

3541 超微細粒粉末冶金アルミニウム合金の 中高温環境下の疲労強度特性

The Fatigue Strength of Ultra-fine Grained P/M Aluminum Alloys at Elevated Temperature

○正 菅田 淳(広工大), 正 植松美彦(岐大工), 正 箕島弘二(阪大工)

Atsushi Sugeta*, Yoshihiko Uematsu and Kohji Minoshima

* Hiroshima University, kagamiyama, Higashi-Hiroshima

Fatigue strength at elevated temperatures were investigated using ultra-fine grained P/M (Powder Metallurgy) aluminum alloy of which grain size was from 200 to 500 nm. Reversed plane bending fatigue tests were conducted at three different temperatures of room temperature (R.T.) and 250°C (523K), and crack initiation and small crack growth were studied in detail by means of replication technique. The effect of pre-plastic working on fatigue strength was investigated using the three kinds of P/M Al alloys which were upset forging ratios. The dependence of fatigue strength on temperature was much smaller than that of conventional Al alloys. The crack initiated at the boundary between powders regardless of forging ratios.

Key Words: Fatigue, Ultra-fine grain, Powder metallurgy, Elevated temperature, Pre-plastic working,

1. 緒言

近年、環境問題や資源エネルギーの問題が深刻となりつつあり、自動車をはじめ、輸送機器の軽量化が可能な、新たな軽量合金の開発が望まれている。アルミニウム合金に対しても粉末冶金法を用い、多結晶材料は結晶粒径が小さいほど強度が高いという、Hall-Petch の法則にもとづき、結晶粒径が200~500nm という従来にない超微細結晶粒 P/M アルミニウム合金「ナノアルミ」が開発された。新しい材料を機械構造物に適用するには、材料の疲労特性を知ることが非常に重要である。特に、構造物の疲労破壊に多く関与している、微小き裂の発生および初期進展挙動を明らかにすることが重要である。したがって本研究では、超微細結晶粒アルミニウム合金を押出法により作成した押出材に、30%、50%の据込鍛造を施した据込鍛造材について、室温下、中高温下(250°C)で平面曲げ疲労試験を行い、塑性予加工の影響および温度の影響について検討した。

2. 供試材料および試験方法

供試材料の化学組成を Table 1 に示す。Mm (ミッシュメタル) とは、La, Ce などの希土類金属元素の混合物である。原料粉末に冷間等方圧縮を施し、押出法で成形した材料を 0%材 (UF0)、0%材に追加の塑性加工として、30%、50%の据込鍛造を行った材料を 30%材 (UF30)、50%材 (UF50) とする。Fig.1 にそれぞれ室温下、高温下での機械的性質を示す。

Table 1 Chemical composition (mass%).

Material	Ni	Si	Zr	Fe	MM	Al
Ultra-fine grained Al Alloy	1.5	17.0	1.5	2.0	5.0	bal.

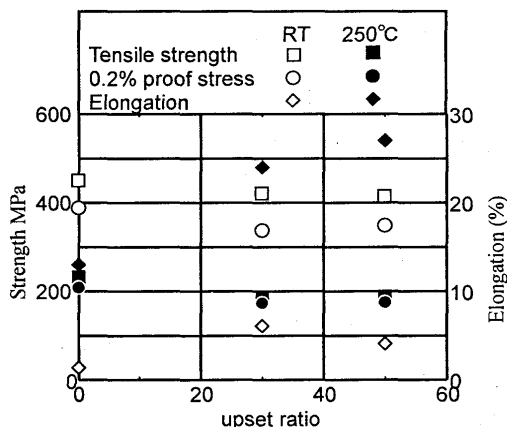


Fig.1 Mechanical properties.

強度は鍛造比の増加につれ低下する傾向を示し、高温下では室温下の半分程度に低下している。一方延性は鍛造比、温度の増加につれて上昇する傾向を示している。平面曲げ試験片にはき裂の発生位置を限定するために、中央部に切欠きを行っている。疲労試験には小型動電型平面曲げ疲労試験機を使用し、繰返し速度 $f=30\text{Hz}$ 、応力比 $R=-1$ で疲労試験を行い、試験途中に適宜試験機を停止して、レプリカを採取することにより、微小疲労き裂の初期進展挙動を観察した。また、試験終了後には走査型電子顕微鏡 (SEM) により、破面観察を行い、き裂の発生起点や初期進展挙動の検討を行った。

