

異材接合材の接合後の機械加工による界面端形状設定に関する基礎検討

Investigation on interface edge shape machining after joining of bonded dissimilar materials

輿水拓海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

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

異なる材料を適材適所に用いることで、お互いの欠点を補い、利点を生かすことができる異材接合体が注目されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。耐熱性や耐摩耗性などが要求される部分にセラミックスが適用されるようになり、最適設計の観点からセラミックスを部分的に適用する異材接合体も検討されている。

しかしながら、セラミックスと金属を高温で接合する際の冷却過程により、セラミックス側の界面端部付近で残留応力が著しく増大する。この残留応力により接合体強度が著しく低下することが問題となる。セラミックスを含む接合体の最適設計の観点から、残留応力を低減させる必要がある。理論弾性論では、応力特異性を消失するような界面端形状は材料の組み合わせにもよるが、応力特異性を消失させるような界面端形状に設定することが残留応力低減に有効であると考えられる。セラミックス／金属接合体の実験に用いられる界面形状は、セラミックスの加工が非常に困難で複雑なため、そのほとんどが研削や研磨が可能な平面である場合が多い。近年、導電性セラミックスが開発され、放電加工によりセラミックスの界面端を適切な形状に加工することが可能になった。様々な自由表面を持つセラミックス／金属接合体の強度に及ぼす界面端形状の影響を、導電性セラミックスを用いて確認することができる。本実験では正面から見据えた接合体自由縁を円弧状に除去加

工した異材接合体を対象として、接合後の界面端加工による形状修正が接合体強度や破壊様式に与える影響を実験的に確認した。

2. 実験方法

本実験で使用する板状 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$ 接合体試験片を構成する材料を対象とし、界面端形状修正が接合体強度に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。

セラミックスは窒化ケイ素、金属は市販の銅を用いた。試験片は板材からワイヤカット放電加工機 ROBOCUTα-0C (FANUC 社製) を用いて両材料の界面形状が同一形状になるように切り出した。770°Cで接合した試験片はそのまま引張試験機 (JT トーシ社製 LITTLE SENSTER) に取り付け、引張強度を評価した。破断後、破断面の観察及び強度評価を行った。試験片の破断面観察は、マイクロスコープ (KEYENCE 製 VHX-100) を使用する。

2.1 界面端形状修正

界面端幾何学条件の設定方法は、自由縁を有する接合板の界面端を機械加工によって除去する方法があり、その除去形状が決まれば、次の 2 つの方法のいずれかを選択することにより設定できる。その一の方法は、所定の界面端形状になるように切り出した試験片をそのまま接合処理を行う方法。他の方法は界面と自由縁平面が直交するよう切りだした試験片を一度接合処理した後に、機械

加工により自由縁を自由な形状になるよう除去する加工方法である。本報告では、自由縁をワイヤ放電加工（W-EDM）により加工しやすい側面円弧形状に設定し、後者の方法を使用し、接合体を製作した。

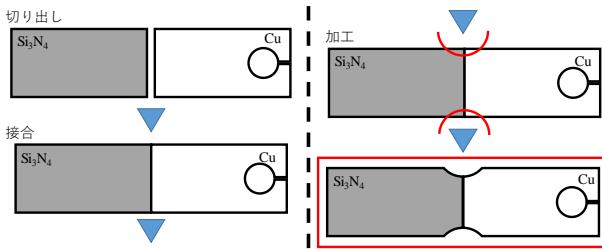


図 1 試験片作製プロセス

界面の形状は幅 6.0 mm × 厚さ 3.0 mm と設定したまま、幾何学的界面条件は接合界面と界面端における接線とのなす角を界面端角度 φ と特徴づけ、セラミックス側および金属側の界面端角度をそれぞれ φ_1 および φ_2 とした。本研究の接合体の界面端形状修正は接合後に、ワイヤカット放電加工機を用いて、側面を加工することで試験片を製作した。セラミックス側の界面端角 φ_1 を $30^\circ < \varphi_1 < 140^\circ$ と設定した。自由曲面の半径 R は事前検討結果から界面長 W と同寸法 $R = W = 6\text{mm}$ とした。

3. 実験結果と考察

接合後の除去加工により界面端部形状を除去でき、界面端形状はほぼ設計どおりに加工することができた（図 2 参照）。接合後界面端自由縁を除去した接合体の引張り試験結果から界面の結合力が確保され、接合体の強度支配因子はセラミックス側界面端に生じる応力集中が主原因であると推測される。接合体強度評価結果から界面端形状の依存性が確認できた。これらの結果から、界面端を除去加工することで、界面端部の応力分布が界面端形状に依存し、再分布されたと推察される。界面修正による界面の残留応力の低減によって強度の上昇が生じたと破壊様式と強度変化によって推測することを試みた。

昇が生じたと破壊様式と強度変化によって推測することを試みた。

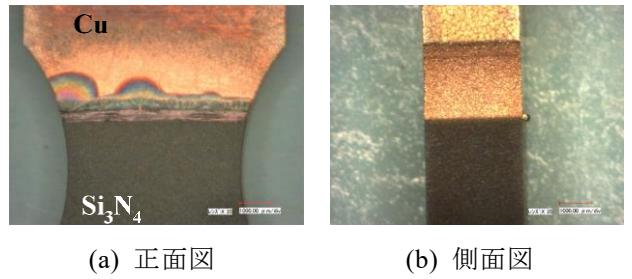


図 2 加工後試験片

4. 結言

本研究では窒化ケイ素／銅接合体を対象とし、接合後の接合界面端修正効果が接合体強度に及ぼす影響について確認した。適切な界面端形状に設定することで界面端の応力分布が再分布されセラミックスを含む接合体の最適設計の観点から有効である。

参考文献

- (1) 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
- (2) 岡部 永年, 高橋 学, 朱 霞, 賀川 賢一郎, 丸山 美保, “セラミックス/金属接合材の残留応力と疲労強度特性”, 材料 Vol.48, No.12(1999), pp.1416-1422,
- (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(1999), pp.365-375,