

近畿大学
長崎総合科学大学
大阪府立大学

菊地一嘉[○], 窪堀俊文
川野正和, 石田 毅, 谷 昇
難波慎悟

1 緒言

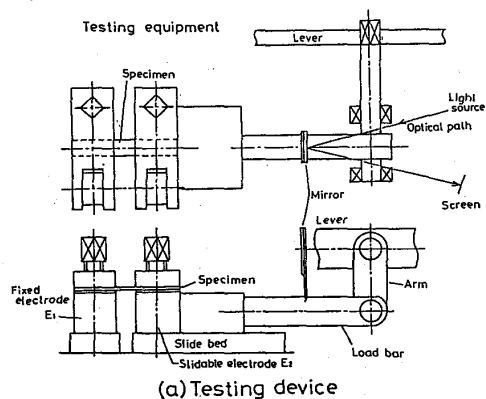
金属材料に加熱と冷却の操作を加えたとき, 材料の結晶として受ける影響には恢復, 焼鈍あるいは昇温の程度によって再結晶, 結晶粒の成長などの効果がある。繰返してパルス的に加熱し冷却するとき, その効果は積分されると考えてよい。機器構造物において材料は必ず拘束されており, 加熱と冷却に応じて発生する膨張のための圧縮応力と, 収縮のための引張応力が発生するので, パルス状の加熱及び冷却の繰返しにより, 応力が繰返し働いて疲労が起る。

特に2相鋼においては外部拘束がなくとも α , δ の混晶であるため, それぞれの結晶構造の相違に基づく熱的挙動の差による応力が発生し, 繰返し加熱冷却を行うだけで疲労破壊が起る。従来より2相ステンレス鋼の熱応力についてX線的な研究を行ってきた^{1,2)}ので繰返し熱衝撃を与えた場合の熱衝撃疲労について研究し, これを単相ステンレス鋼と比較検討した。

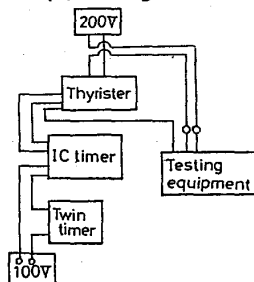
2 実験装置及び試験片

2.1 熱衝撃疲労試験機

熱衝撃疲労を研究するためには短時間で加熱冷却を繰返す必要がある。そこでFig.1(a)に示すような装置を作成した。すなわち2つの電極 E_1 , E_2 間に試験片を挟み1kAの電流を流す。



(a) Testing device



(b) Block diagram of the apparatus

Fig. 1 Testing device and block diagram of the apparatus

電極 E_1 は固定であり, E_2 は摺動できるようにしてある。可動電極 E_2 には荷重棒が取り付けられてあり, アームを介しレバーによって引張又は圧縮の荷重をかけることができる。試験片の伸縮は荷重棒に取付けた反射鏡の回転によって測定した。又電気的回路をFig.1(b)に示す。すなわちI.C. タイマーとサイリスタを用いて通電時間を制御し, これによって温度を調節した。

2.2 試験片

主としてSUS 329J1の2相ステンレス鋼について検討したが比較のためSUS 316鋼も用いた。試験片形状は幅7mm, 長さ100mm, 厚さ1mmの板状試験片と $\phi 3$ mmの丸棒試験片である。なお試験片の化学成分をTable 1に示す。

Table 1 Chemical compositions of specimens (mass%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Al
SUS 329	0.019	0.54	0.50	0.033	0.006	5.05	23.03	1.52	0.87	0.015	0.019
SUS 316	0.057	0.61	0.87	0.027	0.001	12.18	17.54	2.15	0.26	—	—

3 実験とその結果

熱衝撃を与える場合次の3通りの方法を考えねばならない。

- (1) 試験片に自由膨脹収縮を許容する場合—単なる加熱冷却効果である。しかし電極摺動による摩擦抵抗のため若干の圧縮及び引張応力が加わる。
 - (2) 両電極を固定し、試験片を拘束する場合—加熱時に膨脹して圧縮応力が作用し、冷却時に収縮あるいは引張応力が作用する。
 - (3) 電極の一方を固定し、一方の電極を可動として引張又は圧縮を賦与した場合—このとき加熱時の変形は引張応力下〔膨脹(伸び) + 引張(伸び)〕で応力は〔引張応力〕、圧縮応力下〔-圧縮(縮み) + 引張(伸び)〕で応力は〔引張応力 - (-収縮応力)〕、冷却時の変形は引張応力下〔-収縮(縮み) + 引張(伸び)〕で応力は〔引張応力 - (-収縮応力)〕、圧縮応力下〔-収縮(縮み) - 圧縮(縮み)〕で応力は〔-圧縮応力 - 収縮応力〕と考えられる。
- SUS 329J1 の場合には、温度上昇による応力の変化は Fig. 2 に示す通り²⁾であって、加熱冷却を繰返すだけで各々の結晶内に応力が発生する。一方 SUS 316 は単相であるから上記(2)及び(3)の場合に熱疲労が発生すると考えられる。

