

セラミックス/金属接合強度と相手金属の材料特性との関連

Relationship between Bonding Strength and Plastic Behavior of Metal in Ceramics to Metal Joint

梶将季¹⁾

指導教員 立野昌義²⁾

1) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻 材料力学研究室

2) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：異材接合体，接合界面，残留応力

1. 緒言

近年，製品の高度化に伴い，様々な性能を同時に満たす異材接合体が注目されている．異材接合体には様々な材料の組み合わせが報告される中で，耐熱性・耐摩耗性など様々な機械的強度が要求される部分にセラミックスの適用されるようになり，セラミックスを部分的に適用するセラミックス/金属接合体が開発されている．広範囲に優れた特性を有するセラミックスは，広い分野での機能用，構造用材料としての活用が今後も期待され，一部半導体基板などに実用化された接合構造体も存在する⁽¹⁾⁻⁽²⁾．セラミックスの利点を最大限に活かし，欠点を補える異材接合体の開発の重要性は今後も継続するものと考えられる．セラミックス/金属接合体材料の中には，中間材として軟質材料である銅が用いられるものもあり，これらを用いた実験および数値解析などを扱った研究例などが多数報告⁽¹⁾⁻⁽²⁾されている．しかしながら，セラミックスを含む接合体強度を支配する要因の一つである接合界面端部の力学的特性に関連する信頼性確保に関連する課題は多い．セラミックス/金属接合体における接合界面端セラミックス側には引張り残留応力が生じ，接合体強度の特性に著しい影響を与えることが確かめられている．また，接合相手となる金属材料による接合体強度特性の詳細に関しては実験的には未だ明らかにされていないと考えられる．金属材料は降伏後の塑性挙動すなわち

加工硬化特性がセラミックス側界面端近傍の応力や実際の強度にどのように関わるかの対応付けは，セラミックスの加工の難しさから，実験的に明らかにされていないのが現状である．セラミックスを含む接合体における最適設計の観点から，上記を明らかにすることが必要となると推察される．

本研究では，窒化ケイ素/銅接合体試験片，窒化ケイ素/ニッケル接合体試験片を対象として，接合体強度と接合処理温度との関係をまず確認した．上記結果に基づき材料特性の違いが接合体強度特性に及ぼす影響について考察することを試みる．

2. 実験方法

窒化ケイ素/銅接合体試験片($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$)，窒化ケイ素/ニッケル接合体試験片($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$)を対象とした異種材料接合を行う．セラミックスは導電性窒化ケイ素 Si_3N_4 ，金属は Cu(銅(ニラコ株式会社))，Ni(純ニッケル(株式会社 NEOMAX マテリアル))を用いた．試験片切り出しはワイヤーカット放電加工機 ROBOCUT α -0C (FANUC 株式会社)を用い加工を行った．

接合体界面と自由表面のなす角を界面端角度と定義し，セラミックス側を φ_1 ，金属側を φ_2 として界面端角度操作をいずれも直角に設定した．試験片形状を Fig. 1 に示す．試験片接合には赤外線ゴールドイメージ炉(アルバック理工株式会社)を使用し，活性金属ろう付法により接合を行った．相手金

金属材料に銅を使用する場合のろう材は Incusil-ABA (59Ag-12.5In-27.25Cu-1.25Tiwt% 合金) (WESGO 製), ニッケルを使用する場合のろう材は Cusil - ABA (63Ag-35.25Cu-1.75Tiwt% 合金) (WESGO 製), ろう材の厚さはともに 0.05mm を用いた。銅の接合温度は $650^{\circ}\text{C} \leq T \leq 850^{\circ}\text{C}$, ニッケルの接合温度は $780^{\circ}\text{C} \leq T \leq 980^{\circ}\text{C}$ で行った。製作した異材接合体は引張試験機 LITTLE SENSTER (JT トーシ社製) を用いて, クロスヘッドスピード 1mm/min の条件にて引張試験を行った。

窒化ケイ素/銅接合体と窒化ケイ素/ニッケル接合体強度の接合処理温度依存性を実験より明らかにした。

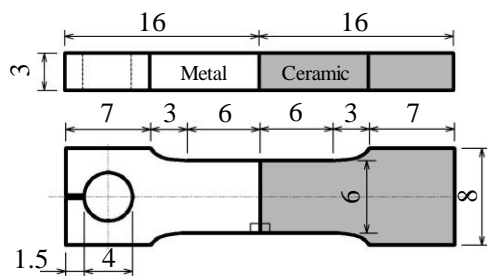


Fig. 1 Specimen shape

3. 実験結果と考察

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$ 接合体および $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$ 接合体を対象として, 接合体強度に及ぼす接合処理温度の影響を確認した。その結果の代表例を Fig.2 に示す。 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$ 接合体の結果では, 接合処理温度条件が $T \approx 650^{\circ}\text{C}$ 近傍を境界として, この温度未満では, ろう材とセラミックス側の界面で剥離した形跡が確認でき, 高温側ではセラミックス側界面端部を起点とした破壊様式が確認できた。 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$ 接合体でも上記と同様破壊様式が遷移する温度が確認できた。

上記結果から, 界面端部セラミックス側で破壊した接合体の界面結合力は十分に確保され, 接合体強度は界面端部セラミックス側の残留応力が支配すると推察される。この残留応力で強度が支配される接合処理温度領域では, 接合体強度の接合

処理温度依存性は, 材料の組み合わせで異なることを実験的に確認した。セラミックス側接合界面端の応力分布には, 金属側の弾性係数や塑性変形挙動や加工硬化特性が関与する。接合処理後の温度変化量および金属材料の降伏応力を考慮すれば, 接合体強度の温度依存性には接合相手金属の塑性挙動が界面端応力分布に影響する可能性が高いと考えられる。

4. 結言

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$ 接合体および $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$ 接合体を対象にして, 接合体材料の組み合わせ毎に残留応力が接合体強度を支配する接合処理温度条件を明らかにした。残留応力で強度が支配される接合処理温度領域では, 接合体強度の接合処理温度依存性の傾向は, 材料の組み合わせで異なることを実験的に明らかにした。

5. 参考文献

- (1)川崎 亮, 渡辺龍三, 島田平八, 鈴木英夫, レーザースペックル法による金属-セラミックス接合界面におけるひずみ分布の測定, 日本金属学会誌第 50 巻第 12 号 (1986) 1056-1060
- (2)高橋 学, 岡部永年, 平田英之, 白木尚人, 小林英男, セラミックス/金属接合部材の破壊強度データベースと強度解析, 材料 51(1), 61-67, 2002-01-15, 社団法人日本材料学会

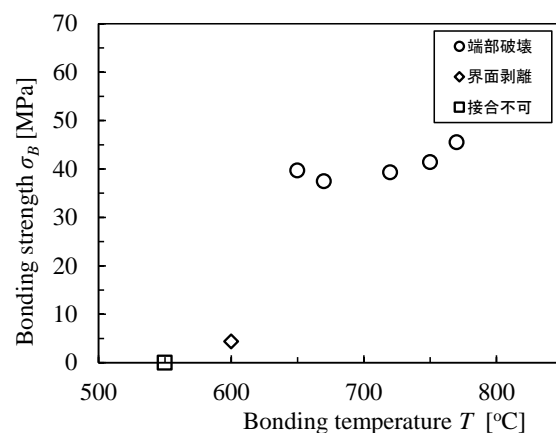


Fig. 2 Relationship between Bonding strength and bonding temperature conditions in case $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$