

127 炭素鋼の衝撃疲労強度

The Impact Fatigue Strength of Carbon Steel

正 茶谷明義(金沢大) 正 放生明廣(金沢大) 正 立矢宏(金沢大) ○ 鈴木尚志(金沢大・院)

Akiyoshi CHATANI, Akihiro HOJO, Hiroshi TACHIYA, Hisashi SUZUKI,

Kanazawa University, 2-40-20 Kodatuno, Kanazawa, Ishikawa

The present study deals with impact fatigue of materials subjected to repeated stress due to impact loading. It has been pointed out by investigators that the behaviour of materials under the impact stress is different from that under the static one. In this study, we observed the slip bands of the metal surface of specimen by optical microscope after test for a given repeated impact tension. The stress of specimen was measured by the two point gage method based on the stress wave propagation. As a result, we showed that the number of repetitions to fracture has a close relation with slip bands.

Key words : Impact Stress, Metal, Repeated impact tension, Slip Bands

1. 結論

衝撃疲労に関する研究は従来少なく、その中でも大部分の研究は、き裂の発生と進展に注目しており、疲労破壊の主な原因と考えられるすべり線に着目した研究はわずかである。本研究では、炭素鋼の繰返し衝撃引張試験および正弦波荷重下での繰返し引張試験を行い、試験片表面のすべり線に着目して、疲労損傷の過程を明らかにし、すべり線の発生状況から疲労寿命予測の可能性を探る。

2. 実験装置

図1は本研究で使用した繰返し衝撃引張試験機の概略図である。この試験機は、往復スライダクランク機構を利用して、パイプと丸棒の縦衝撃によって丸棒内に応力波を発生させ、試験片に引張応力を与える。この試験機による応力値が最大となるまでの時間は、パイプの長さを変えることで調節できる。図2にこの試験機によって得られた応力値が最大となるまでの時間240 μ secの応力波形、図3に正弦波荷重下での繰返し引張試験機によって得られた応力波形をそれぞれ示す。正弦波荷重下での繰返し引張試験機の応力値が最大となるまでの時間は48msecである。

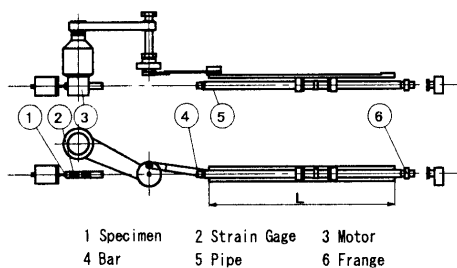


図1. 繰返し衝撃試験機概略図

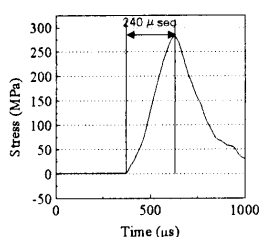


図2. 衝撃応力波形

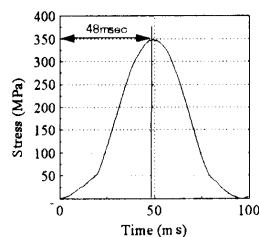


図3. 正弦波応力波形

3. 試験片および試験方法

試験片としてS45C材を850°C、SS400材を900°Cでそれぞれ30分間焼きなましたものおよびアルミニウム合金2017(ジュラルミン)T4材を使用し、上述の疲労試験を行う。さらに、光学顕微鏡によって、各試験片の疲労損傷過程を観察する。観察方法は、適当な繰返し数ごとにすべり線の状態を観察するとともに、すべり線の発生割合を表すK値を記録する。K値は次式のように定義する。

$$K = N_K / N_a$$

N_K : すべり線の発生した結晶粒数

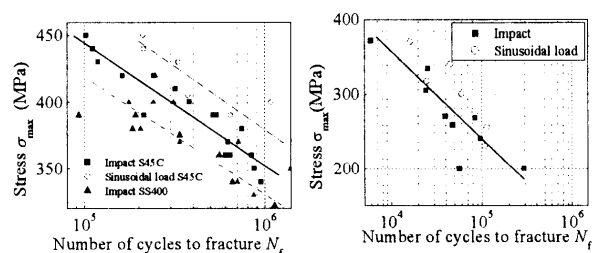
N_a : 観察した結晶粒数

また、き裂の発生位置は予測できないためレプリカ法を用いて観察段階ごとの観察面全体を保存し、き裂発生段階から発生位置をさかのぼって観察した。

4. 実験結果

4.1 S-N曲線

S45C材、ジュラルミンの衝撃および正弦波荷重での各繰返し引張試験、SS400材の繰返し衝撃引張試験より得られたS-N曲線をそれぞれ図4に示す。両衝撃試験は応力値が最大に達する時間240 μ secである。S45C材の衝撃および正弦波荷重下での結果を比較すれば、同程度の応力下では、破断までの繰返し数は、衝撃荷重の場合の方が少なくなっている。また、S-N曲線は互いにほぼ平行となっている。SS400材の結果では、応力が低くなるにしたがって、S45C材の衝撃引張試験の結果に近づく。また、ジュラルミンで同様の結果が得られた。



