

ステンレス鋼のコーキング効果に及ぼす予ひずみの影響

Influence of Prestrain on Coaxing Effect in Austenitic Stainless Steel

学 ○鄭 在雄 (岐阜大院) 正 中島 正貴 (豊田高専) 正 秋田 正之 (岐阜大工)
正 植松 美彦 (岐阜大工) 正 戸梶 恵郎 (岐阜大工)

Jae-Woong JUNG, Graduate Student, Gifu University, Masaki NAKAJIMA, Toyota National College of Technology
Masayuki AKITA, Yoshihiko UEMATSU, Keiro TOKAJI, Gifu University

Key Words: Fatigue, Prestrain, Strain induced phase transformation, Austenitic stainless steel, Coaxing effect

1. 緒 言

疲労限度直下の応力を繰返し、その後応力を段階的に増加していくとコーキング効果により破断応力が著しく上昇することが知られている。これまでにコーキング効果の発現メカニズムとして、冷間加工による強化、ひずみ時効、およびすべり帯き裂先端の強化等が提唱されているが、依然として不明な点が多い。

そこで本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および SUS316 を用いて応力漸増試験を行い、得られた結果に基づいてコーキング効果に及ぼす予ひずみの影響とそのメカニズムについて検討した。

2. 実験方法

2・1 供試材および試験片形状

供試材はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および SUS316 である。溶体化処理後の機械的性質を Table 1 に示す。用いた疲労試験片の形状は砂時計型であり、最小断面部直径は SUS304 では 5.5mm, SUS316 では 5mm である。素材に所定の引張り予ひずみを付与したのち、試験片形状に機械加工した。その後、エメリー紙で 2000 番まで研磨し、さらにバフ研磨を施して試験に供した。

2・2 実験方法

試験には片持回転曲げ疲労試験機を用いた。ビッカース硬さ計を用いて応力漸増の前後の硬さを測定した。き裂発生を観察にはレプリカ法を用い、応力を上昇させる度に試験片表面のレプリカを採取した。採取したレプリカから光学顕微鏡を用いてき裂の有無の確認を行った。また試験後、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて破面を詳細に観察した。ひずみ時効能の確認のために、万能型引張試験機を用いて引張試験を行った。また、X 線回折装置を用いて加工誘起マルテンサイト変態を測定した。

3. 実験結果

3.1 疲劳强度

SUS304 および SUS316 の *S-N* 曲線を Fig.1 に示す。無予ひずみ材の場合、有限寿命領域の疲労強度は SUS304 のほうがやや高いが、疲労限度に差異はなく 300MPa である。図から明らかなように、両材とも予ひずみ量の増加に伴って疲労強度は上昇する。疲労限度は SUS304 の場合、30% 予ひずみ材では 440MPa、 σ_B 予ひずみ材では 470MPa である。また、SUS316 の場合、疲労限度は 5% 予ひずみ材では 320MPa、15% 予ひずみ材では 380MPa、25% 予ひずみ材では 420MPa、 σ_B 予ひずみ材では 460MPa である。

3・2 応力漸増試験結果

Fig.2 および Fig.3 に SUS304 と SUS316 の応力漸増試験結果をそれぞれ示す. 図から明らかなように, 破断応力は SUS304 の場合, 無予ひずみ材では 540MPa, 30%予ひずみ

材では 580MPa, σ_B 予ひずみ材では 630MPa である。また SUS316 の場合, 無ひずみ材では 360MPa, 5%予ひずみ材では 400MPa, 15%予ひずみ材では 400MPa, 25%予ひずみ材では 480MPa, σ_B 予ひずみ材では 560MPa である。このように, SUS304 の場合, 予ひずみの増加に伴って破断応力は増加する。一方 SUS316 の場合, 15%予ひずみ材では一旦顕著な破断応力の増加は見られなくなるが, その後予ひずみの増加に伴って再び破断応力は増加する。なお, 両材の全ての試験片において停留き裂は観察されなかった。

3・3 硬さ測定

応力漸増の前後で硬さの測定を行った。その結果を Table 2 に示す。試験後、両材とも予ひずみにかかわらず硬さは上昇する。この結果から、コーキング効果の発現メカニズムは、硬さ変化と密接に関係していることが推察される。

4. 考 察

4・1 ひずみ時効能

オーステナイト系ステンレス鋼にはひずみ時効が存在することが明らかにされている。そこで、本供試材のひずみ時効能について調べた。約10%の引張ひずみを与えたのち、110°Cで5時間加熱し、再び引張試験を行った。その結果

Table 1 Mechanical properties.