3. 観察結果および考察

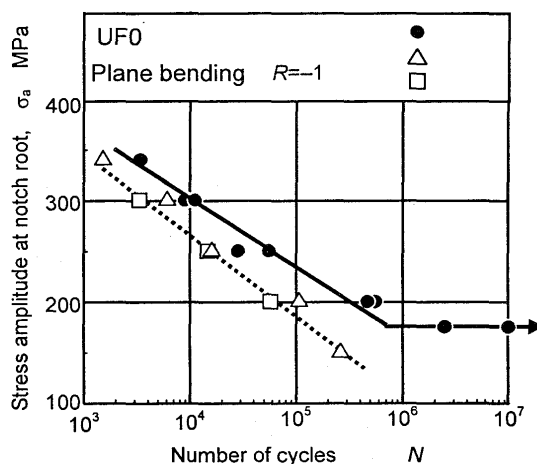


Fig.2 S-N curves of

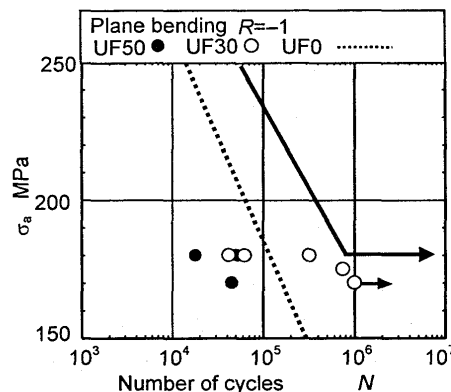


Fig.3 S-N curves of UF30 and

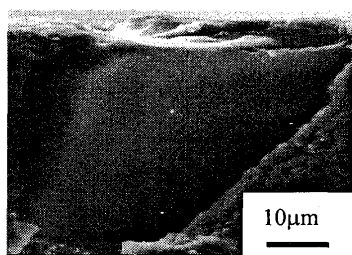


Fig. 4 Inclusion at crack origin (UF0, $\sigma_a=250\text{MPa}$, room temperature).

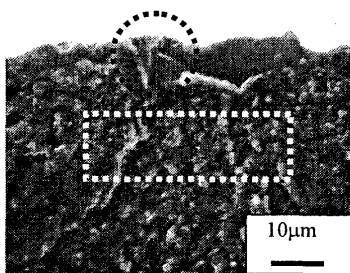


Fig. 5 Inclusion at crack origin (UF30, $\sigma_a=180\text{MPa}$, 250°C).

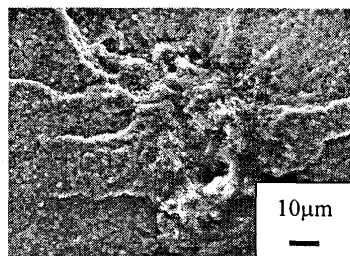


Fig. 6 Inclusion at crack origin (UF50, $\sigma_a=180\text{MPa}$, 250°C).

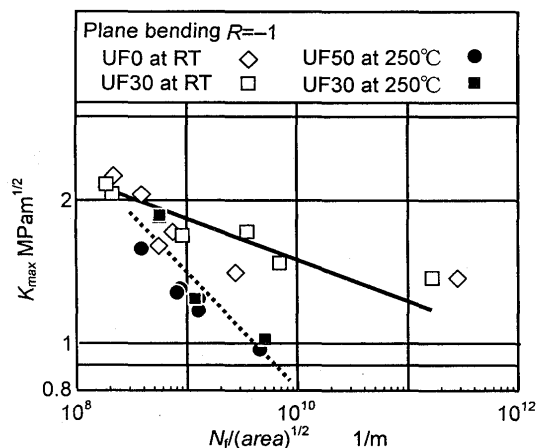


Fig. 7 $K_{\max}-N_f/(area)^{1/2}$ relationships.

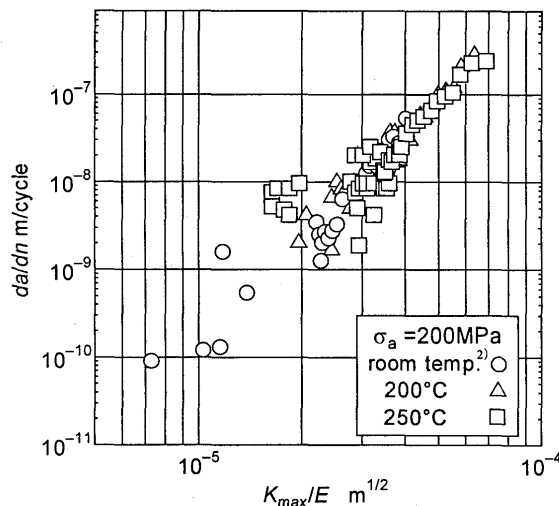


Fig. 8 Relationship between da/dn and K_{\max}/E ($\sigma_a=200\text{MPa}$).

