

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820318

研究課題名(和文)積極的に導入した変形双晶によるマグネシウム合金の疲労き裂進展抑制の可能性

研究課題名(英文)Fatigue crack retardation by deformation twin in magnesium alloy

研究代表者

森田 繁樹 (Morita, Shigeki)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00314089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：強い底面集合組織を有する多結晶マグネシウム合金展伸材の疲労き裂進展挙動に及ぼす変形双晶の影響について調査した。

その結果、き裂先端に予め存在する変形双晶は集合組織に関係無く(圧延材および押出材ともに)疲労き裂進展速度に大きな影響を及ぼさないばかりか、疲労き裂の進展を抑制する。その程度は変形双晶の体積分率に依存し、最適な体積分率が存在する。さらに、疲労き裂は変形双晶の界面あるいはその近傍を選択的に進展することはない。

研究成果の概要(英文)：The fatigue crack propagation behavior of pre-tension rolled and pre-compression extruded textured polycrystalline magnesium alloys were investigated. The pre-introduced deformation twins existing at a crack tip does not influence the fatigue crack propagation rate. There is the optimal volume of deformation twin. Finally, the fatigue crack does not propagate at the interface of deformation twins and/or deformation twin and matrix.

研究分野：工学

キーワード：マグネシウム合金 変形双晶 集合組織 結晶粒径 疲労き裂

1. 研究開始当初の背景

多結晶マグネシウム合金は特有の強い底面集合組織を有している。このような組織に起因して負荷時に変形双晶が容易に形成される。これまでに、多結晶マグネシウム合金押出材や圧延材の繰返し変形挙動や疲労特性などを調査してきた。その結果、疲労き裂は繰返しの初期段階で発生し、疲労寿命の約80%~90%が疲労き裂進展寿命であることを明らかにした。すなわち、疲労き裂進展挙動により全疲労寿命が支配されるが、疲労き裂進展挙動が集合組織(結晶方位)に強い影響を受けることを明らかにした。一方で、一般に変形双晶は破壊の起点あるいは経路と考えられているが、最近、変形双晶が疲労き裂進展抵抗となりうる可能性が示唆される実験結果を得ていた。

2. 研究の目的

本研究では、疲労き裂の進展し難い多結晶マグネシウム合金のミクロ組織を提案するため、き裂先端特異応力場における「疲労き裂進展メカニズムに及ぼす変形双晶の影響」について統一的・包括的な理解を得ることを目的とする。具体的には、疲労き裂が進展し難いミクロ組織(集合組織・結晶粒径・変形双晶の影響)を探索するために、疲労き裂進展速度に及ぼす予め導入された変形双晶の影響について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 供試材には市販のAZ31(3%Al-1%Zn-Mg)マグネシウム合金押出丸棒材を用いた。供試材の結晶粒はいずれも等軸粒であり、平均粒径は約120 μm であった。

変形双晶を導入していない状態で供試材を加工した試験片を未圧縮材と称する。また、予め体積分率の異なる変形双晶を導入する目的で、試験片加工前に圧縮耐力を超える圧縮応力を押出方向に85MPa、122MPa、および152MPa負荷することにより、それぞれ1%、3%および5%のひずみを付与した試験片を準備した。(以降、これらを1%圧縮材、3%圧縮材および5%圧縮材と称する。)EBSD解析により粗大粒を有する各供試材の押出方向に垂直な面の変形双晶の面積率を測定した。その結果、未圧縮材(粗大粒)、1%圧縮材、3%圧縮材および5%圧縮材の変形双晶の面積率はそれぞれ0%、3.4%、36.0%および56.4%であった。

疲労き裂進展試験では、CT試験片(幅 $W=12\text{mm}$ 、厚さ $B=6\text{mm}$ 、スリット長さ $a=4\text{mm}$)を用いた。全ての試験片の初期き裂面は押出方向に垂直である。同試験片には#3000までのエメリー紙による乾式研磨を施した後、バフ研磨により鏡面状に仕上げ、試験に供した。疲労き裂進展試験は、容量9.8kNのサーボパルサー(島津製作所EHL-EG10KN-10L)を用いて、室温大気中で、繰返し速度 $f=5\text{Hz}$ および 10Hz 、応力比 $R=0.1$ で行った。予備実験をもとに、各試験片の最大荷重 P_{max} を0.50kNお

