

トヨタ自動車

立命大理工

立命大理工

○ 蜂谷孝典

坂根政男

大南正瑛

1. 緒言

高温で使用される機器・部材の損傷量評価は、機器の健全性保障や余寿命推定のため重要である。従来のこの分野の研究によれば、変形が一方に累積するクリープ損傷評価についてはレプリカ法を始めとする種々の有効な損傷量評価法が提案されてきているが[1,2], クリープ疲労損傷評価については、未だ確定的な評価法のない現状[3]にある。本研究では、SUS321鋼およびSTPA24鋼HAZ再現材を用いて、クリープ疲労過程に生じる表面き裂計測に基づく損傷評価について検討した。

2. 試験片および試験方法

表1に供試材の化学成分ならびに熱処理条件を示す。損傷材作成は、大気中、全ひずみ範囲制御 ($\Delta \epsilon_t = 1.0\%$)、ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 0.1\%/s$ で引張最大ひずみ時に10分間の保持時間を伴う波形を用いて行った。試験温度はSUS321鋼については923K, STPA24鋼については848Kであり、破損寿命のそれぞれ35%, 50%, 65%での中断材を作成し、損傷量評価試験を実施した。表2に両材料の破損繰返し数ならびに中断繰返し数を示す。

損傷量評価の対象とした手法は、マイクロビッカース硬さ測定、X線回折法およびレプリカ法によるき裂測定である。なお、表面き裂観察の際には試験中に生じた酸化膜を除去する必要があるが、ここではSUS321鋼についてはバフ研磨によって除去し、STPA24鋼につ

いてはエメリー紙とバフ研磨で酸化膜を除去した。

また、画像処理を用いたき裂長さの自動計測も行ったが、画像処理に用いた装置はnexus7116 (画素数640×480, 輝度R, G, Bそれぞれ256階調)を用いた。

表1 供試材の化学成分および熱処理条件

SUS321 (wt.%)							
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti
0.07	0.60	1.64	0.02	0.001	11.54	17.68	0.47

1493K×45Min. + 1323K×10Min. Water Quench

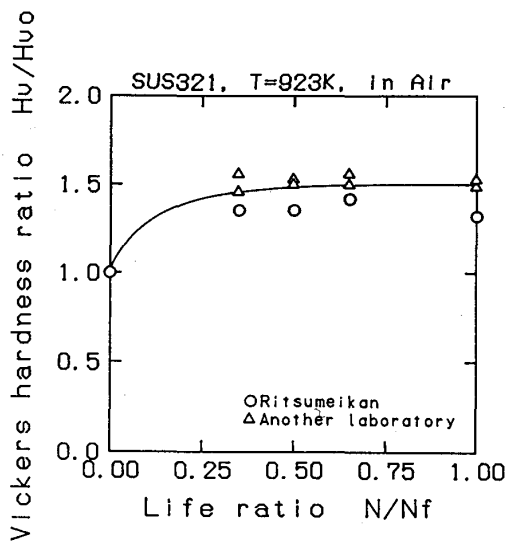
STPA24 (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.09	0.27	0.43	0.012	0.009	2.12	0.90

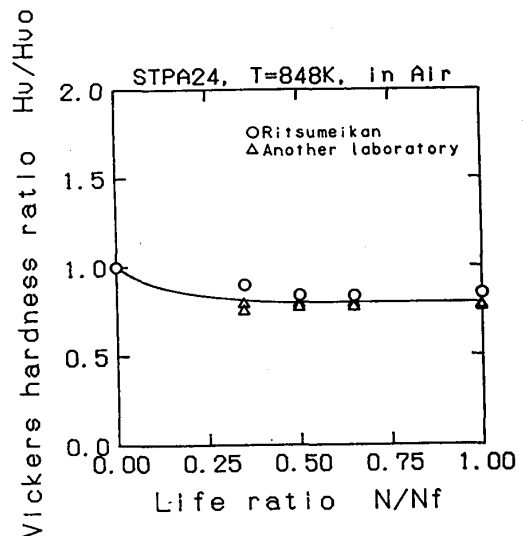
1123K×30Min. Air Cool + 993K×30Min. Air Cool
1573K×5Min. Oil Quench + 993K×6Hour Air Cool

表2 破損繰返し数および中断繰返し数

Material	Life ratio	Cycle
SUS321	0.35	152
	0.50	218
	0.65	280
	1.00	435 (Nf)
STPA24	0.35	188
	0.50	268
	0.65	348
	1.00	536 (Nf)



(a) SUS321鋼



(b) STPA24鋼

図1 マイクロビッカース硬さ比の寿命比に対する変化

3. 試験結果および考察

3. 1 クリープ疲労損傷評価結果

図1にマイクロピッカース硬さ計測結果を示す。SUS321鋼についてはオーステナイト系ステンレス鋼特有の繰返し加工硬化挙動がみられ、マイクロピッカース硬さは寿命比の初期に上昇するが、その後硬さ変化は飽和現象を示すようである。また、STPA24鋼については寿命比の早い段階で一旦減少するが、その後の減少は小さいようである。これらの結果から、硬さ変化による損傷量評価は寿命比の小さい範囲に対しては有効であると思われるが、寿命中期以降については必ずしも有効ではないと思われる。

