

マグネシウム合金押出材の疲労強度向上に関する研究

材料環境部

円城寺隆志 川上雄士 玉井富士夫

佐賀大学工学部

大野信義 森田繁樹

自動車などに用いられる機械部品の軽量化として期待されている AZ 系マグネシウム合金押出材の疲労強度向上を目的にショットピーニング処理を検討した。その結果、以下のことが分かった。(1) ショットピーニング処理により AZ10 および AZ31 合金押出材の疲労特性が改善された。(2) ショットピーニング処理による AZ61 合金押出材の疲労特性の改善は認められなかった。(3) AZ10 合金押出材では、ショットピーニング処理により疲労限度が約 13%向上した。

1. はじめに

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、主に電子機器の筐体等に使用されている。最近では、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。

しかしながら、マグネシウム合金の疲労強度や耐摩耗性は他の合金と比較して決して優れているとはいえず、構造材料用途としての適用の課題となっている。これらの特性を改善する1つの方法として、ショットピーニング処理が挙げられる。ショットピーニングは疲労強度や耐摩耗性の向上を目的に表面層を塑性変形させて圧縮残留応力を付与し、同時に表面層を加工硬化させる冷間加工法である¹⁾。一般に、歯車やバネなどの部品に多く利用されている。

最近、Zhang らは最適な条件でショットピーニング処理を施すことにより高強度 AZ80 マグネシウム合金押出材の疲労限度が約 60%向上することを報告している²⁾。しかし、最適なショットピーニング処理条件以上であれば表面近傍の硬さや圧縮残留応力

は増加するものの、表面が粗くなることで疲労強度が低下することも報告している。また、最近になり、同様の代表的押出材合金である AZ31 マグネシウム合金においてもショットピーニング処理による疲労強度の向上を目的とした研究が行われ始めた³⁾が、マグネシウム合金の疲労特性に及ぼすショットピーニングの影響については未だ不明な点が多い。

そこで本研究では、ショットピーニング処理を3種類の AZ 系マグネシウム合金押出材に施すことによって、疲労特性に及ぼすショットピーニング処理の影響を系統的に調査した。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は、三協マテリアル(株)で製造された AZ10、AZ31 および AZ61 マグネシウム合金押出材(直径 16mm)である。各供試材の化学組成を表1に示す。また、機械的性質を表2に示す。

ミクロ組織観察の結果、AZ10、AZ31 および AZ61 合金押出材の平均結晶粒径は、それぞれ約 300 μm 、250 μm および 40 μm であった。

表1 マグネシウム合金押出材の化学組成 [mass%]

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Mg
AZ10	0.96	0.32	0.31	<0.005	<0.10	<0.05	<0.005	Bal.
AZ31	3.07	0.85	0.32	<0.005	<0.10	<0.05	<0.005	Bal.
AZ61	6.04	0.67	0.34	<0.005	<0.10	<0.05	<0.005	Bal.

表2 マグネシウム合金押出材の機械的性質

	引張強さ [MPa]	0.2%引張耐力 $\sigma_{0.2}$ (引張)[MPa]	破断ひずみ ϵ [%]
AZ10	269	210	9
AZ31	260	218	18
AZ61	303	217	17

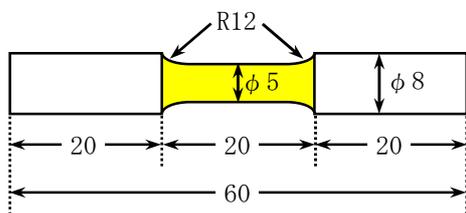


図1 疲労試験片の形状と寸法

2.2 回転曲げ疲労試験およびショットピーニング

図1に回転曲げ疲労試験で用いた試験片形状と寸法を示す。疲労試験片(直径 $\phi 5$ mm, 平行部長さ10mm)は試験片の長さ方向と押出方向とが一致するように機械加工により作製した。容量14.7Nmの小型小野式回転曲げ疲労試験機を用い、周波数 $f=60$ Hzで、室温大気中で回転曲げ疲労試験を行った。ショットピーニングは、直径0.1mmの鋳鋼(700HV)を用い、投射距離200mm, 投射圧力0.4MPaおよび投射時間20sを90度きざみに回転させ、1本につき4回投射した。図1の黄色部がショットピーニング処理を施した部分である。

