

# 薄膜アモルファス合金およびバルクガラス合金 における疲労寿命特性の検討

藤田和孝\* , 高山哲生\*\* , 松永行真\*\*\*

## General Tendency on Fatigue Life Properties of Thin Amorphous Alloy and Bulk Glassy Alloy

Kazutaka FUJITA\* , Tetsuo TAKAYAMA\*\* and Yukimasa MATSUNAGA\*\*\*

**Abstract:** Amorphous and glassy alloys have excellent mechanical properties, which are high tensile strength , high elastic limit , low elastic modulus and high ductility . Therefore , the alloys are expected for practical high-strength structural materials . However , there were the reports that the alloys show remarkably smaller fatigue strength than the crystal alloys . In this report, the data of fatigue limit in the literature were reviewed and compared with those on the crystalline alloys . Some amorphous and glassy alloys showed the fatigue ratios which are almost same or a little smaller than those on the Al alloys representative of the non-iron crystal alloy . The nanocrystal dispersion to the glassy phase increased the fatigue limit . This indicates that fatigue characteristics of the glassy alloys have the possibilities of the improvement .

**Key words:** fatigue life, bulk glassy alloy, amorphous, stress ratio, fatigue ratio

### 1. 緒 言

1960年, Au-Si系アモルファス合金<sup>1)</sup>が初めて作成されて以来, 多くの合金系でアモルファス相が作り出され, 最近では直径100mm以上の棒状バルクガラス合金も作成できるようになった<sup>2)</sup>. これらは薄膜, バルクを問わず優れた機械的, 物理的, 化学的性質をもち, 工業材料として広範な分野において実用されてきている<sup>3),4)</sup>.

機械的性質については高引張強度・高弾性限度・低弾性率・高靱性を示し, 高耐食性と合わせ, ガラス合金は機械構造用材料としても極めて有望である.

実機の破壊原因の多くはよく知られているように繰返し荷重下の疲労であり, 強度設計において疲労特性の把握は重要である. 薄膜アモルファス合金および最近ではバルクガラス合金の疲労試験が行われ, 疲労限度は小さいとする報告が見うけられる.

(2003年1月8日受理)

\*宇部工業高等専門学校機械工学科

\*\*宇部工業高等専門学校生産システム工学専攻学生

\*\*\*宇部工業高等専門学校機械工学科学学生

ここでは, 現在までに論文として発表されている薄膜アモルファス合金およびバルクガラス合金の疲労寿命特性についてまとめ, 結晶合金である鉄鋼および非鉄結晶合金の代表としてのAl合金における同特性と比較・検討を行う.

### 2. ガラス合金の疲労寿命特性

従来から行われてきたPd基, Co基, Ni基, Fe基単相薄膜アモルファス合金の結果<sup>5)-10)</sup>, Zr基, Pd基単相バルクガラス合金の結果<sup>11)-13)</sup>および我々の研究グループで行ったZr基ナノ結晶分散バルクガラス合金の結果<sup>14)</sup>をFig.1に示す. 同図中には, Pd基バルクガラス合金の同曲線を一点鎖線, Zr基単相バルクガラス合金のS-N曲線を破線, Zr基ナノ結晶分散バルクガラス合金の同曲線を実線で示す.

これを見ると, Pd基合金についてはバルク, 薄膜を問わず疲労限度 $\sigma_w$ を引張強さ $\sigma_B$ で除した耐久比 $\sigma_w/\sigma_B$ は他の金属基合金と比べて大きく, バルクで約0.23,

