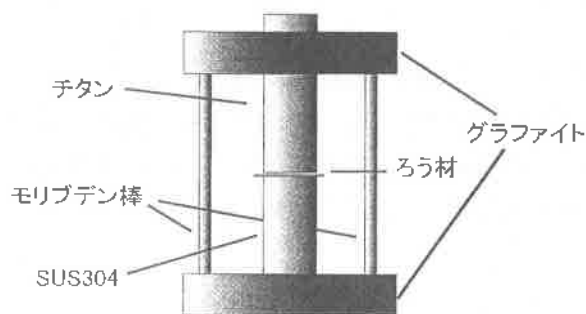


図1 試験片作成法概要

\* 株式会社 ミラプロ

また、作製した各ろう付試験片は旋削加工し、接合強度試験片とした。さらに、それぞれの接合断面に対しSEM観察およびEPMA分析を行い、各元素挙動を調べた。

剪断強度測定にはテンシロン型万能材料試験機UTC-30T (ORIENTEC 社) を用いた。また、SEM 観察およびEPMA 分析にはX 線マイクロアナライザーJXA-8900RL (日本電子株式会社) を用いた。

### 3. 結果および考察

図2にろう付継ぎ手の引張強さを示す。接合時間は1,800secである。ろう付温度が1,073K および1,103K においては290MPa 程度の強度を示した。ろう付温度を1,133K 以上に設定した場合、強度は低下する傾向が見られ、1,133K では約200MPa であったが、1,163K では80 ~ 30MPa 程度まで急激に低下した。

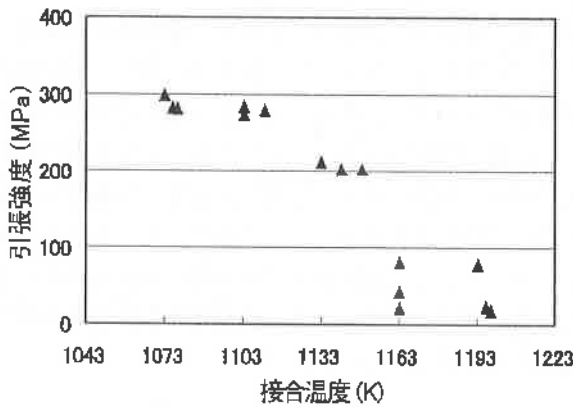


図2 ろう付温度と引張強度の関係

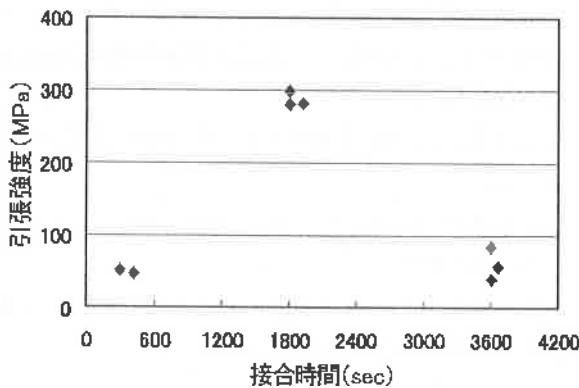


図3 保持時間と引張強度の関係

図4に接合時間を変化させた場合の接合強度を示す。接合温度は1,073K である。接合時間が300sec の場合、接合強度は約50MPa であったが、接合時間を1,800sec にすると接合強度は約300MPa となり、強固な継ぎ手が得られた。しかし、さらに接合時間を増加させ3,600sec とした場合、接合強度は40 ~ 90MPa まで低下した。

接合部の強度に影響を与える要因として、金属間化合物の生成が挙げられている。そこで接合強度に及ぼす接合

時間と接合部の元素挙動との関係調べた。

接合温度を1,073K 一定とし、接合時間を300sec に設定して得られた試料 (以下試料1とする) の接合部の、反射電子像を図4、EPMAによる各構成元素の分布状況を図5 に示す。また、接合時間を3,600sec に設定した場合の試料 (以下試料2とする) の、反射電子像を図6、各元素の分布状況を図7 に示す。

