

低温下で予ひずみを付与した SUS304 の疲労挙動

Fatigue Behaviour of Type304 Stainless Steel Prestrained at Low Temperature

学 ○村崎 竜博 (岐大院)
正 植松 美彦 (岐大工)

正 中島 正貴 (豊田高専)
正 秋田 正之 (岐大工)

Tatsuhiro MURASAKI, Graduate Student, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-1193

Masaki NAKAJIMA, Toyota National College of Technology

Yoshihiko UEMATSU and Masayuki AKITA, Gifu University

Key Words: Fatigue, Type304 Stainless Steel, Strain-Induced Martensite Transformation, Prestrain, Low Temperature

1. 結 言

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 はひずみの付与によって加工誘起マルテンサイト変態を生じることが知られている。したがって、切削や成形など種々の加工を受けた SUS304 から成る機械構造部材では、強加工部位でマルテンサイト変態が生じる場合がある。マルテンサイト相はオーステナイト相に比べて著しく硬いため、加工誘起マルテンサイト変態は疲労挙動に影響を及ぼすことが予想される。また、マルテンサイト変態は温度の影響を受け、同一加工度でも加工時の温度が低いほど変態量も多い。

そこで本研究では、 -25°C の低温下で予ひずみを与えることによって、室温下よりも大きな加工誘起マルテンサイト変態を生じさせた SUS304 を用いて疲労試験を行い、疲労挙動に及ぼすマルテンサイト変態の影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材および試験片 供試材はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 である。化学組成 (wt. %) は C: 0.04, Si: 0.49, Mn: 1.76, P: 0.29, S: 0.24, Ni: 8.62, Cr: 18.86 である。素材に 1080°C で 1 時間保持後水冷の溶体化処理を施した。熱処理後の機械的性質は、耐力 $\sigma_{0.2}$: 242MPa, 引張強さ σ_B : 612MPa, 伸び δ : 56%, 絞り ϕ : 77% である。

室温およびドライアイス冷却下で予ひずみを付与した。ドライアイスの温度は約 -80°C であるが、試験片つかみ部の熱容量が大きいために試験片の温度は -25°C で平衡状態となった。したがって、予ひずみは室温および -25°C で付与したことになる。付与した予ひずみ量は室温および -25°C とともに 15% および 20% である。以下、例えば予ひずみ 20% を付与した試験片を 20% 材、ひずみを付与していない試験片を無予ひずみ材と呼ぶ。疲労試験片は最小断面部直径 5mm の砂時計型試験片で、予ひずみを付与した後に試験片形状に機

械加工し、その後エメリー紙で 2000 番まで順次研磨後、バフ研磨を行い、疲労試験に供した。

2.2 実験方法 予ひずみの付与には万能引張試験機、疲労試験には 4 連式片持ち回転曲げ疲労試験機を用いた。繰返し速度は $f=53\text{Hz}$ である。実験環境は大気中および 3%NaCl 水溶液 (以下、塩水) 中とし、塩水中では 20% 材のみ試験を行った。硬さ測定にはマイクロビッカース硬さ計、組織と破面観察には走査型電子顕微鏡 (SEM)、またマルテンサイト量の測定には X 線回折装置を用いた。

3. 実験結果

3.1 組織観察 図 1 に無予ひずみ材および室温と -25°C で予ひずみを付与した 15% 材の組織写真を示す。無予ひずみ材ではすべり帯は認められないが、15% 材ではすべり帯が広範囲に観察され、その程度は -25°C のほうが著しい。しかし、組織写真ではマルテンサイト相を同定できない。

3.2 マルテンサイト変態量 マルテンサイト体積率と予ひずみの関係を図 2 に示す。室温下では、マルテンサイト体積率は予ひずみの増加に伴ってわずかに増加するが、変態量は小さい。これに対して -25°C では、マルテンサイト体積率は予ひずみの増加とともに増加し、15% と 20% の予ひずみに対してそれぞれ 12% と 42% である。

3.3 硬さ試験 図 3 にビッカース硬さ HV と予ひずみの関係を示す。図には平均値とばらつきの範囲を併示した。予ひずみの付与によって硬さは上昇するが、 -25°C 予ひずみ材では、予ひずみの増加に伴って硬さとそのばらつきが室温予ひずみ材よりも大きくなる。

