2024年度 東京都立大学 システムデザイン学部 機械システム工学科 卒業論文発表会 要旨

部外秘

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 髙橋 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30×5×1mm)：Al板，Cu板，金属箔中間層(厚さ20µm)：Al箔，Cu箔，下板(寸法6×10×1mm)：YSZ板(JFCC製，Y2O3：3mol%)，Al2O3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30l×30w×1tmm)，板厚1mmのジルコニア(JFCC製)から，寸法9.5l×9.5wmm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60µm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．Tabel 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 ZrO2 – 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 |

ダイアグラム が含まれている画像

自動的に生成された説明

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，ZrO2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，ZrO2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．破断後，3D形状測定機でZrO2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，エメリー紙とバフで研磨した．

**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Al2O3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できた組み合わせが確認された．

Table 2 Result of preliminary welding tests (〇:Achieved，△:Incomplete，×:failed)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 上板 | 中間層 | 下板 | 接合可否 |
| Al |  | Al2O3 | × |
| Cu | Al | × |
| Cu | Cu | × |
| Al |  | YSZ | △ |
| Al | Al | △ |
| Al | Cu | × |
| Cu |  | × |
| Cu | Al | 〇 |
| Cu | Cu | × |

**3.1 接合強度と破面組織**

　せん断試験後のZrO2破面の様子をFig.3に示す．図中の白い領域はZrO2，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ZrO2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ZrO2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 ~ であった．

写真, モニター, テーブル, コンピュータ が含まれている画像

自動的に生成された説明

Fig.3 Fracture surface of ZrO2 (条件)

グラフ, 散布図

自動的に生成された説明

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，2Al2 + 3O2 → 2Al2O3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，接合プロセスがあ確率されていると考えられる．

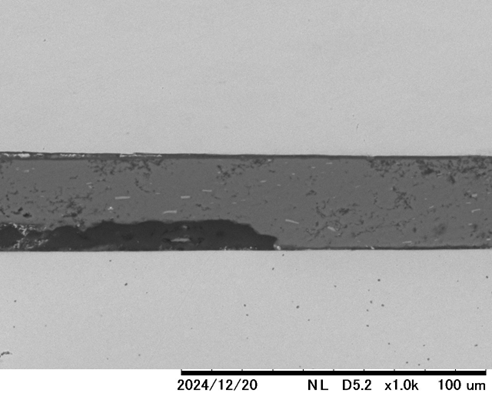
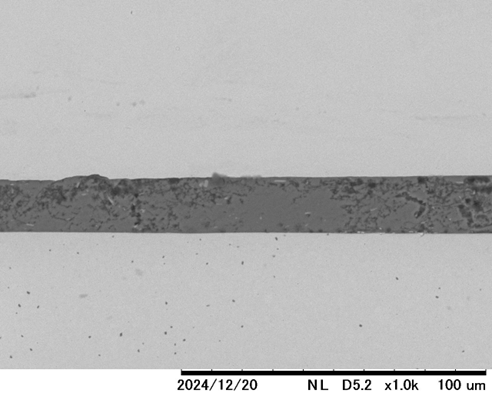
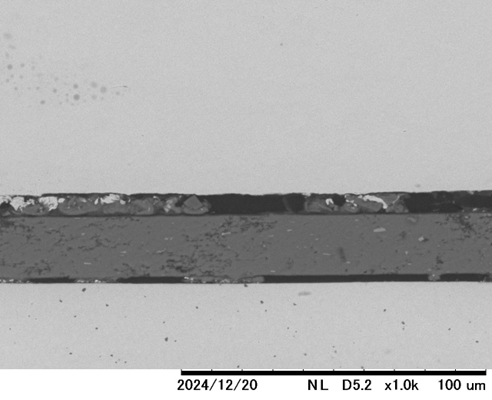
**  **

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

**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．

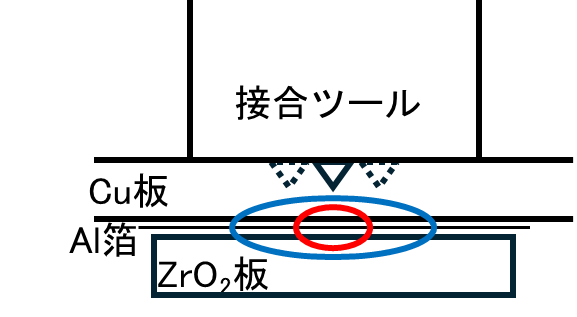
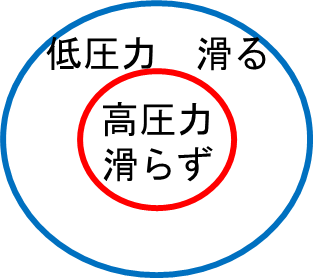
 

Fig.7 Schematic diagram of the cross-section during bonding

**4.2 接合面積に及ぼす接合荷重の影響**

**4.3 超音波金属接合のメカニズム**

**5. 結言**

1. ZrO2 - 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ZrO2板にダメージが入ることで強度が下がっていく．
2. Cu-Al-ZrO2の接合では，Cu-Al，Al-ZrO2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-ZrO2の接合は，ZrO2界面のO2がAlに拡散していき，2Al2 + 3O2 → 2Al2O3の反応が起こることで，接合される．
4. Cu-Al-ZrO2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ZrO2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