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―

勝又　信行・石田　正文・宮川　和幸・斉藤　修・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 ―

Nobuyuki KATSUMATA, Masafumi ISHIDA, Wako MIYAGAWA, Osamu SAITO and Kenzaburo SUGISAKI

要　旨

代表的チタン合金の一種であるTi- 6 %Al- 4 %V合金とステンレス合金SUS316のろう付接合方法について検討を行った．ろう付は真空雰囲気中で，ろう材には銀ろう（Ag-28%Cu合金）を用い，加熱温度1063K，保持時間1.8Ksで接合を行った．その結果，接合部強度は約200～290MPaであった．そこで接合強度の向上を目的にろう材の他にCu箔を組み合わせてろう付接合を行ったところ，接合強度は約360MPaまで向上した．また接合部の元素分布を確認したところ，接合強度は銀ろう-ステンレス合金間の反応層の生成状況に影響されることが明らかとなった．

Abstract

In order to study on brazing method, Ti- 6 %Al- 4 %V alloy and SUS316 were brazed with Ag-28%Cu brazing filler. As a result, the tensile strength of the joint showed about 200-290MPa under the conditions of 1063K-1.8Ks in a vacuum furnace. Then, to improve the tensile strength of the joint, Cu foil added with Ag-28%Cu brazing filler. As the result, the joint strength was improved up to about 360MPa.

1．緒　　言

チタン合金は，軽量・高強度・高耐食性などに優れており，スポーツ用品，医療用部材，化学プラントなどの分野で利用されるようになってきた．そのため最近では，チタンと異種金属を組み合わせて，より広い分野での利用が望まれている．この要求に応えるためには高い信頼性を有する接合技術が必要である．現在チタン合金の接合は，TIG溶接が多く用いられているが，突き合わせ溶接やすみ肉溶接に限定され，面接合は不可能である．接合技術のうち，ろう付接合は複雑形状や精密部品でも接合しやすく，接合部に形成されるフィレットにより気密性，水密性に優れた継ぎ手が得られるなどの特徴があり，広い分野で応用されている．また異種金属同士の接合では，金属間化合物や中間層が発生するような材料の組み合わせでも，ろう材を介することで接合が可能になるという特徴を持っている．

前報[1]では，純チタンとSUS304のろう付を行い，接合条件と接合強度および反応層の生成状況に関する基礎的知見を得た．

そこで本研究では，チタン合金とステンレス鋼の接合技術の適応範囲を広げる目的で代表的チタン合金の一種であるTi- 6 %Al- 4 %V合金とステンレス鋼SUS316合金の銀ろう（Ag-28%Cu合金）による接合を試み，接合強度と接合界面における反応層の形成状況の関係について検討を行った．

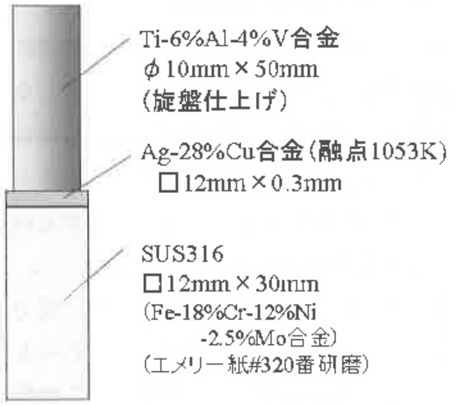


図1　接合実験概略図

*　株式会社　ミラプロ

表１　接合条件

接合材料	Ti-６％Al-４％V合金
	SUS316合金
ろう材	Ag-28％Cu合金　t：0.3mm （融点1053K）
加熱温度	1063K,1083K，1103K
保持時間	1.8Ks

２．実験方法

供試材には，代表的なチタン合金のひとつであるTi-６％Al-４％V合金（以下チタン合金）およびステンレス鋼SUS316合金（以下SUS316）を用いた．チタン合金は，直径10mmの丸棒を長さ約50mmに旋盤加工したものを，SUS316は13mm×13mm×30mmに切断後，接合面をエメリー研磨紙＃320番で研磨し，それぞれをアセトン中で超音波脱脂洗浄した後，接合を行った．

ろう材は市販の厚さ0.3mmmの銀ろう（Ag-28％Cu合金）を所定の大きさ（約12mm×12mm）に切断したものを用いた．接合は，図１に示す形状に配置し，真空雰囲気（2×10^{-2}Pa）中で加熱し，接合を行った．接合条件は，前報の最適条件を考慮し，表１に示す条件で行った．