よび0.55kNとした。

(2) 供試材には市販のAZ31(3%Al-1%Zn-Mg)マグネシウム合金圧延材(板厚 $t=60\text{mm}$)を用いた。供試材の結晶粒は等軸粒であり、平均結晶粒径は約38 μm であった。

変形双晶を導入していない状態で供試材を加工した試験片を未引張材と称する。また、予め体積分率の異なる変形双晶を導入する目的で、試験片加工前に引張耐力を超える引張応力を板厚方向に負荷することにより、それぞれ1%、2%および3%のひずみを付与した試験片を準備した。(以降、これらを1%引張材、2%引張材および3%引張材と称する。)

疲労き裂進展試験では、片側切欠き試験片(高さ50mm、幅12mm、厚さ4mm、スリット長さ1mm)を用いた。試験片は、荷重負荷方向が板厚方向であるS-T試験片(き裂面が圧延面に平行で、疲労き裂が板幅方向に進展)である。同試験片には#3000までのエメリー紙による乾式研磨を施した後、バフ研磨により鏡面状に仕上げ、試験に供した。試験機は容量9.8kNのサーボパルサー(島津製作所EHL-EG10KN-10L)を用いた。繰返し速度 $f=5\text{Hz}$ および 10Hz 、室温大気中で、応力比 $R=0.1$ で行った。

4. 研究成果

(1) 未圧縮材では疲労き裂進展の際に変形双晶の形成は確認されなかった。そこで、変形双晶を容易に形成する粗大な結晶粒径の供試材に予め変形双晶を導入し、その影響を調査した。実験を行った応力拡大係数範囲において、1%圧縮材のき裂進展速度は未圧縮材のそれと比較して低い値を示した。また、3%圧縮材および5%圧縮材のき裂進展速度と未圧縮材のそれは同程度であった。以上のことから、変形双晶がき裂先端に存在していてもき裂進展速度は高くなることがわかった。

SEMによる破面観察の結果、未圧縮材の破面はマクロなき裂進展方向に対して様々な方向の筋模様が確認できたが、1%圧縮材の破面には未圧縮材と比較して明瞭な直線的な筋模様が少なく、破面の凹凸も大きい。また、3%圧縮材の破面には、前述の2つより更に明瞭な筋模様が少なくなり、明瞭でない筋模様が多く確認できる。また、破面の凹凸が大きい。さらに5%圧縮材の破面は凹凸が最も大きく、明瞭でない筋模様が最も多く確認できた。

次に、疲労き裂進展経路のEBSD観察のため、疲労き裂進展試験後の試験片からサンプルを切出した。観察の結果、疲労き裂は結晶粒界ではなく結晶粒内を進展していた。また、変形双晶と母相との界面あるいはその近傍ではなく、結晶粒内を進展していることが確認できた。変形双晶がき裂の進展経路となる場合、疲労き裂は母相と変形双晶との界面あるいはその近傍を進展することが考えられるが、それが見られず、変形双晶が疲労き裂進展速度を高くするものではないと考察できる。

(2) 未引張材では疲労き裂進展の際に変形双晶の形成は確認されなかった。そこで、引張負荷によって変形双晶を容易に形成する S-T 試験片に予め変形双晶を導入し、その影響を調査した。実験を行った応力拡大係数範囲において、2%引張材のき裂進展速度は未引張材のそれと比較して低い値を示した。また、1%引張材および3%引張材のき裂進展速度と未引張材のそれは同程度であった。以上のことから、変形双晶がき裂先端に存在していてもき裂進展速度は高くなることがわかった。

以上の結果より、き裂先端に存在する変形双晶の存在により疲労き裂進展を遅延させる可能性が示されたが、今後、より詳細な観察・検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) S. Morita, S. Fujiwara, T. Hori, N. Hattori, H. Somekawa, T. Mayama, Microstructure dependence of fatigue crack propagation behavior in wrought magnesium alloy, Fracture and Structural Integrity, 35, 82-87, 査読有, (2015) .

