

特殊金属材料の精密ろう付技術の研究

—チタンとアルミナの接合—

清高 稔勝

材料開発部

Study on Precision Brazing of Special Metal

—Joining of Titanium to Alumina—

Tosikatu Kiyotaka

Material Development Division

要旨

活性銀ろう(Ag-Cu-Ti)とチタン系アモルファスろう(Ti-Zr-Cu)を用いてチタン(TP35C)とアルミナ(純度93%)のろう付を行った。活性銀ろうによるろう付では、チタンのろう材への拡散による浸入が認められ、時間の経過と共にチタンと銅の組成によるラメラ組織の層の成長が顕著に認められた。またろう付時間の長い継手では、アルミナとの界面近傍に銀が濃縮した層が認められた。一方チタン系アモルファスろうによるろう付継手に於いても、チタンのろう材への拡散による浸入が認められ、アルミナ側のろう材部分に銅-チタン-ジルコニウム組成の層、チタン側母材部分にチタン-銅組成の層、ろう材とアルミナ界面に狭い反応層が認められた。

1. はじめに

チタン材は、耐食性や耐熱性があり、しかも、比強度が他の金属材料に比較して大きいことから各種部材に利用されつつある。しかし、耐磨耗性は他の金属材料に比較して高いとはいえない。

一方セラミックスは、耐熱性及び耐磨耗等の優れた特性から様々な分野で応用が考えられている。しかし、セラミックスは靱性面や加工等で金属材料に比較して遥かに悪くその応用範囲も限定される。

そこで、その両材の欠点を補う方法として、靱性の優れた金属と耐磨耗性の優れたセラミックスとの接合による複合化が考えられる。

本研究では、チタン材と代表的耐磨耗性セラミックスであるアルミナについてろう付性を継手部の組織より検討した。

2. 実験方法

ろう付母材は、チタンにTP35C、アルミナにはニッカト-製(Al_2O_3 93%, SiO_2 5%, その他 2%)を使用した。また供試ろう材は、活性銀ろう(Ag(63.6%)-Cu(34.7%)-Ti(1.7%))とチタン系アモルファスろう(Ti(25%)-Zr(25%)-Cu(50%))を用いた。

接合母材の形状は、チタン ϕ 12.0mm \times 20mm、アルミナ ϕ 12.5mm \times 12.5mmとした。継手形状は、突合せとし、接

合面にろう材を挟んでろう付をした。接合面に挿入するろう材の径は、活性銀ろう ϕ 8mm、チタン系ろう ϕ 6mmとした。また、ろう付時に試験片のずれやろう材と母材の密着性を考慮して、0.7kgfの重りを試験片に載せた。

試料面の研磨は、チタン材はエメリー研磨紙 #600、アルミナはダイヤモンドパッド #600まで仕上げた。

接合用母材及びろう材は、ろう付前にアセトンにて超音波洗浄し、油分等の汚れを取り除いた。

ろう付は、真空加熱抵抗炉を使用し、接合時の炉内雰囲気は 10^{-2} Pa台であった。

ろう付は、活性銀ろうの場合820~880 $^{\circ}C$ 、5~40min、また、チタン系ろうで860~920 $^{\circ}C$ 、5~50minで行った。ろう付温度までの昇温時間は、60~125minとした。

3. 実験結果と考察

3.1 ろう付部断面組織及び硬さ

Fig.1(a)と(b)は、活性銀ろうを用いて温度860 $^{\circ}C$ 、時間10minと40minでろう付した時のろう付部の組織を示す。Fig.1(a)のろう付部で白く見える部分と黒く見える部分が認められ、白い部分対して黒い部分が固まり点状に存在している。一方、ろう付時間が長くなるとFig.1(b)のごとくアルミナ側から5層の領域が認められる。また、チタン側のろう材部分には、ろう材に向かってラメラ状の組織が成長しているのが認められる。