3.4 疲労試験 大気中および塩水中における $S-N$ 曲線を図 4 に示す。大気中では、疲労強度は予ひずみの増加に伴い上昇する。しかし、マルテンサイト変態量に差があるにもかかわらず、疲労強度に及ぼす予ひずみ付与温度の影響はほ

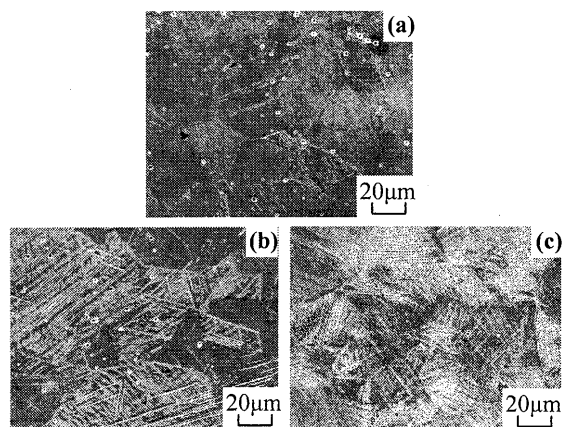


Fig.1 Microstructures: (a) Unprestrained, (b) 15% prestrained at R.T., (c) 15% prestrained at -25°C .

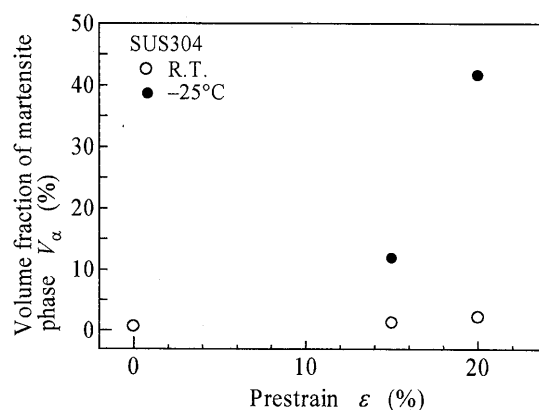


Fig.2 Relationship between volume fraction of martensite phase and prestrain.

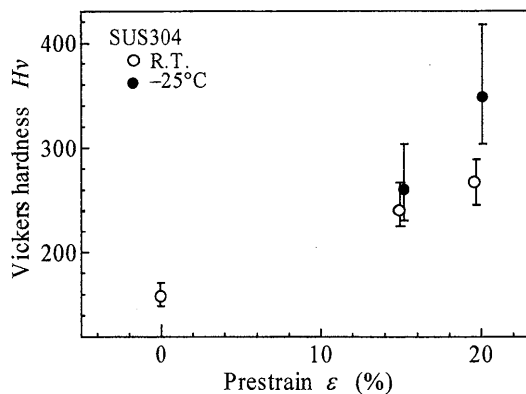


Fig.3 Relationship between Vickers hardness and prestrain.

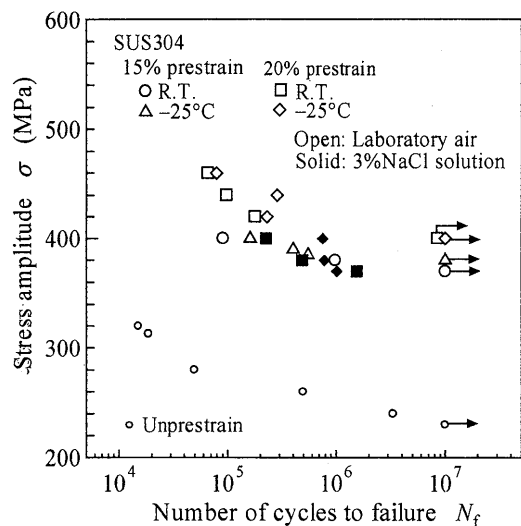


Fig.4 S-N diagram.

