

139 低炭素鋼の組合せ応力下における疲労強度に及ぼす時効の影響(疲労強度およびその影響因子)

高橋, 秀夫 / 三角, 正明 / 大川, 功 / 柳澤, 潤一郎

(出版者 / Publisher)

日本材料学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

学術講演会前刷 / 学術講演会前刷

(巻 / Volume)

37

(開始ページ / Start Page)

232

(終了ページ / End Page)

234

(発行年 / Year)

1988-05-26

低炭素鋼の組合せ応力下における疲労強度に及ぼす時効の影響

法政大学工学部 大川 功
 法政大学工学部 高橋 秀夫
 法政大学工学部大学院 ○ 柳澤 潤一郎
 成蹊大学工学部 三角 正明

1. 緒論 鉄鋼材料においては明瞭な耐久限度の存在や顕著な過小応力効果等が認められ、これらは繰返し過程における時効の進行に基づくものであるといわれている。時効による強化は繰返し応力、繰返し数、温度に関係するが、これに加え、応力負荷形式による相違も予想される。しかし各種単軸およびそれらの組合せ応力下における疲労寿命特性に及ぼす時効の影響については明らかにされていないと思われる。

そこで本研究では時効能の異なる三種類の低炭素鋼を用意し、引張圧縮、ねじりおよびそれらの組合せ応力下において疲労試験を行い、疲労強度に及ぼす時効の影響について比較検討した。

2. 試料および実験方法 供試材はC%のほぼ等しいアルミニウムキルド鋼CH10A およびリムド鋼CH10Rを用いた。両材の化学成分を表1に示す。試験部直径

表1. 供試材の化学成分

| Material | Chemical composition % | | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Al |
| CH10A | 0.120 | 0.010 | 0.350 | 0.020 | 0.015 | 0.025 |
| CH10R | 0.110 | 0.010 | 0.350 | 0.022 | 0.017 | |

14mmの中実試験片に機械加工後、表2に示す熱処理を施した。CH10Aについては段階的な徐冷によりできるだけ時効能を小さくした。CH10Rについては焼なましたものをCH10R(A)、時効能を高めるため焼なまし後さらに低温焼入れしたものをCH10R(B)とした。これら三種類の試料の平均結晶粒寸法は約30μmとほぼ等しい。各試料の機械的性質および時効能を表2中に示す。

表2. 熱処理、機械的性質および時効能

| Material | Heat treatment | | | |
|-------------------------|----------------------------|---|-----------|-----------|
| | CH10A | 920°C 1hr FC, 710°C 4hr FC, 550°C 4hr FC, 400°C 8hr FC, 300°C 8hr FC, 200°C 12hr FC, 100 °C 24hr FC | | |
| CH10R(A) | 920°C 1hr FC | | | |
| CH10R(B) | 920°C 1hr FC, 710°C 1hr WQ | | | |
| Mechanical properties | | CH10A | CH10R (A) | CH10R (B) |
| Yield stress in tension | MPa | 252 | 249 | * 242 |
| Tensile strength | MPa | 328 | 327 | 416 |
| Elongation | % | 46 | 46 | 33 |
| Contraction of area | % | 74 | 73 | 66 |
| Yield stress in torsion | MPa | 118 | 119 | * 131 |
| Torsional strength | MPa | 492 | 471 | 555 |
| Micro-vickers hardness | Hv | 85 | 84 | 148 |
| Strain ageing potential | % | 2.0 | 7.4 | 19.9 |

* ; 0.2% proof stress, FC ; Furnace cooling, WQ ; Water quenching

時効能は引張試験における下降伏点の回復能力として求めたが、それぞれ19.9、7.4、2.0%とCH10R(B)、CH10R(A)、CH10Aの順に大きい。

疲労試験は引張圧縮とねじりの各単軸応力下およびそれらの組合せ応力下（組合せ応力比 $\tau/\sigma = \infty, 0, 1/\sqrt{3}$ ）において、周波数20Hzで荷重制御試験を行った。なお、繰返し数 5×10^6 回を越えても破断しなかった試料はその時点で試験を打切った。また応力繰返しにともなうマイクロビッカース硬さおよび表面温度の変化を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1. Mises 説に基づく相当応力により整理したS-N線図 図1は各材のS-N線図をMises説に基

