

# 721 SUS304 の疲労挙動に及ぼす加工誘起マルテンサイト変態の影響

豊田高専 ○中島 正貴, 岐阜大工 秋田 正之, 植松 美彦  
岐阜大工 戸梶 恵郎, 岐阜大院 村崎 竜博

## Effect of Strain-Induced Martensitic Transformation on Fatigue Behaviour of SUS304

Masaki NAKAJIMA, Masayuki AKITA, Yoshihiko UEMATSU

Keiro TOKAJI and Tatsuhiro MURASAKI

### 1 緒 言

準オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 は顕著な加工硬化特性を有するとともに、ひずみの付与に伴って加工誘起マルテンサイト変態を生じる。マルテンサイト相はオーステナイト相と比べて著しく硬いため、加工誘起マルテンサイト変態を生じると疲労挙動に影響を及ぼすことが予想される。しかし、予ひずみを与えた場合、その影響を加工硬化と切り離して論ずることは難しい。マルテンサイト変態は温度の影響を受け、同一加工度（ひずみ）でも加工時の温度が低いほど変態量も多くなる。このことを利用して、低温下で予ひずみを与えることによって、同じ予ひずみの室温下よりも多量の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** 供試材は準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: 0.07, 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  $\sigma_b$ : 612MPa, 伸び  $\delta$ : 56%, 絞り  $\phi$ : 77% である。

予ひずみの付与には万能引張試験機を用い、室温およびドライアイス冷却下で行った。ドライアイスの温度は約 -80°C であるが、試料つかみ部の熱容量が大きいために試料の温度は -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、バフ仕上げを行い試験に供した。

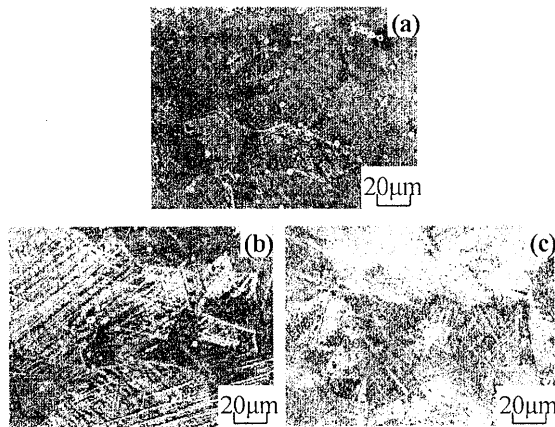


Fig.1 Microstructures: (a) Unprestrained, (b) 15% prestrained at R.T., (c) 15% prestrained at -25°C.

**2.2 実験方法** 疲労試験には繰返し速度  $f=53\text{Hz}$  の 4 連式片持ち回転曲げ疲労試験機を用いた。試験環境は実験室大気中である。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)、およびマルテンサイト量の測定には X 線回折装置を用いた。

### 3 実験結果および考察

**3.1 予ひずみ付与後の組織** 図 1 に無予ひずみ材および室温と -25°C において 15% の予ひずみを付与した材料の組織写真を示す。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、その程度は室温と比べて -25°C のほうが著しい。しかし、組織写真からはマルテンサイト相を同定できない。

**3.2 硬さ変化** 図 2 にビッカース硬さ  $HV$  と予ひずみ量の関係を示す。図には硬さの平均値とばらつきの範囲を併示した。予ひずみ量の増加に伴って硬さは上昇するが、-25°C で予ひずみを付与した試験片では、室温で予ひずみを付与した試験片よりも硬さとばらつきが大きい。

**3.3 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 3 に示す。室温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。変態量は少なく、15% と 20% の予ひずみに対してそれぞれ 1.3% と 2.2% である。

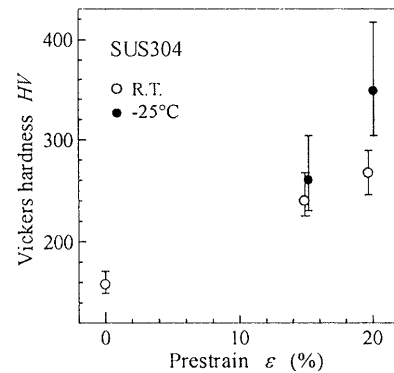


Fig.2 Relationship between Vickers hardness and prestrain.

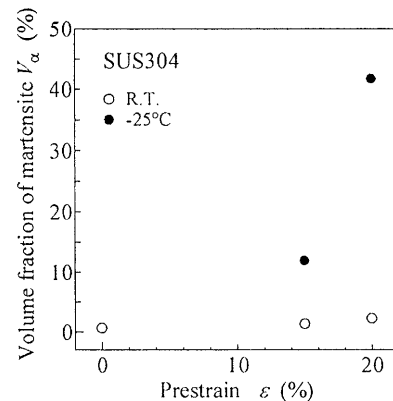


Fig.3 Volume fraction of martensite as a function of prestrain.

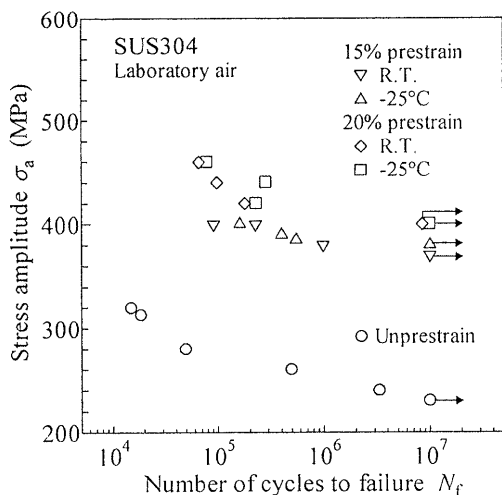


Fig.4 S-N diagram of prestrained specimens.