〔学会発表〕(計 15 件)

(1) 一ノ瀬彩実, 森田繁樹, 服部信祐, 眞山剛, AZ31Mg 合金圧延材におけるミクロ組織変化の負荷方向依存性, 日本機械学会九州学生会 第 47 回卒業研究発表講演会, 2016 年 3 月 4 日, 鹿児島工業高等専門学校 .

(2) 坂口尚希, 池田亮太, 森田繁樹, 眞山剛, 服部信祐, AZ31Mg 合金圧延材の疲労寿命に及ぼす負荷開始方向の影響, 日本機械学会九州学生会 第 47 回卒業研究発表講演会, 2016 年 3 月 4 日, 鹿児島工業高等専門学校 .

(3) 森田繁樹, 高応力振幅下における多結晶 Mg 合金の疲労特性異方性, 第 60 回高性能 Mg 合金創成加工研究会 (招待講演), 2016 年 1 月 18 日, 熊本大学 .

(4) 田河博康, 岡本悠司, 森田繁樹, 染川英俊, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金押出板材の疲労き裂進展挙動, 軽金属学会第 129 回秋期大会, 2015 年 11 月 21 日, 日本大学 .

(5) 森田繁樹, 森彩奈, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金圧延材における引張および圧縮変形中のミクロ組織変化, 日本機械学会 M& M2015 材料力学カンファレンス, 2015 年 11 月 23 日, 慶應義塾大学 .

(6) S. Morita, S. Fujiwara, T. Hori, N. Hattori, H. Somekawa, T. Mayama, Microstructure dependence of fatigue crack propagation behavior in wrought magnesium alloy, The 5th International Conference on Crack Paths (CP2015), 2015

年 9 月 16 日, Ferrara, Italy.

(7) R. Momoe, S. Morita, T. Mayama, N. Hattori, Influence of pre-strain on fatigue crack growth behavior in rolled AZ31 magnesium alloy, 12th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials (ICM12), 2015 年 5 月 12 日, Karlsruhe, Germany .

(8) S. Morita, R. Ikeda, T. Mayama, N. Hattori, Anisotropy of cyclic deformation and fatigue properties in rolled AZ31 magnesium alloy, 12th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials (ICM12), 2015 年 5 月 12 日, Karlsruhe, Germany .

(9) Y. Okamoto, T. Hori, S. Morita, H. Somekawa, T. Mayama, N. Hattori, Fatigue properties of fine-grained AZ31 magnesium alloy, 12th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials (ICM12), 2015 年 5 月 12 日, Karlsruhe, Germany .

(10) 森田繁樹, マグネシウム合金展伸材の擬弾性挙動に及ぼす結晶粒径および集合組織の影響, 第 55 回高性能 Mg 合金創成加工研究会 (招待講演), 2014 年 12 月 4 日, 熊本大学 .

(11) 堀爵仁, 岡本悠司, 森田繁樹, 染川英俊, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金押出板材の疲労き裂進展挙動に及ぼす結晶粒径の影響, 軽金属学会第 127 回秋期大会, 2014 年 11 月 15 日, 東京工業大学 .

(12) 藤原誠也, 森田繁樹, 眞山剛, 服部信祐, 粗大粒 AZ31 マグネシウム合金押出材の疲労き裂進展挙動に及ぼす応力比の影響, 軽金属学会第 127 回秋期大会, 2014 年 11 月 15 日, 東京工業大学 .

(13) 池田亮太, 森田繁樹, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金圧延材の疲労特性に及ぼす試験片採取方向の影響, 軽金属学会第 127 回秋期大会, 2014 年 11 月 15 日, 東京工業大学 .

(14) 百枝亮一, 森田繁樹, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金圧延材の疲労き裂進展挙動に及ぼす板厚方向の引張予ひずみの影響, 軽金属学会第 127 回秋期大会, 2014 年 11 月 15 日, 東京工業大学 .

(15) 森田繁樹, 森彩奈, 藤原誠也, 眞山剛, 服部信祐, AZ31 マグネシウム合金圧延材の繰返し変形挙動に及ぼす試験片採取方向の影響, 日本機械学会 M& M2014 材料力学カンファレンス, 2014 年 7 月 20 日, 福島大学 .

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.me.saga-u.ac.jp/sentan/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 繁樹 (MORITA, Shigeki)

佐賀大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：00314089