マグネシウム合金 AZ31 圧延材の疲労特性に及ぼす湿度の影響

Effect of humidity on fatigue behavior of rolled magnesium alloy AZ31

○学 村山 義幸 (長岡技術大院)
正 宮下 幸雄 (長岡技術大)
正 武藤 睦治 (長岡技術大)

学 伊藤 恵介 (長岡技術大学)
正 大塚 雄市 (長岡技術大)

Yoshiyuki Murayama, Graduate student, Nagaoka Univ. of Tech
Keisuke Ito, Undergraduate student, Nagaoka Univ. of Tech
Yukio MIYASHITA, Nagaoka University of Technology
Yoshiharu MUTOH, Nagaoka University of Technology
Yuichi OTSUKA, Nagaoka University of Technology

KEY WORDS: Magnesium alloy, Fatigue, Corrosion

1. 緒言

マグネシウム合金は、他の金属材料と比較すると軽量で比強度に優れ、リサイクル性も良好である。現在、軽量化の要求が厳しい自動車の構成部材としての実用も進んでいる。しかし、これまでに報告^{1)~3)}されているようにその材料特性から使用環境の影響を受けやすく、実用設計上、腐食疲労が重要である。

本研究では、AZ31B 圧延材を供試材として高湿度環境中ならびに疲労試験中に条件を変化させて疲労試験を行い、疲労特性を調べた。

2. 実験方法

2.1 供試材および試験片 供試材として、AZ31B マグネシウム合金圧延材 (315mm×333mm×2.0mm) を用いた。供試材の微視組織の観察例を Fig.1 に、化学組成を Table1 に示す。供試材の結晶粒径を切断法により測定した結果、表面部ならびに中心部いずれにおいても約 17 μ m であった。引張試験の結果を Table2 に示す。引張試験は、クロスヘッドスピード 1.0mm/min の変位制御で行った。形状・寸法は JIS の 13 号 B (JIS Z2201) を参考に、肩部の半径を 25mm、つかみ部の幅を 30mm とした。

疲労試験片は、Fig.2 に示す形状・寸法に、機械加工により切出した。試験片表面は、600 番から 2000 番までのエメリ一紙を順次用いて負荷軸方向に灯油を塗布しながら研磨仕上げし、試験片加工時の切削跡を完全に除去した状態で疲労試験に供した。

2.2 疲労試験 疲労試験は、容量 10kN の電気油圧サーボ式疲労試験機 (Shimadzu EHF-F1) を用いて行った。荷重制御の精度を考慮し、5kN のロードセルを取付けた。軸のアライメントは、表裏面にゲージ長さ 1mm のひずみゲージを貼り付けた試験片を準備し、引張負荷を加え、ひずみの差が 5% 以内になるように調節した。疲労試験は荷重制御で行い、荷重波形は正弦波、繰返し速度 20Hz、応力比 $R=0.1$ とした。本実験では、①実験室環境、②高湿度環境、③環境サイクル試験、④高湿度環境－実験室環境試験、の 4 種類の環境で疲労試験を行った。①実験室環境試験では、通常の実験室環境

において疲労試験を行った。試験中に温度および湿度を測定した結果、それぞれ、11~17 $^{\circ}$ C、40~43%RH の範囲であった。②高湿度環境試験は、恒温恒湿環境槽を用いて、温度 50 $^{\circ}$ C、湿度 80%RH の条件で行った。なお、本実験では、安定した高湿度条件を得るため、温度を 50 $^{\circ}$ C としているが、実験室環境~50 $^{\circ}$ C の温度範囲では、疲労挙動に影響がないことが報告されている⁴⁾。③環境サイクル疲労試験は、高湿度環境 (50 $^{\circ}$ C、80%RH) における全寿命の 50% に相当する回数の疲労負荷を高湿度環境中で加えた後、実験室環境において同じサイクル数の疲労負荷を加える、という環境サイクルを、試験片が破断するまで繰返した。④高湿度環境－実験室環境試験では、まず、高湿度環境 (50 $^{\circ}$ C、80%RH) における全寿命の 75% もしくは 50% に相当する回数の疲労負荷を高湿度環境下 (50 $^{\circ}$ C、80%RH) において加え、その後、実験室環境に変えて、試験片が破断するまで疲労負荷を加えた。なお、③環境サイクル試験および④高湿度環境－実験室環境試験においては、環境条件のみを変化させ、負荷応力振幅は変化させていない。また、高湿度環境から実験室環境に変化させたときには、試験片表面が乾燥し、また、雰囲気温度および湿度が実験室環境と同一となったことを確認してから疲労負荷を加えた。②高湿度環境試験、③環境サイクル試験および④高湿度環境－実験室環境試験において、実験室環境から高湿度環境に変化させたときには、実験室環境条件に到達した後、恒温恒湿環境槽内の温度および湿度が安定するまで 15 分保持し、その後試験を開始した。

