

討14 5.5Ni-Cr-Mo-V 鋼の組織と疲れ性質

金属材料技術研究所

○ 角田方衛
内山郁

1. 緒言

高張力鋼の繰返し荷重下での破壊に関してはこれまでに多くの報告がなされているが、それらは主として中間段階(領域II)の割れ伝播過程に関するものであり、割れ伝播速度 da/dN を応力拡大係数範囲 ΔK で整理し、冶金学的因子と関連づけて論じたものである。例えば、4340鋼において高靱性をうるための高オーステナイト化温度の使用に際してはoverheatingにより da/dN が大きくなるので注意が必要なこと¹⁾、0.27C-5Mo-0.7Mn鋼において Mo_2C による2次硬化は粒界破壊を促進するので da/dN が大きくなるが、 λ th境界への炭化物の析出は da/dN に關係しないこと²⁾、そして $(\delta+\alpha)$ 2相混合組織を有するIn-744鋼において割れは2相のうち弱い方を伝播するので da/dN に対して有効でないこと³⁾などが報告されている。Barsom⁴⁾はマルテンサイト組織を有する12Ni, 10Ni, 55Niおよび2Ni鋼の da/dN と ΔK との關係を整理し、 da/dN は ΔK のみに依存し、冶金学的性質には依存しないと述べている。荒木⁵⁾は焼もどし温度を200~650°Cの間で5種類かえたS45C鋼において伝播挙動は組織により異なると述べている。

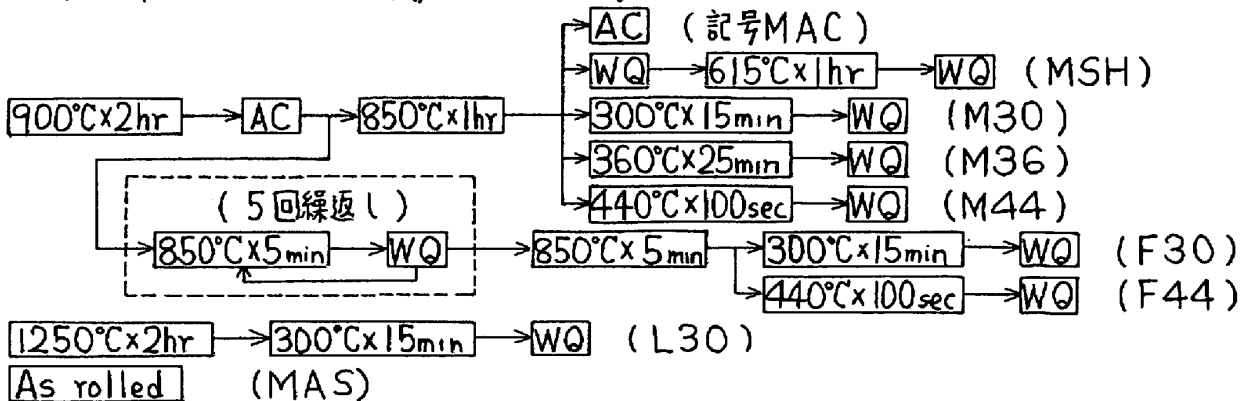
一方、有限の切欠半径を有する切欠からの割れ発生と冶金学的因子との關係に関してはその取扱いが困難であるためにほとんど報告されていない。HY180, HY140およびHY100鋼を用いて割れ発生繰返し数 N_n と見掛けの ΔK との關係を調べた結果、切欠半径 $\rho=0.10mm$ の場合鋼種向の差はほとんど見られなかったが $\rho=3.4mm$ の場合HY180が最も優れた性質を示した⁶⁾。

強度レベルの高い鋼においては一般に繰返し軟化し、それが飽和した後割れが発生する。軟化機構は明らかでないが軟化挙動が強化方法と關係していると考えられるので、疲れ割れ発生は冶金学的因子により影響されると思われる。

