

# 高温および低温における軟鋼切欠き材の繰返し衝撃引張試験について

齋藤 葆・宮野 泰治・山崎 保輔

On Repeated Tensile Impact Test of Notched Mild Steel at Elevated Temperature and Low Temperature

Shigeru SAITO, Taiji MIYANO, Yasusuke YAMAZAKI  
(昭和56年10月31日受理)

Repeated tensile impact tests using notched specimens (mild steel) were carried out at five temperature levels; room temperature, 200°C, 300°C, 400°C, and -33°C.

The effect of temperature on the impact fatigue strength was investigated at the repeated number of  $10^3 \sim 3 \times 10^5$ .

The test results obtained are summarized as follows;

- (1) Granting the fatigue strength vary considerably, impact fatigue lives are prolonged at elevated temperatures by comparison with the room temperature. The longest impact fatigue life shows at 300°C.
- (2) At the temperature of -33°C, impact fatigue lives decrease in the range of high impact energy and increase in the range of low impact energy.
- (3) At the room temperature, the relations between maximum tensile stress in a cycle of one impact and repeated number give essentially straight line on log scales.

## 1. 緒 言

著者らは、これまでの衝撃疲労の研究<sup>1)~7)</sup>に引続き各種ふん囲気条件での実験も行ない得るような繰返し衝撃引張試験機を試作し先に報告した<sup>8)</sup>

金属材料が、種々の温度のもとで繰返し衝撃荷重を受けて使用される例は多く見受けられるが、高温および低温における衝撃疲労の研究報告は極めて少ないようである。

本報では、先の試験機<sup>8)</sup>に、さらに若干の改良を加え、S15C炭素鋼を供試材とした環状V溝切欠き試験片を用いて、室温、200°C、300°C、400°Cおよび-33°Cの温度における衝撃疲労強度をしらべたものである。以下にその大要について報告する。

## 2. 供試材および試験片

本実験に使用した材料は、市販の機械構造用炭素鋼S15C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
S15C	0.17	0.29	0.46	0.025	0.024	0.15

表2 機 械 的 性 質

降 伏 点 kgf/mm <sup>2</sup>	引 張 強 さ kgf/mm <sup>2</sup>	伸 び %	絞 縮 %
30.2	44.2	41.1	67.1

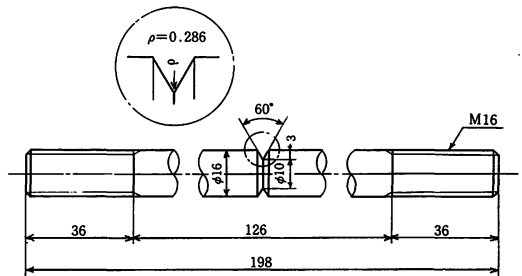


図1 試験片の形状および寸法

び表2に示す。試験片は供給のままのφ22丸棒から図1に示すような形状寸法に機械加工したのち、920℃、60分の真空焼なましを施した。V溝切欠き部の応力集中係数αは4.03<sup>(8)9)</sup>である。

3. 実験装置および実験方法

3.1 試験機

実験に使用した試験機は、著者らが試作した繰返し衝撃引張試験機で、その構造および機構はすでに報告した<sup>(8)</sup> ちっ素ガスを使用した低温槽も取付けられるよう試験片回りをさらに広くし、また、ハンマーの一体化構造と熱処理、支柱の取付け方法、支持台等にも若干の改良を加えて使用した。

図2は試験機で発生する衝撃速度と衝撃エネルギーの原理を示す図で、hの高さで衝撃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は次式で与えられる。

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

$$U = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{W\pi^2n^2}{1800 \times g} (r^2 - h^2) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、rはカムローラ中心の回転半径、nは主軸回転数、Wはハンマー重量、gは重力加速度である。