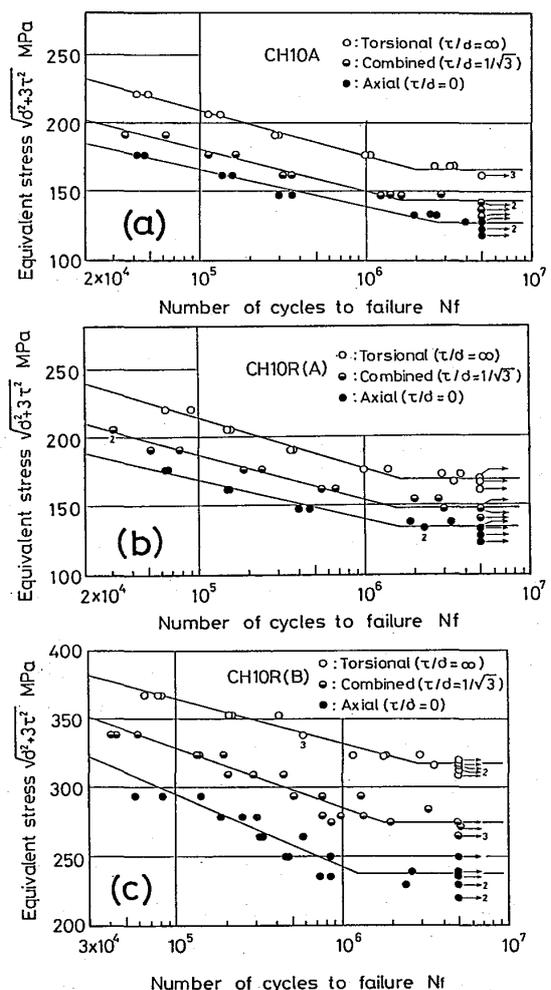


図1. S-N線図 (Mises説)

づく相当応力 $\sigma_{eq} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2}$ を用いて整理したものである。(a) は時効能の小さいCH10A の場合であるが、疲労強度はねじり、組合せ、引張圧縮の順に高く、またS-N線図の形状は応力負荷形式によらずほぼ等しい。(b) は中間の時効能をもつCH10R(A) の場合で、これも負荷形式によるS-N線図の形状の相違は認められない。ステアケース法により求めた両材の疲労限度の差は、ねじりの場合4MPa、組合せ5MPa、引張圧縮6MPaといずれもCH10R(A)の方が高い。両材の結晶粒径および機械的性質はほぼ等しく、時効能のみ異なることから、この疲労強度の相違は繰返しひずみ時効によるものと判断される。

一方、(c) は時効能の最も大きいCH10R(B)の場合であるが、疲労強度は他の二材に比べ、かなり高くなっている。また、S-N線図の有限寿命域の直線の勾配は引張圧縮、組合せ、ねじりの順に大きく、応力負荷形式による相違が認められる。

3.2. Gough の1/4 だ円説に基づく相当応力により整理したS-N線図 図2は星¹⁾と同様な方法によりGoughの1/4 だ円説を有限寿命域まで拡張してS-

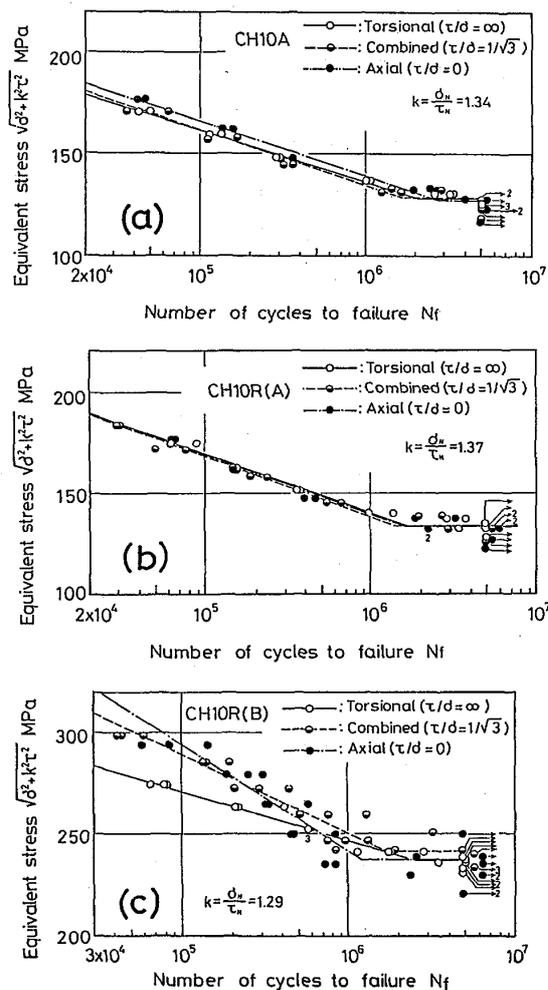


図2. S-N線図 (1/4 だ円説)

