

異種材の接合技術に関する研究

—金属とセラミックスの接合技術—

鴨志田 武* 井坂 昭雄**

1. はじめに

近年、製品の高精度、高信頼性、高機能等の要求がますます強くなっている傾向にある。このような現状に対応するには新素材の機能を利用する方法が数多く試みられている。

新素材であるファインセラミックスは、金属に比べ耐熱性、耐食性及び耐摩耗性等に優れているが反面、脆性が高く脆いため単体で用いるには向いていない。また、機械加工が困難等の欠点もある。

しかし、セラミックスの短所を金属の長所で補えばセラミックスを高機能材として使用出来る。

金属とセラミックスを複合材として使用するには、接合する必要がある。接合法には、機械的結合方法、中間材法、直接接合法等がある。本研究は、活性金属ろう材を用いた直接ろう付け法でセラミックス(アルミナ)と金属(42%Ni 合金)の接合を試み接合に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

実験に使用した材料は、セラミックス 92%アルミナ、金属ニッケル合金(42%Ni 合金)を用いた。

また、接合材の大きさは、アルミナ 25mm×25mm×10mm、金属φ8×50mm とした。

ろう材は、市販の活性金属ろう材を使用した。その成分を表1に示す。

表1 ろう材の成分

ろう材	INCUSIL—ABA	CUSIL—ABA	CU—ABA	CUSIN—ABA	クラッド(Ni—Ti—Ni)
組 成	52 %Ag 12.5%In 27.25%Cu 1.25%Ti	63 %Ag 35.25%Cu 1.75%Ti	92.75%Cu 2 %Al 3 %Si 2.25%Ti	62 %Ag 35.25%Cu 1.75%Ti 1.0 %Sn	76%Ti 24%Ni
ろう付け条件	700～ 750℃	830～ 850℃	1025～1050℃	830～ 850℃	1000～1050℃

*機械金属部 **新技術応用部

2.2 接合装置及び接合方法

接合は、真空雰囲気炉を用い図1のような方法で接合した。

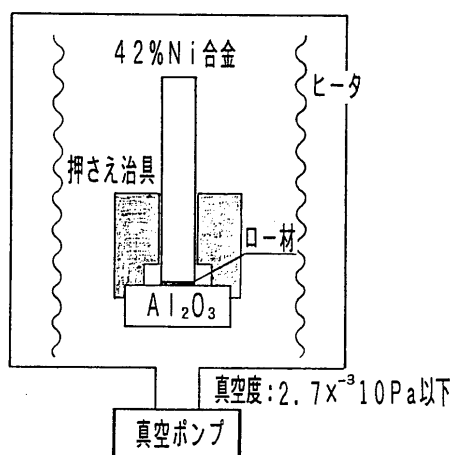


図1 接合方法

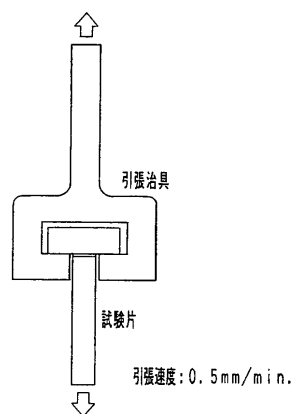


図2 引張試験方法

2.3 濡れ性試験

濡れ性試験は、ろう材、真空度、前処理を変化させアルミナとろう材の接触角 θ から濡れ状態を観察した。ろう材は $\phi 0.5\text{mm}$ のものをを用いた。

2.4 接合部の評価

接合部の強度評価は、インストロン型試験機を用い引張強度を測定した。引張力法は図2に示す方法で行った。引張速度は 0.5mm/min である。

接合面解析は、EPMAを使用し接合状態及び元素分布や拡散状態について調べた。

3. 結果

3.1 セラミックスの濡れ性試験

ろう付けによる接合で良く接合できる条件としては接合材とろう材が良く濡れることが重要である。

そこで、真空加熱炉において焼成のまま、PVDによるTiメタライズ、Mo-Mnメタライズ品についてそれぞれ濡れ性を比較した。結果を図3に示す。BAg-8はアルミナに対して接触角： $\theta=180^\circ$ と全く濡れ性を示さない。