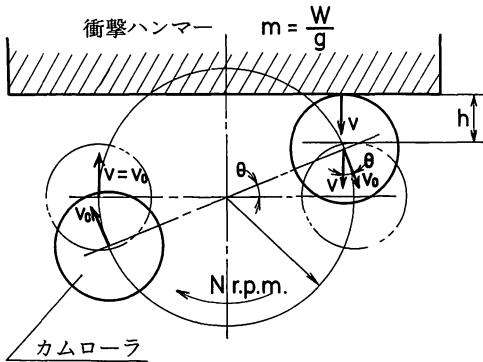


図2 衝撃速度と衝撃エネルギー

3.2 加熱および冷却装置

本実験は室温および200℃、300℃、400℃の高温と-33℃の低温において行なわれたが、高温は600℃以下任意設定温度可能な電気炉により、また、低温はドライアイスで充填した低温槽で、いずれも試験片全体を覆うように試験機フレームに装置することにより、温度を与えた。その装置の概要を図3に示す。高温は試験片切欠き部付近の温度をCA熱電対により検出して電子式温度調節器により約±25℃以下で

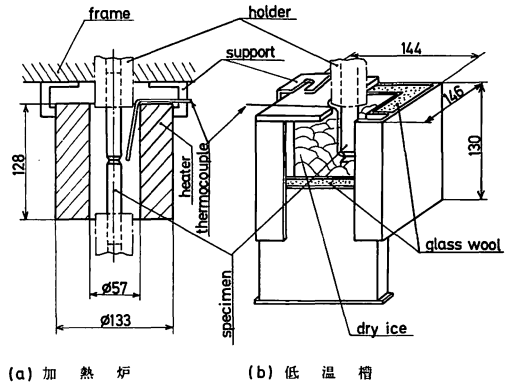


図3 加熱および冷却装置

表3 环境温度と試験片温度

环境温度	試験片温度
400±25℃	320±3℃
300±20℃	232±2℃
200±15℃	165±1℃
-33±3℃	-22,5±3℃

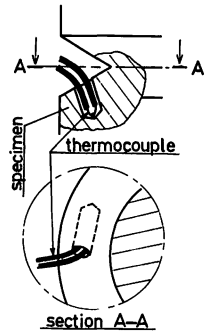


図4 試験片温度測定位置

制御し、低温は、試験片切欠き部表面に置いたcc熱電対により、温度を観測しながら、ときどき低温槽にドライアイスを補充することによって-33±5℃に保った。各環境の温度における試験片切欠き部付近の内部温度を、図4に示すような位置に熱電対を埋め込んで測定したところ、所定の温度に達してから30分後にはすでに安定し、その結果は表3に示すとおりであった。試験片から試験片つかみ部を通して、かなりの熱漏出があることが知られるが、高温の場合は試験片切欠き部付近の内部温度は環境の温度の約80%、低温の場合は約65%程度で安定しているようであった。したがって所定の環境の温度に達してから30分後に衝撃疲労試験を開始した。