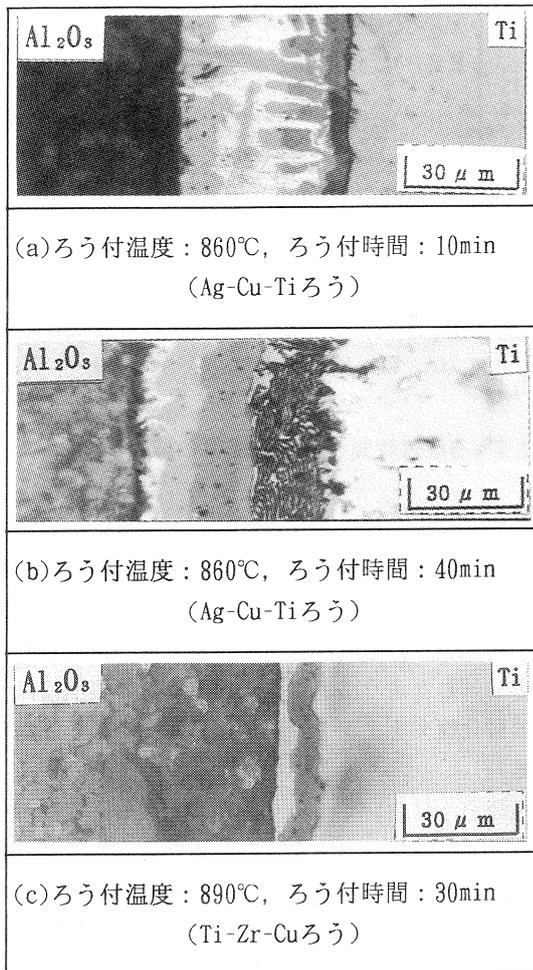
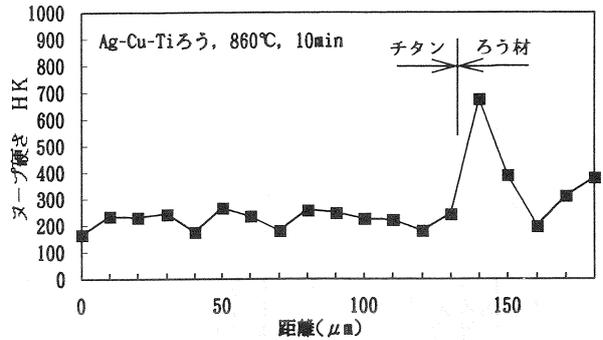


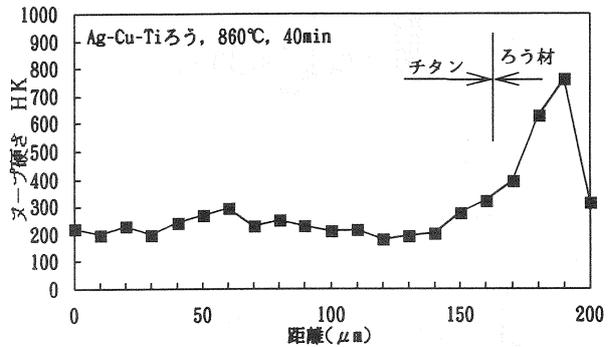
Fig.1 ろう付部の断面組織写真

Fig. 1(c)は、チタン系ろう材でろう付(890°C-30min)した時の組織を示す。ろう材部分は、3層に分かれた組織が観察される。チタン系ろう材を用いた場合、ろう付温度が870~890°C、ろう付時間が長い30min以上で継手が得られた。この温度域より高くなるとろう材部分で継手が剥離していた。また、銅ベースの組成のろう材部分において、ろう付面に垂直な割れが認められた。これは、試験片の加熱が真空加熱抵抗炉を用いた輻射による加熱であるため、試験片の昇温時にすでにろう材と母材の反応が進んだためと思われる。

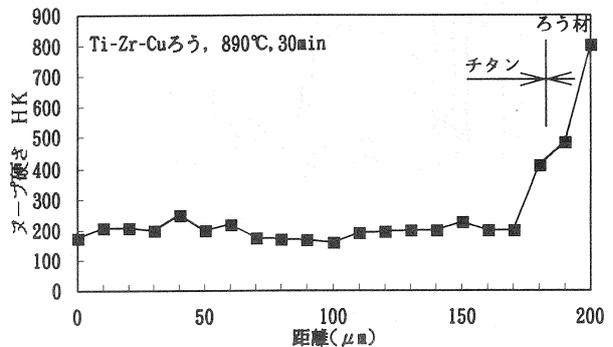
Fig. 2 (a)と(b)は、活性銀ろうを用いて温度860°C、時間10minと40minでろう付した時のろう付部断面の硬さ分布を示す。ろう付時間10minでは、チタン側に近いろう材部分で硬さの上昇が認められる。また、ろう付時間が長い40minでは、アルミナ側に近いろう材部分で硬さの増加が認められる。後述するEDXによるライン分析の結果から両組織における硬さの高い部分は、チタン約60%、銅約30%の組織に該当し、その組織に銀が数%固溶している組成であった。



