

異材接合界面端修正による強度特性評価に関する基礎検討

Evaluation of Strength for Bonded Dissimilar Materials by Changing Interface Edge

橋本 隆斗¹⁾, 村岡 俊輔²⁾

指導教員 立野 昌義³⁾

1) 工学院大学 工学部学部機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻 3) 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、各種構造材料や製品において強度だけでなく、耐摩耗性・耐熱性などが同時に要求されるようになってきた。しかしながら、これらの要求を単一材料にて全て満たすことは困難である。そこで、異なる材料を接合し、互いの短所を補いながら、両材料の長所を活用できる異材接合体の開発が行われている。セラミックスと金属を接合する場合、高温で接合処理後の冷却過程において、熱膨張係数を含む物性値の違いにより接合界面端部には応力特異場（応力が無限大に発散する力学的特性）となることが予想される。実験結果からもセラミックス側の界面端部には大きな引張り残留応力が生じることで、接合体強度を著しく低下させることが知られている。理論弾性論に基づけば、応力特異性が消失するような界面端形状を選択することが有効である⁽¹⁾と指摘されている。したがって上記の力学的問題を解決する上で、接合体強度に及ぼす界面端部の修正効果を明確にしておくことが重要である。ただし、セラミックスと金属接合体試験片を対象とする際には、両材料の熱膨張量の違いによる接合処理時に微小な接合界面端部の不整合が生じる可能性も含む。セラミックス/金属接合体の界面端部修正効果を明確にする際には、接合界面に生じる局所の不整合の程度を明確にし、これらが接合体強度に及ぼす影響を事前に把握しておくことが、界面端修正効果を明確にする上で必要となる。

本研究では、窒化珪素/ニッケル接合体を対象とし、界面端形状を操作した接合体試験片の引張り強度と破断様式を明らかにする。事前検討にて局所に生じる接合界面不整合が接合体強度特性に与える影響を明確にし、接合界面端の幾何学形状の修正効果を明らかにすることを試みる。

2. 実験方法

2.1 実験概要（供試材および接合体引張り試験）

窒化珪素/ニッケル接合体を対象とし、界面端形状を操作した接合体試験片の引張り強度と破断様式を明らかにする。

本実験に用いたセラミック及び金属はそれぞれ日本タングステン(株)製導電性窒化珪素 Si_3N_4 および NEOMAX マテリアル(株)製ニッケル 99.9wt%Ni とした。界面端角度設定では、接合処理直後の界面と自由表面とが直交する異材接合体試験片をワイヤカット放電加工にてそれぞれの板材から所定の寸法に切り出し、ワイヤカット放電加工面を接合面としてそのまま接合処理に供した。

接合処理は、活性金属ろう付け法による接合処理を行った。接合条件は、界面結合力を十分に確保できる接合処理温度 $780^\circ\text{C} \leq T \leq 980^\circ\text{C}$ （真空雰囲気）、保持時間 10 分後炉冷とした。界面端角度 ϕ_1 および ϕ_2 は円弧状自由縁半径 R および円弧中心位置を変更することで設定可能である。なお切り出し直後のセラミックスおよび金属の界面端形状の寸法測定はマイクロメータおよび CCD マイクロスコープ (KEYENCE 製 VHX-100) の計測機能を用いて評価し、双方の計測結果はほぼ一致していたため、計測機器の計測機能を用いた測定値を用いて評価を行った。接合体強度に関しては、引張り試験により得た破断荷重を接合界面の面積で除した値を接合体強度 σ_B と定義し、評価に供した。引張り試験後の接合体試験片の破断様式は CCD マイクロスコープを用いて観察した。

2.2 予備実験（界面不整合の確認）

予備実験において製作した異材接合体試験片の概略図を図 1 に示し、接合前後の界面端寸法を計測し、局所の不整合の程度を明確にした。なお不整合分を小さく設定するため、金属板材をあらかじめセラミックスの界面幅に整合するように小さく設定し、接合処理を行った異材接合体試験片を用いて、接合体引張り強度に及ぼす界面端不整合の影響の確認実験に供した。

2.3 接合体強度に及ぼす界面端形状の影響

予備実験の結果から、界面不整合を極力減少させるように設定した異材接合体試験片を用いて、接合体引張り強度に及ぼす界面端不整合の影響を調べた。

界面端における接線とセラミックスおよび金属材料の界面とのなす角度を界面端角度 ϕ と定義し、セ

ラミックス側および金属側の界面端部角度をそれぞれ φ_1 および φ_2 ($\varphi_1 + \varphi_2 = \pi$) とした。なお、界面端部形状の調整は、自由縁半径 R を $R=W=6\text{mm}$ と一定とし、円弧中心位置を適切に設定することで、界面端角度を $40^\circ \leq \varphi_1 \leq 140^\circ$ に設定し、接合処理後の界面端形状を適切に修正した効果を確認した。なお接合処理後の界面端角度は CCD マイクロスコープ (KEYENC 製 VHX-100) で計測した実測値 (自由縁における実測円弧半径、開き角および実測円弧幅、実測円弧高さなど) に基づき算出される実測界面端角度を確認し、評価に用いた。実測界面端角度は設定値通りであった。接合体強度に関しては、引張り試験により得た破断荷重を接合界面の面積で除した値を接合体強度 σ_B と定義し、評価に供した。

