

広域加熱・局所冷却による閉じたき裂の 超音波フェーズドアレイ映像化の定量解析

Quantitative Analysis on Ultrasonic Phased Array Imaging of Closed Cracks

by Global Preheating and Local Cooling

東北大工 高橋 恒二, 猪 慶弘, °小原 良和, 山中 一司

Tohoku Univ. Koji Takahashi, Yoshihiro Ino, °Yoshikazu Ohara, Kazushi Yamanaka

E-mail: ohara@material.tohoku.ac.jp

【諸言】我々は、閉じたき裂深さの高精度計測のため、引張熱応力を負荷しき裂を開口させる広域加熱・局所冷却 (global preheating and local cooling; GPLC) を開発した[1]。さらに、GPLC と熱応力解析を組み合わせたき裂開口応力 σ_c の推定法を提案し、アルミニウム合金 A7075 試験片に対して、減衰 2 重節点 (damped double node: DDN) モデル[2]を用いた時間領域有限差分

(finite-difference time-domain: FDTD) 法により、その妥当性を検証した[3]。本研究では、解析解とある一点の実験値を用いて、 σ_c の推定とその経時変化を予測する手法を提案する。そして、異なる熱伝導率を持つ 2 種の試験片 (A7075、SUS316L) において、実験結果と解析解を比較することで、その妥当性を検証する。

【解析】GPLC による引張熱応力 $\sigma(z,t)$ [3]と入射波の引張応力の和が、き裂開口応力 σ_c を超えると、閉じたき裂は開口し線形フェーズドアレイ (linear phased array: PA) で映像化される。 $\sigma(z,t)$ は冷却時間 t により変化するので、き裂の開口部の位置 (深さ d) も経時的に変化するが、き裂が先端まで開口した場合、その位置で d は一定となる。これを解析解で定式化し、ある一点の実験値 (任意の t における d) を用いて、 σ_c を推定し、 d の経時変化も予測する。

【結果】本実験では、A7075 と SUS316L の閉じた疲労き裂試験片を用いた。GPLC では、ホットプレートで試験片を 323 K まで加熱後、上面を 2 つの冷却スプレー (218 K) で 20 s 間、冷却した。同時に、PZT アレイ探触子 (5 MHz、32 素子) を用いて、PA で映像化した。各試験片で GPLC により得られた PA 像のスナップショットを Fig. 1 に示す。A7075、SUS316L とともに、GP 後・LC 前では、閉じたき裂は映像化されなかった (Figs. 1(a)、(c)) が、LC 開始後 ($t=5$ s) では、明瞭に映像化された (Figs. 1(b)、(d))。これは、熱応力負荷により閉じたき裂が一時的に開口したことを示す。また、A7075 では $t=4$ s、SUS316L では $t=2$ s で d が飽和したことから、き裂が先端まで開口したことも分かった。さらに、解析解と一点の実験値により求めた d の経時変化を、実験と比較した結果 (Fig. 2)、両試験片で良く一致した。以上より、本解析解が GPLC において PA 像で得られた d の経時変化の予測に有効であることが実証された。

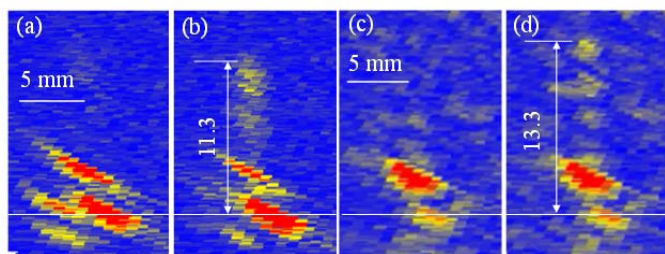


Fig. 1 Snapshots of PA images during GPLC:
(a) A7075 before LC, (b) A7075 at $t=5$ s,
(c) SUS316L before LC, (d) SUS316L at $t=5$ s.

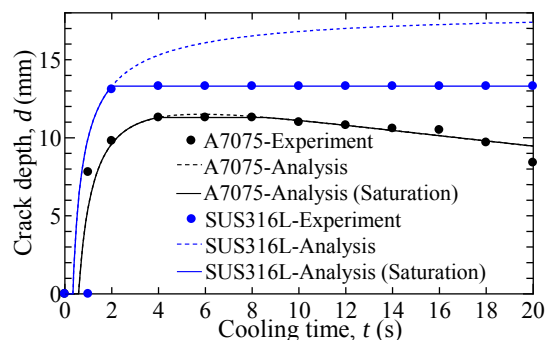


Fig. 2 Comparison of crack depths between the experiments and the analyses.

【参考文献】[1]Y. Ohara, et al., APL, 103 (2013) 031917. [2]K. Yamanaka, et al., APEX, 4 (2011) 076601. [3]K. Takahashi, et al., JJAP, 53 (2014) 07KC20.