

Effect of Humidity on Notch Sensitivity of High Strength Al Alloy

Norio KAWAGOISHI, Tomonori KANEMARU, Koji KARIYA and Yoshihisa OHZONO

1 緒 言

高強度 Al 合金は、比強度が高く耐食性やリサイクルの点で優れているため、環境負荷低減の観点から機器用材料としての使用が多い。しかしながら、疲労特性上の問題、例えば疲労限度比は低く、切欠きや大気湿度に敏感であるなどの使用上注意すべき点も多い。本研究では、Al-Zn-Mg-Cu 系の時効硬化 Al 合金 7075-T6 を用いて、相対湿度 25% と 85% の環境下で回転曲げ疲労試験を行い、切欠き材の疲労強度について検討した。

2 材料、試験片および実験方法

用いた材料は、市販の時効硬化 Al 合金 7075-T6（直径 22mm の丸棒）である。その化学成分を Table 1 に示す。素材は、T6 の条件で時効処理された状態で納入されたものである。平均結晶粒径は約 $10\mu\text{m}$ である。0.2% 耐力は 630MPa、引張強さは 691MPa、絞りは 9.5% である。

Fig. 1 に試験片の形状、寸法を示す。ここで用いた平滑材は疲労被害の観察を容易にするため、完全な平滑試験片（応力集中係数 $K_t=1$ ）ではなく、鈍く浅い円周切欠き材（ $K_t=1.04$ ）を用いているが、以下ではこの試験片を平滑材と呼ぶ。試験片表面は、平滑材の場合、エメリーペーパーによる研磨の後、電解研磨で約 $20\mu\text{m}$ 除去し、切欠き材の場合、切欠き底をダイヤモンドペーストで研磨してから約 $10\mu\text{m}$ 電解研磨し、最終仕上げとした。平滑材におけるき裂の観察はレプリカ法で行い、切欠き材におけるき裂は切欠き底を直接光学顕微鏡で観察した。用いた試験機は小野式回転曲げ疲労試験機（容量 15N・m、繰返し速度約 50Hz）である。試験環境は、相対湿度 25% および 85% であり、湿度の制御は、試験機全体をビニールでカバーしたキャビンで覆い、加湿器と除湿器を併用することで行った。このときの湿度は設定値 $\pm 5\%$ であった。

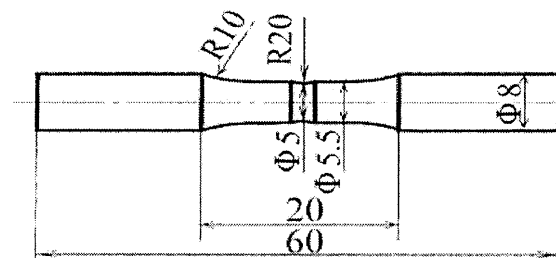
3 実験結果および考察

Fig. 2 に、鋭い切欠き材（低湿度の場合、 $\rho=0.05\text{mm}$ のみ、高湿度の場合 $\rho=0.1$ と 0.05mm ）の疲労限度で観察された停留き裂の例を示す。なお他の切欠き半径では停留き裂は観察されなかった。低湿度の場合、切欠き底を一本のき裂が伝ばするのに対し、高湿度の場合、複数のき裂が発生、伝ばする傾向がみられる。

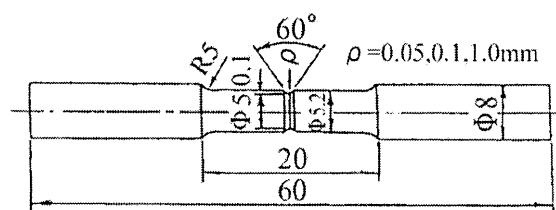
Fig. 3 に、疲労限度と応力集中係数 K_t の関係を示す。ここで、 σ_{w0} は平滑材の疲労限度（前述のように、ここでは R20 の円周切欠き材で求めているので応力集中のない平滑材の疲労限度 σ_{w0} は応力集中係数 1.04 を乗じて

Table 1 Chemical composition (wt.%).

Si	C	Fe	M	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti	Ti
0.09	1.47	0.25	0.03	2.56	0.19	5.46	0.03	0.03



(a) Plain specimen.



(b) Notched specimen.

Fig. 1 Shape and dimensions of specimens.