3. 結果および考察

図2, 3および4にショットピーニング前後のそれぞれの合金について、回転曲げ疲労試験により得られたS-N曲線を示す。繰返し数 10^7 サイクルを疲労限度と定義すると、ショットピーニング前のAZ10, AZ31およびAZ61合金押出材の疲労限度はそれぞれ70MPa, 100MPaおよび150MPaであった。一般的な構造材料などに用いられる金属材料の場合、回転曲げ疲労試験における疲労強度を疲労比(σ_w/σ_B)(σ_w :疲労強度, σ_B :引張強度)で表すと0.4~0.6であることが知られている⁴⁾。本研究で得られたAZ10, AZ31およびAZ61合金押出材の疲労比は、それぞれ

0.26, 0.38および0.50であり、AZ10合金押出材の疲労比は一般に提唱されている値よりも相当低い値であった。一般的な構造材料で提唱されている疲労比よりも今回のAZ10合金の疲労比が小さい原因としては、押出材に存在する強化合金元素量が他の2つの合金と比較すると少量であり、平均結晶粒径が $300\mu\text{m}$ と大きいと、押出加工によって塑性歪みが発生しやすく、結果として大きな残留応力が残っており、この影響で疲労比が小さくなったと考えることで一応の説明はできるが、詳細については不明である。また、全ての合金のS-N曲線において明瞭な折れ曲がり認められず、 10^7 サイクルで定義した疲労限の存在についても今後検討する必要がある。

