

# セラミックス／金属接合体強度の材料組み合わせと接合処理温度の依存性

## Dependence of Strength in of Ceramics/Metal joint systems on Bonding Temperature Conditions And Materials Combinations

梶 将季<sup>1)</sup>, 輿水 拓海<sup>1)</sup>  
指導教員 立野 昌義<sup>2)</sup>

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻  
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組み合わせが報告される中で、多くの機械的強度が要求される部分に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<sup>(1)</sup>。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する課題は多く存在する。セラミックス／金属接合体におけるセラミックス側界面端部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<sup>(2)</sup>。接合相手となる金属材料特性による接合体強度と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。

本研究では、セラミックス／金属接合体の強度の材料の組み合わせと接合処理温度の依存性を明らかにすることを試みた。窒化ケイ素／銅接合体、窒化ケイ素／ニッケル接合体を対象として、接合体強度と接合処理温度との関係を実験的に明らかにし、有限要素法解析による熱弾塑性解析結果から接合界面端近傍における残留応力分布に及ぼす接合体温度の影響を明確にし、実験結果と比較した。セラミックスの相手材料として用いる金属の材料特性の違いが界面端近傍に分布する残留応力および接

合体強度に及ぼす影響について考察した。

### 2. 数値解析

解析対象モデルは平面2次元  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体、 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$  接合体モデル（平面ひずみ）を想定し、基準とする解析モデルとして定めた。モデルを図1に示す。

界面接合界面近傍の要素数を増大させるため、界面端部を極座標の原点として、隣接要素寸法の比率を1:0.7に設定し、放射状に半径方向に20分割し、最小要素寸法  $r_{min}$  を基準のモデルにおける界面長さ ( $W$ ) に対して、 $r_{min}/W = 3.42 \times 10^{-4}$  に設定した。周方向には等間隔に9°毎に均等に要素分割した。このとき、接合モデル内の金属材料を材料定数が温度依存性を有する弾塑性体材料およびセラミックス材料の材料定数が温度依存性を有する弾性体と仮定した。接合モデルの両材料を均質等方性材料と設定し、無応力・無ひずみの状態。接合処理温度で界面が完全に結合した状態から一様に常温まで温度変化  $\Delta T$  させたときに生じるセラミックス側界面端近傍の熱残留応力を汎用有限要素法解析プログラム MSC.Marc を用いて明らかにした。

得られた数値解析結果を本解析モデルと同一な形状を有する  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体、 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$  接合体の引張り強度の温度依存性を比較し、応力分布と接合体強度の温度依存性について明らかにすること

を試みた。

### 3. 実験方法

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$  接合体,  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体試験片を活性金属ろう付け法により製作し, これらを対象とした強度評を行なう。セラミックスは日本タングステン社製の導電性窒化ケイ素, 金属は市販の純銅, 純ニッケルを用いた。

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  $\phi_1$ , 金属側を  $\phi_2$  として界面端角度操作をいずれも直角に設定した。試験片形状を図 2 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, 活性金属ろう付け法により接合を行った。相手金属材料に銅を使用する場合のろう材は WESGO 製の Incusil-ABA, Cusil-ABA, 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り試験機(JT トーシ社製 LITTLE SENSTER)を用いて, クロスヘッドスピード 1mm/min の条件にて引張り試験を行った。

その後, 破壊した試験片の界面の破断面をマイクロスコープ(KEYENCE 社製 VHX-100)で観察した。

### 4. 実験結果および考察

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$  接合体および  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体を対象として, 有限要素法を用いた熱弾塑性解析結果である接合処理温度と接合界面端セラミックス側に生じる熱応力の関係調べた。接合界面端近傍セラミックス側に生じる熱応力は, いずれのモデルにおいても界面端近傍で応力の特異性が生じた。ただし, 热応力分布の接合処理温度の依存性は金属材料によりその特徴が変わる。その特徴を簡潔に評価するため, 界面端近傍の節点から出力される応力を評価対象として, セラミックス側熱応力に及ぼす接合処理温度の影響を図 3 に示した。この結果から,  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体では, 接合処理温度の増加に伴い, 热応力は上昇することが確認できた。その一方で,  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$  接合体の熱応力は,  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体のそれに比較して, 接合処理温度変化に対して変化が少

なく, ほぼ一定と見做せる。以上の数値解析結果を材料の組み合わせ毎の接合体強度の接合処理温度依存性と対応させ, 材料特性が異なる組み合わせの接合体強度特性について考察した。

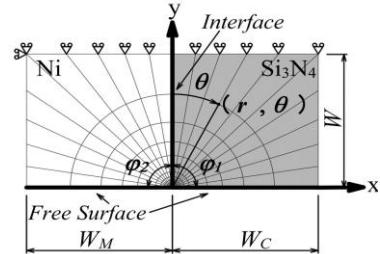


図 1 数値解析モデル

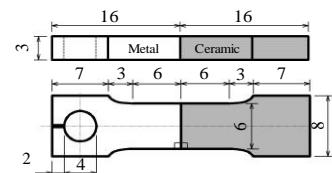


図 2 試験片形状

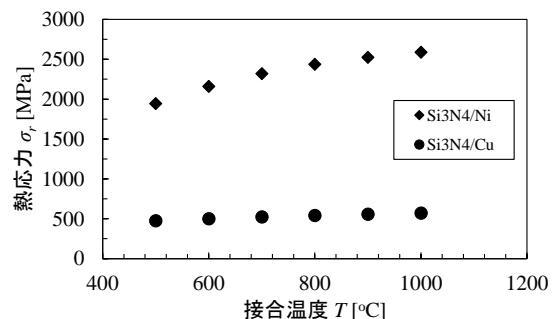


図 3 材料別接合体の温度依存性

### 5. 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により接合体強度特性が異なることが確認できた。強度特性には残留応力が関与し, 接合処理温度領域で, 材料の組み合わせで異なる強度特性を示した可能性を示した。

### 6. 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一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 卷第 12 号 (1986) 1056-1060
- [2] 井上忠信, 久保司郎, “異材界面端の熱応力場”, 材料, Vol. 48, No. 4, p. 365-375 (1999)