得られた接合試験片について，接合条件ごとに万能材料試験機UTC-30T（㈱ORIENTEC社製）により接合強度の測定を行った．この接合強度の測定では，フィレットは加工せず，破断荷重をチタン丸棒の断面積（約78.5mm²）で除した値を接合強度とした．また接合部の界面反応の解析は，接合部断面のミクロ組織観察とEPMA分析（日本電子㈱製JXA-8900RL）により行った．

３．結果および考察

接合実験を行ったところ，ろう付部にはフィレットが形成され，銀ろうとチタン合金，SUS316のいずれともぬれ性が良いことがわかった．

図２に接合強度測定結果を示す．接合強度は，接合温度の上昇とともに向上する傾向がみられ，1063Kで210～290MPa程度から1103Kでは300～350MPa程度まで上昇した．

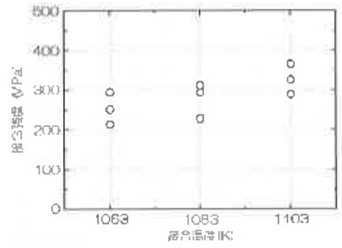


図２　接合温度と接合強度の関係

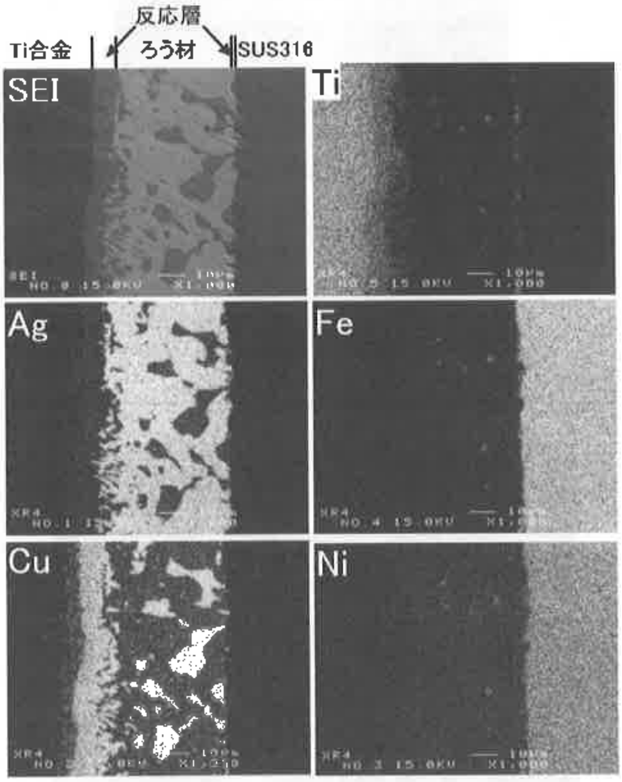
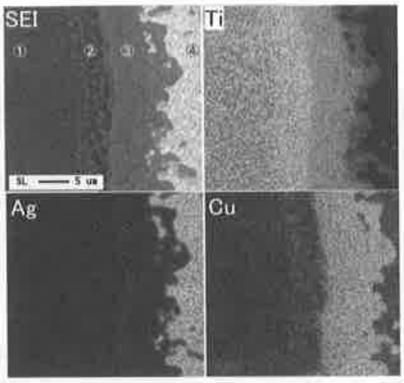


図３　銀ろう接合部の元素分布状況

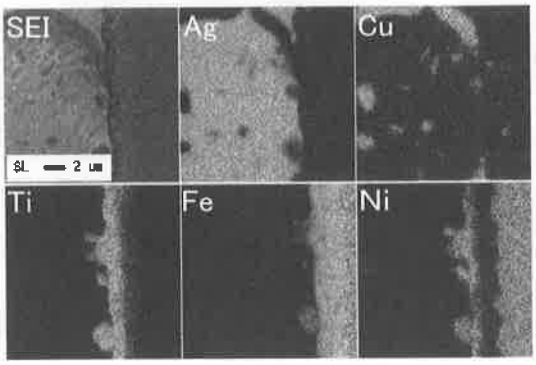
接合状況を確認するために1063Kで接合した試験片の接合部断面を観察した結果と同位置での元素分布測定結果を図３に示す．

