

固相接合を用いた 電磁非破壊検査のための模擬応力腐食割れ試験体製作

Fabrication of imitative stress corrosion cracking specimens suitable for
electromagnetic nondestructive evaluations using solid state bonding

東北大学量子エネルギー工学専攻	遊佐 訓孝	Noritaka Yusa	Member
東北大学流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya Uchimoto	Member
東北大学流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki Takagi	Member
東北大学量子エネルギー工学専攻	橋爪 秀利	Hidetoshi Hashizume	Member

This study proposes a method to fabricate artificial defects that is almost identical to stress corrosion cracking from the viewpoint of electromagnetic nondestructive evaluations. The key idea is to realize a region having electrical resistance embedded inside a conductive materials using solid state bonding. A rough region is introduced into the surface of the materials so that the region is partially bonded to realize electrical resistance. The validity of the method is demonstrated using type 316L austenitic stainless steels. Eddy current tests and subsequent destructive tests confirm that signals due to the fabricated specimens are very similar to those due to stress corrosion cracks.

Keywords: stress corrosion cracking, performance demonstration, nondestructive evaluation, electrical resistance, diffusion bonding

1. はじめに

原子力プラントの高経年化対策において、応力腐食割れ対策は最重要課題の一つに挙げられている。応力腐食割れ対策として、応力腐食割れの発生メカニズムの解明および耐応力腐食性の高い材料開発の重要性は言うまでもないが、それらと併せて、応力腐食割れを早期に発見し、その形状を評価するための非破壊検査技術の開発もまた、欠かすことができない研究課題である。

現状、応力腐食割れの形状評価には超音波探傷技術が用いられているが、高効率保全活動という観点から、他の物理現象に立脚した非破壊検査技術、その中でも特に超音波技術とは相互補完関係にあると考えられる電磁現象を利用した非破壊検査技術に関する検討が多く行われている。しかしながら、実機適用に向けては依然として課題が多いというのが実情である。

その理由の一つとして、電磁非破壊検査の観点からの応力腐食割れの適切なモデルが十分には解明されていないということが挙げられる。そのため、開発された技術に対して実用上観点からの評価が難しく、またより現実的な観点からは、作業員の技術研鑽も必ずしも容易ではないという問題が存在している。

連絡先: 遊佐訓孝, 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2, 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻, 電話: 022-795-6319, E-mail: noritaka.yusa@qse.tohoku.ac.jp

本研究は以上の背景により実施されたものであり、電磁非破壊検査の観点から応力腐食割れと等価とみなすことができる模擬試験体を、固相接合を用いて製作する技術の開発に関するものである。

2. 固相接合による模擬応力腐食割れ試験体作成の試み

腐食環境下で人工的に応力腐食割れを導入することには、形状の制御が困難、必ずしも実機のきずとは似通っていない、必要費用が大である等の問題があることが指摘されている。そのため、その形状そのものは必ずしも実機応力腐食割れと同一ではなくとも、ほぼ同様の非破壊検査信号を与える模擬試験体について多くの検討がなされてきた。その一つにスリットや疲労割れなどの形状制御が容易であるきずを圧縮する[1] というものがある。きずの開口幅を狭めることにより、超音波探傷という観点からは応力腐食割れに近い信号が得られるようになるとの報告もあるが、電磁非破壊検査の観点からは必ずしも同様の結果にはならないこともまた指摘されている[3][4]。固相接合を用いていわばきわめて幅の狭い空隙を設けるという試みもなされているが[5]、これも主として超音波探傷法の観点からの模擬試験体である。

近年の研究により、電磁非破壊検査の観点からは応力腐食割れはその導電率が母材に比べ低い領域として模擬されることが明らかとなっており、またその際の導電率の値についてもある程度定量的に明らかとなってきた[6]。それらの知見に基づき、本研究においては、固相接合技術を用いて材料内部

にある適当な電気的抵抗値を有する領域を設けることにより、応力腐食割れを模擬する。通常固相接合においては接合面全体を鏡面程度に平滑化するが、ここでは接合面に局部的に凹凸を有する領域を設けた後に接合することで、局部的に接合が不十分な面を導入し、電気的抵抗を発生させる。

試験には厚み 20mm の SUS316L ブロックを用い、接合は温度約 1000℃で行った。接合面に表面長さ方向 20mm、深さ方向 5mm の領域に人工的に $R_y=90 \mu\text{m}$ の凹凸を導入した。接合終了後、端部の接合が不完全な部分を削除することを目的として、試験体表面を約 2mm 切削した。

