

予疲労を与えてから引張り破断させた T 方向 2219-T87 Al 合金の内部損傷のひずみ速度による差異

諏訪東京理科大学 板橋 正章

Strain Rate Dependence of Internal Damage of Pre-Fatigued and Tensile Fractured 2219-T87 Al Alloy in T Direction

Masaaki ITABASHI

1 緒 言

予疲労と動的引張りを、負荷方向をそろえて与えると、Al 合金については引張り強度が激しく低下することがある。¹⁾このような実験に取り組むきっかけは、河田の予疲労と準静的引張りの組み合わせによる Al 合金の強度の劣化を、表面に発生するき裂と関係付けようとする一連の研究^{2,3)}である。文献 3)は、当時共和電業から発売されていた S/N ゲージ(ひずみゲージのように測定対象に接着し、疲労繰返し数の増加と共に抵抗値が増えることで、疲労損傷の程度を間接的に与える。)により、疲労損傷を S/N ゲージの抵抗変化として定量的なモニタリングを狙ったものであった。S/N ゲージの抵抗体走るき裂の発生状況を写真で追跡しているが、このき裂は抵抗体の疲労き裂であり、測定対象の表面損傷状況を直接的に反映していない。測定対象そのものの力学挙動の変化の原因を追うためには、表面の損傷や内部の損傷を直接観察すべきだと感じた次第である。

予疲労と準静的引張り(ひずみ速度 10^{-3}s^{-1})よりは、予疲労と動的引張り(10^3s^{-1})の組み合わせの方が Al 合金の強度劣化がよく現われることから、これまで予疲労と動的引張りについてばかり表面損傷⁴⁾や内部損傷⁵⁾の観察をしてきたところである。しかしながら、比較対照として予疲労と準静的引張りの観察結果を示すべきである。

そこで本研究では、低サイクル予疲労と準静的引張り(10^{-3}s^{-1})を組み合わせた場合に T 方向 2219-T87 Al 合金の内部損傷状況を調べるため、受入れのままの状態、低サイクル予疲労のみを付与した状態、準静的引張りで破断させた状態の 3 条件の内部損傷状態と比較した。

2 内部損傷状態の評価方法

2.1 2219-T87 Al 合金 試験片とした 2219-T87 は 6.7mm 厚の平板として供給され、化学成分は 0.07Si-0.16Fe-5.90Cu-0.26Mn-0.03Zn-0.03Ti-0.12Zr-0.12V-0.01others である。試験片の標点部(Fig.1 の長さ 8mm の部分)は負荷前に、1200, 2000, 4000 番の順にエメリー紙で研磨した。なお、試験片の端面には平面と平行にけがき線を入れてあり、旋削後にも平板のときの向きが特定できるようにした。

2.2 予疲労条件 正弦波状片振り引張り(応力比 0, 周波数 20Hz)による S-N 曲線⁷⁾にしたがって、準静的引張り強度の 78%にあたる 353MPa を最大応力として、繰返し数比 60%にあたる 4976 回繰返し負荷をかけた。この条件にしたがうと、動的引張り強度がわずかに劣化することがわかっている。⁶⁾

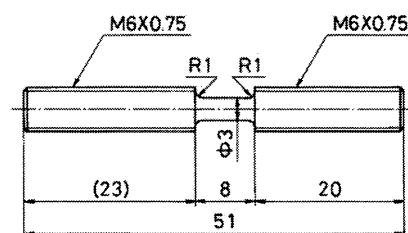


Fig.1 Specimen configuration.

2.3 準静的引張り条件 疲労試験、予疲労付与の際にも用いた油圧サーボ式疲労試験機(島津製作所、サーボパルサー-EHF-FB1111, 容量 0.1kN)にて、試験片にひずみ速度 $1 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ の準静的引張り負荷を与えた。

2.4 試験片への 4 種類の負荷条件 受入れのまま、予疲労後、準静的破断後、予疲労および準静的破断後の 4 種類の条件それぞれについて 3 本ずつの試験片を準備した。引張り破断を動的に与えた前報⁵⁾では、 $5\mu\text{m}$ 以下の細かい内部損傷について着目した場合、損傷個数が入れのまま、予疲労後、動的破断後、予疲労および動的破断後の順番で大きくなっていくことがわかっている。

2.2 で述べたように、予疲労条件は動的引張り強度がわずかに劣化するようなものを設定した。しかし、準静的ひずみ速度での応力-ひずみ曲線は、予疲労の有無に関わらず、その形状は全く変わらない。

2.5 内部損傷観察 試験片の軸を含む縦断面を観察するために、端面の板厚方向を示すけがき線と直交するように切断する。これをアクリル樹脂に埋め込み、エメリー紙とバフで鏡面研磨する。10% HNO_3 水溶液中で $70^\circ\text{C} \times 300\text{s}$ 腐食する。この腐食条件は Cu を含む Al 合金用である。観察面の破断部から 0.2~0.3mm 離れたところを、金属顕微鏡付属の CCD カメラで 3 箇所ずつ各負荷条件 3 本の試験片について撮影する。

2.6 内部損傷状態の評価方法 腐食された部分は黒く撮影され、これは空孔、き裂、Cu が含まれた金属間化合物(例えば Al_2Cu)があったところに相当する。また、粒界も点線状に腐食されていた。なお、1 視野につき全範囲を評価対象としようとすると焦点がきちんと合っていない部分がでてくるので、Fig.2 に示すように $333 \times 500\mu\text{m}$ の長方形の観察範囲内で評価することにした。粒界以外の個々の黒い部分についてその素性にこだわることなく、形状がだ円であると仮定して長径と短径に相当する長さを記録していった。つまり、内部損傷が

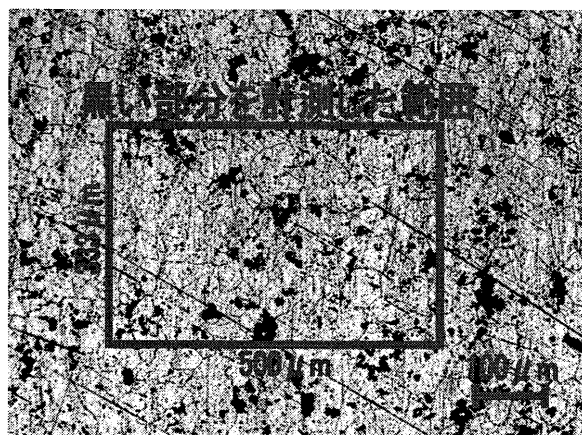


Fig.2 Typical image of etched specimen.

