

B24 セラミックと金属との超音波接合に及ぼす金属箔中間層の効果 Effect of Metal Foil Interlayer on Ultrasonic Welding of Ceramic and Metal

指導教員 高橋 智 准教授

21142016 三ツ谷 春希
Haruki MITSUYA

Abstract

To elucidate the effect of metal foil interlayers on ultrasonic bonding between ceramics and metals, ultrasonic bonding experiments were conducted on ceramic/metal specimens under varying conditions. The bonding strength, fracture surfaces, and cross-sectional microstructures were investigated. It was found that an aluminum interlayer is essential for successful ultrasonic bonding of zirconia to copper. The relative sliding between aluminum and zirconia facilitated chemical bonding, significantly influencing the bonding strength and bonded area.

Keywords: Ultrasonic welding, Ceramic, Metal, Metal insert, Bonding strength

1. 緒言

マルチマテリアルの組み合わせ設計は、先端製造業において急速に高まる性能向上への要求に応えるための重要な戦略の1つとして認識されている。これの1つの材料が、セラミックである。セラミックは、高耐食性・高耐熱性に加え、軽量・高強度材料であり、金属との接合はエンジニアリング産業における多くの問題を解決する。

金属とセラミックスの溶接において、溶接特性は界面特性に大きく依存する。これまで、様々なセラミックスと金属を対象に超音波溶接が試みられ、その結果、組み合わせごとに最適な溶接条件（超音波振幅、溶接圧力、溶接時間など）が存在することが明らかとなった。また、この最適条件に近い条件で溶接を行うことで、接合部の溶接強度が大幅に向上することが確認されている。この方法は、大気中や真空中を含む多様な環境下で容易に適用可能であり、広範な種類のセラミックスに適用できると考えられる。

しかしながら、溶接が必要とされる材料やその組み合わせは多岐にわたり、すべての条件で接合が可能であるかは十分に確認されていない。本研究では、接合を促進する手法の一つとして、金属箔中間層を用いた超音波接合に着目する。この方法による接合部の顕微鏡観察および材料界面構造

の解析を行い、その効果や特性について検討し、報告する。

2. 実験方法

2.1 予備接合試験片の作製

供試材として、上板(寸法 $30 \times 5 \times 1$ mm) : Al 板, Cu 板, 金属箔中間層(厚さ $20 \mu\text{m}$) : Al 箔, Cu 箔, 下板(寸法 $6 \times 10 \times 1$ mm) : YSZ 板(JFCC 製, Y_2O_3 : 3mol%), Al_2O_3 板を用いた。

2.1 接合試験片の作製

2.1.1 予備接合試験片

供試材として無酸素銅 C1020-1/2H 板材(寸法 $30^1 \times 30^w \times 1^t$ mm), 板厚 1mm のジルコニア(JFCC 製)から、寸法 $9.5^1 \times 9.5^w$ mm の板材を切り出した。

接合試験片作製には、超音波接合機(UBMW-2020S, 超音波応用研究所製)を使用した。超音波振動印加中のホーンと板材間のすべりを抑制するため、ホーン先端には5個のローレット加工を施している。超音波発振機の周波数は 20kHz, その際のホーン先端の振幅は $60 \mu\text{m}$ である。アンビル上に下板を設置し、その上に上板を重ね、上板の中央部にホーンを押し込みながら超音波振動を加えて接合試験片を作製した。

コメントの追加 [A1]: ここ米さんのパクリ

Table 1 に示す条件で接合した。接合時の概略図を Fig.1 に示す。

Table 1 Welding condition of ZrO_2 - Cu specimen

Number of Al interlayers	Bonding load[N]	Ultrasonic time[s]
1	350	0.3, 0.5, 0.7, 0.9
2, 3	350	0.7



Fig.1 Schematic illustration of ultrasonic welding



2.2 接合強度試験

作製した試験片を、せん断試験機を用いて接合強度を測定した。概略図を Fig.2 に示す。せん断試験機にジグとともに固定し、 ZrO_2 板の側面に幅 13mm の超硬ブロックを当て、ブロックに荷重を加えながら押し込むことによって、 ZrO_2 板を Cu 板からせん断破壊させた。せん断方向は、超音波接合時の振動方向と同じである。破壊後、3D 形状測定機で ZrO_2 の破面を観察した。

2.3 接合界面の断面組織観察

両板材の接合状態を調べるために、超音波振動方向と垂直及び平行に試験片を切り出し、SEM によって断面組織を観察した。観察面は、切り出した試験片を樹脂埋め後、エメリー紙とパフで研磨した。

3. 実験結果

3.0 予備接合試験結果

Table 1 に示した条件で実施した接合試験の結果を Table 2 に示す。下板が Al_2O_3 板の場合、接合時にすべての試験片が割れてしまった。一方で、下板が YSZ の場合には、割れずに接合が可能であった組み合わせが確認された。

Table 2 Result of preliminary welding tests

(○:Achieved, △:Incomplete, ×:failed)

上板	中間層	下板	接合可否
Al		Al_2O_3	×
Cu	Al		×
Cu	Cu		×
Al		YSZ	△
Al	Al		△
Al	Cu		×
Cu			×
Cu	Al		○
Cu	Cu		×

