

Compressive Strength and Splitting Tensile Strength of Zr Based Metallic Glass

Hidefumi Date, Minako Ishiguro, Masatoshi Futakawa and Takashi Naoe

1. 目的

金属ガラスは非晶質構造を持つことから、高強度、高耐食性など優れた特性を有している。また、過冷却液体領域では超塑性を示し、低い応力で巨大な変形が得られることも知られている。一方、Zr 基の金属ガラスは破壊時に発光現象を示すことが報告されており、これまで、引張試験、疲労試験等で観察されている^{1,2,3)}。圧縮試験でも室温で脆性破壊を示すことは報告されているが、発光現象については特に記述されていない⁴⁾。

そこで、本報告では広い温度範囲で圧縮試験を行い、脆性破壊で発光現象を起こすことを確認したのち、破壊起点を明らかにするために円柱の割裂試験を行い、き裂が破壊起点から伝播する様子を検討した。

2. 材料及び実験方法

試験片は Zr 基金属ガラス($Zr_{75}Al_{10}Ni_5Cu_{30}$) から切り出した直径 5.0mm、高さ 4.5mm の円柱試験片である。変形に用いたひずみ速度は $10^{-3}s^{-1}$ である。過冷却液体領域は加熱速度により多少異なるが、本実験での加熱速度(5K/s)では 750~810K である。圧縮試験は加熱等、種々の条件下で行うことを前提にダイセット型の圧縮試験用治具を製作し 300kN の万能試験機上で行った。高温で圧縮試験を行う際には、上記の治具中にゴールド・イメージ炉を組み込んだ。試験片温度は、Pt-Rh 熱電対を試験片に Al テープで固定し計測した。脆性破壊過程を観察するために高速ビデオを用いて、最大 125,000fps で撮影した。また、破壊面はレーザー顕微鏡を用いて観察した。

3. 結果及び検討

3.1 円柱の圧縮応力 - ひずみ関係

室温で得られた荷重 - 変位線図を Fig.1 に示す。後に示す割裂試験の結果も記載しているために荷重 - 変位線図で示している。また、変位は試験機のクロスヘッドの変位である。圧縮試験により求められた縦弾性係数は約 70GPa であり、2.1GPa において Fig.2 に示す発光現象を伴って激しく破壊する。黒田らにより報告された引張試験ではひずみ 1.5%、応力 1.2GPa において破断、発光する¹⁾。脆性材料の引張試験では破断応力は試験片表面の状態等に強く依存し、また本実験での材料の成分は黒田等の用いた材料の成分($Zr_{75}Cu_{36}Al_8Ag_9$)と多少異なっていることから、引張りと圧縮で破断強度を一概に比較できない。しかし、黒田等は引張試験から 80GPa の縦弾性係数を得ており、本実験

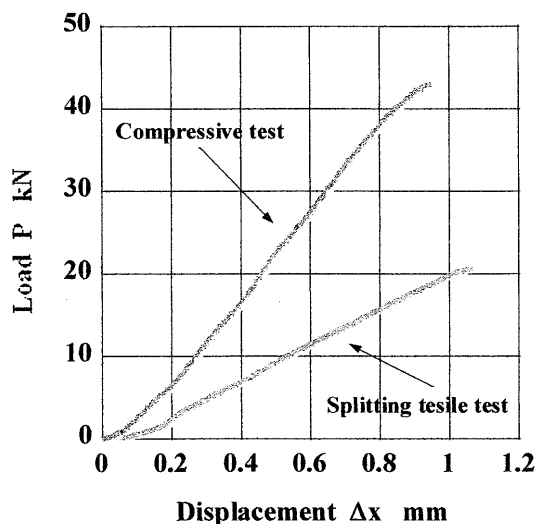


Fig.1 Comparison of fracture strength by compressive and splitting tensile tests

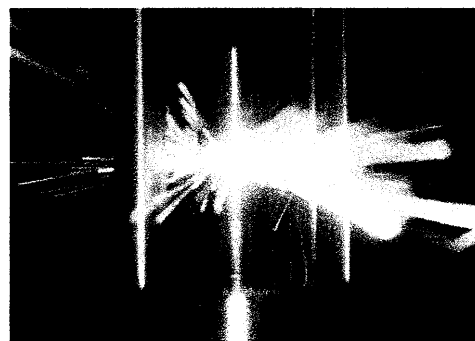


Fig.2 Light emission at fracture

の結果と同等である。一方、同様に一部結晶化していると見られる本実験と同じ成分の金属ガラスの引張試験において、崎野等による僅少な発光の報告がある²⁾。本実験では、試験片の結晶化度の計測は行っていないため、同一構造を持つ試験片かどうかは明らかではないが、発光量が負荷形態に依存するなら今後の重要な課題である。

3.2 破壊形態と破面観察

Fig.3に 125,000 fps で撮影した破壊開始時の発光現象を示す。中央の 2 本の帯は光源の反射である。最初の発光は上、下の負荷面近傍に観察される。おおよそ、この発光位置をつなぐせん

