

1313 鋳造アルミニウム合金 AC4CH の疲労挙動に及ぼす温度の影響

Effect of Test Temperature on Fatigue Behaviour in AC4CH Cast Aluminium Alloy

○正 植松 美彦 (岐阜大学) 正 戸梶 恵郎 (岐阜大学)
 正 長谷川典彦 (岐阜大学)

Yoshihiko UEMATSU, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu 501-1193
 Keiro TOKAJI, Gifu University
 Norihiko HASEGAWA, Gifu University

Fully reversed axial fatigue tests were conducted on a cast aluminium alloy, AC4CH, at three different temperatures of room temperature (R.T.), 150°C (423K) and 250°C (523K). The fatigue strength decreased as test temperature increased. The fatigue strength characterized in terms of fatigue ratio, σ/σ_B , was similar at all temperatures, but slightly lower at 250°C in low stress region. Cracks invariably initiated from a casting porosity at R.T., while crack initiation due to slip deformation became dominant at elevated temperatures. At 250°C, the number of cracks initiated due to slip deformation was the largest and the coalescence of the main crack and other cracks was observed most frequently in low stress region, being responsible for the lowest fatigue strength characterized in terms of fatigue ratio at this temperature.

Key Words: Fatigue, Cast aluminium alloy, Elevated temperature, Small fatigue crack growth

1. 緒言

鋳造アルミニウム合金は、軽量構造材料として機械、航空、自動車部品など様々な用途に用いられている。その中の代表的な材料である Al-Si-Mg 系合金鋳物の AC4CH は、高い比強度とじん性を有し、Cu が含まれていないため耐食性もよい。さらに熱処理による強度やじん性の向上も可能なことから、今後、省燃費化のために軽量化を目指す自動車用エンジンのシリンダブロックなどに、積極的に利用されることが考えられる。そのような構造材料は中高温にさらされることから、AC4CH のさまざまな温度条件における疲労挙動を把握する必要がある。そこで本研究では、AC4CH の平滑試験片を用いて室温および高温で軸荷重疲労試験を行い、疲労挙動に及ぼす温度の影響について検討した。

2. 試験片および試験方法

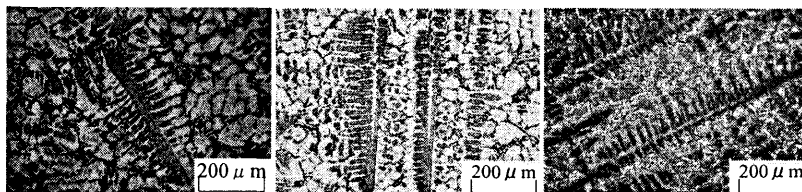
2.1 供試材および試験片形状 供試材は Al-Si-Mg 系合金鋳物 AC4CH である。化学成分を Table 1 に示す。Na が共晶 Si 粒子微細化のために添加されている。試験片ごとのばらつきを小さくするため、JIS 舟形鋳物の下部より平板試験片を採取した。また、熱処理として T6 処理を施した。機械加工後、試験片をエメリー紙 2000 番まで順次研磨し、さらにバフ研磨、電解研磨を施し試験に供した。

2.2 実験方法 疲労試験には電気油圧式サーボ疲労試験機を用いた。加熱には高周波誘導加熱装置を用い、試験温度は室温、150°C (423K)、250°C (523K) とした。荷重波形は、繰返し速度 10Hz、応力比 $R=-1$ の正弦波である。微小き裂成長の観察は、試験を所定の繰返し数ごとに中断し、レプリカを採取する方法によった。試験終了後、破面を SEM により観察した。

3. 結果および考察

Table 1 Chemical composition (wt. %).

Material	Si	Mg	Fe	Ni	Ti	Na	Al
AC4CH	7.1	0.35	0.1	0.03	0.11	0.0064	bal.



(a) R. T. (b) 150°C (423K) (c) 250°C (523K)

Fig. 1 Microstructures of material.