3.3 衝撃荷重波形と繰返し衝撃応力

本実験では、ハンマー重量W=5.34kgf、毎分衝撃回数507.6回(主軸回転数253.8r.p.m)として、カム

高温および低温における軟鋼切欠き材の繰返し衝撃引張試験について

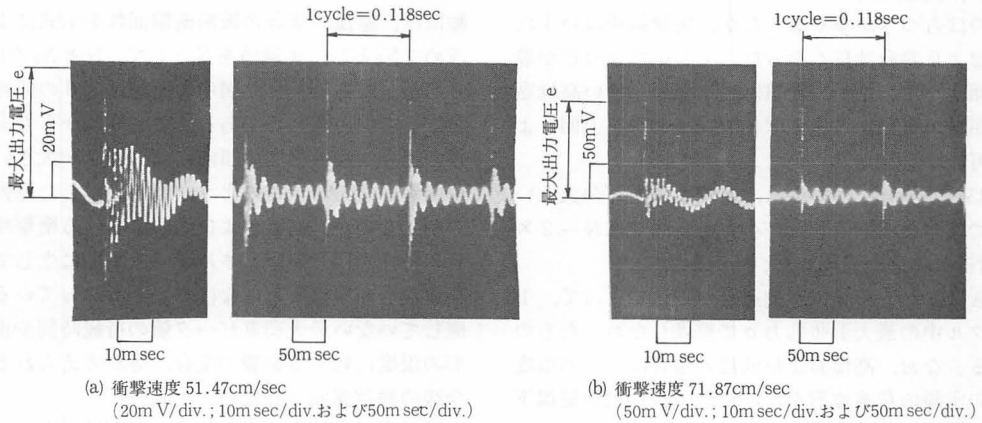


図5 衝撃荷重波形

ローラの回転半径  $r$  を変えることにより、衝撃エネルギーを変化させた。

室温下での衝撃荷重波形は、試験片の切欠き部より下方の平滑部に貼付したひずみゲージ（型式：KSP-3-F2-11）により、ブリッジ回路を介してオシロスコープで検出した。その荷重波形の一例を図5に示す。

図より、試験片には、衝撃直後瞬間的（1 msec程度）に大きな引張と圧縮が生じ、その後高調波が重畳した小さな引張と圧縮（その大きさは、衝撃直後のものに比して、衝撃速度が異なっても大差ないようであった）を繰返す減衰振動荷重波形が続き、それが完全に減衰し終らないうちに、つぎの衝撃が行なわれることがわかる。そのため、衝撃開始直前の減衰波形が、つぎの衝撃の荷重波形に少し影響を与え、衝撃直後の瞬間的な最大荷重の値も多少ばらついて、試験片には完全に同じ応力状態が繰返されないようである。しかし、全体的にみれば周期的にはほぼ相似な荷重波形が繰返して作用しているとみなすことも可能である。衝撃直後の数 m sec 間におよぶ最大引張と圧縮荷重の波形状態、持続時間等の観測は、オシロスコープのトリガ方法の問題もあって今回は行なわなかった。

衝撃波労の場合、その応力と繰返し数の表示法が問題となる<sup>10)</sup>が、本報では、応力は衝撃疲労試験の結果の整理によく用いられている1サイクル中の最大引張荷重により、衝撃回数を繰返し数として整理することにした。すなわち、各衝撃エネルギーに対して、比較的繰返しの初期に、観測されたブリッジ回路の最大出力電圧  $e$  の平均値より衝撃荷重を求め、その荷重を試験片切欠き部の最小断面積で除した値を

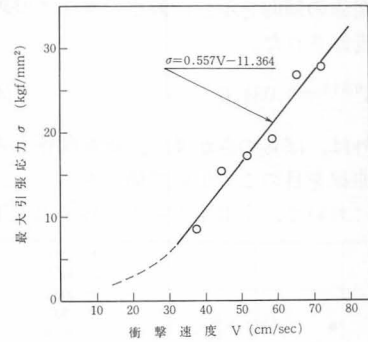


図6 衝撃速度と公称最大引張応力

繰返し最大引張応力とした。出力電圧  $e$  から荷重への算出は万能試験機でキャリブレーションした結果にもとづいたものである。

その結果、室温下での各衝撃エネルギー時の衝撃速度  $V$  と  $\sigma$  の関係は図6に示すとおりで、実験範囲内では、最小二乗法近似すると次式の関係となった。

$$\sigma = 0.557V - 11.364 \text{-----(3)}$$

ここで、定数0.557および11.364は、試験機、試験片等の実験条件によって定まる定数であると考えられる。

4. 実験結果および考察

S15C炭素鋼V溝切欠き材の各温度における繰返し衝撃引張試験の結果を図7に示す。試験片切欠き底の単位面積当りの衝撃エネルギー  $u$  を縦軸に、破断衝撃回数  $N$  を横軸に、それぞれ対数目盛で表わしてある。

まず、高温の場合についてみると、室温に比して、強度のばらつきが多くなったが、実験結果はいずれも室温より寿命は長くなった。その中で300℃が最大の傾向を示したが、衝撃エネルギーの小さい高繰返し数領域の実験を行なえば400℃は300℃を上回るような可能性も見受けられた。