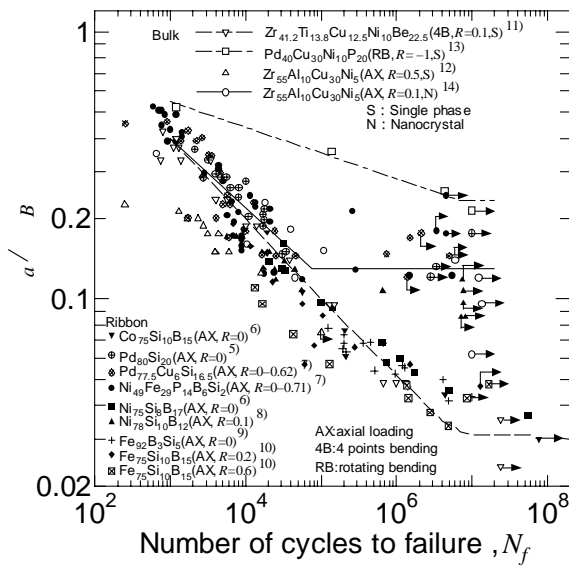


Fig.1 S-N curves on the single phase and nanocrystalline bulk glassy alloys and amorphous ribbons .

薄膜で約 0.15 である . この原因として , Pd 基アモルファス合金は他の金属基合金に比べて荷重の繰返しとともに脆化し硬くなりやすいことが指摘されている<sup>6)</sup> .

Ni 基薄膜アモルファス合金は組成により  $w/B$  値が約 0.1~0.15 と比較的大きい場合と約 0.04 と小さい場合とに分かれている .

Zr 基単相バルクガラス合金および Co 基 , Fe 基薄膜アモルファス合金の  $w/B$  値は同図中の破線とよく一致しており , 約 0.04 と小さい .

Zr 基ナノ結晶分散バルクガラス合金の  $w/B$  値は 0.13 と同組成の Zr 基単相バルクガラス合金に比べて 3 倍程度大きい<sup>14)</sup> . このことから , ナノ結晶をガラス合金中に分散させることは  $w$  の向上に効果があるとみられる .

全体的に見るとアモルファス合金およびガラス合金の  $w/B$  値は約 0.04~0.23 である . Pd 基合金の  $w/B$  値は約 0.15~0.23 と大きく , Ni 基合金のそれは 0.04~0.15 と小さい場合と大きい場合があり , 他の Zr , Co , Fe 基合金のそれはほぼ一致しており 約 0.04 と小さい . また Zr 基ナノ結晶分散合金の  $w/B$  値は同組成の単相合金に比べて大きく 0.13 を示した .

3. 鉄鋼および Al 合金の疲労寿命特性

Fig.2 , 3 に一般的な鉄鋼および Al 合金の  $w/B$  値をそれぞれ示す . 白抜き印は応力比  $R = 0$  の結果 , 黒塗り印は  $R = -1$  の結果であり<sup>15)-34)</sup> , これらはすべて室温で平滑試験片を用いて行われている . 負荷形式は多くが

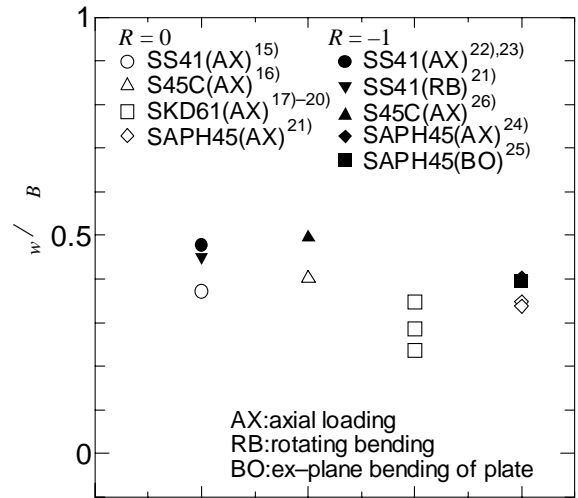


Fig.2 Fatigue ratio on the steels in the case of  $R = 0$  and  $R = -1$  .

