

# 1 3 5 ねじり疲労挙動に及ぼす静的負荷の影響

01D1143 堀内 渉      02D1048 久保田 真悟

## 1. 結論

これまでにねじり疲労に関して多くの研究が行なわれ、静的なねじりや引張りの付加がねじりのき裂成長や疲労寿命に及ぼす影響についても報告されている。しかし、これらの静的荷重の影響の程度は材料により大きく異なっているようである。これはき裂の成長が、静的荷重の付加によりき裂面上に生ずる平均応力のみならず、材料に固有な微視的組織や変形特性にも関係しているためであると考えられる。

本研究では、アルミニウム合金を用いて純ねじりとこれに静的引張りを付加した条件下で実験を行い、その結果と3種類の鋼材についての過去の実験結果に基づき、ねじり疲労挙動に及ぼす静的引張りの影響の材料による相違について調べ、さらにこれらの材料の疲労寿命を予測するためのモデルについても検討した。

## 2. 実験に使用した試料及び実験方法

試験片に使用した素材は機械構造用炭素鋼 S45C の丸棒、中・常温压力容器用炭素鋼 SGV410 及びオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316NG の圧延版、アルミニウム合金 A6N01-T5 の押し出し丸棒である。これらを試験部の外形 16mm、肉厚 1.25mm または 1.5mm の中空試験片に機械加工した。このとき、SGV410 及び SUS316NG は圧延方向が軸方向になるように切り出した。S45C と SGV410 では試験片表面の微視組織に柔らかいフェライト層と硬いパーライト層が存在するが、SGV410 では層間隔が広い部分と狭い部分が出る。S45C は加工後、平行部に切欠きをもうけ 850 で 1 時間真空焼きなましを行い、他の材料は平行部に鏡面仕上げを施した。

電気油圧サーボ試験機を用い、純ねじりとこれに静的引張りを付加した条件下で疲労試験を行った。試験は室温において、周波数は 1~10Hz で行なった。試験条件の一覧を表 1 に示す。負荷条件は、引張り応力  $\sigma_m$  とねじりによる応力  $\sigma_a$  の応力比  $\sigma_m/\sigma_a$  を一定または  $\sigma_m$  を一定とした。荷重制御試験またはラチェット変形による直径の変化を考慮して荷重を補正する応力制御試験を行い、SGV410 では双方の結果を対比した。ひずみの測定には 3 軸のひずみゲージを使用した。

き裂端点同士を結んだ線分をき裂長さとし、これが試験片周方向となす角度をき裂角度とした。表面き裂の観察にはレプリカ法を用い、破断時からさかのぼる事で微小き裂の分布や主き裂の成長挙動を観察した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 微小き裂の分布

各材の疲労試験において、ある繰返し数の時点で試験片平行部表面に発生した微小き裂の方向と個数を図 1 に示す。図中の  $N/N_f$  は測定時の繰返し数比である。

純ねじりにおいては、周方向 ( $0^\circ, 180^\circ$ )、軸方向 ( $90^\circ$ ) がともに最大せん断面となるため、両方向にき裂が発生し、これに静的引張りを付加すると平均引張り応力により周方向により多くのき裂が発生すると予想される。しかし、試験片軸方向に沿ってフェライト/パーライトの層状組織を有する S45C と SGV410 ではき裂の分布にこの微視的組織の影響が認められる。すなわち、純ねじりにおいて S45C ではき裂は軸方向に集中するのに対し、SGV410 の層間隔の広い箇所では、軸、周方向双方にき裂が集中している。しかし、引張りを付加すると両材とも周方向のき裂数が増加することがわかる。

SUS316NG では、このような層状組織がないため、上記予測と一致した分布となった。なお、A6N01 ではきわめて少数の軸及び周方向のき裂が観察された。

Table.1 Condition of fatigue tests

Material	Control	Condition of tensile stress	
		$\sigma_m$ , MPa	$\sigma_m/\sigma_a$
S45C	Stress	0, 96, 176	
SGV410	Stress, Load	0	0.5, 1
SUS316NG	Load	0, 180	1
A6N01	Load	0, 42.5, 85	