Material	0.2% proof stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness <i>HV</i>
SUS304	298	594	69	192
SUS316	211	560	66	134

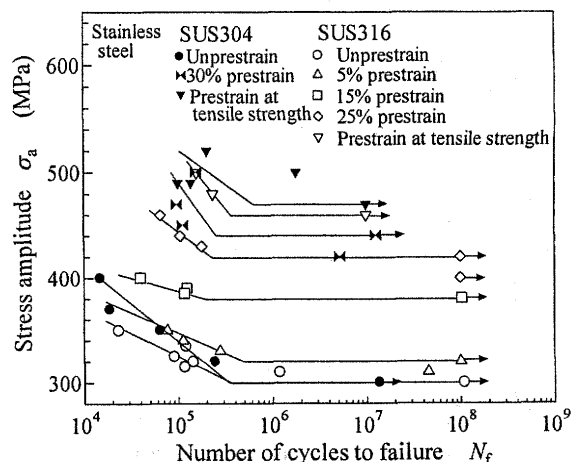


Fig.1 *S-N* diagram for austenitic stainless steels.

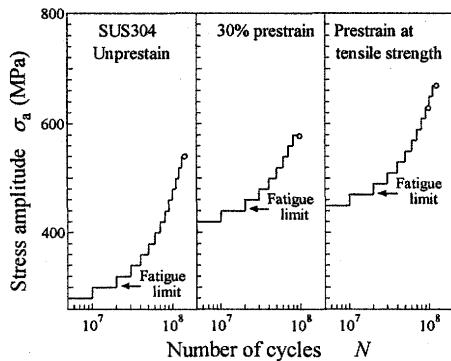


Fig.2 Stress-incremental fatigue test results in SUS304.

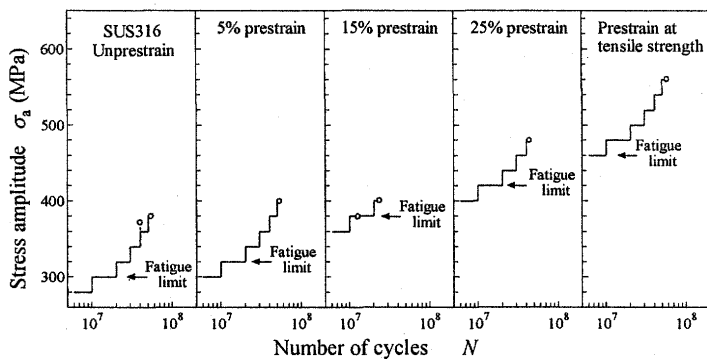


Fig.3 Stress-incremental fatigue test results in SUS316.

Table 2 Vickers hardness after stress incremental fatigue test.

(a)SUS304

SUS304	Unprestrain	30%	At tensile strength
Before coxing test	192	247	335
After coxing test	307	323	357

(b)SUS316

SUS316	Unprestrain	5%	15%	25%	At tensile strength
Before coxing test	137	177	214	251	302
After coxing test	228	282	237	321	335

を Fig.4 に示す。SUS304 はひずみ時効をほとんど示さず、降伏応力の上昇は認められないのに対して、SUS316 はひずみ時効を示し、降伏応力は顕著に増加する。この結果から、SUS316 のコーキシング効果にはひずみ時効も関与していることが示唆される。

