

MR センサおよび ECT センサを用いた オーステナイト系ステンレス鋼の疲労損傷評価

Fatigue Damage Evaluation of Austenitic Stainless Steel by MR and ECT sensors

産業技術総合研究所	鈴木 隆之	Takayuki SUZUKI	Member
筑波大学	寺本 徳郎	Tokuo TERAMOTO	Member
筑波大学 (学)	北原 美樹	Miki KITAHARA	
産業技術総合研究所	笹本 明	Akira SASAMOTO	

Fatigue damage evaluation for austenitic stainless steel SUS304 was performed by electromagnetic non-destructive testings using magnetoresistance(MR) and eddy current technique(ECT) sensors. The fatigue damage and fatigue crack could be detected by MR and ECT sensors. Especially, by MR sensors, changes in fatigue crack of notched specimens were measured, and by ECT sensors fatigue damage of martensitic transformation of plain specimens was evaluated. These results were explained by the difference of martensite distribution between the plain and notched specimens.

Keywords: Austenitic Stainless Steel, Fatigue Damage, Fatigue Crack, Magnetoresistance Sensor, Eddy Current Sensor.

1. 緒言

近年、機器・構造体の大型化、複雑化が進みつつあり、その安全性、信頼性の確保が求められている。特に、オーステナイト系ステンレス鋼は、原子炉プラント等様々な機器・構造体に用いられてきており、長期耐久性の確保の上で、疲労過程に生じる損傷、き裂を高精度に検出する非破壊評価技術の確立が重要な課題となっている。

オーステナイト系ステンレス鋼は非磁性相である準安定オーステナイトから構成されるが、外力や変形を受けることにより強磁性相である α' -マルテンサイトに変態する。したがって、電磁気的な手法を用いた非破壊評価技術が適していると考えられる。

MR センサは磁界によって抵抗値が変化することを利用した磁気センサであり、ホール素子と比較して感度が高いこと、小型化が容易であること等の特徴を有する。すでに、いくつかの産業機器に用いられており、非破壊評価センサに使用することも可能であると考えられる。また、ECT センサはこれまででもき裂の検出に用いられているが、き裂のみならず材料の相変態等の材質評価にも有効であることが示されている。[1]

本研究では、これらの磁気センサを用いてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の疲労過程に生じる損傷、き裂を測定し、センサの出力と損傷、き裂との関係を明らかにした。

2. 材料および実験方法

2.1 材料および試験片

材料はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 である。試験片には幅 15mm 板厚 3mm の平滑材およびその両端に局率半径 1mm、長さ 2mm の切り欠きを設けた切り欠き材を用いた。

2.2 実験方法

疲労試験は電気油圧式材料試験装置を用い、応力比 0.1、繰返し速度 10Hz にて行った。

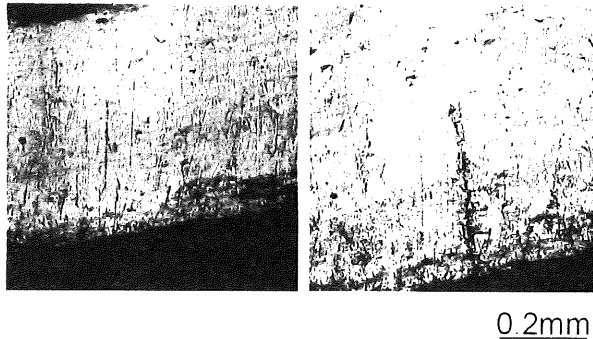
MR センサは 2 つの磁気抵抗素子および磁気バイアスを与えるマグネットから構成されるものを用いた。各々の磁気抵抗素子の磁界の差に応じて出力電圧が変化する。ECT センサは内径 2.0mm、外径 2.4mm の励磁コイルと検出コイルから構成される 3 連コイルを用い、印加電圧 1V、周波数 100kHz にて試験を行った[1]。

3. 実験結果および考察

連絡先: 鈴木隆之、〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1、産総研つくば東、先進製造プロセス研究部門、suzuki-takayuki@aist.go.jp

3.1 平滑材

Fig. 1 に平滑材の各段階における顕微鏡写真を示す。Fig. 2 には ECT センサの測定結果を示す。本試験の荷重振幅は 400MPa であり、低サイクル疲労試験の範囲であるが、繰り返し数の増加とともに出力の増加が認められた。



(a) N=2250000 (b) N=2270000
Fig.1 Micrographs of fatigue damage and crack for SUS304 plain specimen.