(a)



(b)



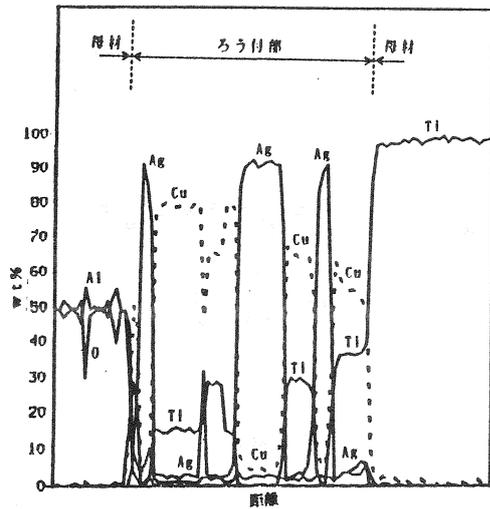
(c)

Fig.2 ろう付部断面の硬さ分布

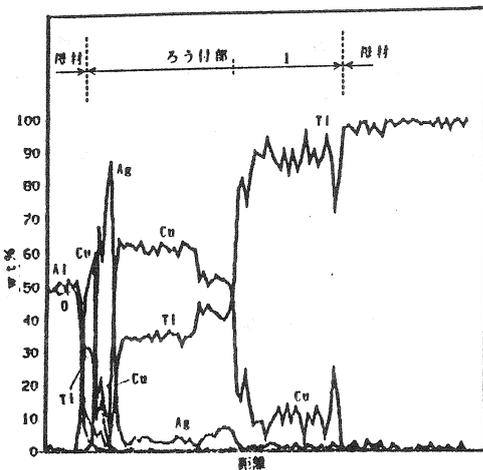
3.2 ろう付部の元素分布

Fig. 3 は、チタン-アルミナ継手について、活性銀ろう及びチタン系ろうを用いてろう付けした時のEDXによるライン分析の結果である。

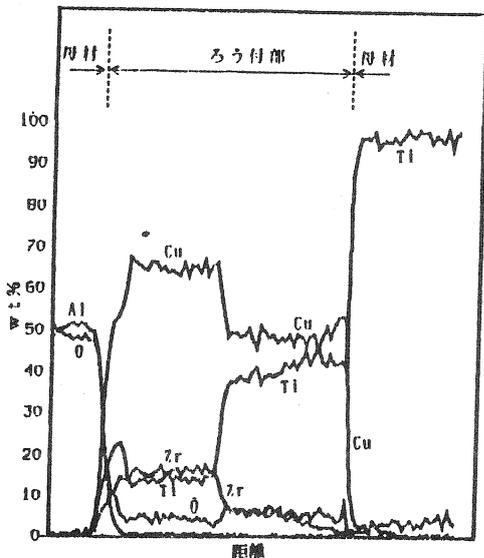
活性銀ろうにおいて、ろう付時間が10minの場合、先のFig. 1(a)の組織写真のように、ろう付部は黒い領域と白い領域の2領域に分離している。黒い領域は、Fig. 3(a)から銅とチタンの化合物で、銀を一部固溶しているものと考えられる。また、同じ黒い領域でも銅とチタン組成は異なり、チタン母材側に近くなるほどチタンの割合が多くなり、銅は逆に減ってくる。白い領域は、大部分が銀ベースで銅を10%近く固溶しているが、ろう材の



