

(例)

# Zr 基金属ガラスとステンレス鋼のマイクロ抵抗シーム溶接 Microresistance seam welding of Zr-based glassy alloy to stainless steel

福本信次<sup>\*1</sup>, 横山嘉彦<sup>\*2</sup>, 藤本公三<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>大阪大学大学院工学研究科, <sup>\*2</sup>東北大学 金属材料研究所

by Shinji Fukumoto<sup>\*1</sup>, A, Yoshihiko YOKOYAMA<sup>\*2</sup> and Kozo FUJIMOTO<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>Graduate School of Engineering, Osaka University, JAPAN, <sup>\*2</sup>Institute for Materials Research, Tohoku University, JAPAN

FUKUMOTO

## Abstract

The similar and dissimilar welding of bulk metallic glass (BMG) and stainless steel were carried out by micro-resistance seam welding. The similar joints of BMG showed high joint strength and little crystallization occurred by the resistance seam welding. The microstructure of weld interface was not homogenous. Thin intermediate layer formed at the center of the weld interface, which is main contributor to the joint strength. In the case of dissimilar welding, supercooled liquid phase broke out at the weld interface at the beginning of welding, which led to increasing the contact area. So the thin intermediate layer tends to form at the interface instead of developing a weld nugget.

Key words: resistance seam welding, micro-joining, interfacial reaction, Bulk metallic glass, Dissimilar joint

## 1. 緒言

アモルファス合金の中でも安定な過冷却液相域を有するバルク金属ガラス(BMG)は、非常に優れた機能性、機械的特性を有するため工業用材料として大いに期待されている。中でも高強度かつ低ヤング率という特性は、ステンレス鋼のような汎用構造材料と組み合わせることでワイドレンジ圧力センサやコリオリ流量計などのデバイスへの適用が考えられている。しかしながら、金属ガラスは溶接時の熱履歴にともなう構造緩和や結晶化、また酸化によって著しく脆化するため、これまでに報告のある熔融溶接プロセスは、電子ビーム溶接<sup>1)2)</sup>、レーザー溶接<sup>3)4)</sup>、抵抗スポット溶接<sup>5)6)</sup>など、集中熱源で冷却速度が大きく、熱影響部が小さいプロセスに限られている。また、BMG 同士では適用可能なプロセスであっても異材との溶接時には、接合部における組成変化が継手特性に大きな影響を与えるため、非常に精密なプロセス制御が必要となる。たとえば、Zr 基 BMG と Zr の電子ビーム溶接においては、入熱およびビーム照射位置を適切に制御することが必須であり、BMG の相手材も同系の金属を選ぶことで溶接部の組成変化を抑制している<sup>7)</sup>。これに対して筆者らは、Zr 基 BMG と汎用構造材料であるステンレス鋼をマイクロ抵抗スポット溶接し、電流密度を制御することで接合界面での溶融量のある程度制御できることを報告した<sup>8)</sup>。

本研究では、Zr 基 BMG とステンレス鋼の同種および異種材のマイクロ抵抗シーム溶接を行い、その接合界面の組織と継手強度の関係を明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材料

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 (板厚 200 μm) および  $Zr_{50}Cu_{30}Al_{10}Ni_{10}$  金属ガラスを用いた。本研究で用いた BMG は、傾角鋳造法で作製し、放電加工によって薄板 (板厚 200 μm) に加工した。接合面は #2000 のエメリ紙で仕上げ、アセトンで脱脂洗浄を行った。

Fig.1 Schematic illustration of welding set-up (a) and welding current profile (b)

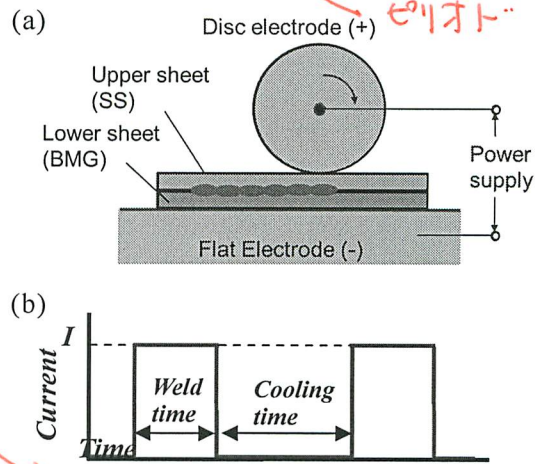


Fig. キャプションは 図の下

### 2.2 マイクロ抵抗シーム溶接

マイクロシーム溶接はインバータ式 DC 電源 (ミヤチテクノス製 IS-110A) およびバネ加圧式溶接ヘッド (ミヤチテクノス製 FT-2030) を用いて行った。Fig.1a にそのセットアップを示す。電極は陽極側にディスク電極、陰極側はフラット電極とした。ディスク電極径はφ80 mm、板厚 4 mm、電極先端曲率半径 R2.25 とした。BMG と SUS304 の異材接合の場合は、SUS304