活性金属ろうは($\theta=5\sim 10^\circ$)と濡れ性を示すが

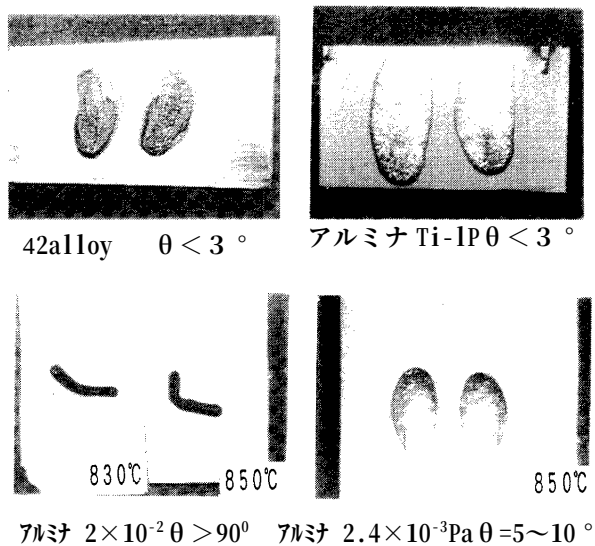


図3 濡れ性試験結果

性を示すがメタライズしたもの($\theta < 3^\circ$)に比較してぬれ性はやや劣る。試験した CuSi1, InCuSi1 に大きな差はみられない。また、ぬれはろう付け時の真空度が大きく影響することがわかった。良好なぬれ性を得るためには少なくとも 1.33×10^{-2} Pa 以下の真空度が必要である。それ以上になると Ti が酸化されぬれ性は悪化する。

3.2 ろう材の種類と強度

ろう材 6 種類, 厚さ(0.1mm)について真空雰囲気下で接合を行い引張試験を行った。その結果を表 2 に示す。また、同一ろう材で厚さを変化した場合の結果を表 3 に示す。

活性金属ろうは、メタライズしたものに比較すると強度は低い。活性金属ろうの種類によっても差が見られた。ろう付け温度が低いほど強度が高い傾向を示した。活性金属ろうでは 2.35~最大 46N/mm² の引張強度を得た。

その中でも特に強度の低かった CUSIL-ABA について接合界面を分析した結果を図 4 に示す。その結果、金属側の Ni が粒界から脱落し Ni-Ti 相を形成していることがわかった。このことから本来セラミックとの界面反応に寄与すべき Ti 成分が少なくなり強度が小さくなったと思われる。このことはセラミックとろう材の界面から破断していることから裏付けられる。

ろう材の厚さが薄い程強度は高くなる傾向にある。

その他に同一ロットでの強度のばらつきが大きい。これは引張時の芯ずれなどによる応力集中などによるものと思われ強度の評価法についても十分考慮す

表 2 ろうの種類と引張強度

ろう材の種類	ろう付け温度 (°C)	保持時間 (min)	真空度 (Pa)	引張強度 (N/mm ²)	破断箇所
CU -ABA	1,035	15	1.9 $\times 10^{-3}$	10.1 13.3 14.6	セラミック部 " "
CUSi1 -ABA	840	15	2.3 $\times 10^{-3}$	3.5 2.4 6.2	接合部界面 " "
CUSiN -ABA	840	15	1.3 $\times 10^{-3}$	29.4 16.8 11.2	一部セラミック 接合部界面 "
Incusil -ABA	740	15	2.0 $\times 10^{-3}$	18.9 46.2 36.4	30%セラ部 70%セラ部 "
Ni-Ti-Ni クラッド	1,030	15	2.5 $\times 10^{-3}$	18.2 5.1 5.4	セラミック部 " "
Mo-Mn メタライズ BAg-8	840	15	1.6 $\times 10^{-3}$	219.2 175.0 221.0	セラミック部 " "

