SUS304 鋼の応力誘起マルテンサイト変態を利用した疲労損傷評価

乙部彰吾^{*1}, 中井善一^{*2} 塩澤大輝^{*2}

Fatigue damage evaluation by deformation-induced martensitic transformation in SUS304 steel

Shogo Otake^{*3} Yoshikazu Nakai and Daiki Shiozawa

^{*3} Kobe University Dept. of Mechanical Engineering,
1-1, Rokkoudai-cho, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 567-8501, Japan

SUS304 steel is a kind of the austenitic stainless steel. It is used for various fields, example for the plant and the nuclear plant. The austenite phase is non-magnetism usually, but when SUS304 steel is received a big stress, a part of it is transformed into the martensitic phase that is ferromagnetism. In recently years, a lot of researches are done the nondestructive testing by measuring the magnetic characteristic using this character. It is hope that the method of detecting the damage before generation of the crack for to improve the safety of the machine and the structure. Then, we measured martensite fraction in the fatigue process of SUS304 steel, and we examined applicability from the change in martensite fraction to the fatigue damage evaluation in this study.

Key Words : SUS304 steel, Martensite, Plastic strain

1. 緒 言

SUS304 鋼はオーステナイト系ステンレス鋼の一種であり、耐食性、機械的性質に優れていることからプラントや原子力発電所など幅広く用いられている。通常オーステナイト相は非磁性であるが、大きな応力を受けると一部が強磁性であるマルテンサイト相へ相変態する。近年、この性質を利用した磁気特性を測定することによる非破壊検査への適用の研究が数多くなされている。

機械・構造物の安全性を向上させるためにはき裂発生以前の損傷を検出する手法の確立が望まれている。そこで本研究では、SUS304 鋼の疲労過程におけるマルテンサイト体積率の測定を行い、マルテンサイト体積率の変化から疲労損傷評価への適用性を検討した。

2. 試験片および試験方法

試験片の R 部の引張りに対する応力集中係数は 1.03 である。試験片材料の化学組成 (Mass%) は 0.04C, 0.42Si, 1.07Mn, 0.028P, 0.004S, 8.31Ni, 18.00Cr である。試験片は受入れ材と切削加工後 1050℃で 70min 保持および冷却ガス注入での急冷による溶体化処理を施した再溶体化処理材の 2 種類を使用した。両試験片はエメリー紙による研磨後、表面の残留応力および加工変質層の除去のために電解研磨を施した。この 2 つの試験片に対して油圧サーボ式疲労試験機を用いて軸力疲労試験を行った。室温大気中、繰返し速度 $f=5\text{Hz}$ 、応力比 $R=-1$ の試験条件の下、正弦波変動負荷を試験片に与えた。試験は一定の応力振幅を繰返し負荷する試験および、応力振幅を段階的に増加させて負荷を与える試験の 2 種類の試験方法を実施した。疲労過程におけるマルテンサイト体積率をフェライトスコープ (Fisher Inc. 製, MP30) で、ひずみ変動をひずみゲージを用いてそれぞれ測定した。

^{*1} 学生員, 神戸大学大学院工学研究科。(〒567-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

^{*2} 正員, 神戸大学大学院工学研究科
E-mail: 115t312t@stu.kobe-u.ac.jp

3. 実験結果および考察

試験片形状を Fig. 1 に示す. 実験で用いた両試験片の疲労限度は, 受入れ材は 220MPa, 再溶体化処理材は 180MPa 程度であった.

受入れ材に対して応力振幅一定試験を行ったときの負荷繰返し数に対するマルテンサイト体積率の変化を Fig. 2 に示す. Fig. 2 より, いずれの応力振幅においてもマルテンサイト体積率は負荷繰返し数とともに増加していることが分かる. さらにこの変化の様子をより詳細に見るためにマルテンサイト体積率の増加速度の変化を Fig. 3, Fig. 4 に示す. Fig. 3, Fig. 4 より, いずれの応力振幅においても試験開始からマルテンサイト体積率の増加速度は繰返し数とともに増加していき, その後減少に転じる傾向を示していることが分かる. 応力振幅 210MPa, 215MPa における負荷繰返し数に対する塑性ひずみ幅の変化を Fig. 5 に示す. Fig. 5 より, 塑性ひずみ幅は試験開始から軟化挙動を示し, $N=1.0 \times 10^5$ cycles 付近を境に硬化挙動に転じていることが分かる. 特に $N=2.0 \times 10^4$ cycles から $N=1.0 \times 10^5$ cycles 程度で大きく軟化挙動を示している. この区間でのマルテンサイト体積率の増加速度を見てみると, Fig. 3 より, 増加速度はピークを迎えていることが分かる.

次に再溶体化処理材に対して応力振幅一定試験を行ったときの負荷繰返し数に対するマルテンサイト体積率の増加速度の変化を Fig. 6 に示す. いずれの応力振幅においても試験初期に最大値を取り, その後単調減少を示していることが分かる. 負荷繰返し数に対する塑性ひずみ幅の変化を Fig. 7 に示す. 試験開始から軟化挙動を示し, その後硬化に転じる傾向は受入れ材と同様だが, 受入れ材のような急激な軟化を見せる区間はなかった.

疲労限度の前後でマルテンサイト体積率の増加率に大きな違いが見られたので両試験片に対して応力振幅増加試験を行った. そのときの各振幅応力に対するマルテンサイト体積率の増加速度の変化を Fig. 8 に示す. Fig. 8 より両試験片とも試験開始からマルテンサイト体積率の変化率は変化が見られず, 溶体化処理材は 180MPa から, 受入れ材は 215MPa から増加していることが分かる. これは両試験片ともマルテンサイト体積率の変化率が増加に転じる点と, 疲労限度がよく一致している. 従って, 応力振幅増加試験のマルテンサイト体積率の変化率の比較から疲労限度を推定できる可能性があると考えられる.

Fig. 1 Geometry of specimen

Fig. 2 Change in martensite fraction ($R=-1$)

Fig. 3 Change in changing rate of martensite fraction ($R=-1$, $\sigma_a=210\text{MPa}$, 215MPa)

Fig.4 Change in changing rate of martensite fraction ($R=-1$, $\sigma_a=225\text{MPa}$)

Fig.7 Change in plastic strain range ($R=-1$)

Fig.5 Change in plastic strain range ($R=-1$)

Fig.8 Relationship between changing rate of martensite fraction and stress amplitude ($R=-1$, $N=1000\text{cycles}$)

Fig.6 Change in changing rate of martensite fraction ($R=-1$)