図2にX線半価幅の寿命比に対する変化を示す。ここで使用したX線回折条件は、対陰極：Cr-K α ，管電圧：40KV，管電流：20mA，であり，回折面はSUS321鋼については(111)面，STPA24鋼については(110)面である。X線半価幅も硬さ変化と良く対応した挙動を示している。すなわち，SUS321鋼およびSTPA24鋼両者ともに寿命比の初期にそれぞれ増加および減少，寿命比の中期以降ではほぼ一定値を示している。

図3および図4に表面き裂密度および最大き裂長さと寿命比との関係を示す。ここでのき裂長さとは，試験片平面部の3x4mm²の観察領域に生じたき裂の試験片表面上での長さを示し，き裂密度は同観察領域に生じた単位面積当たりのき裂の個数を示す。また，図4でデータ点に矢印がついてあるものは，試験片標点部の6x10mm²の平面部から曲面部へき裂が進展進展していたことを示しており，実際のき裂長さはデータ点の値よりさらに長いことを示している。

図3から，SUS321，STPA24両材ともき裂は寿命比の20~30%において既に発生していることがわかる。また，き裂密度は寿命比の約60%までは増加するが，その後は一定値あるいは漸減することがわかる。き裂密度が寿命後期で減少するのは，それまでに発生したき裂間で合体が生じたことによるものと考えられる。き裂間の合体や干渉がほとんど見られない寿命初期におけるき裂密度の値にバラツキが見られるが，このことは，き裂の発生時期や発生頻度等が同一の試験条件下でもある程度のバラツキを有しているものと思われる。したがって，き裂密度によるクリープ疲労損傷の評価は，き裂の発生や初期進展にかなりのバラツキ幅を有していることから，必ずしも有効ではないと考えられる。

図4に示した最大き裂長さと寿命比との関係では，データには多少のバラツキはあるものの片対数グラフ上で両者間に良好な直線関係が認められる。また，今回

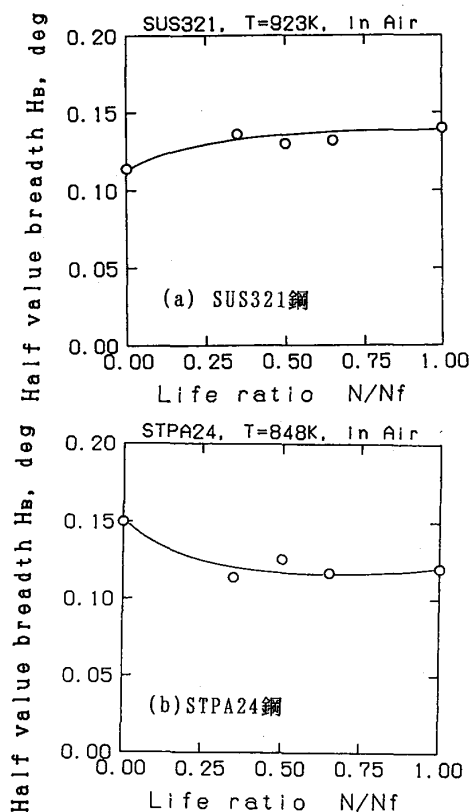


図2 X線半価幅の寿命比に対する変化

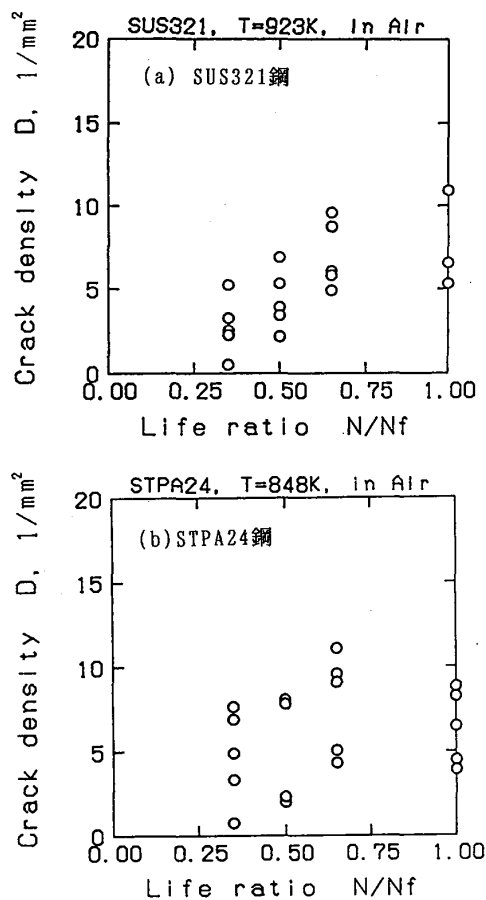


図3 き裂密度の寿命比に対する変化

試験を行った他のパラメータより寿命比との相関は良好であることがわかる。したがって、最大き裂長さ計測によるクリープ疲労損傷評価は有効であると考えられる。

3. 2. 画像処理によるき裂長さの計測結果

図5にSUS321鋼およびSTPA24鋼の画像処理によって得られたき裂長さを目視法によって得られたそれとの相関を示す。なお、画像処理によるき裂長さ計測には、単純2値化法およびラプラシアン法によりき裂を2値化し、それらをOR合成した上で、手動によりよごれ等を除去した後、き裂長さを計測した。