アモルファス  
中央で  
はやく  
上から  
図を配置

をディスク電極側に、BMG をフラット電極側にセットした。Fig.1b に溶接電流プロファイルを示す。通電時間( $t_w$ )および冷却時間( $t_c$ )をそれぞれ 10 ms および 20 ms とし、溶接電流を 300 -920 A で変化させた。溶接速度および電極荷重はそれぞれ 10 mm/s, 49 N とした。

接合部の断面をバフ研磨で仕上げ、SUS304 同種継手および SUS304/BMG 異材継手はシュウ酸で電解エッチングし、BMG 同士の継手はエッチングせずに光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。また微小領域 X 線回折法(35 kV, 80 mA:Bruker AXS 製 D8)で接合部の相同定を行った。コリメータ径は 0.05-0.1 mm とした。継手の強度は引張せん断試験によって評価し、破面を SEM で観察した。Fig.2 に引張せん断試験の模式図を示す。

### 3.2 SUS304/BMG 異材溶接

#### 3.2.1 断面組織

Fig.6 は SUS304 と BMG の異材接合継手の光学顕微鏡断面写真である。溶接電流が増加するのにもなって接合部幅も増加した。SUS304 側にも熔融ナゲットは形成しておらず、割れやブローホールのような溶接欠陥も観察されなかった。

#### 参考文献

- 1) Y. Yokoyama, N. Abe et al., "Electron beam welding of  $Zr_{50}Cu_{30}Al_{10}Ni_{10}$  bulk glassy alloys", Mater. Trans. Vol.43 (2002), pp.2509-2515. ← ペリオド
- 2) Y. Kawamura and Y. Ohno, "Successful electron-beam welding of bulk metallic glass", Mater. Trans. Vol.42 (2001), pp.2476-2478
- 3) B. Li, Z.Y. Li et al., "Laser welding of  $Zr_{45}Cu_{48}Al_{7}$  bulk glassy alloy", J. Alloys and Compounds, Vol.413(2006), pp.118-121
- 4) Jong Hyum Kim, Changhee Lee et al., "Pulsed Nd:YAG laser welding of  $Cu_{54}Ni_6Zr_{22}Ti_{18}$  bulk metallic glass", Mater.Sci.Eng.A, A449-451(2007), pp.872-875
- 5) K. Fujiwara, S. Fukumoto et al., "Weldability of  $Zr_{50}Cu_{30}Al_{10}Ni_{10}$  bulk glassy alloy by small-scale resistance spot welding", Mater.Sci.Eng.A, A498 (2008), pp.302-307
- 6) S. Fukumoto, K. Fujiwara et al., "Small-scale resistance spot welding of Zr based glassy alloys", Mater.Sci.Forum, Vols.561-565 (2007), pp.1307-1310
- 7) Y. Kawamura, S. Kagao and Y. Ohno, "Electron beam welding of Zr-based bulk metallic glass to crystalline Zr metal", Mater.Trans., Vol.42 (2001), pp.2649-2651
- 8) 福本信次, 南匡彦ほか, "マイクロ抵抗溶接による金属ガラス/ステンレス鋼接合部の組織制御", 16th Symposium on

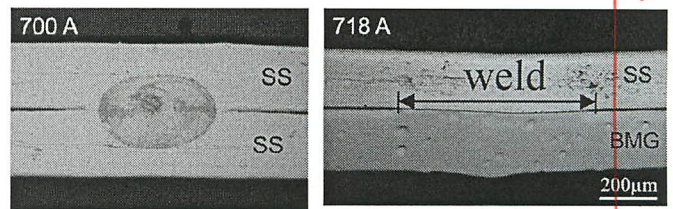


Fig.12 Comparison between SUS304 similar joint (a), and SUS304/BMG dissimilar joint (b), welded with the similar welding condition

"Microjoining and Assembly Technology in Electronics" (Mate2010 論文集), (2010), pp.247-250.

9) 黒田晋一, 才田一幸, 西本和俊, "A6061 と SUS316 の直接接合部の組織と特性 : アルミニウム合金とステンレス鋼の拡散接合に関する研究(第 1 報)", 溶接学会論文集, Vol.17 (1999), pp.484-489.

10) W. Tan, "Small-scale resistance spot welding of thin nickel sheets", Ph.D thesis, Univ.of Waterloo(2004)

E-mail: fukumo@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

最終ページの下端を  
左右カラダで揃える

ほみ  
↓  
テ"シ  
←20→  
mm  
ペリオド