とんど見られない。一方塩水中では、大気中と比較して疲労強度は低下するが、大気中と同様に、マルテンサイト変態量の相違は疲労強度にほとんど影響を及ぼさない。

図 5 はレプリカ法によって測定したき裂成長速度 da/dN と最大応力拡大係数 K_{max} の関係である。予ひずみの付与によってき裂成長抵抗は上昇するが、予ひずみ量や予ひずみの付与温度はき裂成長抵抗にほとんど影響を及ぼさない。なお、き裂発生に対しても予ひずみ付与温度の影響は認められなかった。

4. 考 察

予ひずみ材では硬さが上昇し、室温下よりも -25°C で顕著であった (図 3)。室温下ではマルテンサイト変態はほとんど生じなかったことから、室温予ひずみ材の硬さ上昇は加工硬化に起因する。一方、 -25°C 予ひずみ材における硬さ上昇はマルテンサイト変態によるものと考えられる。そこで、 0.049 N (50 gf) の小荷重で図 1(c)中ですべり帯が密集して白く見える箇所と、すべり帯がほとんど存在しない箇所における硬さを計測した。その結果、 HV はすべり帯が密集している箇所では 325、すべり帯の存在しない箇所では 250 であった。この結果から、すべり帯が密集している箇所でマルテンサイト変態が生じていると思われるが、マルテンサイト相としては硬さが低い。これは、すべり線間の微小な領域で相変態が生じ、オーステナイト相との微細な混合組織となっているためと考えられる。

室温予ひずみ材の疲労強度は無予ひずみ材よりも上昇した (図 4)。これは主として加工硬化に起因すると考えられる。一方、 -25°C 予ひずみ材ではマルテンサイト相が多いに

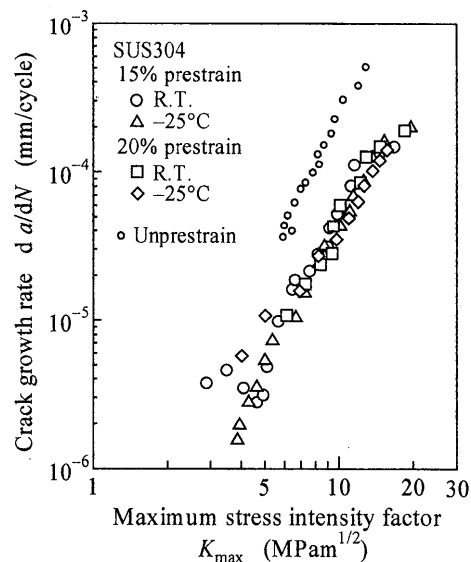
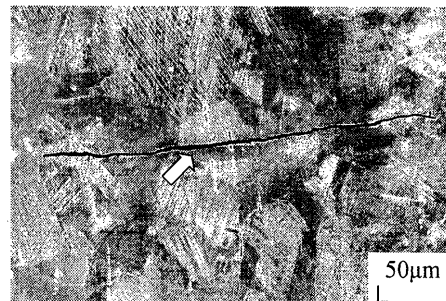


Fig.5 Relationship between crack growth rate and maximum stress intensity factor.

Fig.6 SEM micrograph showing crack growth path at specimen surface (15% prestrained at -25°C , $\sigma=405\text{ MPa}$).

もかわらず、疲労強度、き裂発生およびき裂成長抵抗は室温予ひずみ材と同程度であった。図 6 に -25°C で 15% の予ひずみを付与した試験片のき裂成長様相を示す。き裂はすべり帯が密集している結晶粒の境界で発生した (図中、矢印)。このようにき裂発生にすべり帯の密集部が関与しているが、き裂発生寿命に相違は認められなかった。この原因として、き裂が発生する領域ではすべり変形が局所的かつ激しく集中しているために、室温予ひずみ材でもマルテンサイト変態が生じていることが挙げられる。一方き裂成長過程では、き裂先端でマルテンサイト変態が常に誘起されるから、室温予ひずみ材と -25°C 予ひずみ材が同程度のき裂成長抵抗を示したと考えられる。

塩水中の試験では腐食ピットを起点とするき裂発生が確認された。しかし、マルテンサイト量にかかわらず腐食疲労強度は同程度であったことから、腐食ピットの形成はマルテンサイト相ではなく、予ひずみ付与によって導入された高転位密度に関係していることが考えられる。

5. 結 言

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の室温と低温 (-25°C) で予ひずみを与えた試験片を用いて疲労試験を行い、疲労挙動に及ぼす加工誘起マルテンサイト変態の影響について検討した。その結果、低温で予ひずみを与えると、室温下よりも顕著にマルテンサイト相変態が生じるが、室温大気中の疲労強度や疲労き裂成長抵抗、および腐食疲労強度にはほとんど影響を及ぼさないことを明らかにした。

(参考文献省略)