-33℃の場合については、衝撃エネルギーの大きい範囲では寿命は低下したが小さい範囲では $N = 2 \times 10^4$ 付近で寿命が逆転した。

図8は、図7の結果を前述した方法によって、1サイクル中の最大引張応力 $\sigma$ で整理しなおしたものである。なお、高温および低温の場合は、その温度下での実際の荷重波形をしらべていないので、室温下で成立した(3)式の関係を用いて表わした。図に明らかのように、室温の結果は、両対数グラフ上で $\sigma$ と $N$ は直線関係の傾向を示し、最小二乗法で整理すれば次式に近似された。

$$\sigma N^{0.516} = 3,081.6 \text{-----(4)}$$

室温以外は、ばらつきが多く、直線関係もみられないので曲線を目のこで引いて傾向を示した。

各応力において、室温下と室温以外の温度下の破

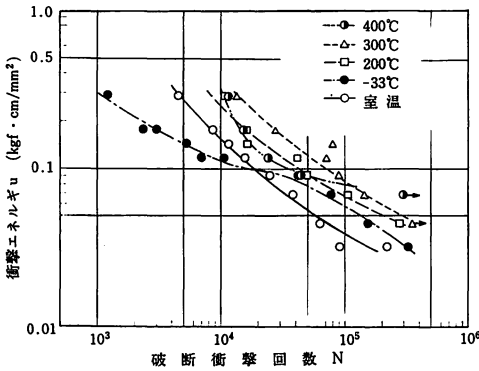


図7 u-N線図

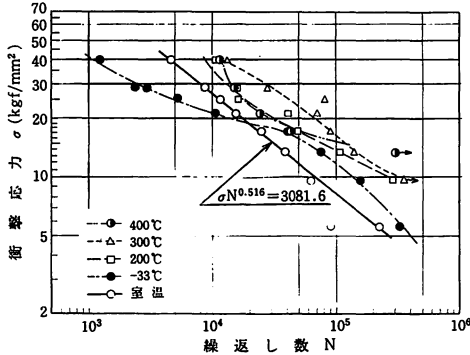


図8 S-N線図

断衝撃回数比をしらべたものを図9に示す。図の縦軸には、室温の場合の破断衝撃回数(4)式によって求めて $N_0$ とし、実験値を $N$ として、 $N$ と $N_0$ の比をとって示してある。また図中の曲線は図8の曲線をもとにして引いたものである。この結果からも室温以外の場合に疲労強度の傾向にばらつきが大きいことが明らかである。このような傾向を示した原因は明らかでないが、高温および低温における衝撃疲労独自の特性、同じ衝撃エネルギーでも実際に生じている荷重波形が室温下とはなはだしく異なっている、考慮していない最大荷重ピーク値の持続時間や重畳波形の温度に対する影響の度合、等が考えられるが、今後の検討課題としたい。

衝撃疲労の場合、応力の大きさだけでなく、その持続時間、荷重波形等にも影響される<sup>11)</sup>ので、本実験結果を実験条件の異なる他の結果と同一基準では比較出来ないが、以下に参考までに考察を試みる。

低温の場合、遠藤ら<sup>12)</sup>の0.22% C炭素鋼を用いた松村式による繰返し数 $10^3$ 程度までの衝撃疲労の結果によれば、低温ふん囲気(-18℃および-40℃)での疲労強度は、 $10^3$ 回の以下では減少し、以上になると上昇するような結果を得ている。また、田中ら<sup>13)</sup>の0.22% C炭素鋼平滑材の高繰返し数領域における衝撃疲労では、低温ふん囲気(-50℃)では室温下よりも疲労強度が上昇した。しかし、もし相当低繰返し数領域までの実験を行なえばS-N曲線は交差する可能性があることを推察している。実験条件に違いはあるが、本実験での低温における強度関係の逆転の結果は、傾向的には上述の報告に対比する

