

繰返し弾塑性・擬弾性変形により形成した変形双晶の制御による マグネシウム合金の結晶粒微細化と高強度化

佐賀大学大学院工学系研究科機械システム工学専攻

准教授 森田繁樹

(平成 21 年度奨励研究助成 AF-2009031)

キーワード：マグネシウム，繰返し変形，変形双晶

1. 緒言

マグネシウム合金は構造用材料の中で最も比重が低く，高い比強度を持ち，リサイクル性を有することから，有望な軽量構造用材料として期待され，現在では主に電子機器の筐体等に使用されている．近年では自動車等の輸送機器の構造用部材としての適用が期待されている．

一方で，マグネシウム合金展伸材では強い集合組織に起因して，押出および圧延方向に圧縮負荷を受けると，引張負荷に比べ容易に塑性変形が起こる．これは底面すべりおよび(10-12)引張型変形双晶によるものであることが知られている¹⁾．過去の研究では，引張あるいは繰返し応力が負荷された際に変形双晶が破壊（き裂）の起点となることが示唆されているが²⁾，これまでに申請者が行ってきた高サイクル疲労試験において，前述のように圧縮負荷によって塑性変形が起こっても繰返し数 10^7 回まで疲労破壊しない現象を確認している³⁾．さらに，応力制御の疲労試験中の応力ひずみヒステリシスループに擬弾性的な挙動が確認され，その後の繰返し数の増加に伴って，加工硬化することが確認されている⁴⁾．繰返し数の増加に伴う加工硬化の進行は，繰返し引張-圧縮負荷を受けた際に底面すべりおよび変形双晶の一部が可逆的な挙動を繰返すことによって，徐々に固着するためであると考えられている⁵⁾．また，疲労強度を越える応力振幅で十分に繰返し負荷を受けた後の試験片に多数の変形双晶が確認されている⁴⁾．このような繰返し負荷によって形成された変形双晶は熱処理によって新たな結晶粒の核生成サイトとなる可能性があり，結晶粒微細化による強度向上が期待される．

本研究では，繰返し引張-圧縮応力を付与することにより塑性ひずみおよび変形双晶を導入したAZ31 マグネシウム合金圧延材を用い，結晶粒微細化によるマグネシウム合金の高強度化の可能性について調査することを目的とする．

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材および試験片形状

供試材は，表1の化学組成の市販のAZ31 マグネシウム合金圧延板(板厚16mm)を用いた．本供試材の初期マイクロ組織および極

点図を図1に示す．図1(a)において，結晶粒は等軸であり，その平均結晶粒径は約 $20\mu\text{m}$ であった．また，図1(b)に示すように，本供試材の集合組織は，各結晶粒の底面が圧延面に平行に配向している一般的な圧延材の集合組織を有している．また，

表1 化学組成 (mass%)

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Mg
3.13	0.98	0.35	0.01	0.005	0.004	0.002	Bal.

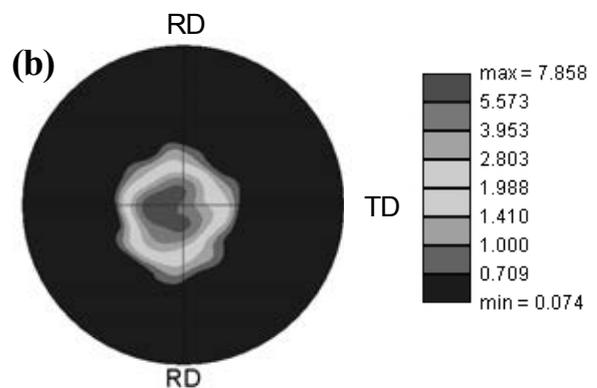
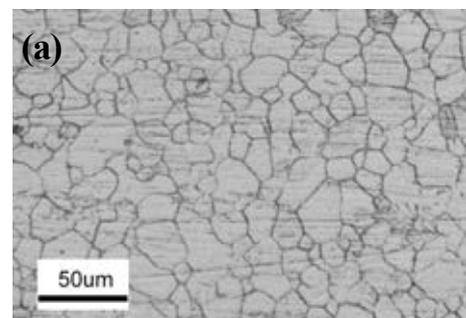


図1 光学顕微鏡およびSEM/EBSDによる組織観察 (a)マイクロ組織，(b)極点図

表2 機械的特性

圧縮0.2%耐力, $\sigma_{0.2comp}$ / MPa	引張0.2%耐力, $\sigma_{0.2tens}$ / MPa	引張強さ, σ_B / MPa	破断伸び, ε_f / %
75	145	253	17.5

