

繰返し衝撃引張試験機の試作と 高温下における二、三の実験

斎藤 稔・宮野 泰治
山崎 保輔・後藤 美千男

A New Design of Repeated Tension Impact Testing Machine,
and the Results of Preliminary Fatigue Tests under High
Temperature

Shigeru SAITO, Taiji MIYANO
Yasusuke YAMAZAKI and Michio GOTO
(昭和54年10月31日受理)

1. 緒 言

金属材料が過酷な条件下で使用される例が多く見受けられる。そのなかで、高温環境下で繰返し衝撃荷重を受ける場合の挙動を明らかにすることを目的に、試験片に温度を与えながら、繰返し衝撃引張荷重の加えることができる疲労試験機を試作したものである。ついで、試作した試験機を使用して、V型溝の切欠きを有する炭素鋼について、300℃から530℃の高温ふん囲気においた場合についての基礎的な試験を行なったので、以下にその大要について報告する。

2. 試験機の原理および構造

著者らは、これまで主として藤井式万能繰返し衝撃試験機を用いて、炭素鋼、アルミ合金、銅および銅合金などについて、その衝撃疲労の挙動を明らかにしてきたが、^{1)~7)}これらの結果をもとにして、各種ふん囲気条件での衝撃疲労の現象を明らかにすることを目的にした、汎用性のある繰返し衝撃疲労試験機を試作したものである。

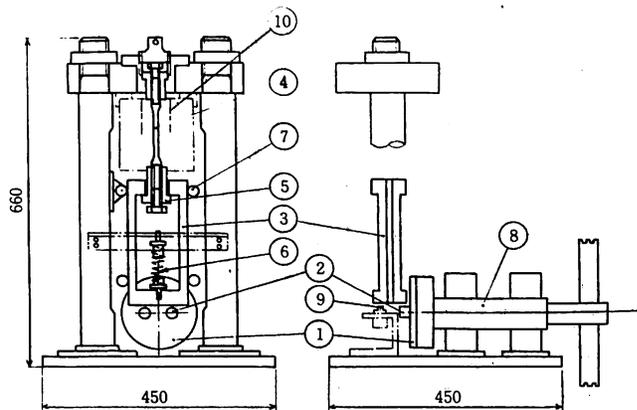
試作にあたって考慮した点は、(1)衝撃エネルギーの変換幅を、低繰返し数領域から、高繰返し数領域までの試験ができるように大きくすること。(2)試験片まわりを広くとり、高温、低温、ふん囲気ガス、荷重波形検出装置などの各種試験装置を取付け可能にすること。(3)試験片の着脱や、微調整、観測などを容易にすることなどである。

昭和55年 2月

2・1 原 理

試験機は、図1に示すごとく、カムローラによって衝撃ハンマー本体が持ち上げられ、カムローラの回転速度に伴った衝撃速度で、試験片端部にねじ止めされたフランジを繰返し衝撃する方式である。衝撃エネルギーは、カムローラ中心の回転半径、ハンマーの質量および主軸の回転数によって、それぞれ変換できる構造としている。

試験機で発生する衝撃エネルギーは、ハンマーの質量を m 、衝撃速度を v とすれば $U = \frac{1}{2} m v^2$ である。いま、カムローラ中心の回転速度を ω とすれば、図2に示すように、ハンマーは上下に $v = \omega r \cos \theta$ の



- ①カムローラ取付け円板
- ②カムローラ
- ③衝撃ハンマー
- ④試験片
- ⑤フランジ
- ⑥円筒コイルばね
- ⑦ガイドローラ
- ⑧主軸
- ⑨リミットスイッチ
- ⑩加熱炉