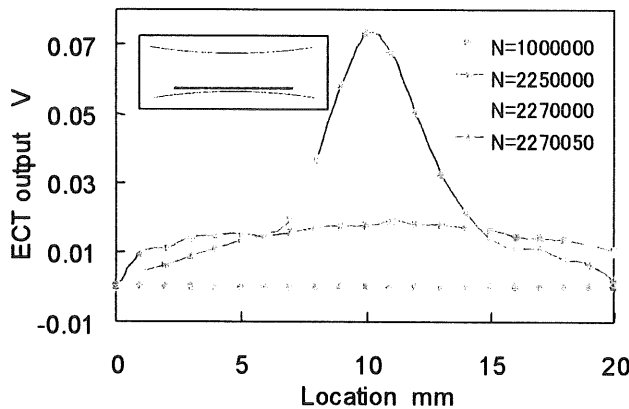


Fig.2 Changes in ECT output with increasing number of cycles for SUS304 plain specimen.

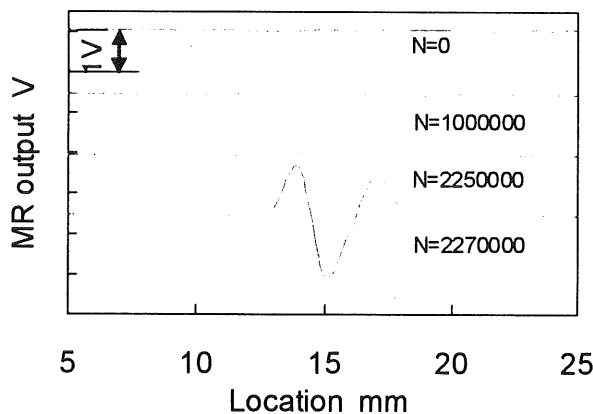
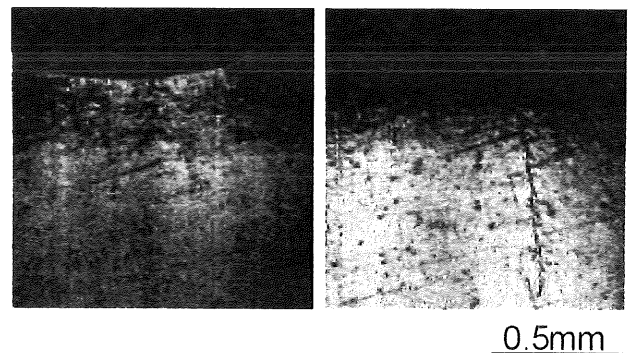


Fig. 3 Changes in MR output with increasing number of cycles for SUS304 plain specimen.

これは疲労過程中にひずみ誘起マルテンサイト変態が生じ、 α' -マルテンサイトが生成したためである。また、き裂発生とともに、その近傍ではより顕著な出力の増加が認められた。Fig.3 には MR センサの測定結果を示す。繰り返し数の増加とともに N=225 万回において若干の出力の変化は認められるものの、その程度は ECT センサの測定結果と比較して少ない。しかしながらき裂発生、進展後は明瞭に出力が増加していることはわかる。

3.2 切り欠き材

Fig. 4 に切り欠き材の顕微鏡写真を示す。応力振幅は 265MPa であり、N=38.9 万回においてき裂が発生した後、本試験の範囲では $da/dN=10^{-8}$ m/cycle のオーダーにてほぼ安定的にき裂進展した。Fig.5 には ECT センサの測定結果を示す。繰り返し数の増加とともに若干出力が増加し、特にき裂の発生、進展後は明瞭に増加するがその程度は平滑材の場合と比較して小さい。



(a) N=389000 (b) N=414000
Fig.4 Micrographs of fatigue damage and crack for SUS304 notched specimen.

MR センサの測定結果を Fig.6 に示す。き裂発生以前より切り欠き近傍で明瞭に出力が増加し、き裂進展に対応してセンサ出力分布も変化していくことがわかる。Fig. 7 には各段階におけるき裂進展方向の MR センサの出力分布を示す。き裂長よりも先端の領域にて高出力を呈しており、き裂先端の疲労損傷域まで含んで測定されていることがわかる。MR センサ出力よりき裂長を測定するためには、今後さらに詳細な測定が必要である。

以上のように、平滑材のように比較的広範囲に疲労損傷に損傷が生成し、強磁性相である α' -マルテンサイトが一樣に分布する場合には ECT センサによる測定が

有効であるものの、切り欠き近傍のように限定された領域に損傷が生成する場合には、磁界分布が均一ではないため、本試験に用いた MR センサによる測定が有効であることがわかる。