製作した模擬応力腐食割れ試験体の表面を、自己誘導差動型プラスポイントプローブを用い、励磁周波数 100kHz で探傷した時に得られた信号強度分布を Fig. 1(a)に示す。接合面は図中 $Y=0$ に位置しており、当該部で探傷信号が得られていることが確認できる。単独のきずにもかかわらず信号が 2 山となっているが、これは対象が体積状かつ低電気抵抗であるときに得られる特徴である[7][8]。Fig. 1(b)は接合面全面を鏡面とした接合試験体の探傷試験結果であるが、有意な信号は得られておらず、固相接合による接合面自体の電磁気的特性は母材と同一であるということが出来る。試験体中央部を走査した場合のきず信号リサージュを、深さ 3mm、長さ 10mm、幅 0.3mm の矩形人工スリットからのものと併せて Fig. 2 に示す。ほぼ同一深さのスリットからの信号と比べ、本試験体からの信号はその振幅が 1/4 程度であること、その一方信号の位相角には差は僅かであることが確認できる。

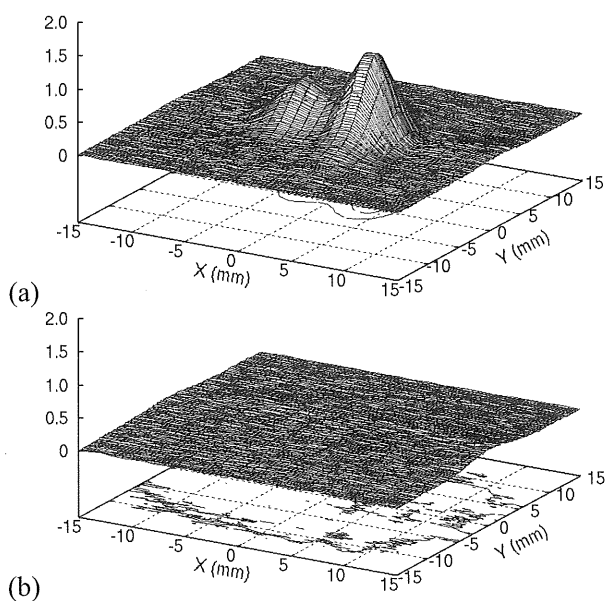


Fig.1 Spatial distribution of the amplitude of measured eddy current signals

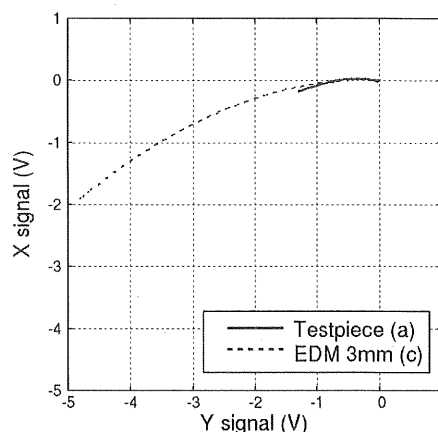


Fig.2 Trajectory of the measured eddy current signals

3. 結言

固相接合を用いて電磁非破壊検査の観点からの模擬応力腐食割れ製作技術を提唱し、渦電流探傷法によりその妥当性を確認した。本技術は試験体に導入する模擬応力腐食割れの形状を高精度で制御しつつも、従来技術と比べて遥かに安価かつ短時間で試験体の製作を可能とするものであり、保全活動に対する貢献は大であると考えられる。

参考文献

- [1] PH. Savahn, K. Hogberg, "Defect simulation for interdriftic stress corrosion cracks in Alloy 182 welds, CD-ROM Proceedings of the 16th World Conference on NDT (available at NDT.net)
- [2] R. Clark, et al., "The effect of crack closure on the NDT predictions of crack size", *NDT International*, 20, 269-275 (1987).
- [3] N. Yusa, et al., "Eddy current inspection of closed fatigue and stress corrosion cracks", *Measurement Science and Technology*, 18, 3403-3408 (2007).
- [4] CCH. Lo, and N. Nakagawa, "Effects of dynamic and static loading on eddy current NDE of fatigue cracks", *AIP Conf. Proc.*, 1096, 355-362 (2009).
- [5] 松井ら, "超音波探傷試験のための模擬欠陥試験体の製作", *軽金属溶接*, 28, 431-438 (1990).
- [6] N. Yusa, H. Hashizume, "Evaluation of stress corrosion cracking as a function of its resistance to eddy currents", *Nuclear Engineering and Design*, 239, 2713-2718 (2009).
- [7] Z. Chen, et al., "A nondestructive strategy for distinction of natural fatigue and stress corrosion cracks based on signals of the eddy current testing", *J. Pressure Vessel Technology*, 129, 719-728 (2007).
- [8] S. Perrin, et al., "Automatic discrimination of stress corrosion and fatigue cracks using eddy current testing. *Electromagnetic Nondestructive Evaluation (X)*, 91-98 (2007).