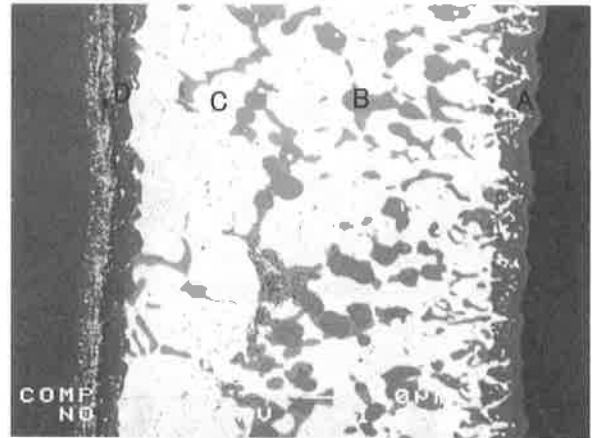


図4 ろう付部反射電子像 (1,073K-300sec)

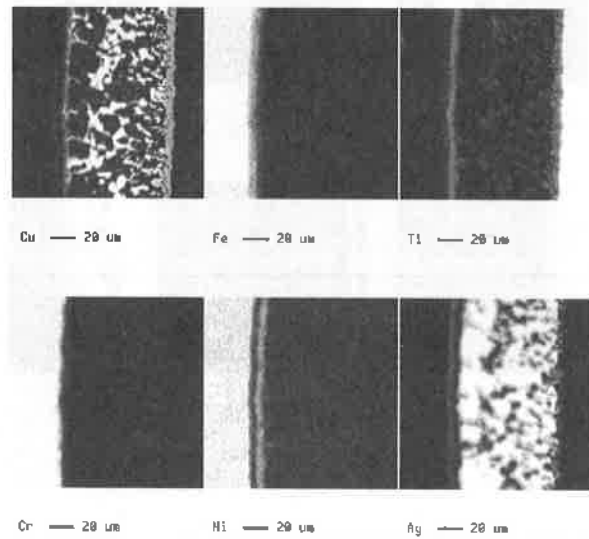


図5 ろう付部特性X 線像 (1,073K-300sec)

図6に見られるように、試料2におけるろう材とチタンとの反応により生じた反応層が、試料1の同一箇所生成された反応層よりも多量で、この反応層はろう材内部に向かって成長しているように見受けられる。また、反応層も1種類ではなく、複数存在している。

試料1と試料2における接合部に存在する元素の分布状況について見てみると、最も変化したのは銅である。しかしながら両者の間には違いが見られ、試料1ではステンレス鋼側への偏析とろう材中への微細な分散が見られる。しかし、試料2においてはろう材中の銅リッチな領域が成長しており、かつ偏析もステンレス鋼との界面よりも、むしろチタン側との界面側に見られる。加えて試料1にお

いては見られなかったステンレス鋼内部への拡散が確認できる。また、ニッケルについては試料1に比べ試料2のほうがろう材内部への偏析量が増加している。

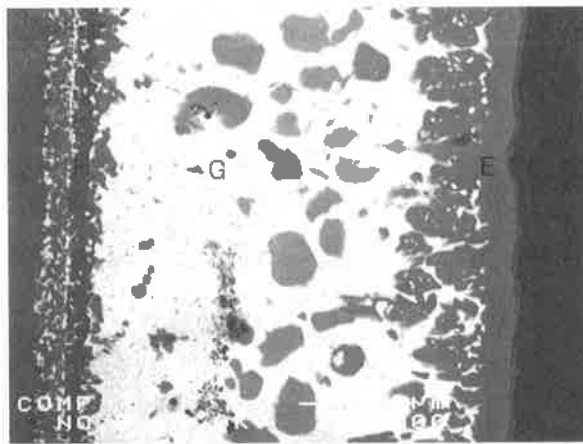


図6 ろう付部反射電子像 (1,073K-3,600sec)