銀ろう-チタン合金界面では，５μm程度の反応層を確認することできるが，銀ろう-SUS316界面では，わずかにTiの分布が確認でき，このことから反応層が形成されていると考えられるが，Ti合金側と比較するとごく薄いものである．この反応状況を詳細に解析するためにそれぞれの界面部分を拡大し，元素分布を測定した結果を図４に示す．

銀ろう-チタン合金界面の反応層は，Ti,Ag,Cuにより構成され，それぞれの元素分布状況からTi合金中へのAg，Cuの拡散層，Ti-Cuを主体とする反応層，銀ろう中へのTiの拡散層により構成されていると考えられ，このことから銀ろうとTi合金との合金化反応は進行しやすいことがわかる．またこの付近の硬度をマイクロビッカース硬度計（荷重５gf）で測定したところ，図４（ａ）中の①Ag，Cuが拡散したTi合金部では約420HV，②Ti-Cuの反応層は約450HV，③Tiが拡散した銀ろう部では約400HVであり，Ti合金素材の320HV，④銀ろう中央部の約100HVと比較し，いずれも高硬度であった．一般に異材接合する際の留意事項として，接合部界面に生成する金属間化合物層，中間層は接合部の信頼性を左右する因子として重要視される[2]．銀ろう中のCu成分とTi合金では，Cu-Ti系状態図[3]より複数の金属間化合物を生成するため，この界面における反応



（a）銀ろう-Ti 合金界面



（b）銀ろう-SUS316界面

図4　銀ろう-被接合部界面の元素分布状況

層は，強固な接合状況を生む一方で接合部の信頼性を低下させる要因と考えられる．

一方，銀ろう-ステンレス合金界面間では，1 μm程度のTi-Fe-Niを主体とした反応層が形成されていることが確認できる．前報の純チタンとSUS304合金の銀ろう接合では，銀ろうとSUS304間に界面反応に伴う反応層が形成されることを報告したが，チタン合金とSUS316合金についても同様の反応層が形成されることが確認できた．

この反応層の生成状況と接合強度の関係を明らかにするため，銀ろう-SUS316界面間の合金化反応を変化させる目的で，銀ろう-SUS316間にCu箔，Ag箔を挿入し，同様の接合実験を行った．

図5は，金属箔を挿入して接合を行った試験片の接合強度測定結果である．Cu箔を挿入した場合では，接合温度1063K～1103Kの範囲で接合強度350MPa以上であり，銀ろうのみで接合した場合と比較し，低いろう付温度域で接合強度の改善が認められた．一方Ag箔を挿入した場合では，接合温度1103Kの場合でも接合強度は200～300MPa程度であり，同条件の銀ろうのみで接合した場合と比較して低い値となった．

このことについて検証するため，それぞれの接合部断面の観察と元素分布状況を測定した結果を図6に示す．

Cu箔を挿入した場合，銀ろう-SUS316界面にTi-Fe-Niに

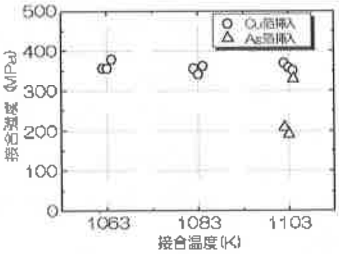
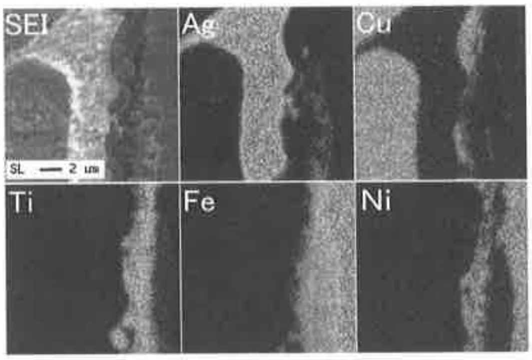
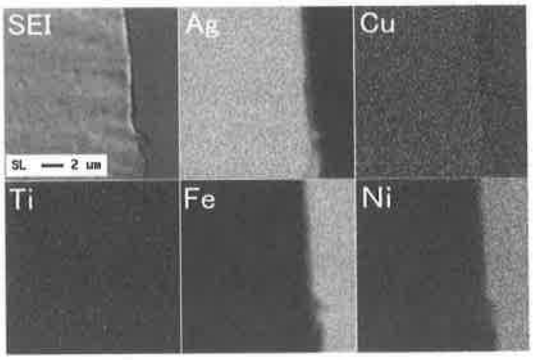


