

# 接合体強度と破壊様式の界面端形状の依存性

## Dependence of Fracture Strength And Fracture Patterns on Interface Edge Shape of Bonded Dissimilar Materials

高橋 伸弥<sup>1)</sup>, 梶 将季<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, 接合界面, 残留応力

### 1. 緒言

近年, 製品性能の高度化に伴い, 様々な特性が同時に求められている<sup>[1]</sup>. この異種接合体の問題点として, 接合体の強度が低下する力学的問題点が存在する. この要因として挙げられるのが, 金属とセラミックで両者の物性値の違いにより, 接合処理時における冷却過程においてセラミック側界面端近傍に引張りの残留応力が発生することが, 接合体強度に影響を及ぼしていると考えられる<sup>[2][3]</sup>. 接合体の信頼性を確保するためには, 界面端付近の残留応力を低減することが必要です.

本研究では, これまで確認されていなかった880℃の接合処理温度で接合された窒化ケイ素/ニッケル接合体を対象とし, 破壊強度, 破断面の様子, 界面端形状の影響を明らかにした. さらに, 応力分布の界面端形状への依存性についても解析を行い, 両者を比較することで強度向上に有効な界面端形状を検討した.

### 2. 数値解析

解析対象モデルは平面二次元  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  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た状態で,  $r$  方向の隣接要素寸法の比率を 1 : 0.7 に設定し, 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  $9^\circ$  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・無ひずみの状態で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界面端形状を有する  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体の引張り強度の界面形状依存性を比較し, 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.

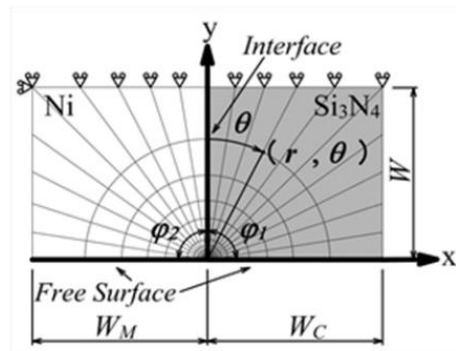


図1 数値解析モデル

### 3. 実験方法

本実験では界面結合力が確保されている  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ni}$  接合体試験片を対象として、界面端修正に伴う接合体引張り強度の影響を明確にする。

セラミックスには日本タングステン社製の窒化ケイ素、金属は市販の純ニッケル材料を用いた。実験に用いる試験形状は図2に示す。なお、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 $\varphi_1$ 、ニッケル側を $\varphi_2$ とした。界面端角度は、セラミックス側界面端角度 $\varphi_1$ を直角に一定にしたまま、ニッケル側界面端角度 $\varphi_2$ を $30^\circ \sim 180^\circ$ の範囲に設定した。

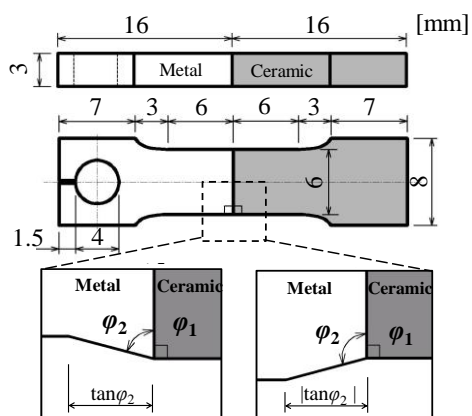


図2 実験に用いる試験片形状

試験片の接合処理には赤外線ゴールドイメージ炉（アルバック理工社製）を使用し、活性型ろう材を用いて接合を行った。ろう材はCusil-ABA(WESGO製)、融点 $815^\circ\text{C}$ 、厚さ $0.05\text{mm}$ を用い、接合処理温度は $780^\circ\text{C} \sim 980^\circ\text{C}$ の範囲の接合処理条件で行った。製作した異材接合体試験片は引張試験機（JT トーション社製 LITTLE SENSTER）を用いて、クロスヘッド速度 $1\text{mm}/\text{min}$ の条件下で引張試験を行った。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

破壊様式の代表例を図3に示す。この図には引張り試験後の破断面画像を示し、界面端部のセラミックス側から破壊した接合体の金属側破断面の例を示す。界面端部のセラミックス側から破壊し

た接合体はセラミックス側界面端の残留応力により接合体強度が支配され、界面端部でろう材とセラミックス界面に剥離が見られた破壊様式では、界面の結合力により強度が支配されたと推測される。この破壊様式により、セラミックス側界面端部の残留応力起因で破壊した領域では、熱弾塑性解析結果から得られる考察が適用できると考えられ、実験結果と数値解析の結果を比較した。その結果、接合体強度の界面端角度依存性は、界面端部応力集中の界面端角度依存性と比較的良い一致を示した。さらに、界面端角度を $90^\circ$ 以下に設定する場合、最大接合体強度が発生した界面端角度付近で、破壊様式が界面端部のセラミックス側からろう材とセラミックス界面の剥離が確認できた破壊様式に遷移していたことが確認できた。

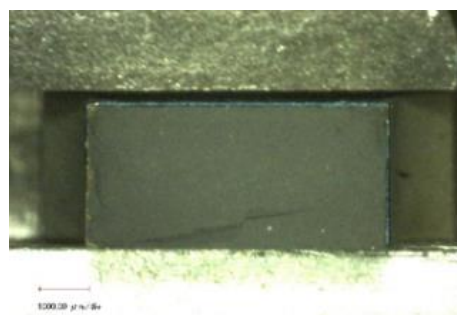


図3 接合処理温度 $880^\circ\text{C}$ の金属側破断面

### 5. 結言

破壊様式が遷移する領域の近傍で最大接合体強度で発生することを確認した。この領域に界面端形状を設定することが有効である。

### 6. 参考文献

- [1]中田一博, 牛尾誠夫, “異材溶接・接合ニーズと今後の技術開発の動向”, 溶接学会誌, Vol. 71, No. 6, p. 418-421 (2002)
- [2]岡部永年ほか, “セラミックス/金属接合構造体の強度信頼性評価 - 接合冷却過程での応力及び残留応力挙動における基礎的検討 -”, 材料, Vol. 49, No. 4, p. 461-467 (2000)
- [3]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)