3.1 熱衝撃

実験条件を単純にするため電流値を1kA一定として、サイリスタ並びにI.C.タイマーを用いて通電時間を制御することによって温度を調節した。Fig. 3に示すのは通電時間と温度との関係である。又 Fig. 4は通電パルス間隔と試験片温度との関係である。Fig. 4において通電パルスが30秒間隔では常温まで冷却するが、10秒間隔のパルスでは試験片の温度は500Kとなる。5秒間隔では850K前後であり、2秒間隔では溶融する。

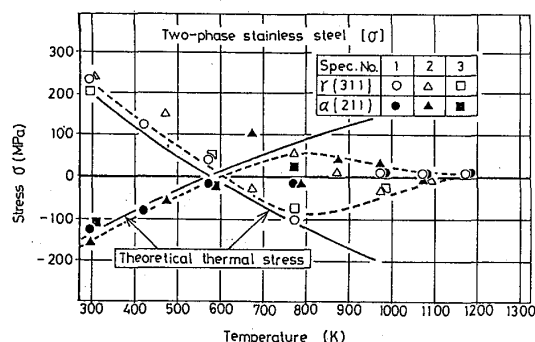


Fig. 2 Thermal stress for two-phase stainless steel

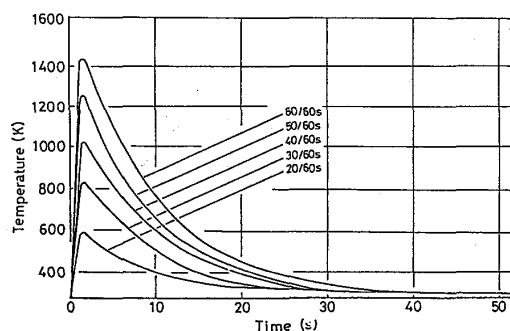


Fig. 3 Time-temperature curves

3.2 変形の挙動とS-N曲線

繰返し熱衝撃を与えたときの変形を Fig. 5に示す。Fig. 5(a)は自由膨脹収縮を許容した場合の SUS 316 についての繰返し数と変形の状態を示す。一つの serration は一回のパルス加熱と冷却の過程を示す。(b)は SUS 329J1 の平板試験片に49.0MPaの引張応力を加えたもので、50回で破断している。Fig. 6は SUS 316 の平板試験片に各々29.4及び49.0MPaの引張を与えた場合である。熱衝撃回数と変形の曲線は creep と同様の

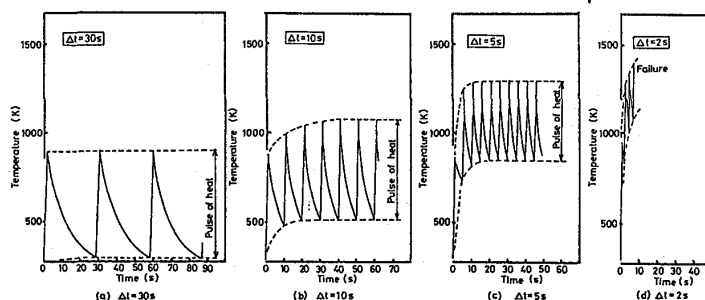


Fig. 4 Specimen temperature against repeated interval curves at the applying current 1kA for 40/60 s

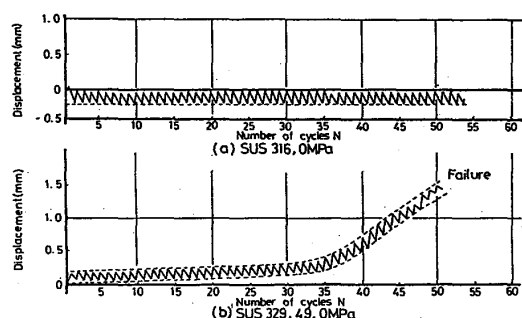


Fig. 5 Strain behaviour of SUS316 and SUS329 against repeated number of pulse heat