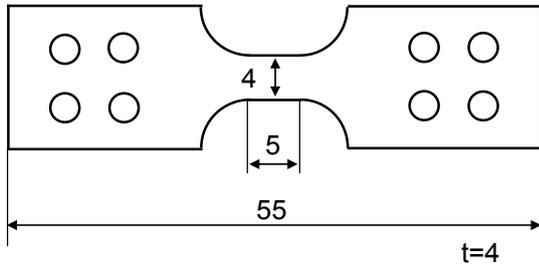


図2 繰返し引張-圧縮応力を付与した試験片形状 (in mm)

繰返し引張-圧縮応力の付与および熱処理前の初期材のビッカース硬さは、60.6HVであった。引張試験および圧縮試験により得られた本供試材の機械的特性を表2に示す。本供試材の引張の0.2%耐力は圧縮の0.2%耐力と比較して低く、一般的なマグネシウム合金展伸材の特性を示している。

本研究において繰返し引張-圧縮応力を付与した試験片形状を図2に示す。試験片標点間部の長さ5mm、幅4mmおよび厚さ4mmとした。

2・2 繰返しひずみの導入

まず、繰返し引張-圧縮負荷によって塑性ひずみが導入できる条件を検討するため、応力制御の軸力疲労試験を行った。軸力疲労試験は容量9.8kNの油圧サーボ型疲労試験機を用い、応力比 $R=-1$ 、周波数 $f=10\text{Hz}$ で、室温大気中で行った。その結果を図3に示すが、本供試材の疲労限度は95MPaであることが分かった。この値は、表2の圧縮の0.2%耐力と比較して高い値である。すなわち、疲労限度である応力振幅95MPa以下の応力振幅で、かつ圧縮の0.2%耐力である75MPa以上の応力振幅範囲であれば、 10^7 回の繰返し数を負荷しても疲労破壊せず、繰返し塑性ひずみを付与できることを意味する。従って、本研究で付与する応力振幅は、75MPa、85MPaおよび95MPaに決定した。また、図4に示すように試験片標点間部に貼付したひずみゲージより得られた応力振幅が95MPaでの応力-ひずみヒステリシスループの引張時および圧縮時の最大ひずみ値と繰返し数の関係より、繰返し数が100回以上であれば加工硬化が十分に飽和することが分かった。そこで今回は、繰返し数を 10^3 回で一定とした。

繰返し引張-圧縮負荷によるひずみの導入は、容量9.8kNの油圧サーボ型疲労試験機を用い、応力比 $R=-1$ 、周波数 $f=10\text{Hz}$ で、

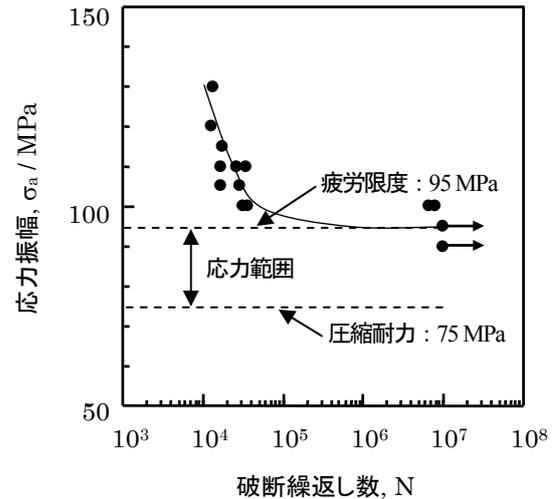


図3 予備試験により得られたS-N曲線

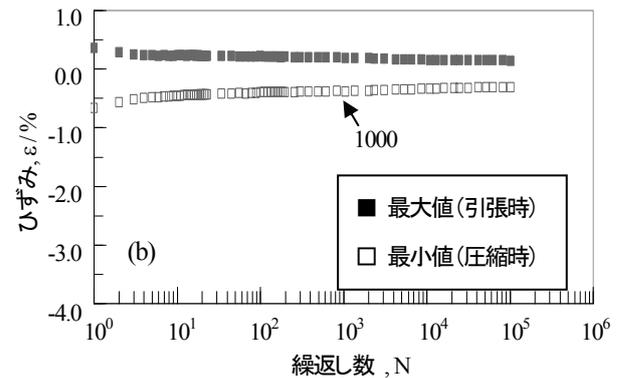
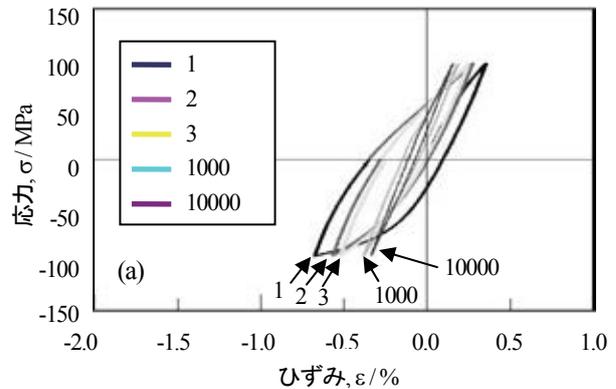