図1 試験機の構造

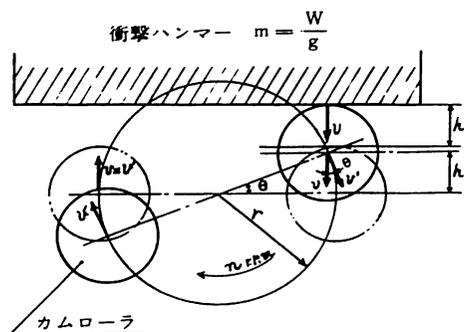


図2 衝撃速度と衝撃エネルギー

速度で単弦運動をしているから、図2のhの高さで、ハンマーが試験片に衝突するようにしておけば、衝撃速度 v および衝撃エネルギー U は次式のとおりとなる。

$$v = v' \cos \theta = \frac{\pi n}{30} \sqrt{r^2 - h^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$U = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{m \pi^2 n^2}{1800} (r^2 - h^2) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 r は主軸とカムローラの中心間距離（カムローラ中心の回転半径）、 n は主軸の回転数である。

(1) および (2) 式で得られる v と U の各値に対する衝撃荷重は、試験片のロードセル部に接着したひずみゲージにより、オシロスコープを介して測定される。

2・2 構造

図1に試作した試験機の構造図を示す。各種の試験装置を試験片周囲に取付けすることができるよう、太い2本の支柱で本体構造をつくり、試験片まわりを広い空間にした。衝撃エネルギーの変換幅を広くとる方法として、主軸端に、カムローラ取付け用の円板を着脱できるように装置し、この円板にハンマーストローク変換用の穴をあけて、カムローラを差し込むことにより、簡単、着実にストロークが変換できる方式とした。カムローラ取付け円板を数枚準備することによって、さらに幅広いストロークの変換が可能となる。カムローラには市販されているカムフォアアベアリングを使用した。このベアリングは、片持式のボルト型の軸が付いているため、円板に挿入するだけで簡単に使用でき、交換も容易である。

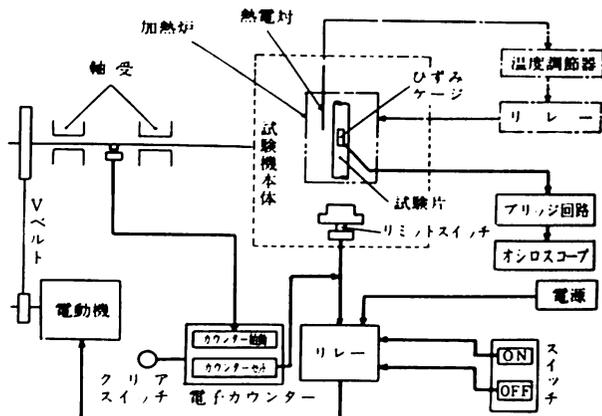


図3 試験機機構図

図1にしたがって構造を説明すると、①がフライホイール効果をもつベルト車で駆動される主軸端に装置されたカムローラ取付け円板である。③は衝撃ハンマーで、カムローラ②によって上下動する。ハンマーはガイドローラ⑦によって支持され、垂直移動する。ガイドローラは支柱に取付けられ、テーパ座によって微調整可能である。⑥はハンマーを常にカムローラに接触させるためのスプリングである。このスプリングは、衝撃荷重が試験片に作用する時点には、ばね作用がその負荷に影響しないように、微調整座で支持されている。④は試験片で、上部は球面座をもつ取付けボルトで支持され、下部にはハンマーの打撃を受けるフランジ⑤が取付けられている。なお、支柱やフレームには共振を避けて衝撃荷重が十分試験片に吸収されるように、鋳鉄を用いて十分な肉厚を取っている。

図3に試験機全体の機構図を示す。衝撃回数は、主軸に装置されたカウンタースイッチによって、電子カウンターで検出される。試験機の作動停止は、メインスイッチの他に、電子カウンターのセットで、任意の衝撃回数で自動的に停止できるようになっている。また、試験片が疲労破断した際は、ハンマーがリミットスイッチに触れることにより停止される。