3.1 接合強度と破面組織

せん断試験後の ZrO_2 破面の様子を Fig.3 に示す。図中の白い領域は ZrO_2 、赤い領域は破面に付着した Al を示している。各接合試験片の接合強度を Fig.4 に、また、せん断試験後の ZrO_2 破面に付着した金属の面積と接合強度の関係を Fig.5 に示す。いずれの試験片においても、板材間で界面破壊が生じたことが確認された。また、接合時間と ZrO_2 破面の付着物の面積には強い相関があり、その相関係数は ~ であつた。

コメントの追加 [A2]: Tabel 1 つくる

コメントの追加 [春三6]: 表番号

コメントの追加 [春三7]: 表番号

コメントの追加 [A3]: 部材の名前とか入れる

コメントの追加 [A4]: 概略図入れねば

コメントの追加 [A5]: 試さねば

コメントの追加 [春三8]: 相関係数求めよう

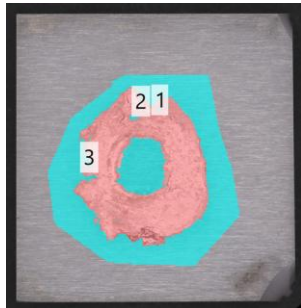


Fig.3 Fracture surface of ZrO₂ (条件)

と Al の接合については、これまでに多数の接合例が報告されていることから、接合プロセスが確率されていると考えられる。

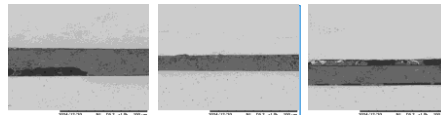


Fig.5 Cross-sectional microstructure of ZrO₂/Cu joints

EDS 分析のマッピング

Fig.6 EDS analysis results of the cross-sectional microstructure

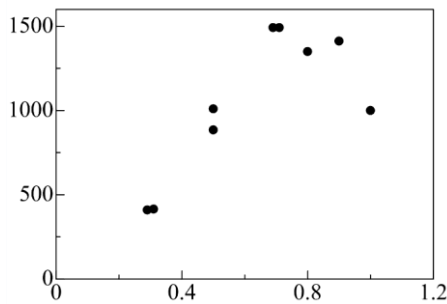


Fig.4 Welding strength of ZrO₂/Cu dissimilar joints

ZrO₂ 板に付着した Al の面積のグラフ

Fig.5

3.2 接合界面の断面組織

Cu-Al×1-ZrO₂ 接合試験片の断面組織を Fig.5 に示す。また、Fig.5 に示した断面組織に対する EDS 分析のコンビネーションマップを Fig.6 に示す。観察の結果、Al と ZrO₂ の界面付近に Al₂O₃ が生成していることが確認された。これは、接合過程において Al と ZrO₂ が擦り合わされることで、ZrO₂ 中の酸素(O₂)が Al に拡散し、 $2\text{Al}_2 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$ の反応により Al₂O₃ が生成されたためであると考えられる。この反応を通じて、Al と ZrO₂ の接合が達成されている可能性が示唆されたさらに、Cu

4. 考察

4.1 ZrO₂ 破面の金属付着形状

Fig.3 に示した ZrO₂ 破面における金属付着形状はドーナツ型を呈していた。この形状は、ミンドリンスリップ現象によるものと考えられる。Fig.7 に示すように、接合時に接合ツール先端の突起が押し込まれることで、中心部分には高圧力が加わり、その結果、Al 箔と ZrO₂ 板間で相対的な滑りが発生せず、接合されなかった。一方で、外側部分では圧力が低いため滑りが生じ、これにより Al が ZrO₂ に固着した。このメカニズムにより、せん断試験後の ZrO₂ 破面にはドーナツ型の金属付着が観察された。

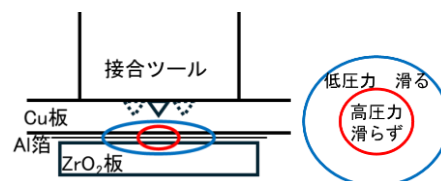


Fig.7 Schematic diagram of the cross-section during bonding

4.2 接合面積に及ぼす接合荷重の影響

コメントの追加 [A10]: スケールバー付け足す

コメントの追加 [A9]: グラフ差し替え、軸タイトルもつける

4.3 超音波金属接合のメカニズム

5. 結言

- (1) ZrO_2 - Cu の超音波接合は、0.7s 程度で接合強度が最大となり、それ以降は ZrO_2 板にダメージが入ることで強度が下がっていく。
- (2) Cu-Al- ZrO_2 の接合では、Cu-Al、Al- ZrO_2 の固着がそれぞれ達成されることで、全体の接合が達成される。
- (3) Al- ZrO_2 の接合は、 ZrO_2 界面の O_2 が Al に拡散していき、 $2\text{Al}_2 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$ の反応が起こることで、接合される。
- (4) Cu-Al- ZrO_2 接合で、実際に接合されている領域がドーナツ型になっているのは、接合時の圧力差により、Al と ZrO_2 間の滑りが発生する箇所と発生しない箇所があるからである。

参考文献

- [1] 渡辺健彦ら，溶接学会論文集，25-2(2007)，239-244
- [2] 松岡信一ら，富山県立大学紀要，16(2006)35-44
- [3] 渡辺健彦ら，溶接学会論文集，27-1(2009)，7-12
- [4] Y.Z.Zhan and G.Zhang, Tribology Letters, Vol.17, No.3, 2004, 581-592
- [5] 山本雄二ら，理工学社，トライボロジー（第2版），190-192
- [6] I.LUM, M.Mayer and Y.ZHOU, Journal of ELECTRONIC MATERIALS, Vol.35, No.3, 2006, 433-442