※ろう材の厚さ: 0.1mm

表 3 ろうの厚さと引張強度

ろう材の種類 と厚さ (mm)	ろう付け温度 (°C)	保持時間 (min)	真空度 (Pa)	引張強度 (N/mm ²)	破断箇所
CUSi1 -ABA 0.1t	840	15	2.3 $\times 10^{-3}$	3.53 2.35 6.17	接合部界面 " "
CUSi1 -ABA 0.075t	840	15	2.0 $\times 10^{-3}$	9.90 7.84 28.03	接合部界面 " "
CUSi1 -ABA 0.05t	840	15	1.7 $\times 10^{-3}$	9.80 21.07 15.39	接合部界面 " "

ることが必要である¹⁾。そのほかの原因としては接合表面の状態(表面粗さ, 清浄度など) が影響していると思われる。

3.3 ろう付け温度及び内部応力の影響

CU-ABA, Ni-Ti -Ni ろう材は接合界面は強固に接合しているにも関わらずセラミック部から破断して強度は低い。これは, ろう付け温度が高いことに影響していると思われる。温度が高いほど両者の熱膨張率の差からセラミックの内部応力が大きくなり強度が低くなる。接合温度の低い Incusil-ABA の強度が 1 番高いことから残留応力が強度に大きく影響していることが推定される。

セラミックスと金属の接合体の場合, それらの熱膨張の差は固着温度, 材料の弾性係数等により異なるが多くの実験値から下記の範囲が最適とされている²⁾。

$$-5 \leq \alpha_M - \alpha_C \leq 10$$

α_M : 金属の熱膨張係数($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)

α_C : セラミックスの熱膨張係数
($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)

今回使用した材料の場合 42Ni 合金 $119 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, アルミナ $85 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ でその差は 34 であり上記の範囲からはずれている。このことから高い強度を得るためには何らかの方法で応力を緩和する必要がある。

3.4 セラミックの表面状態の影響

引張強度の 1 番高かった Incusil-ABA ろう材についてセラミックの表面を研磨して強度を比較した。表面を研磨したものは $76.4\text{N}/\text{mm}^2$ と高い強度を得た。全体的に

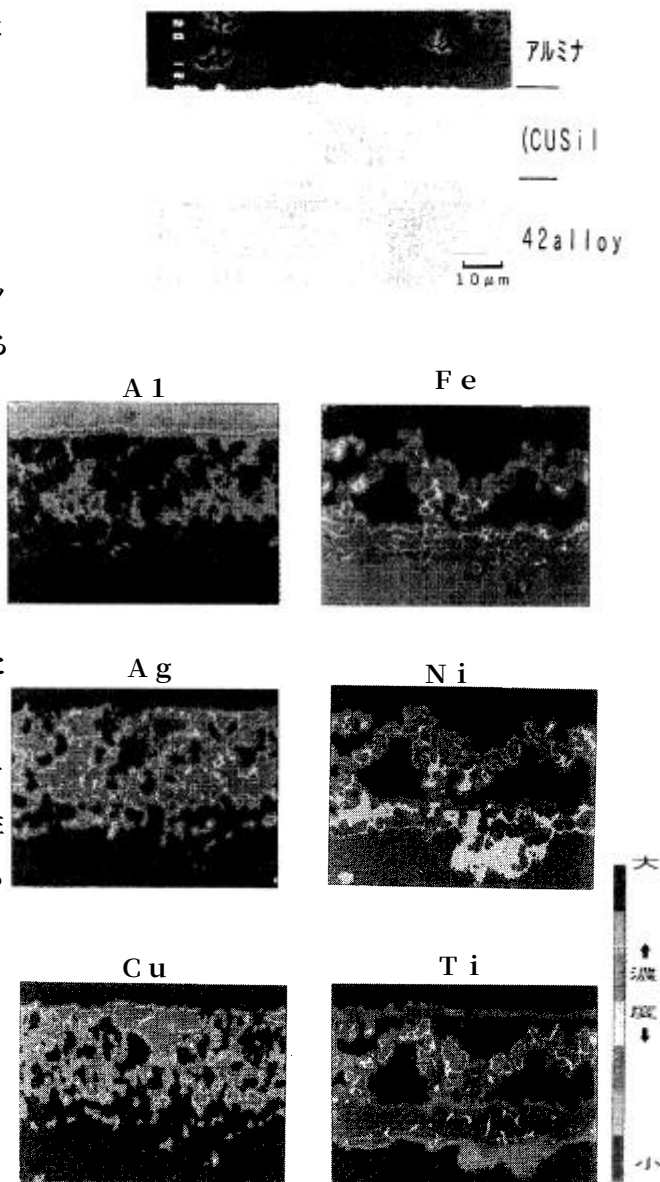


図 4 接合部の断面組織(CUSil 0.075mm)

