

炭素鋼の繰返し衝撃疲労に関する研究

正 茶谷 明義(金沢大)
山本 直樹(金沢大院)

正 放生 明廣(金沢大)
○石川 修平(金沢大)

正 立矢 宏(金沢大)

1. 緒論

現在、衝撃疲労に関する研究は少なく、従来の研究では、き裂の発生と進展に注目しているものが多く、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少ない。そこで本研究では、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による観察結果に基づき、両者の比較を行う。また、試験片表面のすべり線に着目して、疲労損傷過程を明らかにし、すべり線の発生状況から疲労寿命予測を可能とする。

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おり、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ものである。図2にこの試験機によって得られた応力波形、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。応力の最大までの時間はそれぞれ240 μ sec, 48msecであり、両者は200倍異なる。

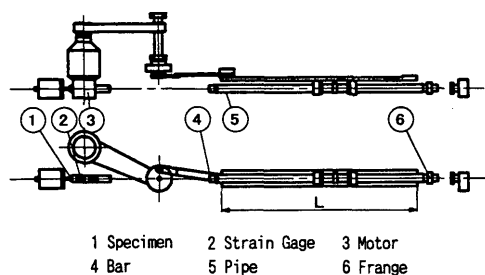


Fig.1 Experimental setup for repeated impact tension

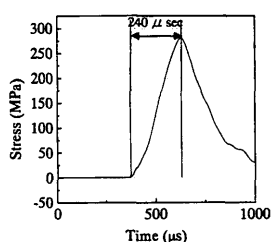


Fig.2 Stress waveform

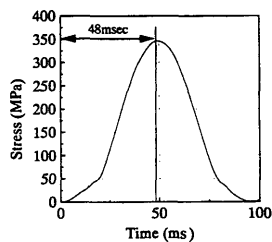


Fig.3 Stress waveform

3. 試験片および試験方法

S45Cが850°C, SS400は900°Cでそれぞれ30分間焼きなましを施したものを試験片として使用し、光学顕微鏡によって、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

4. 実験結果

4.1 S-N曲線 S45Cの衝撃および正弦波荷重での繰返し引張試験, SS400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。S45Cにおいて、両試験結果を比較すれば、同応力下での破断までの繰返し数は、繰返し衝撃引張試験の結果の方が多。また、S-N曲線は互いにほぼ平行となっている。SS400の結果では、応力が低くなるにしたがって、S45Cの繰返し衝撃引張試験の結果に近づく。

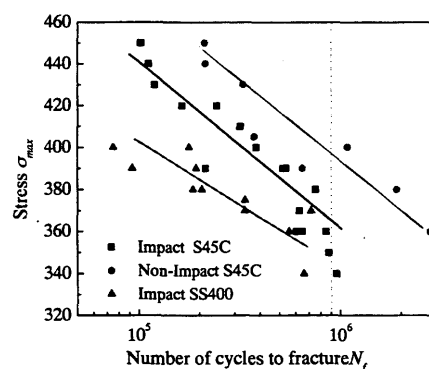


Fig.4 S-N Curves

4.2 表面観察写真 (S45C) 写真1および2に、衝撃引張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関わらず、正弦波荷重下での試験結果の方が、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。



(a) $N/N_f=18.6\%$ $K=0.095$



(a) $N/N_f=17.2\%$ $K=0.41$



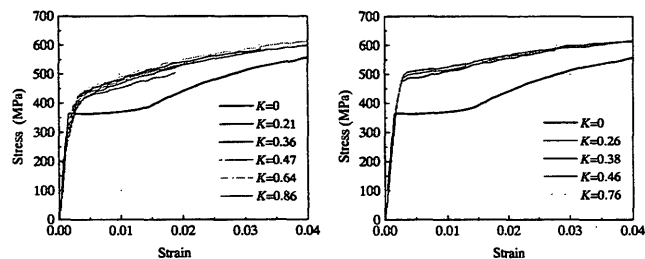
(b) $N/N_f=83.7\%$ $K=0.41$



(b) $N/N_f=80.3\%$ $K=0.85$

Phot.1 Steel S45C repeated impact tension Phot.2 Steel S45C repeated non-impact tension