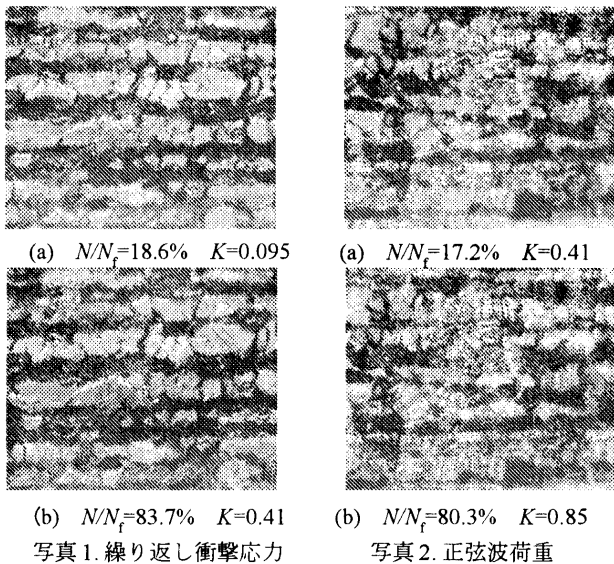
(a)炭素鋼

(b)ジュラルミン

図4.S-N曲線

4.2 表面観察写真 (S45C)

写真1 および2に、衝撃荷重および正弦波荷重による繰返し引張試験の観察写真を示す。両者とも生じた応力の最大値 σ_{max} は390MPa程度である。両結果を比較すると、同応力、同程度の繰返し数割合であるにもかかわらず、正弦波荷重下での繰返し引張試験の方が、明らかにすべり線が多く発生している。また、1結晶粒内に発生しているすべり線の数も多く、すべり線の密度が高いこともわかる。(荷重方向は紙面上横方向である。)



4.3 すべり線発生割合 (S45C)

一定応力の繰返し後、得られたすべり線発生割合をそれぞれ図5(a), (b)に示す。図5(a)において $\sigma_{max}=390\text{MPa}$ 以下では、すべり線は徐々に増加しており、破断時の K 値は1に達していない。一方、 $\sigma_{max}=410\text{MPa}$ 以上では実験初期の段階で、急速にすべり線が発生し、その後一定の値を保つ。このとき、すべり線が一度発生した結晶粒内に新たなすべり線の発生、もしくは成長が起きており、結晶粒内のすべり線の密度が高くなる。実験終盤においてすべり線は再び増加し、破断時の K 値は1となる。図5(b)では実験全体を通してすべり線が増加しており、図5(a)と比較してもすべり線発生割合 K 値は高い値を示している。

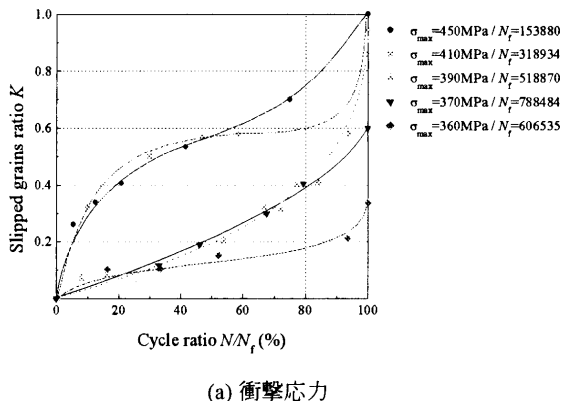


図5. すべり線発生割合

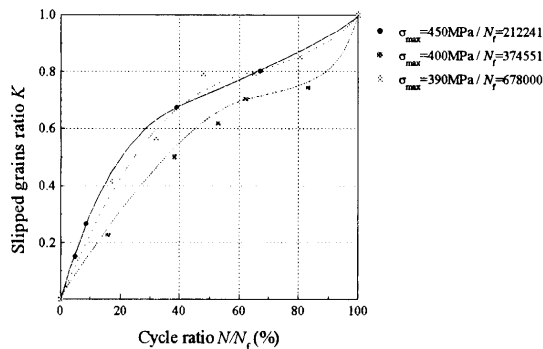


図5. すべり線発生割合

4.4 き裂発生箇所 (SS400)

S45C材と比較して、フェライト組織が多く、すべり線の観察が比較的しやすいSS400材を試験片として、繰返し衝撃引張試験でのき裂発生位置を観察した。これらを観察すると、すべり線が発生した後、その位置からき裂が発生している。また、破断直前には、き裂は加速度的に成長している。これらから、き裂の発生はすべり線に関係しており、き裂長さ曲線に表すと、 $N/N_f=90\%$ を超えた程度から、き裂は加速度的に成長することがわかった。

4.5 応力繰返しが加工硬化に及ぼす影響 (S45C)

応力が450MPaにおける繰返し後、ある K 値に至ったときに実験を中止し、その試験片を用いて静的引張試験を行った。この静的引張試験によって得られた応力-ひずみ線図を図6(a), (b)に示す。両者とも K 値による加工硬化の違いはほとんど見られない。降伏点近傍において両者を比較すると、正弦波荷重下での疲労試験後の試験片の方が50MPa程度高くなっており、加工硬化の影響が大きいことがわかる。

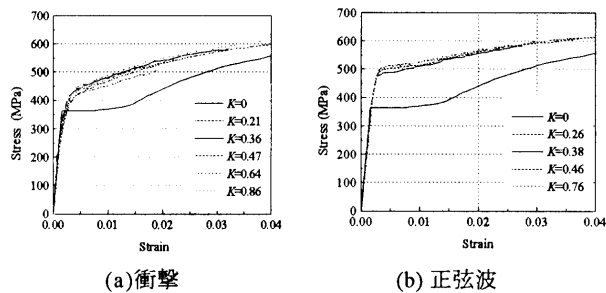


図6. それぞれの試験後の静的引張り試験

5. 結言と今後の課題

- 繰返し衝撃引張試験と比較して正弦波荷重下での繰返し引張試験の方が、破断までの繰返し数は多くなる。
- 繰返し衝撃引張試験と比較して正弦波荷重下での繰返し引張試験の方が、すべり線発生割合 K 値は高い値を示し、1結晶粒内に発生するすべり線の密度も高い。
- すべり線とき裂は密接に関係しているが、なお検討が必要である。