2・3 試験片加熱装置

加熱装置は、試験機に直接取付けて使用するもので、炉体外径135mm、長さ125mmの電気炉を試験片全体を覆うように試験機支柱に装置した。電子式温度調節器を用いて600℃以下任意の設定温度で炉内温度を保つようにしてある。その概要を図3に、装

繰返し衝撃引張試験機の試作と高温下における二、三の実験

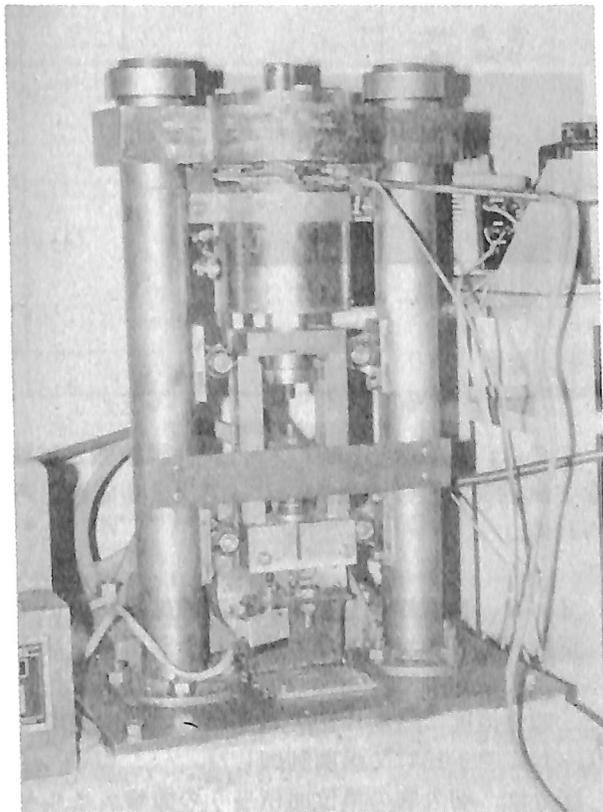


図4 加熱装置

置の概観を図4に示す。

試験機に取付けて、炉内温度分布を測定した結果、試験片のV型溝切欠き部周辺は十分均熱部の幅をもっていることが確かめられた。また、試験片を介して試験機フレームに流れる熱は、軽微で実用上まったく支障とならないようであった。

3. 実験および結果

3・1 供試材および試験片

試験片に使用した材料は、市販の機械構造用炭素鋼S35Cで、その化学成分と機械的性質を表1および

表1 化学成分 (%)

材 料	C	Si	Mn	P	S	Cu
S 35 C	0.37	0.30	0.66	0.66	0.020	0.04

表2 機械的性質

降 伏 点 kg/mm ²	引 張 強 さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %
36.1	58.1	30.6	57.5

昭和55年 2月

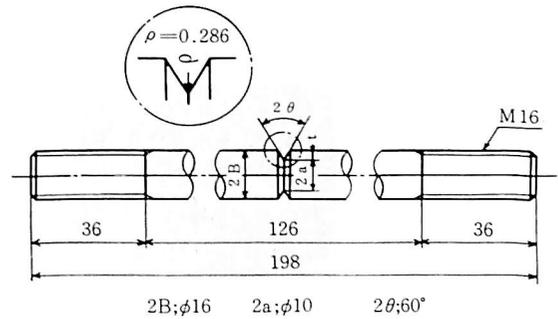


図5 試験片の形状および寸法

び表2に示す。これを納入のままのφ22丸棒から図5に示すような形状寸法に機械加工して実験を行なった。V形溝切欠き部の応力集中係数αは(3)式⁸⁾を用いて求めるとα=4.03であった。

$$\alpha = f(\theta) \sqrt{\frac{a}{\rho}} = \frac{1 - \exp\{-0.90\sqrt{\frac{B}{t}}(\pi - 2\theta)\}}{1 - \exp\{-0.90\sqrt{\frac{B}{t}}\}} \times \sqrt{\frac{a}{\rho}} \dots (3)$$