3. 結果および考察

①実験室環境および②高湿度環境において行った疲労強度試験の結果得られた S-N 曲線を Fig.3 に示す。同図より、高湿度環境下においては、実験室環境下と比較して、低応力・高サイクル領域において、疲労強度の低下が認められた。他方、高応力・低サイクル領域においては、高湿度環境の影響は認められず、高湿度環境における疲労強度は実験室環境

Table1 Chemical composition (mass%)

Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Ca	Mg
3.12	1.04	0.36	0.020	0.001	0.002	0.0005	0.001	bal.

Table2 Tensile properties for the material used.

Young's modulus (GPa)	0.2% proof stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
43	195	297	26

Fig.1 Microstructure of the material used

Fig.2 Geometry of the specimen for fatigue test.

における疲労強度とほぼ等しい。

②高湿度環境試験において、高応力・低サイクル領域および低応力・高サイクル領域において破断した試験片の破面および試験片表面観察例をFig.4および5にそれぞれ示す。Fig.4より、②高湿度環境試験において、高応力・低サイクル領域で破断した試験片の場合、破面上の疲労き裂起点部および試験片表面には、腐食疲労を示唆するような、腐食ピットの発生は認められなかった。他方、Fig.5に示すように、②高湿度環境において、低応力・高サイクル領域で破断した試験片の場合、破面上の疲労き裂起点部および表面に腐食ピットが形成されていた。この腐食ピットの発生およびそこからき裂の発生は、②高湿度環境下における疲労寿命の低下を導く一因と考えられる。なお、①実験室環境においては、負荷応力振幅レベルによらず、疲労破断起点部および試験片表面のいずれにも、腐食ピットの発生は認められなかった。

③環境サイクル試験および④高湿度－実験室環境試験の結果をFig.6に示す。同図中には、Fig.3に示した、①実験室環境および②高湿度環境における実験結果を、それぞれ、破線および一点鎖線で示している。③環境サイクル試験において、試験片は、いずれも、高湿度環境下で破断した。寿命を比較すると、③環境サイクル試験においては、④高湿度環境下よりも長寿命を示した。ただし、③環境サイクル試験において、高湿度環境下で負荷したサイクル数を合計すると、②高湿度環境試験において得られた寿命とほぼ等しかった。Fig.6より、④高湿度－実験室環境試験においては、②高湿度環境試験における全寿命の75%および50%に相当するサイクル数の疲労荷重をはじめに高湿度環境にて負荷した場合、いずれも、②高湿度環境下よりも長寿命を示した。ただし、①実験室環境下と比較すると、疲労強度は低下している。また、高湿度－実験室環境試験において、75%(Fig.6中■印)と50%(Fig.6中□印)を比較すると、75%の方が短寿命を示した。Zainuddinらは、AZ61 押出材を供試材とし、本実験と同様に50℃、80%RHの条件で疲労試験を行っている⁴⁾。報告によると、腐食ピットは全寿命のごく初期に発生し、さらに、全寿命の約50%でピットからき裂が発生している。本実験では、ピットおよび疲労き裂の発生挙動の詳細は不明だが、ピットからのき裂発生寿命が同程度と仮定すると、高湿度環境下において発生したピットから実験室環境下でき裂が発生・進展した、もしくは、高湿度環境下においてピットから発生したき裂が実験室環境下で引き続き進展して破断に至ったと考えられる。また、上述の②高湿度環境試験の結果、④高湿度環境－実験室環境試験において、75%(Fig.6中■印)の方が50%(Fig.6中□印)よりも寿命が短いこと、などを考慮すると、環境(高湿度)の影響は、腐食ピットの形成およびその成長のみではなく、き裂進展挙動にも影響を及ぼしている可能性が考えられる。

謝辞 本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)平成21年度標準化調査事業による支援を受けた。

Fig.3 S-N curve obtain by fatigue test at ① Laboratory Environment and ② high humidity(50°C80RH).

Fig.6 S-N curve obtain by fatigue test with ③ Environmental cyclic test. and ④ High humidity(50°C80%RH)→Lab. air test.

Fig.4 Observations of fracture surface(a),(b) and specimen surface(c), high humidity(50°C80%RH), $\sigma_a=100\text{MPa}$, $N_f=13700\text{cycle}$

Fig.5 Observation of fracture surface(a),(b) and specimen surface(c), high humidity(50°C80%RH), $\sigma_a=60\text{MPa}$, $N_f=115304\text{cycle}$