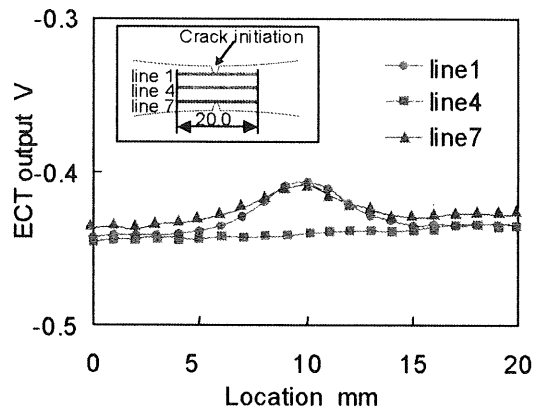
4. 結言 略。

5. 謝辞

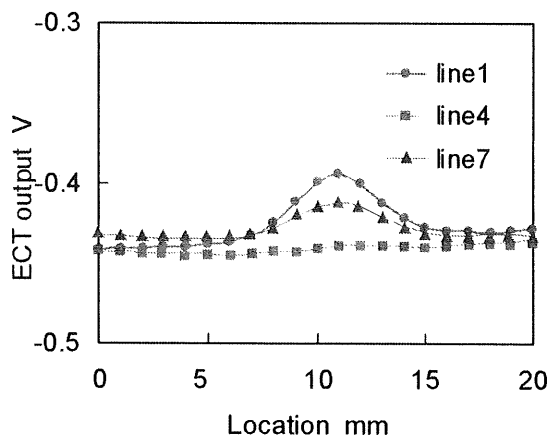
MR センサ測定に御協力いただいたニッコーシ株式会社電子部品事業本部開発室中林玄氏に謝意を申し上げます。

参考文献

[1] 寺本徳郎, ECT 法を用いたオーステナイト系ステンレス鋼の高精度損傷評価, 日本 AEM 学会誌, Vol.13, No.2, 2005, pp.87-93.

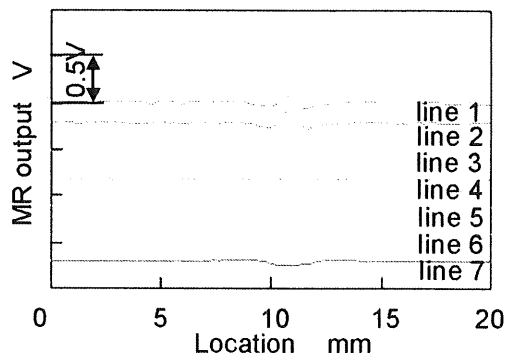
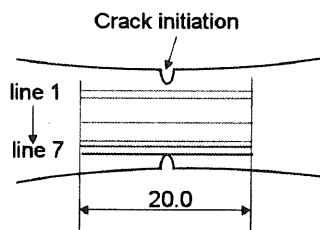


(a) N=389000

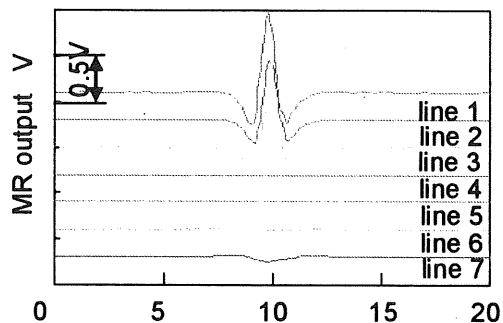


(b) N=414000

Fig. 5 Changes in ECT output with increasing number of cycles for SUS304 notched specimen.



(a) N=389000



(b) N=414000

Fig. 6 Changes in MR output with increasing number of cycles for SUS304 notched specimen.

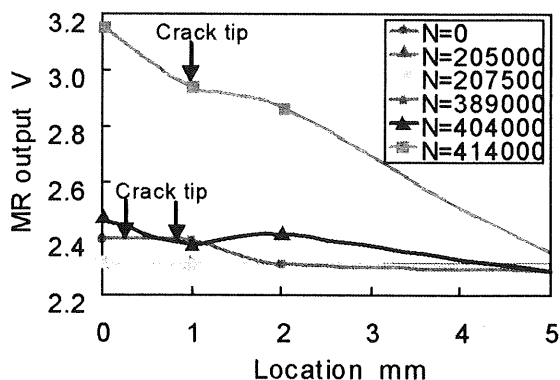


Fig. 7 MR output distribution along crack growth direction for SUS304 notched specimen.