

鋳造 Al 合金 AC4CH の疲労特性に及ぼす鋳造欠陥の影響

豊田高専 ○中村裕紀

豊田高専専攻科 増田弘晃

豊田高専 清水利弘

豊田高専 中島正貴

岐阜大学 植松美彦

Effect of Casting Defects on Fatigue Properties of a Casting Aluminum Alloy AC4CH

Yuki NAKAMURA, Hiroaki MASUDA, Toshihiro SHIMIZU,

Masaki NAKAJIMA and Yoshihiko UEMATSU

1 緒 言

近年、工業分野においては、軽量で高リサイクル性を有する製品設計が求められている。これに対する一つの解法として高い比強度を持つアルミニウム (Al) 合金の使用が挙げられる。Al 合金は切削、押出し成形、鋳造など様々な加工法に適応可能であり、形状に合わせて最適な加工法を選択することで、製造工程を減少させ、コスト削減が可能となる。特に鋳造は、一度の成形でほぼ製品に近い形状となるので、材料の歩留りが高いという長所がある。

このような観点から、製造業において鋳造 Al 合金の利用が拡大している。中でも、AC4CH は強度、延性、耐食性、鋳造性に優れているため代表的な高強度鋳造 Al 合金として一般的に使われている。しかし、鋳物材料には鋳造欠陥が内在するという欠点があり、これまでの研究からも鋳造欠陥が破壊に対して重要な影響をもつことが知られている。

そこで本研究では、鋳造時に生成される鋳造欠陥の大きさや分布が鋳造 Al 合金 AC4CH の疲労強度に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

2.1 材料および試験片 材料は鋳造 Al 合金 AC4CH-T6 である。AC4CH の化学成分および機械的性質を Table 1 および 2 にそれぞれ示す。

納入された一つの舟型鋳物の上部および下部からそれぞれ角材を切り出した。この角材を砂時計型環状切欠き試験片に機械加工し、その後、切欠き部をエメリー紙で #1500 まで研磨したのち、バフ研磨を施した。以後、舟形の下部から採取した試験片を Type L (Lower part)、上部から採取した試験片を Type U (Upper part) と呼ぶこ

ととする。Type L と Type U の組織観察を行った結果をそれぞれ Fig.1 (a) および (b) に示す。図より、欠陥のサイズと数に違いが見られ、Type L の欠陥は寸法が小さく、数も少ないことに対し、Type U では大小様々な欠陥が多く存在している様子が確認された。

2.2 試験方法および試験環境 疲労試験には 4 連式片持回転曲げ疲労試験機を使用した。繰返し速度は $f=53\text{Hz}$ で、試験環境は実験室大気中である。

3 実験結果および考察

3.1 S-N 曲線 各試験片の S-N 曲線を Fig.4 に示す。○印は Type L、●印は Type U の S-N 曲線である。両試験片ともに従来から非鉄金属において報告されている連続低下型の S-N 特性を示した。また、欠陥サイズが小さい Type L の疲労寿命は、欠陥サイズの大きい Type U のそれよりも長寿命側に位置している。 $N=10^7$ 回の繰返し数における時間強度を比較すると Type L では 128MPa、Type U では 112MPa となった。

3.2 疲労寿命の分布特性 Type L および Type U の試験片について、 $\sigma_s=120\text{MPa}$ でそれぞれ 10 本の試験片を用いて寿命分布を調べた。両試験片の疲労寿命分布特性を対数正規確率紙上で整理した結果を Fig.5 に示す。図より、両試験片の寿命分布はおおよそ対数正規分布に従うことがわかる。Type L の寿命分布は明らかに Type U と比べて長寿命側に位置している。また、Type U の寿命のばらつきは Type L のそれと比較して大きいことが確認できる。これは、Type U の試験片には大小様々な欠陥が含まれていることに起因して疲労寿命がばらついたものと推察される。

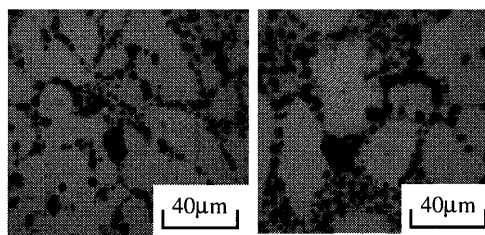
3.3 破面観察 両試験片の破断後に認められた典型的な破面を Fig.6(a) および (b) に示す。両図より、き裂発生

Table 1 Chemical composition (mass.%).

Si	Mg	Fe	Ti	Ni	Cr	Sr	Al
7.1	0.39	0.06	0.13	0.003	0.001	0.0042	Bal.

Table 2 Mechanical properties.

0.2% proof stress $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Tensile strength σ_B (MPa)	Elongation δ (%)	Young's modulus E (GPa)	Vickers hardness HV
264	324	11	75	118



(a) Type L

(b) Type U

Fig. 1 Microstructures.