それに対して-25°C では、マルテンサイト体積率は予ひずみ量とともに増加し、15%材と20%材に対してそれぞれ12%と42%である。なお、室温における少量のマルテンサイト変態は、本研究で用いたSUS304のNi当量( $Ni_{eq}$ )から理解される。すなわち、オーステナイト相の安定度はNi当量に依存し、12%以上であると安定化するとされる。そこで、当該材料のNi当量を計算すると $Ni_{eq}=11.6\%$ であり、安定度は比較的高いことがわかる。

**3.4 疲労強度** 無予ひずみ材および予ひずみ材のS-N曲線を図4に示す。疲労強度は予ひずみ量の増加に伴い上昇するが、マルテンサイト変態量に差があるにもかかわらず(図3)、疲労強度は予ひずみ付与温度の影響を受けない。すなわち、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。

**3.5 疲労き裂進展挙動** 疲労寿命 $N_f=10^5$ 回前後となる応力レベルで、レプリカ法を用いてき裂成長を観察した。図は省略するが、き裂発生は応力が高いにも関わらず予ひずみ材において遅く、き裂発生抵抗が高い。図5に表面き裂長さ $2c$ と繰返し数比 $N/N_f$ の関係を示す。無予ひずみ材および各予ひずみ材ともき裂発生時の繰返し数比は $N/N_f=0.52\sim0.64$ にあり、その後の成長挙動もほとんど変わらない。この結果から、予ひずみ付与温度のき裂発生に及ぼす影響は大きくないと考えられる。図6にき裂成長速度 $da/dN$ ( $a$ :表面き裂長さ、アスペクト比 $a/c=1$ として計算)と最大応力拡大係数 $K_{max}$ の関係を示す。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していない。なお、無予ひずみ材の $da/dN$ が予ひずみ材と比べて高速度側に位置しているが、これは試験応力( $\sigma=290\text{MPa}$ )が0.2%耐力( $\sigma_{0.2}=242\text{MPa}$ )を大きく上まわっていることから、小規模降伏条件が満足されていないことが原因であると考えられる。

**3.6  $\sigma_w$ -HV関係** 図7に無予ひずみ材および各予ひずみ材の疲労限度 $\sigma_w$ とHVの関係を示す。一般に、 $\sigma_w$ とHVの間には $\sigma_w=1.6HV$ の関係が成り立つことが知られている。図中の破線はばらつきの範囲を示している。いずれの予ひずみ材もばらつきの範囲内に位置しているが、-25°Cにおける20%予ひずみ材のみ下方に大きく逸脱している。この結果は、マルテンサイト変態量が硬さの増加には寄与するものの、疲労限度の増加にはほとんど影響を及ぼさないことを意味している。このことは、上述したマルテンサイト変態量の相違が疲労挙動に直接影響を及ぼさない点と結びついているが、詳細については更なる検討が必要である。

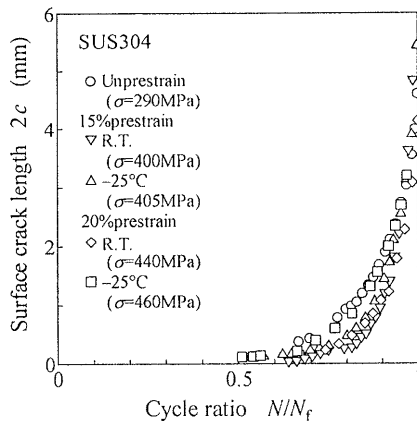


Fig.5 Relationship between surface crack length and cycle ratio.

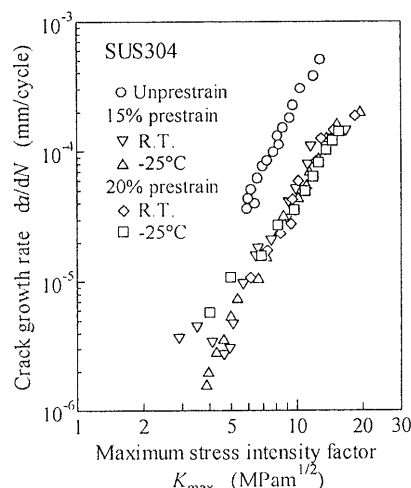


Fig.6 Relationship between crack growth rate and maximum stress intensity factor.

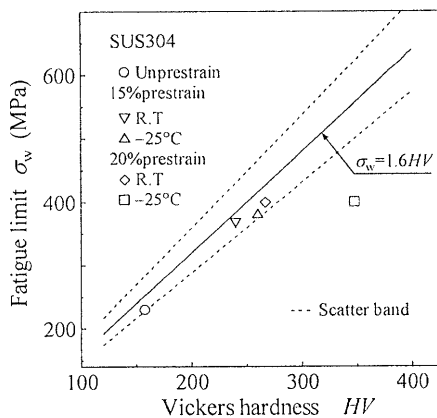


Fig.7 Fatigue limit as a function of Vickers hardness.

#### 4 結 言

準オーステナイト系ステンレス鋼SUS304に対して室温と-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、-25°Cで予ひずみを付与すると、室温で予ひずみを付与した場合よりも顕著にマルテンサイト変態を生じるが、疲労強度および疲労き裂成長抵抗は室温で予ひずみを付与した場合と同様であり、マルテンサイト変態量の相違は疲労挙動に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)