断領域で破断面が形成され、負荷方向から約 45 度前後の角度で破壊し、これまで報告された圧縮破壊の結果とよく一致する。Ar ガス中で行なった圧縮試験では、発光現象を示さないことから、この発光現象は破壊により生じた高温粒子の酸化であると推定される。また、一度過冷却液体領域で変形させた試料を室温で圧縮しても破壊時に発光することも確認している。



Fig.3 Initiation of light emission at compressive test

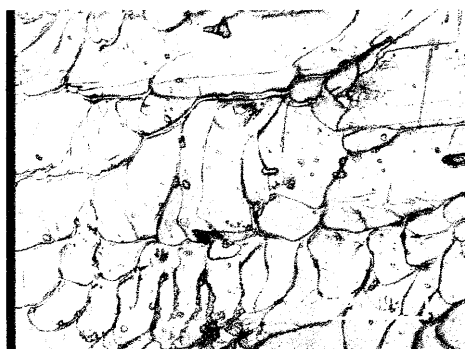


Fig.4 Vain pattern of fracture surface

Zhang らは、引張り、圧縮に関わらず破面は全体が Vein 模様であり一部 Shear band が観察されると報告している⁴⁾。本実験で得られた破面は、中央部に脆性破壊を示す破面が形成され、その周囲に Fig.4 に示す Vein 模様を持つ高温破壊の破面が生成され、Zhang らが示した破面ほど単純ではない。

3.3 割裂試験

Fig.3 に示すように、圧縮試験では工具との接触面から破壊が開始するが、明確に破壊開始点が確定できないので、脆性材料の引張強度を評価するために使用される割裂試験を行った。Fig.5 に 125,000fps で撮影した発光開始時の試験片を示す。円形断面中央やや右寄りから発光が開始し、負荷方向から 45 度前後の傾きで、激しく発光しながら破壊した。この破壊角は引張り変形による破壊角に一致せず⁴⁾、むしろ圧縮変形の破壊角に近い。一般的には割裂試験は引張強度の評価に用いられ、き裂は負荷点から垂直に進展するが、金属ガラスでは負荷方向に対して 45 度近傍にき裂が進展することから、本報告で用いた金属ガラスの破壊は単純な脆性材料の破壊ではないと推定される⁵⁾。このときの荷重-変位線図を圧縮試験の結果と併せて Fig.1 に示す。圧縮試験における破壊応力は、前述したように、2.1GPa 程

度であるが、引張試験と考えた割裂試験の応力評価式 ($\sigma = 2P / \pi dh$, d :直径, h :高さ) で求めれば引張破壊応力は 570MPa と圧縮破壊応力の約 1/4 である。前述の Zhang らによれば圧縮破壊強度と引張り破壊強度ほぼ等しいことが示されている。割裂試験における細長比は $d/h > 2$ と定義されているが、本実験では $d/h = 0.9$ なので高さの不足が破壊強度の違いを引き起こしている原因の 1 つと推定される。また、圧縮試験と考えれば破壊応力は約 890MPa となり、それでも円柱の圧縮破壊強度の 1/2 以下である。破面は、全体に Vein 模様を示すが、圧縮試験で得られた Vein 模様のピッチより小さくなっており、荷重-変位線図からも明らかなように、蓄えられた弾性エネルギーが小さく破壊時の破面温度が低下したと推定される。

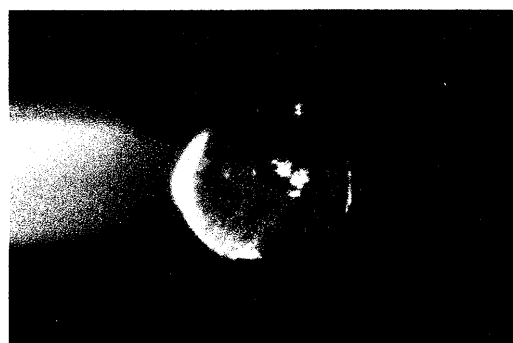


Fig.5 Initiation of light emission at splitting tensile test

4. まとめ

- 1) 実験に用いた Zr 基金属ガラスは、圧縮試験においても破壊時に発光現象に伴い激しく破壊する。
- 2) 圧縮変形では、上下の負荷面から破壊が開始し、割裂試験では円形断面はほぼ中央から破壊が開始する。いずれの場合でも、破断角は負荷方向から 45 度近辺である。
- 3) 圧縮試験により得られた破断面は Vein 模様で示される高温破壊破面だけではなく、脆性破面も形成される。
- 4) 割裂試験により得られた破断面は Vein 模様を示すが、圧縮試験のそれより Vein のピッチが減少している。

実験に用いた試料は、東北大学金属材料研究所、王 新敏氏からご提供頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 黒田、崎野、島田、金、日本材料学会第 58 期学術講演会講演論文集(2009) 295-296.
- 2) 崎野、黒田、金、文科省全国共同利用附置研究所連携事業(金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点)平成 20 年度連携プロジェクト研究成果報告書(2009) 127~128
- 3) Wang, G.Y. et al., Intermetallics 12(2004) 885-892.
- 4) Zhang Z. F., J.Eckert and L. Schultz, Acta Materialia, 51 (2003) 1167- 1179.
- 5) 古川、前岡、稲葉、徳田、材料、59 (2010) 110-117