N線図を整理したものであり、相当応力として $\sigma_{eq} = (\sigma^2 + k^2 \tau^2)^{1/2}$ を用いた。ここで k は引張圧縮とねじりにおける時間強度の比であり、一般に繰返し数により異なると考えられる。本研究では $k = 一定$ と考え、疲労限度における k の値を有限寿命域まで適用した。後述のように高応力域ではかなりの温度上昇がみられ、寿命に影響を及ぼすと考えられるが、(a)、(b) に示すように、時効能の小さいCH10A、CH10R(A) 両材の試験結果は、全域にわたりほぼ1/4 だ円説に基づく相当応力により整理できる。これに対し、(c) の時効能の大きいCH10R(B)の場合、 k の値は繰返し数が小さくなるにつれ大となる傾向がみられ、かつ組合せ応力下での時間強度は1/4 だ円説では推定できない。

3.3. 疲労過程における表面温度および硬さの変化

図3はCH10Aの疲労過程における温度変化を応力負荷形式ごとに示したものである。温度はピークに達した後減少するが、これは繰返し加工硬化により強化されたためであると考えられる。また同一寿命における温度変化を比較すると引張圧縮、組合せ、ねじりの順に大きい。CH10R(A)の場合、図は省略したが、温度上昇曲線の形状はCH10A とほぼ等しく、ピーク温度が多

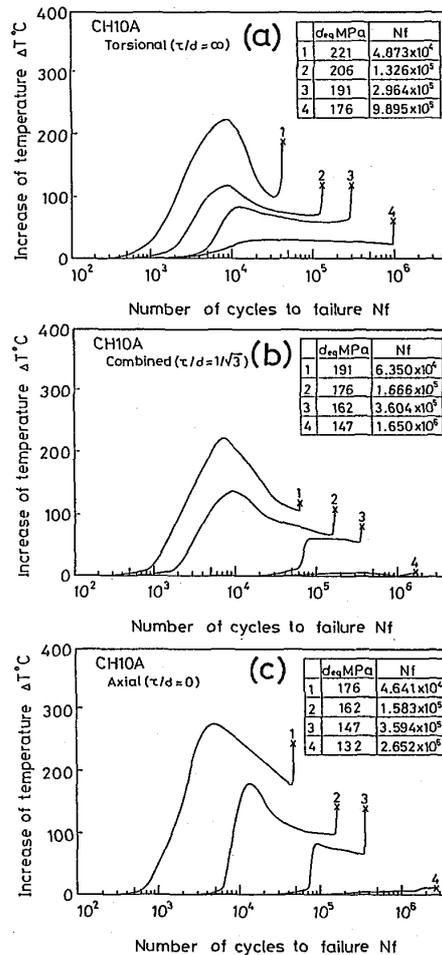


図3. 疲労過程における温度変化 (CH10A)

少低くなった。図4は時効能の大きいCH10R(B)の場合であるが、他の二材とはまったく異なる温度変化を示した。すなわち高応力域では 10^3 回程程度の早い時期に100℃付近で平衡した後に急増また平衡と複雑な挙動を示している。また、同一寿命において比較すると上昇温度に応力荷形式の影響はみられず、この点でも他の二材と異なっている。