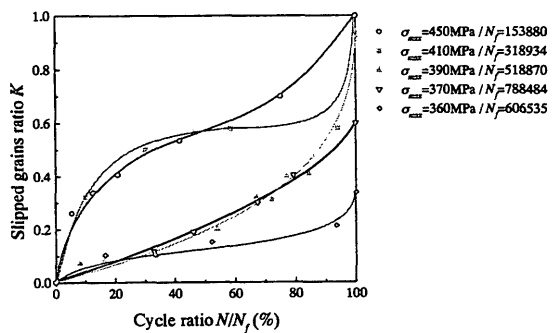
4.3 応力繰返し加工硬化に及ぼす影響 (S45C) 応力が450MPaにおいての繰返し後、あるK値に至ったときに実験を中止し、その試験片を用いて静的引張試験を行った。この静的引張試験によって得られた応力-ひずみ線図を図5(a), (b)に示す。両者ともK値による加工硬化の違いはほとんど見られない。降伏点近傍において両者を比較すると、正弦波荷重下での疲労試験後の試験片の方が50MPa程度高くなっており、加工硬化の影響が大きいことがわかる。



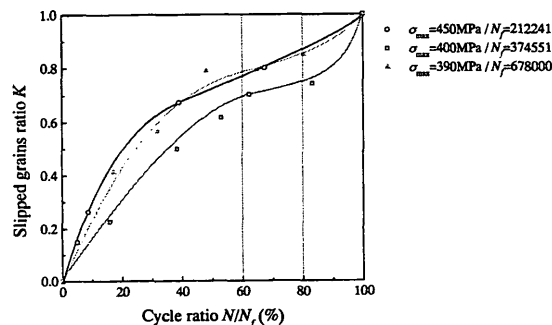
(a) Repeated impact tension (b) Repeated non-impact tension

Fig.5 Static tension test after each test

4.4 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6(a), (b)に示す。図6(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に達してない。一方、 $\sigma_{max}=410\text{MPa}$ 以上では実験初期の段階で、急激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、もしくは成長が起こっており、結晶粒内のすべり線の密度が高くなる。実験終盤においては、再び増加する。破断時のK値は1となる。図6(b)では実験全体を通してすべり線が増加しており、図6(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。



(a) Repeated impact tension



(b) Repeated non-impact tension

Fig.6 Ratio of number of slipped grains

4.5 破断時のすべり線発生割合 (S45C) 図7はS45Cでの前述したすべり線発生割合のグラフにおいて、破断時のすべり線発生割合 K_f についてまとめたものである。図より、正弦波荷重下での疲労試験よりも衝撃疲労試験の方が、より高い応力値でK値が1となっている。したがって、破断に至る場合、衝撃疲労試験の方がすべり線がすべての結晶粒内に発生しにくい。

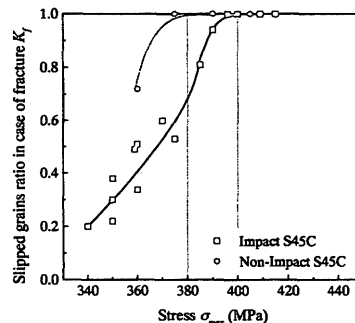
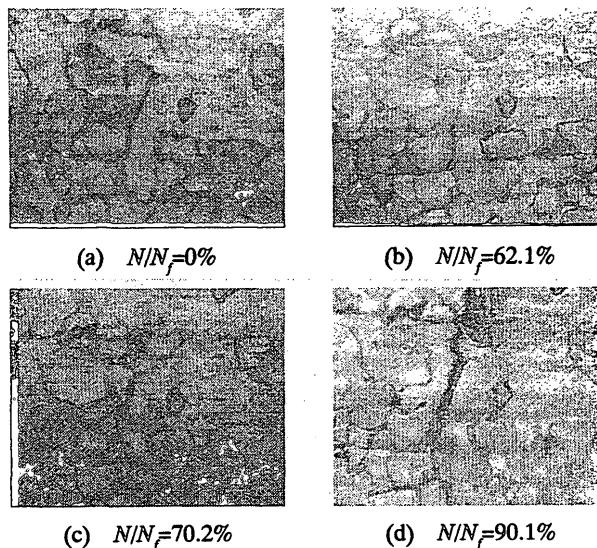


Fig.7 Slipped grains ratio in case of fracture K_f

4.6 き裂発生箇所 (SS400) S45C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を試験片として、繰返し衝撃引張試験でのき裂発生箇所を観察したものを写真3(a)~(d)に示す。写真(a)~(c)はレプリカ法によるものである。写真(b), (c)より、すべり線が発生した後、その箇所がき裂となっている。写真(d)では、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、 $N/N_f=90\%$ を超えたあたりからき裂は加速度的に成長することがわかる。



Phot.3 Appearance place of crack

5. 結言

S45Cについて

- ・衝撃疲労試験と比較して正弦波荷重下での疲労試験の方が、破断までの繰返し数は多くなる。
- ・衝撃疲労試験と比較して正弦波荷重下での疲労試験の方が、K値は高い値を示す。
- ・衝撃疲労および正弦波荷重下での疲労試験において、ともにすべり線発生割合と破壊との対応を示唆した。

SS400について

- ・すべり線とき裂は密接に関係している。