ここで合金ごとにショットピーニング処理の効果を検討する。AZ10合金では、図2に示すようにショットピーニング後の疲労限度は90MPaであり、ショ

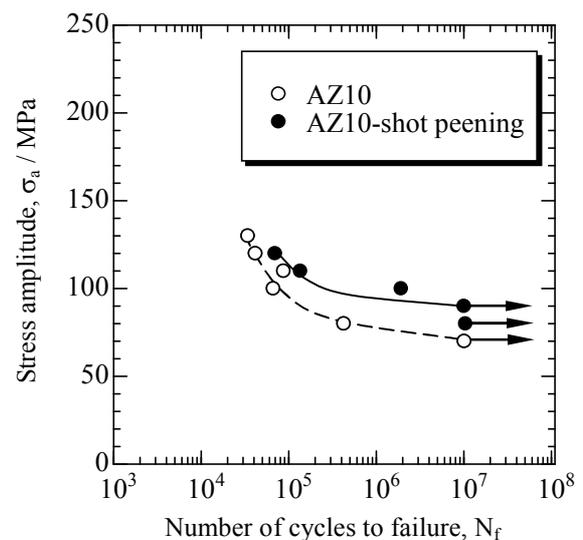


図2 AZ10 マグネシウム合金押出材のS-N曲線

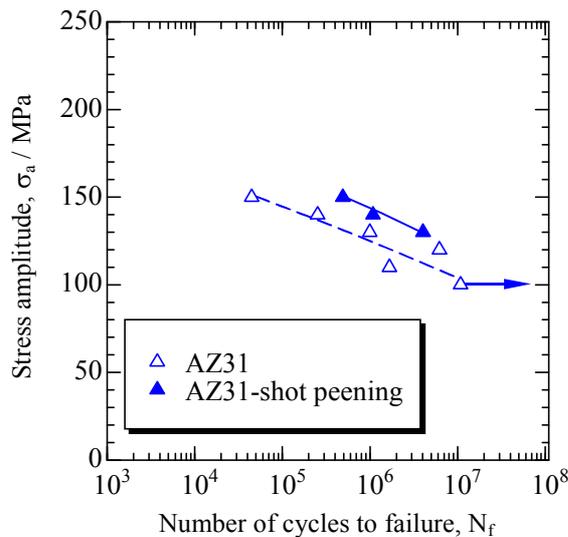


図3 AZ31 マグネシウム合金押出材の S-N 曲線

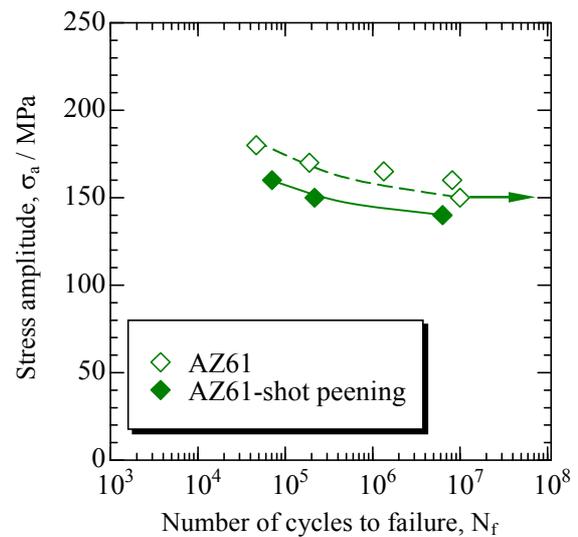


図4 AZ61 マグネシウム合金押出材の S-N 曲線

ットピーニング前の疲労限度と比べ約 13%向上している。また、全寿命域においてショットピーニング処理を施すことにより長寿命となっていることが分かる。以上のことから AZ10 合金の場合、ショットピーニング処理は疲労強度特性を改善される。

また、AZ31 合金については、図3に示すように、ショットピーニング後の疲労寿命がショットピーニング前より AZ10 合金と同様に、長寿命となっていることが分かる。AZ31 合金の場合も同様にショットピーニングの効果によって、疲労強度特性が改善される。疲労強度特性向上の理由として、ショットピーニング前の AZ10 および AZ31 合金押出材の結晶粒径がそれぞれ約 $300\mu\text{m}$ および約 $250\mu\text{m}$ と大きいことが考えられる。ショットピーニングにより試験片表面に圧縮残留応力が付与されたことと併せて、表面の結晶粒が微細化された組織微細効果によって疲労強度が向上したものと考えられる。その中でも残留応力の存在の効果については、前述の AZ10 合金のピーニング前の疲労比が一般的に提唱されている値よりも小さい理由とも良く整合することから、その影響は大きいと考えられる。

一方、AZ61 合金押出材ではショットピーニングによる疲労強度向上は認められなかった。ショットピーニング処理によって試験片表面に圧縮残留応力が存在すること、および結晶粒微細化が生じることにより、疲労強度特性が向上するはずである。しかし、結果はそうっていない。この理由としては、表面

粗さの影響（マイナス効果）と、圧縮残留応力付与および結晶粒微細化効果（共にプラス効果）の大小関係で説明できると考えている。AZ61 合金の場合、マグネシウム合金としては高強度材料であり、また結晶粒径も他の2つの合金に比べると $40\mu\text{m}$ と格段に小さいことから、圧縮残留応力効果と結晶粒微細化効果は他の2つの合金に比べてそれほど顕著ではなく、ピーニングによる表面粗さの増大、換言すると表面凹凸での応力集中効果による見かけの疲労強度低下が顕著に現れたものと考えられる。

4. おわりに

ショットピーニングを施すことによって AZ10 および AZ31 合金押出材の疲労強度特性は改善されたが、AZ61 合金押出材の疲労特性は低下した。この違いはショットピーニングがマグネシウム合金に与えるプラス効果（圧縮残留応力付与、結晶粒微細化）とマイナス効果（表面粗さの増大）の大小関係から説明できると考えられる。そして、合金素材由来による結晶粒径の大小によってプラスに影響する場合とマイナスに影響する場合の閾値があるものと考えている。今回、ショットピーニング処理効果が最も大きかった AZ10 合金押出材では、ショットピーニングを施すことによって疲労限度が約 13%向上した。

参考文献

- 1) 原田泰典 : 軽金属, 56 (2006), 730.

- 2) P. Zhang, J. Lindemann : Scripta Materialia
52, (2005), 485.
- 3) 野口明宏, 船見国男 : 軽金属学会第115回
秋期大会概要, (2008), 103.
- 4) 富士明良 : 工業材料入門, 山海堂, (2003).
- 5) 日本塑性加工学会編, マグネシウム加工技術,
コロナ社, (2004).