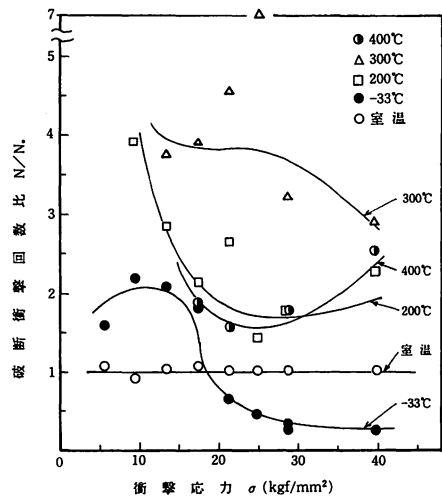


図9 室温に対する寿命比

高温および低温における軟鋼切欠き材の繰返し衝撃引張試験について

ものである。衝撃でない疲労では、一般に低温の場合が室温の場合よりも高い強度を示すようである。<sup>13), 14), 15)</sup>軟鋼のVノッチシャルピー試験での低温ぜい性の遷移温度<sup>16)</sup>を考慮すれば、低温下の衝撃疲労挙動は、低繰返し数領域では単一衝撃試験の特性が優位で、繰返し数領域が高くなるにつれ正弦波荷重下の疲労機構が優位な挙動を示しているものと推察される。

高温の場合についての衝撃疲労の報告はほとんど見受けられないようである。正弦波荷重下においては、0.21% C炭素鋼平滑材の高繰返し数領域の疲労で、300℃は室温に比して寿命が長くなる結果<sup>17)</sup>が示されているが、本実験の切欠きを有する軟鋼材の衝撃疲労の場合においてもそのような傾向がみられるようである。

一般に、正弦波荷重下でも試験片材料、切欠き、荷重形態、繰返し速度等によって、疲労の温度依存性が異り、その挙動は複雑である。<sup>14), 15), 16), 17)</sup>衝撃の場合は、さらに、衝撃荷重波形の因子も考慮して温度の影響を検討しなければならないものと思われる。

5. 結 言

環状V溝切欠きを有するS15C炭素鋼を用いて、室温、200℃、300℃、400℃および-33℃の温度における繰返し衝撃引張試験を行ない、衝撃疲労強度をしらべた結果、本実験の範囲内では、つぎのような結果を得た。

(1) 室温に比し、200℃、300℃、400℃の高温では、強度上のばらつきが大きくなるが、いずれも寿命は長くなった。その中で300℃が最大であった。

(2) -33℃の低温では、室温に比して、衝撃エネルギーの大きい範囲では寿命が低下し、小さい範囲では上回った。N = 2 × 10<sup>4</sup>付近で強度の逆転がみられた。

(3) 室温下における衝撃荷重波形をもとにして、衝撃1サイクル中の最大引張応力と破断衝撃回数との関係を見ると、室温の場合は両対数グラフ上で直線関係にあったが、他の温度では認められなかった。

衝撃疲労破壊の機構を支配するものとして、最大荷重、荷重の持続時間、減衰時の荷重、重畳波形等の影響の度合については、いまだ不明の点が多いが、これら因子の高温および低温における挙動についても合せて考察していく必要があるものと思われる。

最後に、本研究を行なうにあたり、実験に協力された、当時学生今野勝則、照井金悦の両君に厚く謝意を表す。

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) 斎藤, ほか3名, 秋田高専紀要 15, 1 (1980)
- 9) 西田, 応力集中 105 (1971) 森北出版
- 10) たとえば, 秋園, 安宅, 材料 21, 226, 660 (1972)
- 11) たとえば, 茶谷, 機械の研究 24, 1, 31 (1972)
- 12) 遠藤, 永井, 材料試験 8, 65, 143 (1959)
- 13) 田中, 中山, 日本機械学会論文集 42, 356, 1001 (1976)
- 14) 大内田, 日本機械学会論文集 33, 252, 1183 (1973)
- 15) 菊川, ほか2名, 日本機械学会論文集 39, 327, 3223 (1973)
- 16) たとえば, 金沢, 日本機械学会誌 66, 535, 1114 (1963)
- 17) 河本, 金属の疲労 233 (1962) 朝倉書店
- 18) 大内田, 安藤, 日本機械学会論文集 30, 209, 52 (1964)