ここで、f(θ)は切欠き部の角度係数である。

3・2 衝撃荷重波形と繰返し衝撃応力

試験機で発生する衝撃エネルギーUが、前述した(2)式で与えられれば、m (ハンマー質量)とn (主軸回転数)、r (カムローラ中心の回転半径)の適当な組み合わせによって、衝撃エネルギーを発生させることができる。ここで、nとrは、いずれも、ハンマーの衝撃速度vを変化させるものであるが、nを一定としてrを変化させた場合は、衝撃時間間隔(または毎分衝撃回数)が同じで衝撃速度を変えた場合ということになり、nを変えることは、vも変わるが衝撃時間間隔も変わる場合ということになる。

本試験機では、m、n、rを独立に変え得ることができるようにしてあることは前述したとおりであり、ハンマー質量、衝撃速度、衝撃時間間隔の疲労に対する影響を分離して実験できるものである。

しかし、本実験ではまず、ハンマー重量W=5.4 kg、主軸回転数n=253.8 r.p.m (毎分衝撃回数507.6回)と一定に保ち、カムローラ中心の回転半径rを変化させることのみにより、衝撃速度vを変えて衝撃エネルギーを変化させ、疲労試験を行なった。

疲労試験における各衝撃エネルギーに対する衝撃荷重は、試験片の平滑部に接着したひずみゲージ(型式; K2P-3-F2-11)によりオシロスコープを介して、予め検出しておいた。

測定したひずみ波形、すなわち、衝撃荷重波形の一例を図6に示す。図6のa)は繰返し衝撃間隔0.118

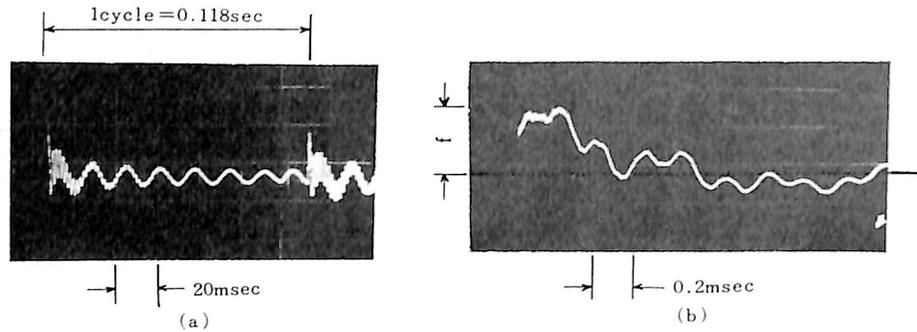


図6 衝撃ひずみ波形

sec間の波形を示したもので、衝撃直後、試験片には瞬間的に大きな引張りが生じ、その後、高調波が重畳した小さな圧縮と引張りが繰返して続き、それが完全に減衰しないうちに、つぎの衝撃が始まる。図6のb)は同じ波形の衝撃直後約1.6msec間を示したものである。このような波形の衝撃荷重が作用する疲労試験の際、その応力と繰返し数の表示法が問題となる⁹⁾が、本報では、応力は衝撃波形の最大、すなわち、図6b)に示すfより求めた最大荷重を、試験片切欠底の最小断面積で除した値を繰返し最大引張応力 σ とし、繰返し数Nは、衝撃回数をもってNとした。

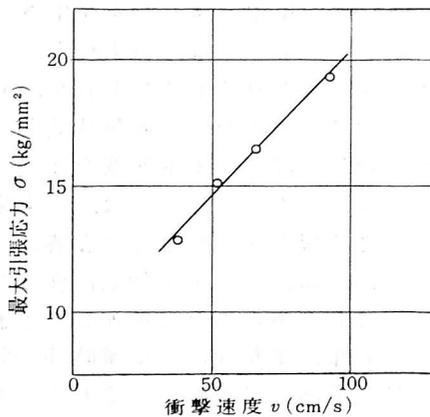


図7 衝撃速度と最大引張力の関係

各衝撃エネルギーに対する衝撃波形を調べ、(1)式より求めた衝撃速度 v と衝撃波形より求めた σ との関係を示せば図7のとおりであった。ただし、(1)式において h は常に5mmとして実験を行なった。図7の結果より、疲労試験を行なっている $v=38.6\text{cm/s}$ から 92.1cm/s の範囲内では、 v と σ はつぎの(4)式で示される直線関係にあった。