本研究は上記のことを考慮して、HY140鋼(5.5Ni-Cr-Mo-V)を用いて熱処理条件をかえることにより強度レベルの異なる鋼を得、組織と疲れ性質との關係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 対象材料: HY140鋼と同じ化学組成を有する材料を真空高周波炉で17kg容製し、1200°Cで22~23mm中の棒に圧延後、下記の熱処理を行なった。



850°Cからの水焼入れを5回繰返すことにより微細組織が、そして1250°Cに長時間保持することにより粗大組織がえられた。本HY140鋼の M_s は結晶粒大きさに關係なく330~340°Cであった。各熱処理材についてX線により残留オーステナイトを調べたがほとんど検出されなかった。組織は光学顕微鏡写真および恒温変態曲線から判定した。試料MSHは2次硬化された焼もどしマルテンサイト、M30,

M36 およびF30 はマルテンサイトとパーナイトの2相混合組織、そしてその他はマルテンサイトと混ざれる。

比較材としてHY180 鋼(2重焼入れ後510°C焼もどし: N社製) および12% Ni maraging 鋼(480°Cx4hr: 記号MAG)を使用した。

2.2 疲れ試験: ±5 ton 電気油圧サーボ疲れ試験機を用いて、大気中で定荷重試験を行なった。繰返し速度は10~45 cycles/min, 応力比R=-1とした。繰返し降伏強さ $\sigma_{y,c}$ および繰返し加工硬化指数 n はincremental step method²⁾によりえられた繰返し応力-ひずみ曲線から求めた。

2.3 疲れ試験片形状: 4mm厚, 10mm中の片切欠付板試験片を使用した。切欠形状は次の2種類を用いた。a) $\rho=3.4\text{mm}$ 応力集中係数 $K_t=1.9$ (S-N曲線用) b) $\rho=0.2$, $K_t=5.4$ (割れ伝播速度測定用)

2.4 引張試験: 4mm中試験片よりえられた引張試験結果および $\sigma_{y,c}$, n , m ($da/dN=B\Delta K^m$) を表1に示す。

表1 機械的性質

	σ_B Kg/mm ²	$\sigma_{y,m}$ Kg/mm ²	ϵ %	ϕ %	$\sigma_{y,m}/\sigma_B$	$\sigma_{y,c}$ Kg/mm ²	n'	m	$\sigma_{y,c}/\sigma_{y,m}$
F30	136.2	108.3	14.4	67.3	.80	97.8	.18	2.1	.90
F44	140.2	117.9	14.3	68.5	.84	113.1	.18	2.3	.96
HY180	139.7	129.0	13.8	72.6	.92	112.7	.15	2.0	.87
M30	130.8	104.3	17.6	66.8	.80	92.4	.18	2.2	.89
M36	131.5	111.3	12.9	67.6	.85	105.5	.18	2.0	.95
M44	136.3	114.8	14.5	66.8	.84	111.7	.16	2.3	.97
MAG	117.7	112.8	14.0	68.6	.96	97.8	.12	2.1	.87
MSH	116.5	112.1	17.3	70.8	.96	92.0	.19	2.0	.82
MAC	134.0	101.9	14.9	67.7	.76	93.0	.22	2.8	.91
MAS	129.3	96.9	15.7	68.9	.75	86.5	.20	2.5	.89
L30	125.2	102.4	14.9	58.0	.82	90.5	.12	2.4	.88

3. 結果および考察

3.1 S-N曲線: 破断繰返し数 N_f , 割れ発生繰返し数 N_i (割れ長さが切欠先端より150 μm に達するまでの繰返し数), それに割れ伝播繰返し数 $N_p (=N_f - N_i)$ と応力振幅 $\Delta\sigma_w/2$ との関係を図1(a), (b) および(c)に示す。 $N_f=10^5$ に対する疲れ強さ $\Delta\sigma_w/2$ は細粒のF40 およびHY180 が最も高く, 粗粒のL30 が最も低い。また, 中向粒の $\Delta\sigma_w/2$ は熱処理方法の違いにより異なる。