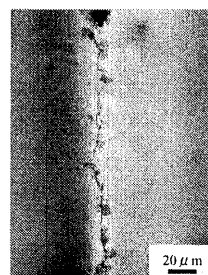
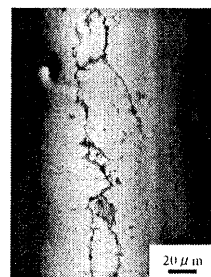
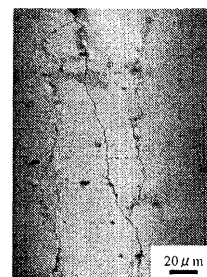
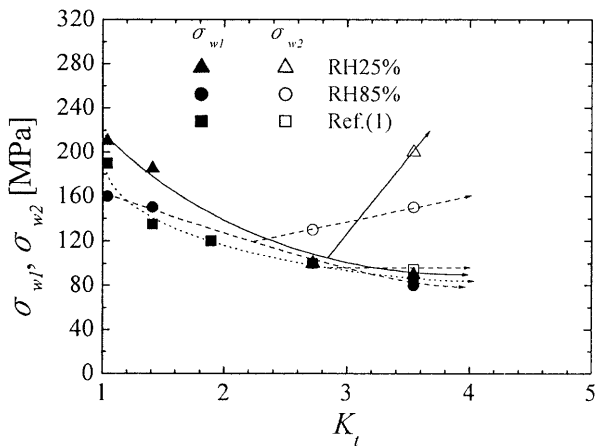
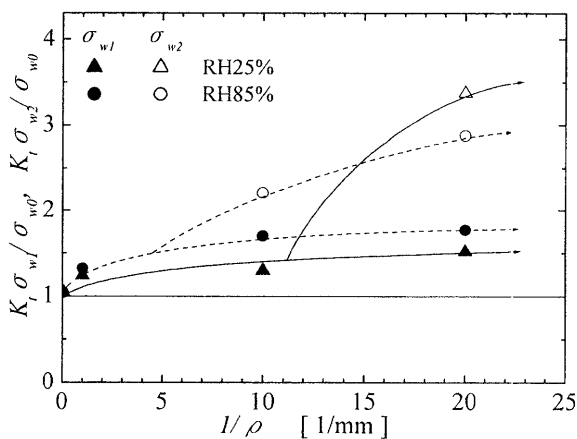
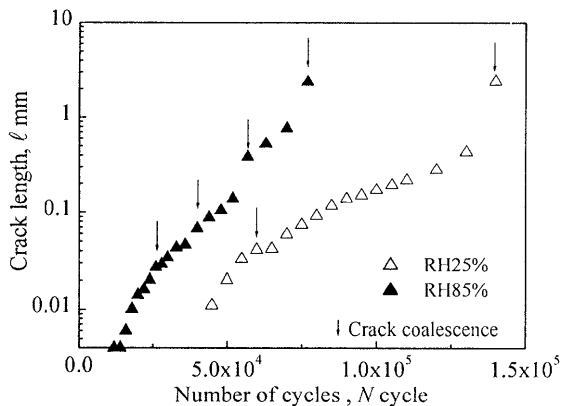
(a) RH25% ($\rho=0.05\text{mm}$, $\sigma_{w2}=190\text{MPa}$)(b-1) $\rho=0.05\text{mm}$
($\sigma_{w2}=150\text{MPa}$)(b-2) $\rho=0.1\text{mm}$
($\sigma_{w2}=130\text{MPa}$)
(b) RH85%

Fig. 2 Non-propagating cracks in notched specimens.

求めた), σ_{w1} および σ_{w2} はそれぞれ切欠き材におけるき裂の発生限界および伝ば限界に対する疲労限度である。図には著者らの先の結果（静強度および結晶粒径は今回とほぼ同じであるが、試験環境は大気中であり、湿度は

不明)も示してある。高湿度により平滑材の疲労限度はかなり低下するが、切欠き材の場合 σ_{w1} ではその低下は小さく、切欠きが鋭いほど両環境間の差は減少する。一方、 σ_{w2} では $\rho=0.05\text{mm}$ で低湿度の方が高く、 0.1mm では逆に高湿度の方が高くなっている。ここでとくに特徴的なことは、 σ_{w2} は多くの場合切欠き半径に無関係にほぼ一定であるが、本結果では両環境ともに右上がりの傾向で一定値を示さず、とくに低湿度の $\rho=0.05\text{mm}$ の σ_{w2} が非常に高いことである。また $\rho=0.1\text{mm}$ の場合高湿度では停留き裂が存在し、 σ_{w2} が認められるのに対し低湿度ではそれが無い。その結果、分岐点の切欠き半径は、低