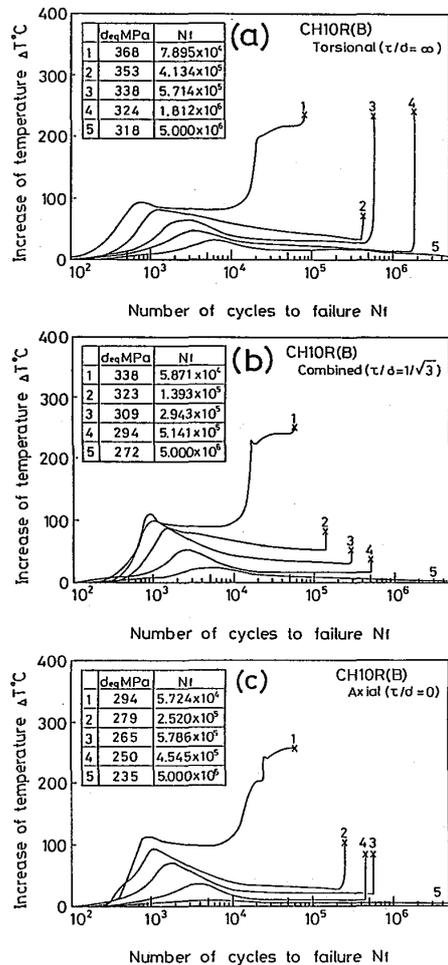


図4. 疲労過程における温度変化 (CH10R(B))

図5は各材の疲労試験前後における硬さの変化を示したものである。(b)のCH10R(A)の疲労過程においては加工硬化およびひずみ時効を生ずると考えられるが、その硬化量はばらつきがあるものの(a)のCH10Aの場合とほぼ等しい。このことから短寿命域で硬化量が大きくなる傾向は主として加工硬化によるものと推察される。(c)は時効能の大きいCH10R(B)の場合であり、図中の三つの曲線は各温度における静的時効硬化過程を時間から繰返し数に換算して描いたものである。繰返し過程での温度上昇がなければ、時効は図中の常温放置した場合の曲線に沿って進み、これに加工硬化およびひずみ時効が重畳した硬さ増加を示すと考えられる。実験点は長寿命域のデータを除き、常温時効硬化曲線よりもはるかに大きい硬化を示した。これは高応力域

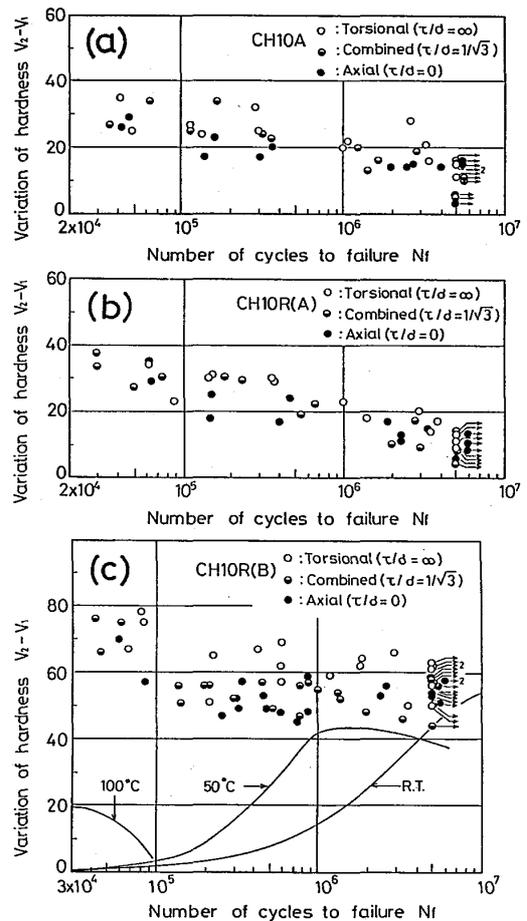


図5. 疲労試験前後における硬さの変化

では他の二材と同様に加工硬化が大きく、かつ繰返しにともなう温度上昇により時効の進行が促進されたためと考えられる。このことを確認するために、疲労試験後の試料を一ヶ月間常温放置して硬さの変化を調べてみると、時効能の残余の割合は予想されるよりも小さいことがわかった。また疲労試験前後の硬さの変化はねじりの場合が最も大きい傾向が現れている。

以上のように時効能の大きい場合、時効能の小さい他の二材とは疲労過程における温度上昇は異なっており、応力繰返しによる硬化過程の特異性が寿命に影響を及ぼし、図1(c)のS-N特性に応力荷形式による相違をもたらされたものと推察される。

4. 結論 時効能の異なる三種類の低炭素鋼を用いて、引張圧縮、ねじりの各単軸および組合せ応力下で疲労試験を行い、疲労強度に及ぼす時効の影響について調べた。その結果、時効能の小さい二材のS-N線図はほぼ1/4だ円説により整理できたが、低温焼入れにより時効能を高めた材料ではS-N特性は応力荷形式により異なり、同様な整理はできないことがわかった。これは時効能の大きい材料の繰返し硬化過程に関連があるものと考えられる。

参考文献 1) 星 実泰、機械設計、28、54(1984)。