$\Delta\sigma_w/2 - N_p$ 曲線の傾向は $\Delta\sigma_w/2 - N_i$ 曲線のそれと類似している。

しかしながら, 図1(c)に示すように N_i においては各鋼種間の差はほとんど見られず, 応力レベルのみに依存している。すなわち, 割れ伝播に費やされる繰返し数は焼入れマルテンサイト, 2次炭化物を有する焼もどしマルテンサイト, マルテンサイト-パーナイト2相混合組織などの組織の違いに係わらず一定であり, また結晶粒大きさにも依存しない。以上の結果より冶金学的因子は疲れ割れ発生には影響するが, 割れ伝播に対してはあまり影響しないといえる。

3.2 疲れ割れ伝播速度: 領域II以降の da/dN と K_{max} との関係を図2に示す。勾配 m は表1に示すように $m=2\sim3$ である。焼もどし温度の比較的高いMSH およびHY180材においては $m=2.0$ と相対的に小さい値を示し, 空冷材MAC および圧延のままの試料MASは2.5 および2.8と高い値を示している。しかしながら全般的には da/dN は組織および化学組成に係わらず $K_{max} (= \Delta K/2)$ のみの関数といえよう。

3.3 $\Delta\sigma_w/2$ と $\sigma_{y,c}$ との関係: 本実験で使用した鋼種はすべて繰返し加工硬化する。このような場合割れは軟化が飽和した後に発生する。 N_i は切欠先端の繰返し塑性変形域大きさ $Y_{N,P.C}$ が増加するとともに減少する³⁾。鋭い割れ先端の繰返し塑性変形域大きさ $Y_{P.C}$ を表わす式 $Y_{P.C} = A(\Delta K/\sigma_{y,c})^2$ の類推か

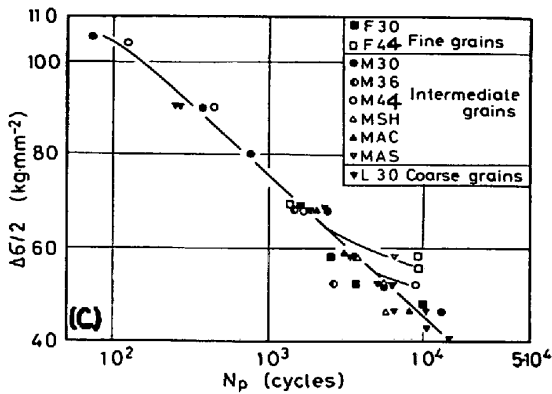
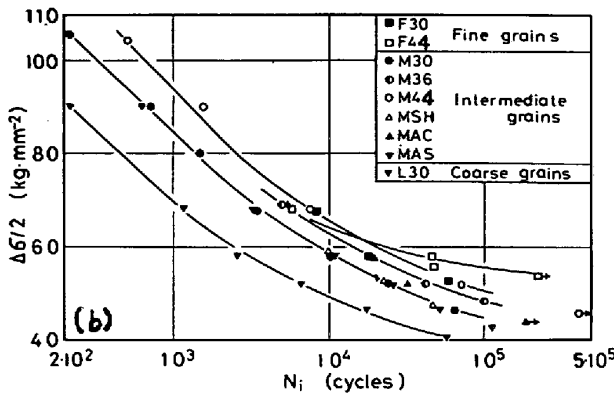
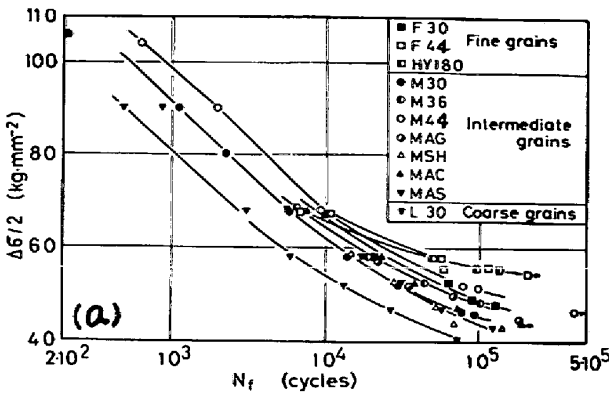