図4 応力振幅 $\sigma_a=95\text{MPa}$ での繰返し引張-圧縮応力負荷時の (a) 応力-ひずみヒステリシスループ、(b) 最大および最小ひずみの繰返し数に対する変化

室温大気中で行った。繰返しひずみ導入後の熱処理温度は150°C、200°C、250°Cおよび300°Cの4条件とし、熱処理時間は全て1時間で一定とした。

3. 実験結果および考察

図5に本研究で得られたビッカース硬さに及ぼす応力振幅および熱処理温度の影響を示す。繰返し塑性ひずみの付与およびその後の熱処理を施していない初期材のビッカース硬さは60.6であったのに対し、繰返し塑性ひずみの付与およびその後熱処理を施すことによってビッカース硬さの変化が認められる。まず、熱処理温度150℃では、付与した応力振幅の増加に伴いビッカース硬さは上昇しているものの、いずれの応力振幅であっても初期材のビッカース硬さから約10%低下している。また、熱処理温度200℃で、応力振幅85および95MPaを付与した試験片のビッカース硬さが最大値を示している。しかし、応力振幅85および95MPaでひずみを付与した試験片では、熱処理温度200℃のビッカース硬さをピークに熱処理温度の上昇に伴い、ビッカース硬さが減少する傾向が見られる。

これに対して、応力振幅75MPaでひずみを付与した試験片では、

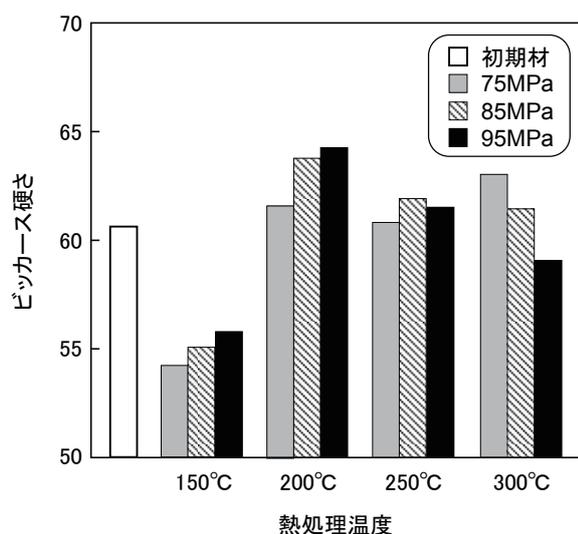


図5 硬さに及ぼす応力振幅の影響

熱処理温度の上昇に伴いビッカース硬さは上昇し、熱処理温度300℃でピーク値を示している。このようなビッカース硬さの上昇は結晶粒の微細化によるものと考えられるが、本研究で得られたビッカース硬さの最大値は初期材の約10%程度の向上に留まっており、研究前に期待した大幅な硬さ（強度）の向上は認められなかった。今後、熱処理後のマイクロ組織を詳細に検討する必要がある。さらに、付与する応力振幅（圧縮の平均応力を付与した状態での繰返しひずみの導入）あるいは、熱処理温度および時間について再度検討を行うことで、さらなる高強度化が達成できるものと考えられる。

4. 結言

AZ31 マグネシウム合金圧延材を用い、疲労強度である95MPaの応力振幅で繰返し引張-圧縮応力を付与した後に200℃で1時間の熱処理を施すことにより、初期材に比較して約10%のビッカース硬さの向上が達成された。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、奨励研究助成(AF-2009031)をいただきました財団法人天田金属加工機械技術振興財団に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 小池淳一, 宮村剛夫: 軽金属 54, (2004), 460.
- 2) F. Yang, S.M. Yin, S.X. Li and Z.F. Zhang: Mater. Sci. Eng. A 491 (2008), 131.
- 3) 森田繁樹, 中原雅史, 大野信義, 川上雄士, 円城寺隆志, 原田泰典: 日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス, (2009), 0S0717.
- 4) 森田繁樹, 田中慎吾, 中原雅史, 大野信義, 川上雄士, 円城寺隆志: 軽金属 59, (2009), 548.
- 5) T. Uota, A. Yamamoto: Mater. Trans., 50 (2009), 2118.