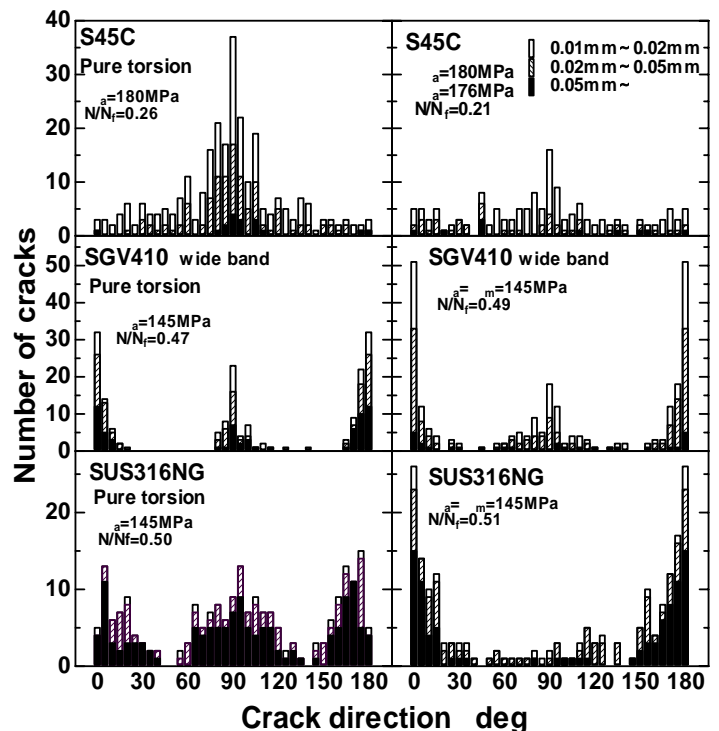


Fig.1 Distribution of microcracks

### 3.2 主き裂の成長過程

主き裂はせん断型成長した後、主応力面に沿って巨視的分岐した。図2はき裂分岐時の繰返し数比  $N_b/N_f$  を疲労寿命  $N_f$  に対し示したものである。塗りつぶし及び白抜きのプロットは軸及び周方向にせん断型き裂が成長した事を示す。前述のように S45C, SGV410 の両材は層状組織の影響によりたとえ引張り付加条件下であっても軸方向に主き裂が成長する場合があるが、SUS316NG 及び A6N01 では負荷条件によらず主き裂は周方向に成長した。

また、き裂の分岐時期は S45C では相対的に早いが、他の材料では長寿命域を除き、疲労寿命の大半はせん断型き裂成長に費やされることがわかる。とくに A6N01 では、負荷条件、寿命によらず、せん断型のき裂成長が支配的である。

### 3.3 疲労寿命に及ぼす静的引張りの影響

図3は同一のねじり応力下における静的引張り付加時の寿命  $N_f$  を純ねじりの寿命  $N_{f0}$  と比較したものである。寿命に及ぼす静的引張り  $\sigma_m$  の影響は各材で異なり、SGV410 と A6N01 では、引張りの付加により寿命は明瞭に減少するのに対し、S45C ではその影響は軽微である。また SUS316NG では引張りの付加により逆に寿命は延伸した。これは各材の変動挙動の相違に関係があると考えられる。図4は種々の静的引張り付加条件下における各材のせん断応力-せん断ひずみ線図を示したものである。SGV410 と A6N01 (図は省略) では  $\sigma_m$  を付加しても応力-ひずみ関係は変化しないのに対し、S45C と SUS316NG では  $\sigma_m$  付加により繰返しひずみは減少し、とくに SUS316NG ではその傾向が著しい。この硬化による繰返しひずみの減少は寿命延伸をもたらすため、これと平均引張り応力効果との競合により、各材に寿命特性の相違が現れたと考えられる。