図5　接合温度と接合強度の関係
（金属箔を挿入した場合）



（a）Cu箔を挿入した場合



（a）Ag箔を挿入した場合

図6　銀ろう-SUS316 接合界面の元素分布状況

よる反応層が形成されていることが確認でき，反応層厚さは，銀ろうのみで接合した場合と比較し，約2 μm程度と厚くなっている．一方，Ag箔を挿入した場合では銀ろう-SUS316界面で反応層が形成されていない．

また強度試験後の破面観察結果と破面表面の元素分析結果を図7に示す．銀ろうのみ，Cu箔を挿入した試験片では，Ti合金側，SUS316側いずれの面も同様の表面形態であり，また検出された元素は，両面とも銀ろうに由来するAg，CuとTi合金からの拡散によるTiおよびSUS316に由来するFe，Cr，Niであり，このことから接合部の破壊は，銀ろう-SUS316界面の反応層で起きていると推察できる．

一方，Ag箔を挿入した試験片では，SUS316側の破面に接合前の前処理で行ったエメリー研磨痕が観察され，また

銀ろう表面にも研磨痕が転写されている．また元素分析結果からTi合金側破面からAgとCuが，SUS316側破面からはFe,Ni,Crとわずかに Ag，Cuが検出され，この結果から，Ag箔を挿入した場合では，界面反応はほとんど進行せず，銀ろうとSUS316界面で破壊することが明らかとなった．

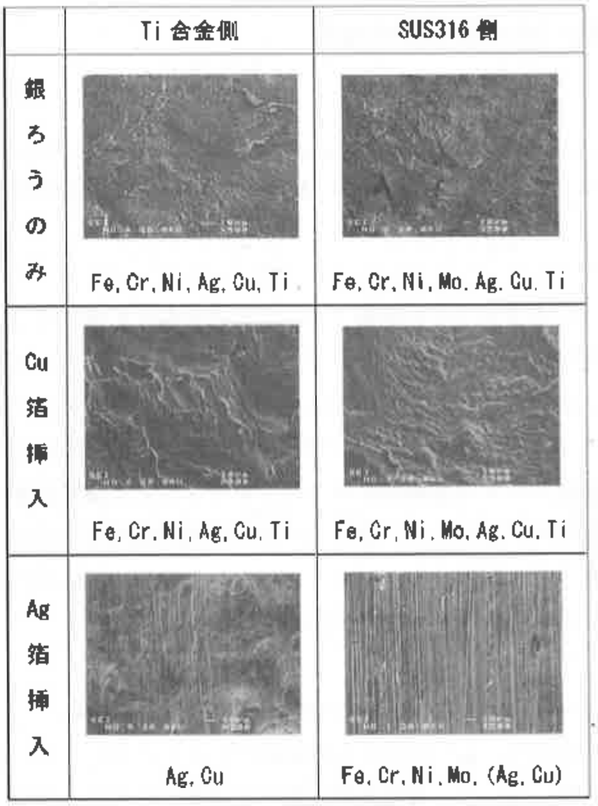


図７　接合実験後の破面観察結果と表面分析による検出元素

このことから，Cu箔を挿入した場合では，銀ろう-SUS316界面で反応層の形成が促進され，このことが接合強度の上昇に結びついたと考えられ，Ag箔を挿入した場合では，界面の合金化反応がほとんど進まなかったために接合強度が向上しなかったと考えられる．

４．結　言

Ti-６%Al-４%V合金とSUS316合金を銀ろうによりろう付接合を行った．その結果，次のような成果が得られた．

１）チタン合金，SUS316は，銀ろうと良くぬれ，良好なフィレットを有する接合部が得られた．

２）接合温度1063Kでの接合強度は210～290MPaであり，接合温度を1103Kとすることで接合強度は約350MPaまで上昇した．

３）銀ろう-SUS316間にCu箔を挿入し，同様に接合したところ，銀ろう-SUS316間の界面反応が促進され，接合温度1063Kにおいても接合強度は360MPa程度まで向上した．

４）Ag箔を挿入した場合では，銀ろう-SUS316間で反応層は形成されず，接合強度は向上しなかった．

参考文献

１）宮川，勝又，石田，杉崎：山梨県工業技術センター研究報告，No.18，P48-50（2004）

２）（社）溶接学会：溶接・接合便覧，丸善株式会社，P455（1990）

３）長崎，平林：二元合金状態図集，アグネ技術センター，P142（2001）