3. 実験結果

3.1 界面不整合

異材接合体試験片の界面端の不整合の代表例を図 2 に示す。ここで界面不整合を“接合界面形成における両材料間に生じる隔たり”と定義し、接合体を正面から見据えた際に観察できる界面端と自由表面端の幅方向距離とした。

接合後の不整合は、接合前に同一寸法にした際には、ニッケル側がセラミックス側より必ず大きくな

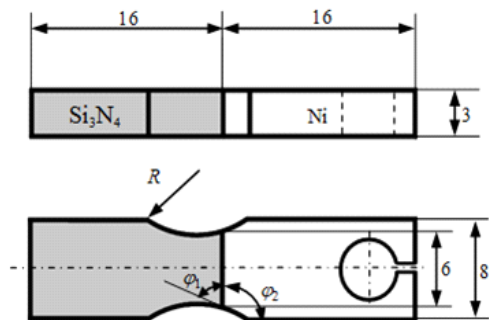


図 1. 異材接合体試験片概略図

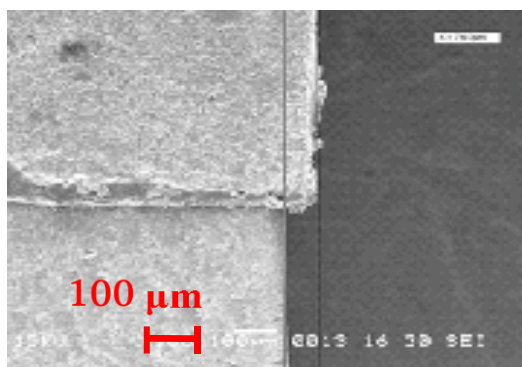


図 2. 界面端の不整合

ることが確認できた。形成される界面端の不整合は、接合処理温度に依存し、走査電子顕微鏡での観察結果から $100\mu\text{m}$ 未満であった。界面の不整合は接合処理温度に比例して増大する。さらに、界面の不整合に及ぼす接合体引張り強度に及ぼす界面不整合の影響を明らかにできた。なおこの結果では、界面の不整合による強度に及ぼす影響では、接合処理温度によっては不整合の有無で接合体引張り強度に変化しない温度域があることが確認できた。今後の接合体強度の精度向上を図るため、N 数を重ね検討する方針である。

3.2 接合体引張り強度に及ぼす界面端形状の影響

接合体強度に及ぼす界面端形状の影響を図 3 に示す。この図は、接合処理温度を 880°C に設定し、予備実験の結果から、接合界面端部の不整合の影響を排除するため、Ni 寸法をあらかじめ不整合を最小限になるよう Ni 側幅方向の界面端形状を調整した試験片を用いた。

これらの結果から、接合体強度に及ぼす界面端形状の影響を明確にできた。

4. 結言

本研究では、窒化珪素/ニッケル接合体を対象とし、界面端形状を操作した接合体試験片の引張り強度と破断様式を明らかにする。

事前検討にて局所に生じる接合界面不整合が接合体強度特性に与える影響を明確にし、接合界面端の幾何学形状の修正効果を明らかにした。

参考文献

- (1) 井上忠信, 久保司郎, “異材界面端の熱応力場”, 材料 Vol.48, No.4(1999), pp.365-375,
- (2) R.TOKUMOTO, S. MURAOKA, T. TOMINAGA, M. TATENNO, Effects of interface-edge angle on the bonding strength of a ceramics/metal joint with arc-free surface of interface edges, JOURNAL JSME, Vol. 6 Issue 3, pp 18-00566, 2019.

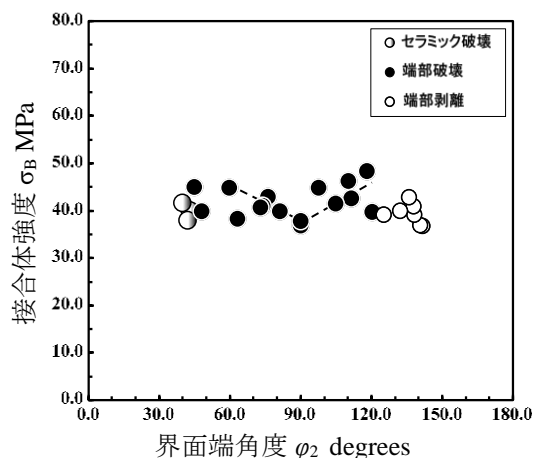


図 3. 接合体強度に及ぼす界面端形状