3.1 組織様相および機械的性質 Fig. 1 に微視組織様相を示す。(a)は温度履歴を受けていない場合であり、網目状に共晶 Si が分布したデンドライト組織となっている。二次枝法により求めた、初晶デンドライト枝の間隔 DAS (Dendrite Arm Spacing) は 21μm であった。試験温度の 150°C、250°C で疲労試験の繰返し数 10^6 回に相当する時間 (27h) 保持した後の組織をそれぞれ (b), (c) に示す。DAS はそれぞれ 17μm, 22μm であり、(a) に比較して顕著な相違は認められなかった。

Table 2 は各疲労試験温度での引張試験結果であり、27h 温度を保持した後の硬さ測定結果も併示している。また、Fig. 2 は温度と引張強さの関係である。図より室温から 200°C の範囲では引張強さはほとんど変わらないが、200°C 以上の温度域で著しく低下することがわかる。硬さは 150°C で最も高い値を示すが、これは時効硬化によるものであり、250°C では過時効となり硬さは低下したと考えられる。

3.2 疲労強度 Fig. 3 に $S-N$ 曲線を示す。室温と 150°C では疲労強度に差は認められないが、250°C で大きく低下して

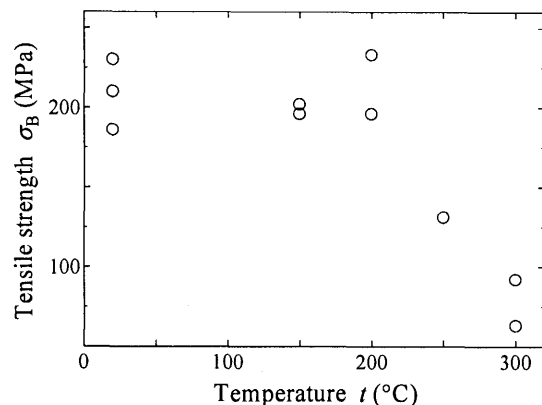


Fig. 2 Relationship between tensile strength and temperature.

Table 2 Mechanical properties.

Test temp. (°C)	Tensile strength σ_B (MPa)	Elongation δ (%)	Vickers hardness HV
R. T.	210	12	78
150	199	6.6	107
250	131	3.6	53

おり、引張試験結果と同様の傾向となる。また Fig. 4 は、疲労比 (σ/σ_B) で表した疲労強度である。各試験温度における結果はほぼ一致する傾向にあるが、250°Cの結果は低応力域においてやや低い疲労強度を示す。

3.3 微小き裂発生および成長挙動 各温度におけるき裂発生起点近傍の破面写真を Fig. 5 に示す。(a)の室温では、き裂発生起点に鑄造欠陥が認められ、全ての応力条件で表面近傍の鑄造欠陥がき裂発生起点となった。150°C、250°Cの場合、鑄造欠陥を起点とするき裂発生も確認されたが、(b)、(c)で示す起点近傍の破面は平坦であり、温度上昇に伴ってすべりによるき裂発生も認められるようになった。

Fig. 6 は室温および250°Cで、ほぼ同程度の繰返し数 ($N_f \approx 10^5$) で破断した試験片における、破断面近傍の表面様相である。室温では主き裂以外にも(a)のようなき裂が発生していたが、この応力レベルではき裂数は1~2個であった。一方250°Cでは、(b)に示すように鑄造欠陥からではなく、すべりによって多くのき裂が発生していた。150°Cでもすべりにより発生したき裂が観察され、温度上昇とともにその数は増加した。高温では多数のき裂が発生し、主き裂と微小き裂の合体が室温よりも頻繁に生じるため、温度上昇とともにき裂の微視的な屈曲が大きくなることが確認された。

3.4 微小き裂成長速度 各温度での深さ方向へのき裂成長速度 da/dN と K_{max} の関係を Fig. 7 に示す。ここではき裂のアスペクト比を1とし、Raju-Newmanの式より K_{max} を求めた。図より、高温になるほどき裂進展速度が高速になることがわかる。各温度での縦弾性係数 E を用いて K_{max} を正規化したパラメータ K_{max}/E によりき裂進展速度を評価すると、室温と150°Cの結果はほぼ一致したが、250°Cの結果のみ高速となることが確認された。すなわち、室温と150°C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が、250°Cではそれ以外の要因が存在することを示唆している。250°Cでは、すべりによる微小き裂が最も多く発生しており、主き裂と微小き裂の合体によりき裂進展速度が高速になったと考えられる。Fig. 4 で示したように短寿命域では温度の影響はほとんど見られないが、長寿命域では250°Cの疲労強度は低い。高応力では破断までの試験時間が短く、寿命の後半ですべりによって発生するき裂数が少ない。しかし、長寿命域では試験時間が長いため、主き裂はすべりにより生じた多数の微小き裂と合体しやすくなり、その結果き裂進展速度が高速となり、疲労強度が低下したと考えられる。