$$\sigma = 0.115v + 9.118 \text{-----(4)}$$

ここに、定数0.115および9.118は試験機と試験片など試験装置全体の条件によって決まる定数と考えられる。

3・3 高温繰返し衝撃引張試験結果について

低繰返し数領域における繰返し衝撃引張試験を、室温および300℃、400℃、530℃の高温で行なった。設定温度は試験片切欠き部周囲の炉内温度であり、およそ±15℃で温度制御した。

図8に、切欠底の単位面積当りの衝撃エネルギー u と破断衝撃回数Nの関係を表わす $u-N$ 曲線を示す。また、図9は、室温での衝撃速度と最大応力の関係を表わす(4)式を、高温の場合にも一応適用させて、各衝撃エネルギーにおける繰返し最大応力 σ を求め、 σ とNとを両対数の関係で整理したS-N曲線である。実験結果にかなりのばらつきはあるが、室温、300℃、400℃の場合には、ほぼ直線関係が認められ、530℃の場合にゆるやかなカーブを示すようであった。比較的实验データの多い室温の場合について、最小二乗法で整理すれば σ とNの関係は次式で近似できた。

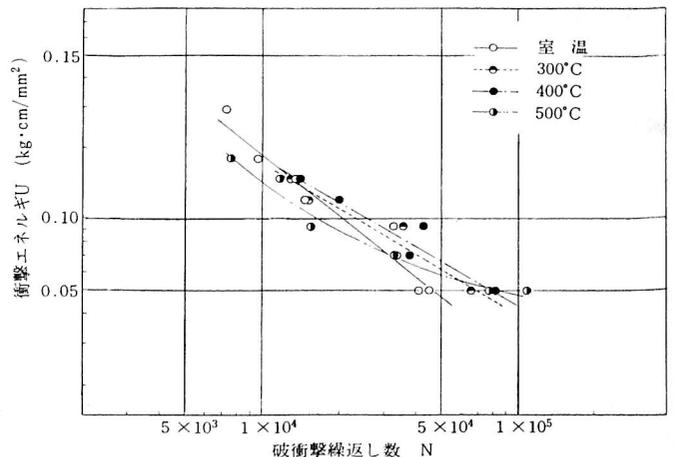


図8 U-N曲線

繰返し衝撃引張試験機の試作と高温下における二、三の実験

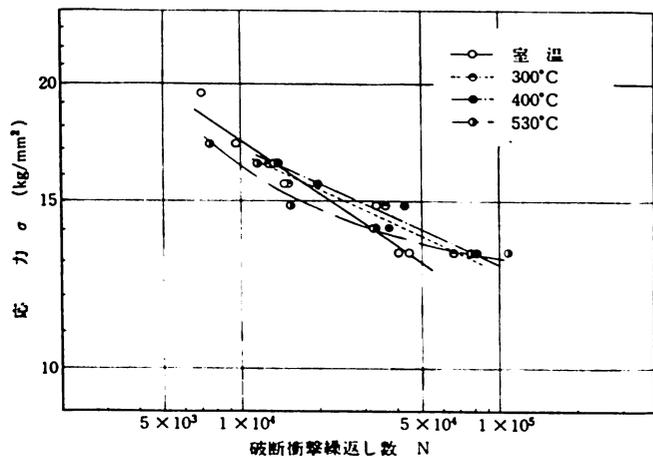


図9 S - N 曲線

$$\sigma N^{0.1824} = 93.41 \dots \dots \dots (5)$$

また、図9より、実験範囲の領域では、室温に対し、300℃、400℃とも疲労寿命は長い傾向が認められ、530℃の場合はσの高いほうでは室温より短く、σの低いほうでは長いという傾向を示した。このように時間強度が室温の場合と逆転する傾向は300℃および400℃の場合も応力レベルがあがれば認められるのではないかとと思われる様相を示している。各応力において、室温の場合の破断までの繰返し数を(5)式によって求めてN₀とし、高温の場合の破断までの繰返し数Nは実験値を用い、NとN₀の比をとって示せば図9のようになる。この結果からも上に述べたようなことが予想される。今後もっとσの範囲を広げ検討する必要がある。また、高温の場合は、その温度での実際の衝撃荷重波形を調べ、それによって求めたσで検討することも必要であろう。

4. 結 言