表 4 表面状態と引張強度

表面仕上げと粗さ (Ra)	ろう付け温度 (°C)	保持時間 (min)	真空度 (Pa)	引張強度 (N/mm ²)	破断箇所
焼成のまま 1.11 μm	740	15	2.0×10^{-3}	18.91	30%セラミック部
				46.16	70%セラミック部
				36.36	70%セラミック部
ラップ仕上げ 0.47 μm	740	15	2.0×10^{-3}	50.18	40%セラミック部
				51.45	80%セラミック部
				76.64	90%セラミック部

研磨したものは焼成のままのものよりも高い強度を示した。そのときの表面状態を図5、試験結果を表4にそれぞれ示す。

研磨したものの強度が高くなる原因としては表面研磨により微細な表面クラックが押さえられたためと思われる。

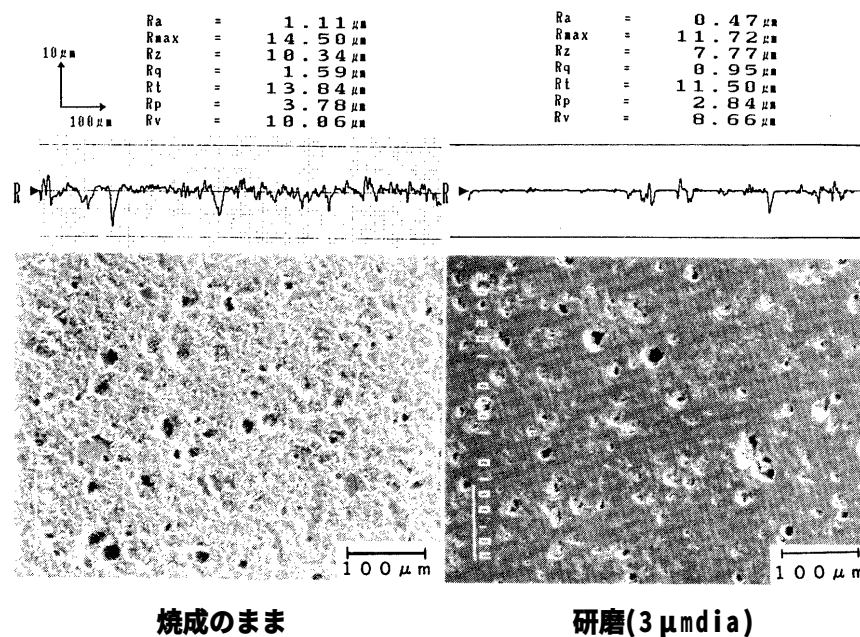


図5 面粗さと表面状態

4. まとめ

活性金属ろうによる直接接合について検討した結果以下のようなことが判明した。

- 1) 活性金属ろう材による直接接合では、 $1.33 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 以下の真空度が必要である。
- 2) アルミナと42%ニッケル合金の直接ろう付けにより最大 76.6N/mm^2 の強度を得た。
- 3) セラミックス表面状態は、強度に影響を及ぼし表面粗さの小さい方が強度が高くなる。
- 4) 熱膨張係数に差がある場合ろう材の接合温度が低い程強度は高くなる。
- 5) 引張強度試験の信頼性を高めるためには、偏荷重を防止する工夫が必要である。

参考文献

- 1) 最近のろう接・拡散接合技術 溶接学会界面接合研究委員会編, 169~171
- 2) ファインセラミックス成形・加工と接合技術 ファインセラミックス成形・加工と接合技術編集委員会編, 208