起点には鑄造欠陥が認められ、Type L では鑄造欠陥のサイズは約 40 μm であったのに対し、Type U では 200 μm 程度の大きな鑄造欠陥が認められた。このことから、Type U では材料内部に分布する大きな鑄造欠陥に著しい応力集中が生じることにより疲労強度が低下したと推測される。

3.4 極値統計による最大欠陥寸法 ($\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$) の推定

極値統計を用いて、試験片の危険体積 V に含まれる最大欠陥寸法の予測を行った。破断試験片の破面上の最大

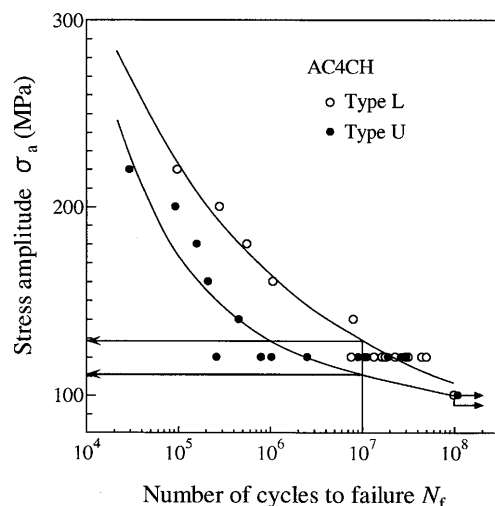


Fig. 2 S-N diagram.

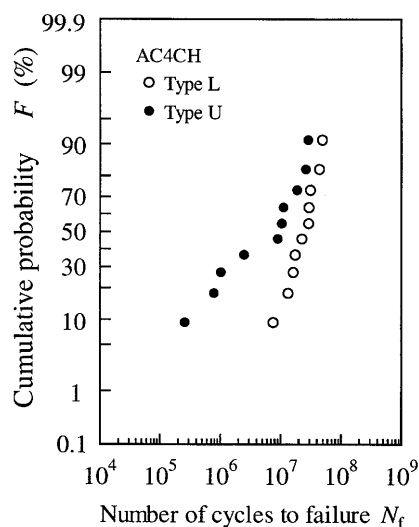
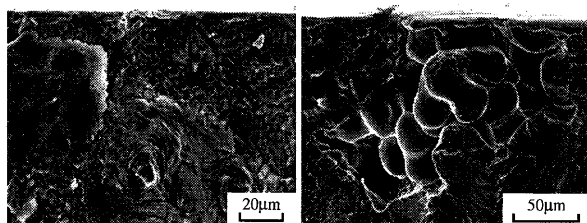


Fig. 3 Fatigue life distributions of Type L and Type U specimens plotted on a lognormal probability paper.



(a) Type L ($\sigma_a=200\text{MPa}$, $N_f=1.64 \times 10^5$) (b) Type U ($\sigma_a=200\text{MPa}$, $N_f=9.29 \times 10^3$)

Fig. 4 Fracture surfaces.

欠陥寸法について極値統計を行った結果を Fig.7 に示す。図より、Type U に含まれる欠陥寸法は Type L に比べて統計的に大きいことがわかる。また、Type U では、極端に大きい鑄造欠陥が認められ、極値分布の分布直線が折れ曲がるような様相を示すが、ここでは一本の直線で表示した。

ここで、試験片に含まれる最大欠陥寸法を推定するにあたり、危険体積 V は公称応力振幅 $\sigma_a \geq 0.9\sigma_0$ となる部分とみなして計算した。また、基準体積 V_0 は試験片最小断面の面積に欠陥寸法の平均値をかけたものを V_0 として用いた。その結果、試験片 1 本あたり ($N=1$) で推定される最大欠陥寸法は、Type L では $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}=268.1\mu\text{m}$ 、Type U では $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}=1025.2\mu\text{m}$ となり、Type U における推定最大欠陥寸法は Type L のそれと比べて著しく大きい値が得られた。

3.5 $\sqrt{\text{area}}$ パラメータモデルによる疲労限度の推定

村上による $\sqrt{\text{area}}$ パラメータモデルを用いて疲労限度 σ_w の推定を行った。この計算は欠陥が自由表面上に存在する場合の推定である。計算には次式を用いた。

$$\sigma_w = \frac{1.43(HV + 120)}{(\sqrt{\text{area}})^{\frac{1}{6}}}$$

ここで、 HV にはビッカース硬さ $HV=118$ 、 $\sqrt{\text{area}}$ には上記の極値統計から推定された最大介在物寸法 $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$ を用いた。得られた結果を Table 3 に示す。両試験片における推定値 (Type L で 134MPa、Type U で 107MPa) と Fig.4 の S-N 曲線上の 10^7 回の繰返し数に対する疲労強度 (Type L で 129MPa、Type U で 112MPa) を比較するとほぼ一致しており、妥当な推定ができていると判断される。(結言・参考文献は省略)

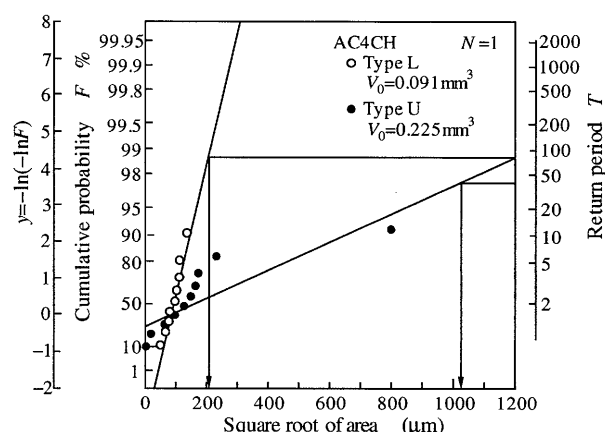


Fig. 5 Statistics of extreme distribution of inclusions.

Table 3 Fatigue limit estimated by $\sqrt{\text{area}}$ parameter model.

	Type L	Type U
$\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$ (μm)	268.1	1025.2
HV	118	
σ_w (MPa)	134	107