(a)Ag-Cu-Tiろう, 860°C, 10min



(b)Ag-Cu-Tiろう, 860°C, 40min



(c)Ti-Zr-Cuろう, 890°C, 30min

Fig.3 ろう付部のEDX線分析結果

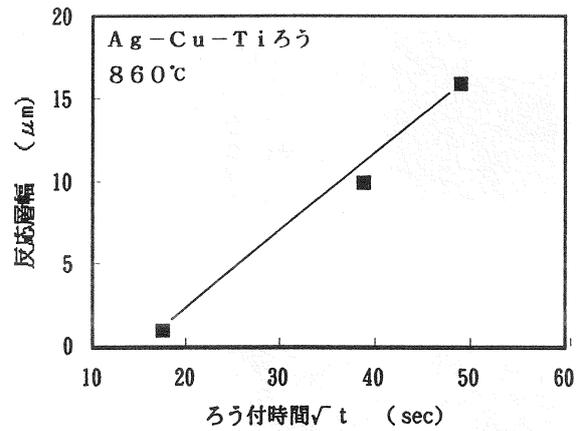


Fig.4 ろう付時間と層状組織幅の関係

最初の組成からかなり異なった組成となっている。アルミナとろう材部分の界面は、非常に狭い範囲であるが、チタンと銅が高いところが認められ、さらにこの部分には、アルミニウムと酸素も同時存在する。奈賀ら¹⁾、岡村²⁾も指摘したようにアルミナとろう材の界面には、チタンの酸化物やチタンを固溶したアルミナの形成が考えられる。

活性銀ろうにおいて、ろう付時間が40minでは、チタン母材からろう材へのチタンの拡散が進み、ラメラ状組織 (Fig.3(b) I 領域) のチタン-銅化合物がろう材方向に成長しているのが認められる。このラメラ組織の幅を同一ろう付温度で、ろう付時間に沿ってまとめたものが Fig.4 である。このグラフだけから推測するのは、危険ではあるが、母材側のチタンが拡散によってろう材へ浸入しているものと思われる。この組織は、Ti-Zr基ろうによるチタン接合部マイクロ組織³⁾に報告されているように、チタンが約90%であり、残りが10%の銅であることから、ろう付時に等温凝固し、その後の冷却過程で共析反応を起こした組織ではないかと推測される。また、時間が増加することにより銀ベースの組成の組織は、アルミナ側に集中しているのが認められる。

アルミナとろう材の界面部分は、10minのろう付時間に比較してチタン・銅・アルミニウム・酸素の4元素のピークが得られる範囲が広がって、先の酸化物等反応層がさらに成長していると考えられる。

Fig.3(c)は、チタン系ろう材を用いたときの元素分布を示す。ろう材部分は、3つの領域に分かれ、アルミナ側の銅ベース組成の層とチタン母材側のチタン-銅組成の層、及びアルミナとろう材界面に反応層となっている。

この反応層は、恩沢⁴⁾らが指摘したように、母材のチタンがろう材部へ拡散し、アルミナとろう材の界面にはチタンやジルコニウムの酸化物が生成したと考えられる。今回実験に使用した純度の低いアルミナも、同じろう付

組織の傾向を示した。

4. まとめ

活性銀ろう(Ag-Cu-Ti)とチタン系アモルファスろう(Ti-Zr-Cu)を用いてチタン(TP35C)とアルミナ(純度93%)のろう付を行い、次の結果を得た。

1) 活性銀ろう及びチタン系アモルファスろうを用いたろう付部は、ろう付け時に母材のチタンからのろう材への浸入が認められた。

2) 活性銀ろうを用いた場合、銀の濃縮層が、860℃-10minのろう付条件に於いてろう材全体に認められるが、860℃-40minの条件ではアルミとの界面近傍に集中していた。

3) 活性銀ろうを用いた場合、チタンからろう材への拡散によりチタン母材からろう材内部に向かってチタン-銅組成の層の顕著な成長が認められた。

4) チタン系アモルファスろうによる継手は、ろう材内部が3つの領域に分かれていた。また抵抗式の加熱炉を用いたろう付では、試験片昇温時の母材とろう材の拡散が加わり、接合条件範囲は狭くなった。

参考文献

- 1) 奈賀正明他：溶接学会論文集，4-2(1986)321
- 2) 岡村久宜：溶接技術，40-7(1992)87
- 3) 恩沢忠夫他：溶接学会論文集，7-4(1989)33
- 4) 恩沢忠夫他：溶接学会論文集，7-1(1989)124
- 5) 竹本正：溶接技術，43-4(1995)68
- 6) 奈賀正明他：溶接学会論文集，3-4(1985)702