両図から、画像処理によっても比較的精度の良い計測が可能であることがわかる。き裂長さの短い側で精度の悪い場合であったが、これは主として原画像の画質の悪さに起因した。したがって、画像処理によるき裂測定に際しては、き裂の部分とをそれ以外の部分のコントラストの違いの大きい鮮明な原画像の準備が必要となる。しかし、き裂長さの長い場合には比較的精度の良い結果が得られた。

4. 結言

(1) マイクロビッカース硬さおよびX線回折法を用いて、SUS321鋼およびSTPA24鋼HAZ再現材のクリープ疲労損傷計測を行ったが、両手法とも必ずしも有効ではなかった。

(2) 表面き裂密度および最大き裂長さとの対応関係を調べたが、前者はバラツキが大きく、また後者では良好な対応関係が得られた。

(3) 画像処理による表面き裂長さ計測を行ったが、精度の良いき裂長さ計測のためにはコントラストの高い原画像を準備することが重要であることが判明した。長さの大きいき裂に対しては、比較的精度の高い測定が可能であった。

本研究の一部は日本鉄鋼協会特定基礎研究会「構造材料の信頼性評価部会」高温強度WGの共同研究として実施されたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 構造材料の信頼性評価技術の開発に関する研究（第I期）成果報告書，科学技術庁研究開発局，1987。
- [2] 同 上 第II期成果報告書，1988。
- [3] 西野精一，坂根政男，大南正瑛，材料，35，292（1986）。

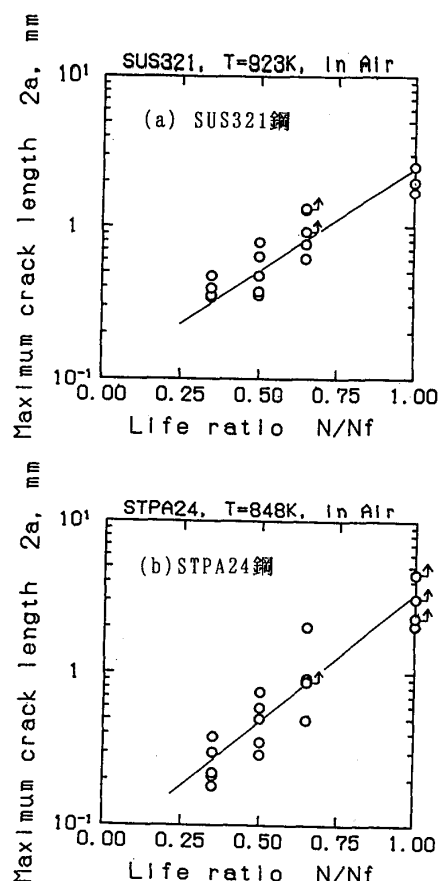


図4 最大き裂長さの寿命比に対する変化

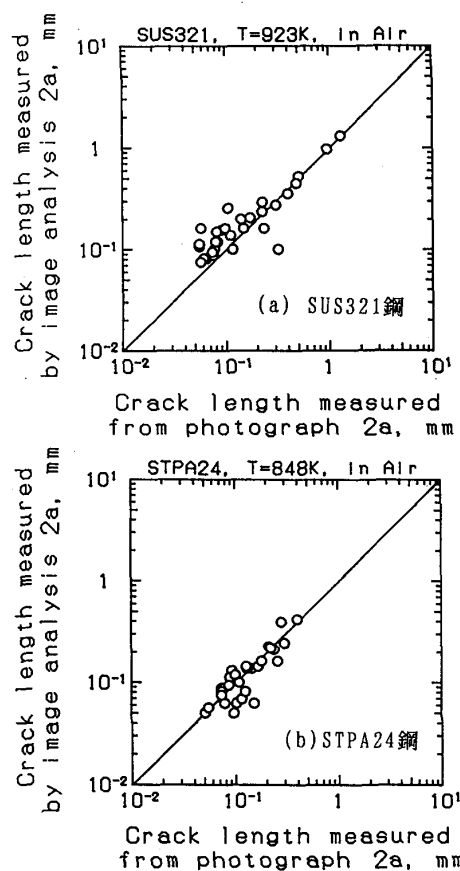


図5 画像処理によるき裂長さと目視によるき裂長さの比較