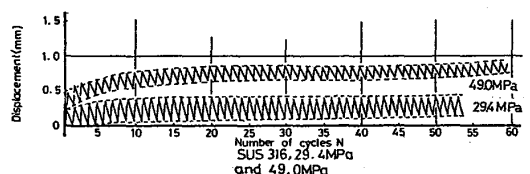


Fig. 6 Strain behaviour of SUS 316 against repeated number of pulse heat (6=29.4MPa and 49.0MPa)

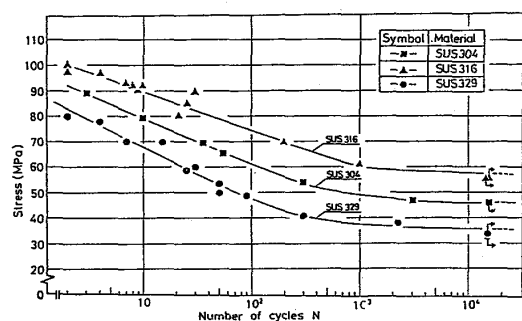


Fig. 7 Applied stress against repeated number of pulse heat

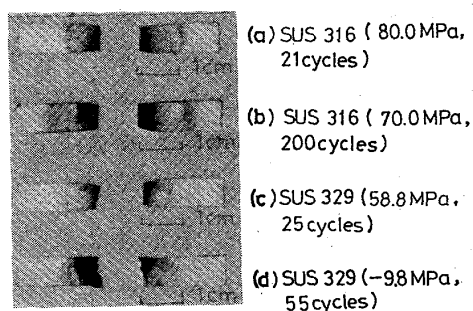


Fig. 8 Fracture appearance

4 結言

熱衝撃を繰返し与えることによって、拘束された試験片又は応力負荷状態の試験片では疲労が起る。しかしその変形挙動は creep 的であり、Fatigue creep とも言える挙動を示す。圧縮応力下においてもポアソン歪と収縮応力のため破断が起る。この外結晶粒の異状成長が観察された。

＜参考文献＞

- 1) 菊地, 川野, 石田, 谷: 第18回高温シンポジウム前刷集, 日本材料学会, P.64 (1980)
- 2) 川野, 石田, 谷, 菊地: 第19回高温シンポジウム前刷集, 日本材料学会, P.6 (1981)

形であることが分かる。これらの実験の結果として得られる S-N 曲線を Fig. 7 に示し、破断部の状況を Fig. 8 に示す。Fig. 8 において SUS 329 の場合、-9.8MPa の圧縮で破断を起しており、そのときの変形状態を Fig. 9 に示す。負の変形 D は Fig. 8 から明らかなように Poisson's deformation によって破断する。これは加熱時のポアソン歪に引続き、冷却の収縮による引張

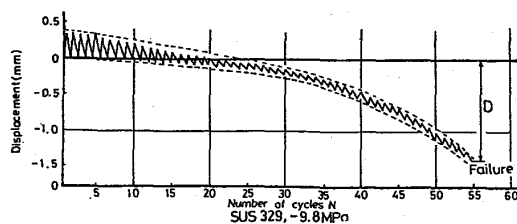


Fig. 9 Strain behaviour of SUS 329 against repeated number of pulse heat (6=-9.8MPa)

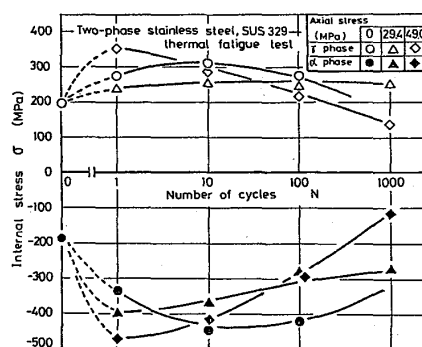


Fig. 10 Internal stress against thermal cycles for SUS 329

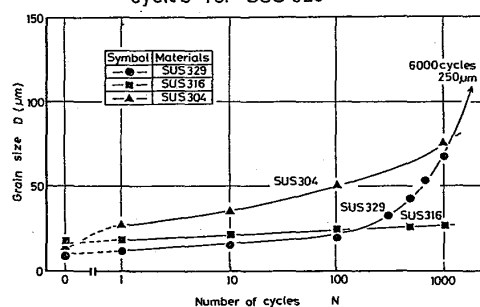


Fig. 11 Grain size against thermal cycles

応力が働いて破断に到るものと考えることができる。

Fig. 10 は SUS 329 の熱サイクルに伴う内部応力の変化を示す。Fig. 2 及び Fig. 10 から SUS 329 には両相の応力差が残り、それぞれの結晶は大きな応力差の繰返しによって疲労し極めて寿命が短く、少ない繰返し数で破断に到る。

この外 Fig. 11 に示すように結晶粒の異状な成長が観察された。