### 4. 結論

S45C, SGV410, SUS316NG 及び A6N01 を用い、両振りねじりに静的引張りを付加して実験を行った。ねじり疲労におけるき裂の発生及び成長は微視的組織の影響を受け、き裂面上に生ずる平均引張り応力もこれに寄与する。しかし、静的引張りの付加により、SGV410, A6N01 では短寿命となったのに対し、S45C では影響は軽微であり、SUS316NG では逆に寿命は延伸した。このような材料による寿命特性の相違は、静的引張り付加時の各材の変動挙動が異なることから説明し得る。

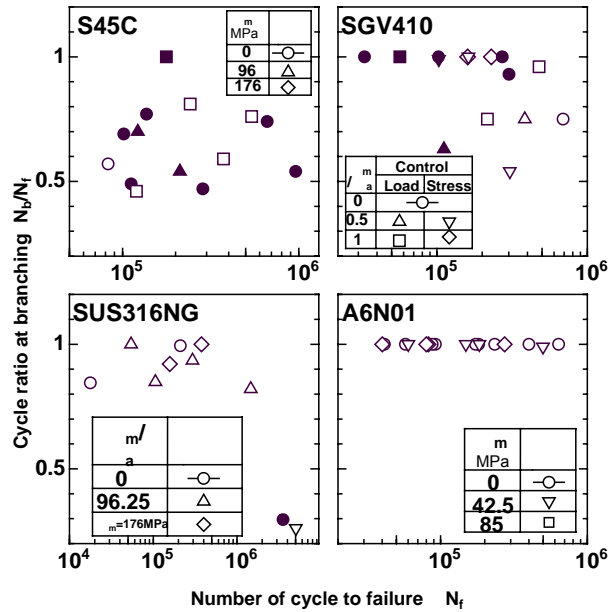


Fig.2 Cycle fraction at crack branching

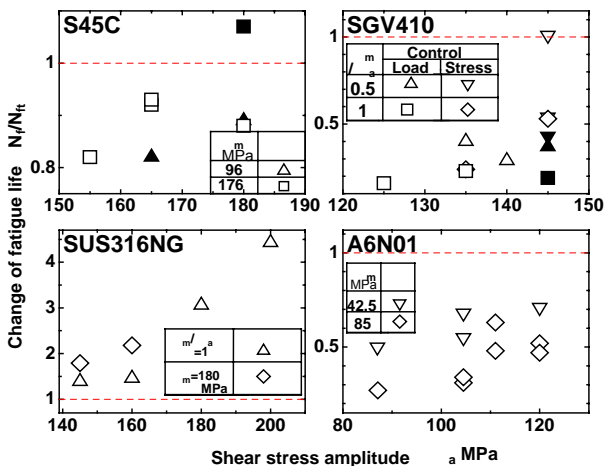


Fig.3 Effect of static tension of fatigue life

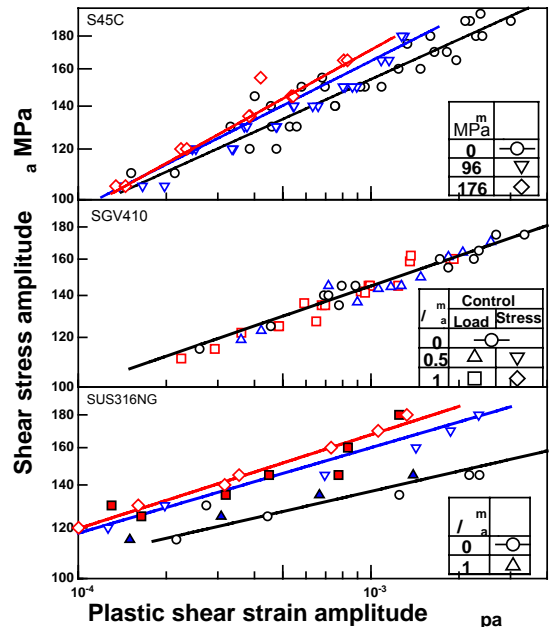


Fig.4 Cyclic stress-strain curves