4・2 加工誘起マルテンサイト変態

オーステナイト系ステンレス鋼では加工誘起マルテンサイト変態が生ずることが知られている。そこで、両材についてX線回折法によりマルテンサイト変態の有無を調べた。Fig.5 に SUS304 無予ひずみ材の応力漸増試験後の試験片表面で測定された X 線回折結果を示す。図から明らかなように、 α 相のピークが検出され、加工誘起マルテンサイト変態が生じていることがわかった。この結果から、SUS304 のコーキシング効果には加工誘起マルテンサイト変態が関与していることが考えられる。一方 SUS316 の場合、X 線回折法により 5~15%予ひずみ材ではマルテンサイトは検出されず、25%予ひずみ材では EBSD 解析により約 2%のマルテンサイトが検出された。このことから、SUS316 のコーキシング効果には、加工誘起マルテンサイト変態は重要な役割を果たしていないと考えられる。

以上述べてきたことから、コーキシング効果の発現に対

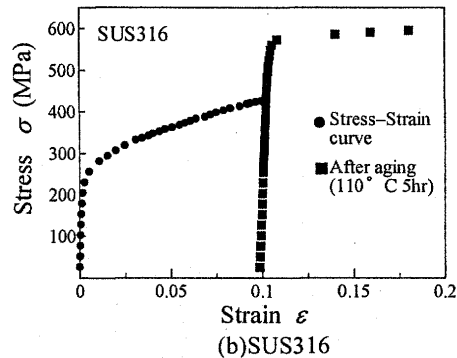
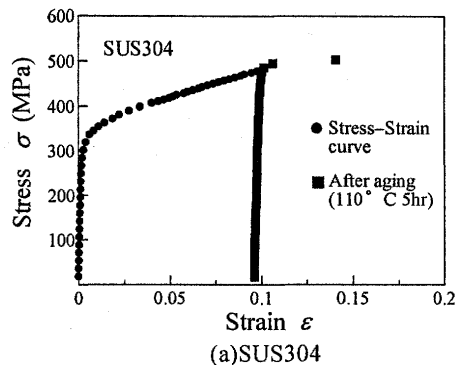


Fig.4 Strain age hardening effect in SUS304 and SUS316.

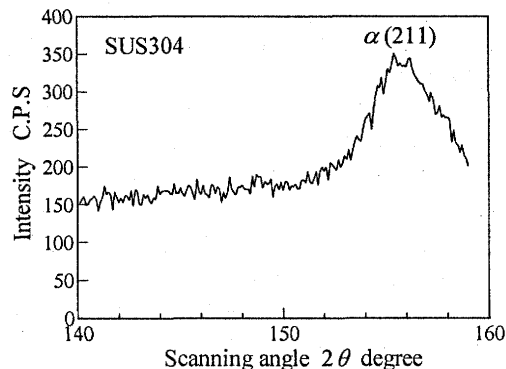


Fig.5 X-ray diffraction pattern for an unprestrained specimen in SUS304, indicating presence of martensite phase.

して、SUS304 では加工誘起マルテンサイト変態が支配的な役割を果たしていると考えられる。一方 SUS316 の場合、小さい予ひずみでは加工硬化またはひずみ時効が主因であり、予ひずみが大きくなると加工誘起マルテンサイト変態も寄与すると考えられる。

5. 結 言

本研究ではオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および SUS316 のコーキシング効果に及ぼす予ひずみの影響とその発現メカニズムについて検討した。その結果、SUS304 の場合、予ひずみの増加に伴い破断応力が上昇した。明瞭に加工誘起マルテンサイト変態が測定されたことから、コーキシング効果の発現に加工誘起マルテンサイト変態が支配的な役割を演じていると判断された。一方 SUS316 の場合、15%予ひずみ材では一旦顕著な破断応力の増加は見られなくなったが、その後予ひずみの増加に伴って再び破断応力は増加した。予ひずみが小さい場合、加工硬化またはひずみ時効が、予ひずみが大きい場合、それに加えて加工誘起マルテンサイト変態も関与していると考えられた。

(参考文献省略)