図 1

ナイトの2相混合組織を有し、結晶粒大きさが異なる。これらの試料の降伏比 $\sigma_{y,m}/\sigma_b$ は0.80~0.82であり、そして繰返軟化度合 $\sigma_{y,c}/\sigma_{y,m}$ は0.88~0.90であり、結晶粒大ききの降伏比および繰返軟化度合への影響はみられない。したがって、細粒化による $\sigma_{y,m}$ の増加傾向はそのまま $\sigma_{y,c}$ に受けがれており、繰返軟化挙動は結晶粒大ききには影響されないと云える。

繰返軟化傾向の最も著しいのは表 1に示したように焼戻し温度が比較的高い場合であり、最も軟化しにくいのはMs 点よりやや高い温度で恒温処理した鋼種である。

4. 文献 1) R.O. Richie et al.: Met. Trans., 5(1974)782 2) R.M. Horn: Met. Trans., 6A(1975)1525

3) H.W. Hayden et al.: Met. Trans., 4(1973) 561 4) J.M. Barsom: WRC Bulletin 194 (1974)

5) 荒木, 石, 佐川: 鉄と鋼, 57(1971)2042 6) L.E. Van Swam et al.: Met. Trans., 6A(1975)45

7) R.W. Landgraf et al.: Journal of Metals, 21(1969)176 8) 角田, 内山: 投稿中

9) 角田, 内山: 鉄と鋼, 61(1975)S683

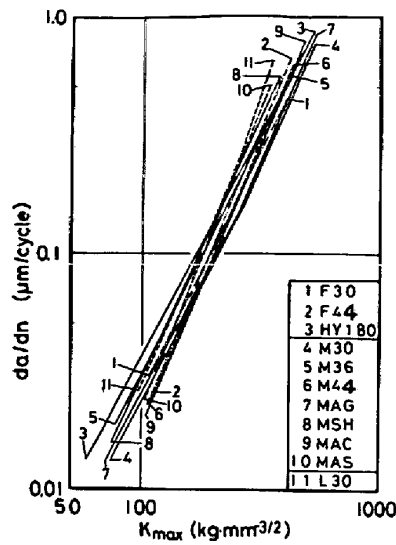


図 2

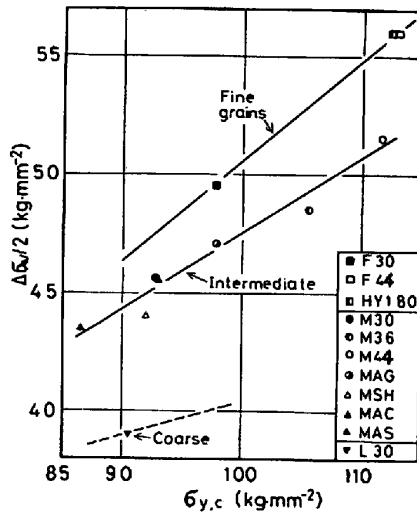


図 3

5, $\gamma_{N.p.c}$ は $\gamma_{p.c}$ と同様に $\sigma_{y,c}$ の関数であり、 N_i は $\sigma_{y,c}$ とともに大きくなると考えられる。

3.1で述べたように鋼種間の疲れ強さの差は切欠からの割れ発生挙動に依存する。したがって鋼種間の疲れ強さの差は $\sigma_{y,c}$ レベルに依存すると考えられる。

$\Delta\sigma_w/2$ と $\sigma_{y,c}$ との関係を図3に示す。同図より $\Delta\sigma_w/2$ は $\sigma_{y,c}$ とともに増加することがわかる。そしてその傾向は結晶粒大ききにより異なり、任意の $\sigma_{y,c}$ レベルにおいて結晶粒大ききがいほど高い $\Delta\sigma_w/2$ を示す。

試料F30, M30 およびL30は300°Cで恒温変態させたマルテンサイトベ