

ダイカスト材の鑄巣群まわり応力集中と危険断面寸法に関する 数値解析的検討

福井大 ○桑水流 理 福井大(院) 曾根 大輔 群馬大 半谷 禎彦
芝浦工大 宇都宮 登雄 グンダイ(株) 北原 総一郎 東大生研 吉川 暢宏

1. はじめに

アルミニウム合金ダイカストの疲労寿命に対する鑄巣の影響を定量的に明らかにしたい。著者らはマクロな鑄巣を対象に、鑄巣まわりの応力集中係数を疲労強度減少係数(鑄巣まわりの切欠き係数)として用いることにより、鑄巣の影響を定量化できることを示した。ただし、ボクセル有限要素解析により応力集中係数を評価しているため、表面応力の精度が低く、経験的に0.01 vol%の上位応力を無視することにより、工学的に妥当な応力集中係数を評価した。本研究では、より妥当な応力集中係数を得るために、応力の平滑化処理の適用可能性を検討する。

2. 解析方法

2.1 解析対象

中央断面直径 $d = 12$ mm, 弾性応力集中係数 $K_t = 1.04$ の砂時計型試験片を用い、X線CT撮像と疲労試験を実施した。対象とした6本のADC12試験片の鑄巣体積率 p , 公称応力振幅 σ_a (応力比 $R = -1$), 破断寿命 N_f を表1に示す。なお参考として、後述の有限要素解析結果に対して、0.01 vol%除去により評価した局所応力集中係数 K_{local} を表1に載せた。

表1 疲労試験片の基本データ

	A	B	C	D	E	F
p [%]	0.0023	0.0757	0.2506	0.8605	0.0368	0.0613
σ_a [MPa]	140	130	130	110	110	130
N_f	175013	142490	3232	7839	621814	90059
K_{local}	1.28	1.45	1.83	2.27	1.38	1.42

2.2 イメージベース有限要素解析

マイクロフォーカスX線CT装置を用い、試験片の中央約17mmの区間をCT撮像した。CT画像の解像度およびスライスピッチはいずれも $39 \mu\text{m}$ である。この画像から1画素1要素として、立方体要素による有限要素モデルを作成する。公称応力振幅に相当する引張負荷に対する静弾性解析を行い、鑄巣まわりの応力を評価する。解析にはQuint VOXELCONを用いた。

2.3 応力の平滑化処理

ボクセル解析では、有限要素モデル表面の凹凸から、表面の要素に数値的な応力集中が発生する。このモデル誤差を除去するため、各応力成分に対して畳み込み演算による平滑化処理を施す。注目するボクセルの任意の応力成分 σ に対し、次式により近傍ボクセルにおける加重平均を取り、 $\bar{\sigma}$ に置き換える。

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum w_i \sigma_i}{\sum w_i} \quad (1)$$

ただし、 w_i はボクセル毎の重み係数であり、影響関数 α を用いて、次式で定義する。

$$w_i = \int_{V_i} \alpha dV, \quad \alpha \equiv \begin{cases} 1 - (r/r_0)^2 & (0 \leq r \leq r_0) \\ 0 & (r > r_0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 r は平滑化されるボクセルの中心からの距離、 r_0 は影響半径である。影響半径 r_0 が大きいと、広い領域の平均応力となるため、応力分布はより平坦になる。この r_0 を危険断面寸法とみなし、疲労強度の評価に適切な r_0 を検討する。ただし、局所応力集中係数 K_{local} は、第1主応力の最大値 σ_{1max} と公称応力 σ_a の比 σ_{1max}/σ_a で定義し、近似的に疲労強度減少係数と同等とみなす。

3. 解析結果と考察

影響半径 r_0 を0~8 voxelで変化させたときの、局所応力集中係数 K_{local} の変化を図1に示す。 r_0 を大きくすると、 K_{local} は1に漸近する。また、最大応力が発生した要素の位置(軸方向座標) Z_f と影響半径の関係を図2に示す。参考までに、図2の右端に実際の破断起点の位置を示した。凹凸の激しく起点が不明な破面は高低の幅も示した。 r_0 によって、最大応力点は変化するが、 $r_0 = 5$ voxel ($195 \mu\text{m}$) 以上では安定し、試験片A, B, Cでは、破面に近接したところで最大応力が捉えられている。このことより、影響半径を0.2 mm以上とすれば、起点を推定できる可能性がある。

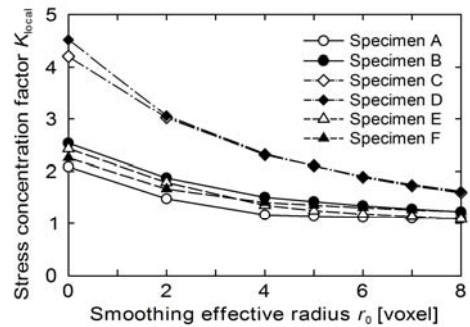


図1 局所応力集中係数と平滑化影響半径の関係

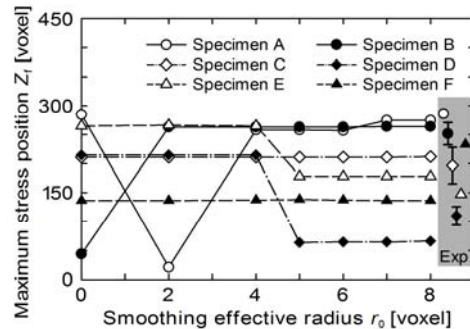


図2 最大応力位置と平滑化影響半径の関係