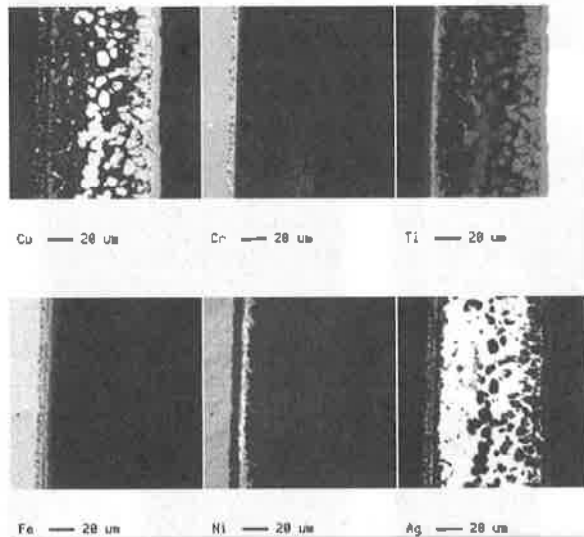


図7 ろう付部特性X線像 (1,073K-3,600sec)

ステンレス鋼の表面には酸化膜が存在し、耐食性を高める効果をもたらす一方でろう付性を低下させる原因になる。ステンレス鋼の真空ろう付に於けるろうの広がり、表面に存在又は生成する酸化膜の消失過程で生じる粒界みぞへの銅の拡散によると考えられており<sup>2)</sup>、接合強度と銅のステンレス鋼への拡散は相関関係があると考えられる。そこで、図4および図6においてA～Dで示した組織に対してEPMAによるスタンダードレス定量分析を実施した。その結果を結果を表2.3に示す。EPMAの分析条件は加速電圧15KV 電流値は $1 \times 10^{-8}$ Aであり、分析値は3か所ずつ分析した結果の平均値である。A点とE点を比較すると、ろう付時間の増加に伴い銅の量が大きく増加している。それに伴いチタン量は減少しているが、その変化量はほぼ銅の増加分に等しい。B点とF点において

表2 接合部組織スタンダードレス定量分析結果(試料1)

	Ti	Fe	Ni	Cu	Ag
A	79.327			17.358	3.316
B	3.687			13.597	82.716
C				9.157	90.844
D	25.794	3.968	6.592	54.947	8.699

(単位: wt%)

表3 接合部組織スタンダードレス定量分析結果(試料2)

	Ti	Fe	Ni	Cu	Ag
E	37.887			53.429	7.718
F	16.330			71.106	12.310
G				8.218	91.405
H	23.146	14.299	10.595	17.094	34.865

(単位: wt%)

は銀の量が大きく減少したのに対して、チタン、銅が増加している。C,G点は反射電子像中で白く見える領域であるが、銀と銅のみで構成されており、構成比はほぼ同一である。D,H点では双方とも、時間の経過とともに銅の量が減少している。これはステンレス鋼との界面に偏析していた銅が時間の経過とともにステンレス表面の酸化被膜を破壊し内部の粒界に拡散した結果、界面のろう材側において銅の量が減少してきたものと考えられる。また、このことから、銅のステンレス鋼への進入が接合強度の大小に関係しており、表面の酸化膜を破壊するのに一定の時間を要したものと考えられる。

#### 4. 結 言

- 1) 銀ろう (BAg-8) をろう材に用い、接合温度1,073K 接合時間を1,800secに設定し、工業用純チタンとSUS304を真空ろう付した結果、約290MPaの接合強度が得られた。
- 2) 接合温度が1,163Kを越えると、接合強度は急激に低下する。
- 3) 接合時間の増加に伴い、ろう材中の銅は主にチタンとの界面に偏析してくる。
- 4) 接合強度とステンレス鋼内に進入した銅の量には相関関係があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 関, 山本, 上西, 小林, 溶接学会全国大会講演概要, No.67 (2000), 228-229
- 2) 荒田, 大森, 蔡, 溶接学会全国大会講演概要, No.31, (1982), 336-337