進行すれば黒い部分の数が増えたり、径の大きさが大きえたりしていくであろうという仮説の下に、このような評価方法を試みた。

3 損傷評価結果と考察

Fig.3 は、4 種類の負荷条件それぞれについて黒い部分が何個存在していたのかを示している。個数だけで整理

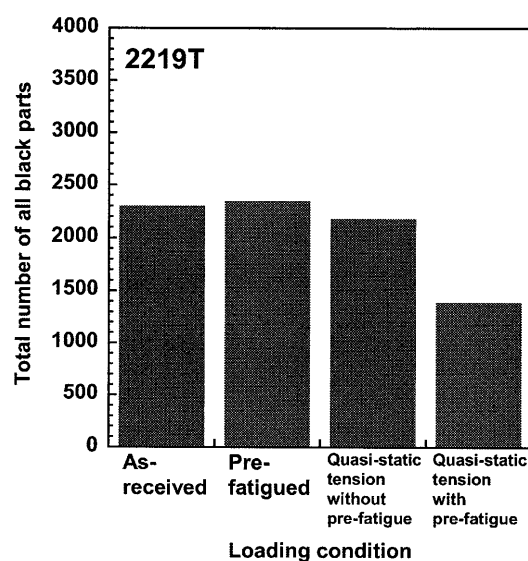


Fig.3 Comparison of total numbers of black parts.

すると、受入れのまま、予疲労後、準静的破断後の3条件はほとんど差異が見られず、ましてや予疲労および準静的破断後の個数が減少に転じているのは奇異の念を抱かざるを得ない結果となった。受入れのままの試験片は、予疲労後に微小な損傷が生じることによって黒い部分の数が若干増加するはずである。一方、準静的といえども破断に至るまでの大変形を与えられれば、破面にディンプルが形成されるような延性を持つAl合金ならば、その核になりそうな空孔の発生があるはずである。さらに、これらの疲労と引張り破断の組み合わせであれば、さぞや内部損傷は蓄積されているはずであろうという予測は、この段階で全くはずれたことになる。そこで、黒い部分の大きさに注目してふりかけると、仮説通

りの傾向が現われると考えるはみたものの、なかなかうまくいかなかった。ただ、Fig.3の右下がりの傾向は小さい黒い部分が変形の進行と共に合体していくことによるということだけはわかった。

したがって、現段階では引張り破断のときの速度が動的だった場合との比較に留めておく。Fig.4は黒い部分の大きさが5μm以下の場合について1視野当りの平均個数で整理したものであり、引張り破断させると損傷状況はひずみ速度で全く反対の傾向を示すことがわかる。今後は、黒い部分のアスペクト比や面積等の比較で整理してやることにしている。

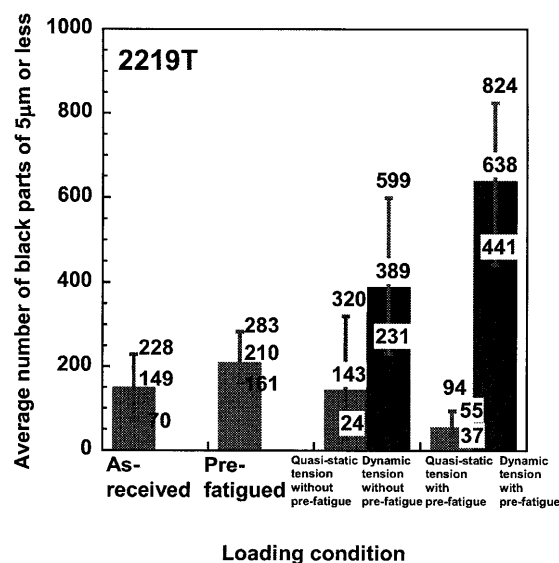


Fig.4 Strain rate dependence of internal damage for 2219-T87 Al alloy.

4 結 論

予疲労後に準静的引張り破断させた試験片には、動的引張り破断させた試験片とは全く異なった傾向の内部損傷が生じていた。

約 8000 個もの細かい測定を実施した本学元卒研究生 川村 祐人、小林 秀 両君に謝意を表する。

参考文献

- 1) K. Kawata, M. Itabashi and S. Kusaka, IUTAM Symp. on Micromechanics of Plasticity and Damage of Multiphase Materials, ed. by A. Pineau and A. Zaoui, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 397 (1996).
- 2) 河田幸三, 橋本彰三, 本堂明, 東大宇航研報告, **6**, 716 (1970).
- 3) 河田幸三, 本堂明, 橋本彰三, 東大宇航研報告, **6**, 729 (1970).
- 4) M. Itabashi, S. Nakajima and H. Fukuda, JSME Int. J., Ser.A, **48**, 222 (2005).
- 5) 板橋正章, 日本材料学会第 59 期学術講演会講演論文集, 473 (2010).
- 6) M. Itabashi and H. Fukuda, J. Mater. Proc. Technol., **117**, CD-ROM (2001).