4. 結 言

本研究では、Al-Si-Mg系合金鑄物 AC4CHを用い、室温、150°C、250°Cにて軸荷重疲労試験を行い、その疲労挙動について検討した。その結果、室温では鑄造欠陥がき裂発生起点となるが、温度上昇とともにすべりによるき裂発生が観察されるようになることが判明した。さらに温度上昇により疲労強度は低下するが、250°Cではすべりによって発生するき裂数が多く、主き裂と微小き裂の合体が容易に生じるため、特に寿命の低下が大きくなった。

(参考文献省略)

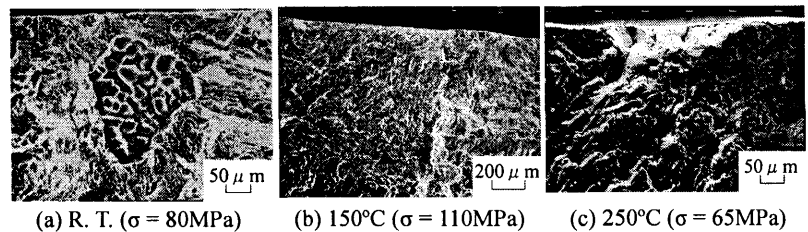


Fig. 5 SEM micrographs showing crack initiation site.

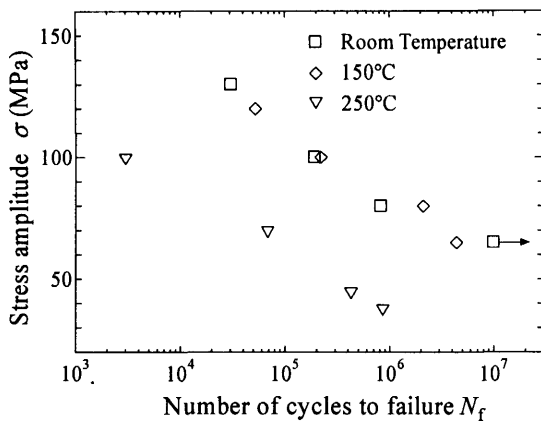


Fig. 3 S-N diagram.

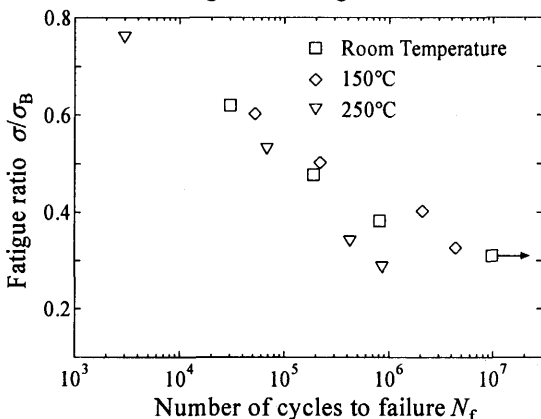


Fig. 4 S-N diagram characterized in terms of fatigue ratio.

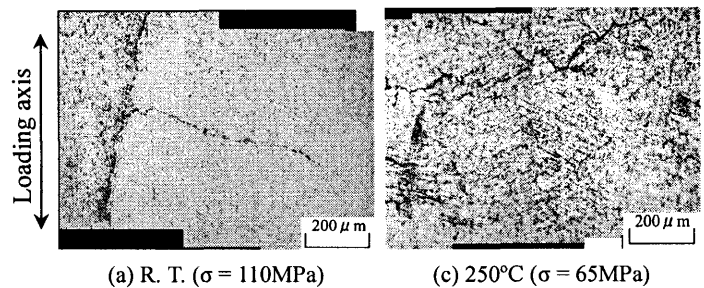


Fig. 6 Cracks observed at the surface of fatigue-failed specimens.

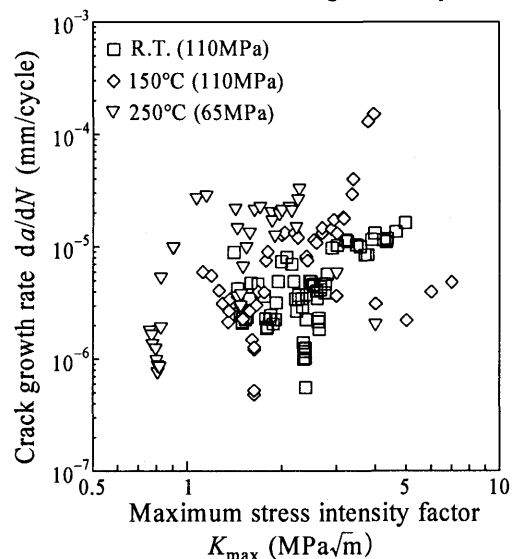


Fig. 7 Relationship between da/dN and K_{max} .