Fig. 3 σ_{w1} and $\sigma_{w2} \cdot K_t$.Fig. 4 $K_t \sigma_{w1} / \sigma_{w0}$ and $K_t \sigma_{w2} / \sigma_{w0} - 1/\rho$.Fig. 5 $l-N$ curves

湿度の場合、 $\rho_0=0.05-0.1\text{mm}$ であるが、高湿度の場合 $\rho_0 \approx 0.3\text{mm}$ と大きい。

Fig. 4 に、線形切欠力学に基づき疲労限度における弾性最大応力と切欠き半径の逆数の関係を示す。切欠き感度は、き裂発生に対し低湿度で多少敏感であるがその差は小さいのに対し、き裂伝ば限界では高湿度の方が敏感である。

Fig. 5 に平滑材のき裂伝ば曲線を示す。高湿度により、き裂の発生と伝ばのいずれの過程でも加速が生じている。とくに発生過程への影響が大きい。

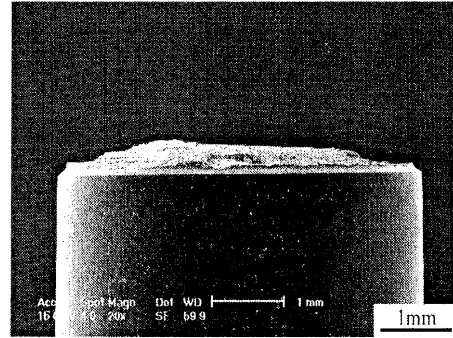
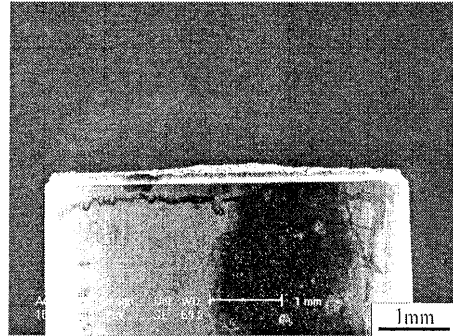
(a) RH25% ($\rho=0.1\text{mm}$, $\sigma_a=110\text{MPa}$, $N_f=8.58 \times 10^5$ cycles)(b) RH85% ($\rho=0.1\text{mm}$, $\sigma_a=140\text{MPa}$, $N_f=1.68 \times 10^5$ cycles)

Fig. 6 Feature of fractured specimens.

Fig. 6 は、破断した切欠き材の巨視的写真である。低湿度の場合、切欠きが鋭くなるとせん断形破面となる傾向がみられ $\rho=0.05$ の場合破断部の損傷が大きく、例示していない。一方高湿度の場合、切欠き半径および応力にほぼ無関係に試験片軸に対し直角方向に破壊している。

4 結 言

時効硬化 Al 合金 7075-T6 を用いて、25%と 85%の湿度環境下で回転曲げ疲労試験を行い、切欠き感度に及ぼす湿度の影響を調べた。主な結論を以下にまとめる。

- 1) 切欠き材の疲労限度では、低湿度の場合 $\rho=0.05\text{mm}$ で、高湿度の場合 $\rho=0.05\text{mm}$ と $\rho=0.1\text{mm}$ で停留き裂が生じた。
- 2) σ_{w2} はいずれの環境下でも右上がりとなり、とくに低湿度の場合 $\rho=0.05\text{mm}$ の切欠き材の疲労限度は非常に高い。
- 3) 分岐点の切欠き半径は、低湿度の場合 $\rho_0 \approx 0.1\text{mm}$ 、高湿度の場合 $\rho_0 \approx 0.3\text{mm}$ であった。
- 4) 切欠き感度は、き裂発生に対し低湿度で多少敏感であるのに対し、き裂伝ば限界では高湿度の方が敏感である。
- 5) 低湿度の場合、切欠きが鋭くなると、また応力が低くなるとせん断形破面となった。

文献：省略