Fig. 2にUF0の室温ならびに高温下(200°Cの結果を含む)のS-N曲線を示す。室温下での疲労限度は180MPa程度である。温度の上昇とともに疲労強度が低下しているが、200°Cと250°Cでの強度差は小さい。比較的耐熱性が良いとされる鋳造アルミニウム合金AC4CHを用いて著者の一人が行った回転曲げ疲労試験では、250°Cでの疲労強度は室温と比較すると1/60程度まで低下する。本材の場合、250°Cの有限寿命域における疲労強度は、室温の1/5~1/10程度であり、温度上昇による強度低下は一般のアルミニウム合金よりも小さいことがわかる。Fig. 3はUF30およびUF50材について疲労限度近傍について試験を行った結果を示す。バラツキが多いが温度上昇による疲労強度低下が認められるが、塑性予加工の影響は余り認められないようである。

0%材、応力振幅 $\sigma_a=250\text{MPa}$ 、室温条件下におけるき裂発生起点を走査型電子顕微鏡 (SEM) により撮影した写真を Fig. 4 に示す。介在物が抜け落ちたと考えられるものが観察された。この介在物の破壊により、き裂は発生し、進展したと考えられる。30%材、応力振幅 $\sigma_a=180\text{MPa}$ 、中高温条件下におけるき裂発生起点の SEM 写真を Fig. 5 に示す。この破面では円で囲んだ領域に粉末粒の一部が抜け落ちたと考えられる領域が観察できた。また四角で囲んだ領域に凹凸が観察できる。これは粉末粒界の一部と考えられ、粉末粒の一部が起点となり、き裂が発生し破断に至ったと考えられる。UF50, $\sigma_a=180\text{MPa}$ 、中高温条件下におけるき裂発生起点の SEM 写真を Fig. 6 に示す。この破面でも同様の介在物が観察できたが、この介在物は、切欠き底表面ではなく、内部に存在しており、この介在物を起点にき裂が進展したと考えられる。

本材料のき裂発生には介在物または粉末粒界が関係していることが明らかとなった。そこで、欠陥面積 $area$ より求め

た最大応力拡大係数 K_{\max} と破断寿命 N_f を初期欠陥寸法の平方根で除した $N_f/(area)^{1/2}$ の関係を検討したものを Fig. 7 に示す。欠陥面積 $area$ は介在物が起点となっている場合には介在物を半だ円形状として求め、粉末粒界が起点に関係している場合には、き裂進展方向に垂直な面に投影した粉末粒径を適用した。図より、欠陥面積を用いた K_{\max} により、破断寿命 N_f を整理することができ、多少のばらつきはあるものの、起点となった介在物や粉末粒などの欠陥面積部分の最大応力拡大係数 K_{\max} が大きいほど破断寿命が短くなっている。したがって、本材料の破断寿命の改善には、粉末粒の微細化、介在物の除去、粉末粒子間の結合の強化などが挙げられる。 $K_{\max}-N_f/(area)^{1/2}$ 関係の傾きはき裂進展速度曲線のべき数 m を表しており、中高温下の方が傾きが急であることから中高温下でのほうがき裂進展速度が高いと考えられる。

Fig. 8 は UF0 材の K_{\max} を各温度での E で正規化した値と き裂進展速度の関係を示したものである。ここで、室温、200°C、250°Cにおける縦弾性係数 E は、材料供給元によってそれぞれ 90GPa、81GPa、78GPa と測定されている。室温を含め、各温度でのき裂進展速度は一致する傾向にある。レプリカ観察や破面観察において微小き裂進展様相には、顕著な温度依存性が認められなかったことから、各温度でのき裂進展速度の相違は主に縦弾性係数の違いによるものである。したがって、温度上昇とともにき裂進展速度が加速することになり、 $K_{\max}-N_f/(area)^{1/2}$ 関係の傾きが急になったものと考えられる。

結言・参考文献省略