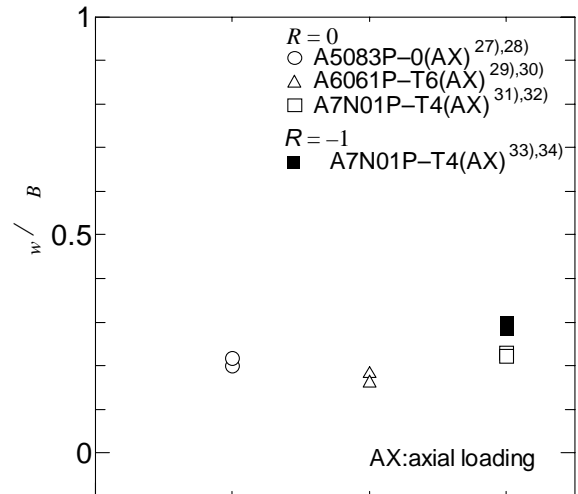


Fig.3 Fatigue ratio on the Aluminum based alloys in the case of  $R = 0$  and  $R = -1$  .

軸力負荷である . 鉄鋼の  $w/B$  の平均的な値は  $R = 0$  で約 0.35 ,  $R = -1$  で約 0.45 である . また , Al 合金の  $w/B$  の平均的な値は  $R = 0$  で約 0.2 ,  $R = -1$  で約 0.3 である .

4. 比較・検討

上述のように , 鉄鋼材料の  $w/B$  の平均的な値は  $R = 0$  で約 0.35 ,  $R = -1$  で約 0.45 である . それに対して , Fe 基薄膜アモルファス合金のそれは  $R = 0.2$  で約 0.04~

0.05 と一桁小さい。また、ガラス合金の中で最も大きい  $w/B$  値を示す Pd 基バルクガラス合金でも  $R = -1$  において約 0.23 であり、これも鉄鋼材料と比べるとかなり小さい。

一方で、Al 合金の  $w/B$  の平均的な値は  $R = 0$  で約 0.2,  $R = -1$  で約 0.3 である。それに対して、Pd 基バルクガラス合金のそれは  $R = -1$  で約 0.23, Pd 基薄膜アモルファス合金および一部の Ni 基薄膜アモルファス合金のそれは  $R = 0$  で約 0.1~0.15 であり、それぞれ同  $R$  値で比較すると幾分小さい程度である。その他の Ni 基, Co 基, Fe 基薄膜アモルファス合金および Zr 基単相バルクガラス合金の  $w/B$  値はほぼ一致しており  $R = 0 \sim 0.2$  の範囲でほぼ一致し約 0.04 と Al 合金のそれよりもかなり小さい。この原因としては、アモルファスおよびガラス合金は結晶粒界などすべりの発生成長とそれに続くき裂の発生成長を抑制する要素がないためと考えられる。

また、Zr 基ナノ結晶分散バルクガラス合金について  $w/B$  値は  $R = 0.1$  で約 0.13 であり、同組成の単相バルクガラス合金に比べて大きく、Al 合金のそれとかなり近くなった。この原因としては、ナノ結晶がすべりの発生成長を抑制していることがあげられる<sup>14)</sup>。

なお、我々の研究グループで扱った Zr 基ナノ結晶分散バルクガラス合金中には数十  $\mu\text{m}$  径の粗大で硬い結晶が間欠的に存在した。疲労き裂はいずれもこの粗大な結晶付近から発生しており、このような結晶は明らかに本材料固有の  $w/B$  を低下させている<sup>14)</sup>。Pd 基合金についてはガラス形成能が高く他の金属基合金よりも安定したガラス合金が作成できることが報告されている<sup>2)</sup>。このため、上述のような粗大な結晶が存在せず、 $w/B$  値が大きくなった可能性も考えられる。他の金属基バルクガラス合金についても、局所的に結晶が存在しているために  $w/B$  値が小さくなった可能性もある。

一方で、薄膜アモルファス合金については厚さが不均一であるために  $w/B$  値が小さくなった可能性も考えられる。

これらのことから、ガラス合金固有の  $w/B$  値はバルク、薄膜問わず現在の値よりもそれぞれ大きくなり Al 合金のそれに近づく可能性があるといえる。また、ガラス合金中にナノ結晶を分散させることによって、 $w/B$  値は大きくなり、ガラス合金の疲労寿命特性はまだまだ改善の余地がある。

