715 マルエージング鋼の疲労き裂の発生及び伝ばに及ぼす逆変態オーステナイトの影響

Influence of reversion austenite on initiation and propagation of fatigue crack of maraging steel

正 永野茂憲 (都城高専) ○正 皮籠石紀雄 (鹿児島大) 正 森山三千彦 (都城高専)

Takanori NAGANO, Miyakonojo National College of Technology

Norio KAWAGOISHI, Kagoshima University, Department of Mechanical Engineering, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima City

Michihiko MORIYAMA, National College of Technology

Key Words: Fatigue, Maraging Steel, Reversion Austenite, Crack Initiation, Crack Propagation, Humidity

1. 緒 言

マルエージング鋼は、バルク材としては高強度鋼の中で最も高い強度とじん性を有し、しかも加工性及熱処理が容易であることなどの実用上の優れた特性を持つ材料である⁽¹⁾、⁽²⁾。そのため、金型、工具、航空機などにおいて過酷な状態で使用される部材として用いられるが、疲労強度は低い^{(3)~(6)}のが問題である。著者らは、マルエージング鋼の平滑材を用いて疲労強度改善に逆変態オーステナイト (以下「逆変態 γ 」と記す) の存在が有効であることを明らかにした^{(7)~(10)}。そしてその理由として、逆変態 γ によるき裂伝ばの抑制効果を指摘したが、詳細な機構解明には至っていない。また一般に、高強度材の場合疲労強度の上昇には、き裂発生抵抗の向上が大きく寄与しているので、疲労強度に及ぼす逆変態 γ の影響を明らかにするには、き裂発生と伝ばに対する影響を検討する必要がある。

そこで本研究では、時効条件を変えることにより、硬さと逆変態 γ の量を制御した18%Ni マルエージング鋼を用いて回転曲げ疲労試験を行い、疲労き裂の発生と伝ばに及ぼす逆変態 γ の影響について検討した。また高強度鋼は環境にも敏感であるので、疲労強度の環境効果に及ぼす逆変態 γ の影響についても検討した。

2. 材料および実験方法

用いた材料は、市販の18%Ni マルエージング鋼である (表1)。試験片は、図1の形状に中央部を最終形状に仕上げた後、1123K, 5.4ksの溶体化処理を行い、その後各種時効処理し、表面を約25 μ m電解研磨した。

図2に時効硬化曲線と機械的性質を示す。疲労試験は、硬さレベルを2種類とし、それぞれで逆変態オーステナイトのない条件の亜時効材と、逆変態オーステナイトが生成される過時効材の合計4条件で行った。き裂は、試験片表面から採取したレプリカあるいは試験片表面を直接光学顕微鏡を用いて観察した。

疲労試験は、小野式回転曲げ疲労試験機 (容量15N・m、繰返し速度約50Hz) を用いて室温で行ったが、環

境の影響を調べるため、実験室環境の他に一部乾燥空気中でも実験した。

3. 実験結果および考察

3.1 S-N 曲線に及ぼす逆変態 γ の影響 図3に各材の平滑材に対するS-N曲線を示す。いずれの硬さレベルでも、逆変態 γ が生成した場合、疲労強度は高応力レベルではほぼ等しいが、応力の低下に伴い、逆変態 γ の影

Table 1 Chemical composition (wt.%)

Grade	Composition											wt. %
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Co	Ti	Al	Fe	
300	0.01	0.05	0.03	0.002	0.002	18.7	5.0	8.94	0.92	0.12	Bal

Fig.1 Shape and dimensions of specimen

Fig.2 Change in hardness with aging time

Fig.3 S-N curves in smooth specimens

Fig.4 Change in surface state due to stress repetition
($\sigma_a=620\text{MPa}$, $\longleftrightarrow$ Axial direction)

Fig.5 Crack growth curves

響は顕著になる。そして疲労限度は逆変態 γ の生成により、 $H_v=550$ では約 180MPa 、 $H_v=630$ では約 30MPa 上昇している。

3.3 き裂発生、伝ばと逆変態 γ の関係 図4は、 $H_v=550$ の材料を例に、応力繰返しに伴う表面状態の変化を示すレプリカ写真である。き裂は、逆変態 γ が存在していない場合旧オーステナイト粒界近傍で発生しているのに対し、逆変態 γ が生成した場合パケットやブロック等の更に小さい組織境界で発生しているようである。

図5は各材のき裂伝ば曲線である。低応力下での結果から明瞭にわかるように、両硬さ材とも逆変態 γ の生成により、き裂発生は大幅に遅れると共に、初期伝ば過程でも速度に対する抑制効果が認められる。そして高強度材で一般にみられるように、いずれの材料でも全寿命に占めるき裂発生寿命の割合は大きく、特に高硬さ材、低応力下で顕著である。

3.4 逆変態 γ の有無と環境の影響 ところで、高強度材は環境に敏感で、マイルドな環境である大気中でさえ疲労強度に影響する⁽¹¹⁾、⁽¹²⁾。これは大気中の酸素や水分の吸着さらに水素による脆化が主要因である⁽¹³⁾。

Fig.6 S-N curves in smooth specimens

マルエージング鋼は旧オーステナイト境界だけでなくパケットやブロックなど組織境界が多く、そこが水素のトラップサイトとなるため水素に対する感受性は低い⁽¹⁴⁾。しかし本材の高い強度レベルを考慮したとき、大気中における湿度の影響を調べておくことは必要であり、しかもオーステナイト組織である逆変態 γ は水素に比較的鈍感であると考えられるため、疲労強度の環境効果にも影響する可能性がある。このことは前述のき裂発生に対する逆変態 γ の影響を考察する上でも重要だと考えられる。

そこで、逆変態 γ の有無と環境の影響の関係について検討するため、乾燥空气中（相対湿度は約 15% ）で試験を行った。

図6は、 $H_v=550$ の材料を例に、実験室環境（疲労限度を求めたときの相対湿度は $70\sim 80\%$ であった）および乾燥空气中での平滑材のS-N曲線を示す。逆変態 γ が存在しない場合、乾燥空气中の疲労限度は実験室環境より約 100MPa の大幅な上昇がみられるが、逆変態 γ を生成させた場合、両環境間でほとんど差異はない。このことは、逆変態 γ の生成は大気中の害作用を緩和する効果があることを意味している。

4. 結 論

得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 逆変態 γ の生成により疲労限度は上昇する。
- (2) 逆変態 γ の生成により、き裂発生と微小き裂の伝ばは抑制される。特にき裂発生に対する抑制効果は大きい。この傾向は応力が低いほど大きい。このことが結論(1)の理由である。
- (3) き裂が長くなると、その伝ばに対する逆変態 γ の影響はほとんどない。
- (4) いずれの材料でも、全寿命の多くはき裂発生寿命で占められる。
- (5) 逆変態 γ を生成させれば疲労強度の環境への感度は鈍くなる。

参考文献 略