各種ふん囲気条件で、衝撃疲労試験ができることを目的とした、繰返し衝撃引張試験機を試作した。ついで、この試験機に加熱装置を取付け、低繰返し数領域における高温衝撃疲労試験を、V形溝を有するS35C炭素鋼について行なった。本実験の範囲内で得られた結果はつぎのとおりである。

(1) 試作した試験機は、衝撃サイクル0.118secのもとに、衝撃荷重の大きい低繰返し数領域での試験が十分可能であった。ハンマー質量、カムローラ中心の回転半径を小さくすれば、高繰返し数領域での試験も十分行ない得る。また、ハンマ質量、衝撃速度、衝撃時間間隔の、疲労に対する影響を、分離した実験も可能である。

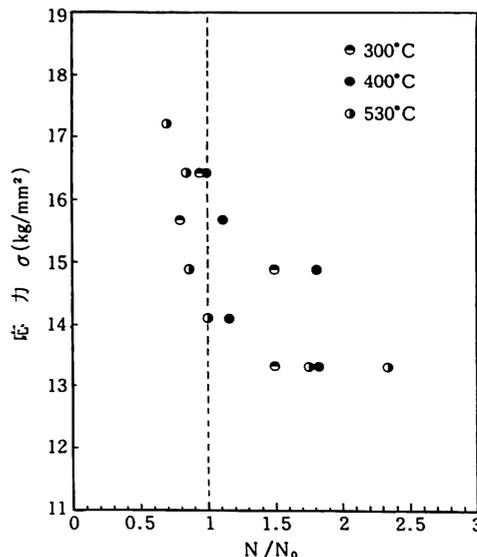


図10 室温に対する破断衝撃繰返し数比

(2) 試験片まわりの空間を広くとることにより、高温、低温、ふん囲気ガスなどの各種試験装置が取り付けられるように配慮した。今回は600℃以下の任意の高温下で、衝撃疲労試験が可能であることを確かめた。

(4) 室温および300℃、400℃、530℃の高温衝撃疲労試験を行なった結果、実験の範囲内では、室温に対し、300℃、400℃は疲労寿命がやや長であり、530℃では、高応力では短く低応力では長いというような傾向が認められた。このような時間強度逆転の現象は300℃、400℃の場合にも高応力のほうで認められるような様相を程している。今後さらに衝撃荷重の範囲を広げて検討する必要があると思われる。終りに、実験を行なうにあたって協力をいただいた、当時学生、伊藤満博、鈴木忠男の両君に厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 藤村, 斎藤, 材料試験 8, 71, 673 (1959)
- 2) 藤村, 斎藤, 材料試験 11, 109, 614 (1962)
- 3) 斎藤ほか2名, 材料 12, 113, 93 (1963)
- 4) 藤村, 斎藤, 材料 12, 119, 594 (1963)
- 5) 斎藤ほか2名, 材料 13, 134, 861 (1964)
- 6) 斎藤, 宮野, 秋田高専紀要 6, 9 (1971)
- 7) 斎藤ほか2名, 秋田高専紀要 7, 15 (1972)
- 8) 西田, 応力集中, 105 (1971) 森北出版
- 9) たとえば, 秋園, 安宅, 材料 21, 226, 660 (1972)