## 5. 結言

薄膜アモルファス合金およびバルクガラス合金の疲労寿命特性についてまとめ、結晶金属との比較・検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1) Pd 基バルクガラス合金の疲労限度  $w$  を引張強さ  $B$  で除した耐久比  $w/B$  値はガラス合金中で最も大きく  $R = -1$  で約 0.23, Pd 基薄膜アモルファス合金および一部の Ni 基薄膜アモルファス合金のそれは  $R = 0$  で約 0.1~0.15 であり、これらはそれぞれ Al 合金のそれらと比べると幾分小さい程度である。
- (2) Zr 基単相バルクガラス合金および Ni 基, Co 基, Fe 基薄膜アモルファス合金の  $w/B$  値はほぼ一致し,  $R = 0$  で約 0.04 であり、これは Al 合金のそれと比べてかなり小さい。
- (3) Zr 基単相ガラス合金中にナノ結晶を分散させることにより  $w/B$  値は上昇し, 約 0.13 と Al 合金のそれに近くなった。
- (4) ガラス合金固有の  $w/B$  値はバルク、薄膜問わず現在の値よりもさらに大きくなる可能性が示唆された。

## 参 考 文 献

- 1) W. Klement, R. H. Willens and P. Duwez: *Nature*, **187**, 869(1960).
- 2) A. Inoue, N. Nishiyama and T. Matsuda: *Mater. Trans. JIM* **38** (1996) 464.
- 3) T. Masumoto: *Materials Science of Amorphous Metals*, Ohmsha, Tokyo, (1982).
- 4) For example, *Function & Materials*, vol. 22, 23, (2002).
- 5) T. Ogura, T. Masumoto and K. Fukushima: *Scr. Metall.* **9**(1975) 109 - 114.
- 6) H. Izumi, H. Sunada, Y. Hayashi and T. Masumoto: *J. Japan Inst. Metals*, **48**(1984) 371 - 377.
- 7) L. A. Davis: *J. Mater. Sci.* **11**(1976) 711 - 717.
- 8) A. T. Alpas, et al.: *Metall. Trans. A*, **20A** (1989), 1395 - 1409.
- 9) H. Kaneshiro, M. Higa, C. Makabe, M. Itokazu: *Proc. of Jpn. Soc. Mech. Eng. in Matsuyama*, (1992) 333 - 335.
- 10) H. Sunada, H. Izumi, Y. Hayashi, and T. Masumoto: *J. Japan Inst. Metals*, **50**(1986) 624 - 630.
- 11) R. O. Ritchie, C. J. Gilbert and V. Schroeder: *Proc. Int. Conf. on Advance Technology in Experimental Mechanics '99*, Vol. 1, (JSME-MMD, 1999) pp. 9 - 15.
- 12) Y. Yokoyama, K. Fukaura and H. Sunada: *Mater. Trans. JIM* **41**(2000) 675 - 680.
- 13) Y. Yokoyama, N. Nishiyama, K. Fukaura, H. Sunada and A. Inoue: *Mater. Trans. JIM* **40**(1999) 696 - 699.
- 14) K. Fujita, T. Takayama, A. Inoue, T. Zhang and H. Kimura: *Proc. of the 2002 Annual Meeting of JSME/MMD*

(2002) 615 - 616 .

15) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
142 (1982) .

16) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
732(1982) .

17) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
1305(1982) .

18) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
1302(1982) .

19) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
1303 - 1304(1982) .

20) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
1301(1982) .

21) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
163(1982) .

22) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
141(1982) .

23) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
259 - 260(1982) .

24) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
161 - 162(1982) .

25) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
161(1982) .

26) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
731 - 732 (1982) .

27) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
536(1982) .

28) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
539(1982) .

29) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
543 - 544(1982) .

30) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
545(1982) .

31) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
547(1982) .

32) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
548(1982) .

33) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 1 , p .  
291 - 292(1982) .

34) *Data Book on Fatigue Strength of Metallic Materials* 編集 .  
T . Tanaka et al . , Soc . Mater . Sci . , Japan Vol . 2 , p .  
293 - 294(1982) .