112

SCM435 鋼のギガサイクル疲労特性に対する 焼き戻し温度の影響

立命館大学 酒井達雄 大同特殊鋼(株) 村瀬拓朗 立命館大学[院] 〇内山綾子

Effect of Tempering Temperature on Giga-cycle Fatigue Characteristics of SCM435 Steel Tatsuo SAKAI, Takuro MURASE and Ayako UCHIYAMA

1緒 言

近年,厳しい経済状況が続いており既設構造物の更 新は容易でなく,設計耐用年数を越えて機械構造物を長 期間使用せざるを得ない状況がある.一方で,機械構造 物の設計耐用年数を延ばすことは,資源の節約や環境保 護に直結している.これらを実現する基礎技術の一つと して,金属材料のギガサイクル域における疲労特性を解 明する必要がある.

従来,金属材料,特に鉄鋼材料は,N=10⁵~10⁶回程度 の応力繰返し数で明瞭な疲労限度が現れると考えられて きた.しかし,近年,多くの高強度鋼や表面処理鋼につ いて,一旦疲労限度が現れた後,N=10⁷回程度の高サイ クル域でこのS-N曲線が再び低下する"2段折れ曲がり 現象"を示すことが明らかにされている.またそれは, 表面起点型破壊と内部起点型破壊に対するS-N曲線が, 別々に現れる"二重S-N特性"として解釈されるべきも のであることが明らかにされつつある.

そこで本研究では、SCM435 網について、焼戻し温度 を変えることで強度レベルを調整した試験片を多数準備 し、10⁹回程度の長寿命域疲労特性を実験的に調べ、二重 S-N特性に対する焼戻し温度や強度レベルの影響を明ら かにした.

2 供試材および実験方法

2.1 供試材 本研究で使用した材料は、焼戻し温度を変 えることにより、異なる強度を持たせたクロムモリブデ ン鋼 SCM435 である. 試験片の形状寸法を Fig.1 に、材 料の化学成分を Table I に示す. 各試験片の最小断面直径 は 4mm で、応力集中係数はα=1.08 である.



Fig. 1 Shape and dimensions of specimen.

Table I Chemical composition of materia

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	N
SCM435	0.36	0.19	0.66	0.012	0.007	0.01	1.01	0.20	0.02

熱処理は、焼入れとして 855℃で 30min 保持した後油 冷、焼戻しとして、未実施および、160・300・500・600℃ で 60min 保持した後水冷する 5 種類である.熱処理を施 したものを、それぞれ焼戻し温度によって T-160、T-300、 T-500、T-600 と表記する. T-0 は焼戻し未実施の試験片 である.熱処理を施した後の機械的性質を Table II に示す.

Table II Mechanical properties of materials used.

Mat	erial	Tensile strength MPa	Elongation %	Vickers hardness HV	
SCM435	T-0	- 1	-	589	
	T-160	-	-	558	
	T-300	-	-	525	
	T-500	-	-	401	
	T-600	991	17	323	

2.2 試験機および実験方法 試験機は本研究室で独自 に開発した,効率よく長寿命域における疲労試験を実施 できる Fig.2 に示す四連式回転曲げ疲労試験機を用いた. 試験速度 3150rpm,試験環境は室温・大気中である.



Fig. 2 Dual-spindle rotating bending fatigue testing machine.

3 実験結果および考察

3.1 S-N特性 SCM435 鋼各焼戻し材の疲労試験結果を Fig.3 に示す.疲労試験の結果,T-0 材とT-160 材は"2 段折れ曲がり現象"が見られた.しかし,二重S-N特性が 見られた他の強高度鋼とは異なり,本材料では長寿命域 における破壊も表面起点型破壊が主となっていた.しか しながら,T-0 材からは内部起点型破壊も確認されるこ とから,本材料の疲労特性を二重S-N特性とみなすこと にした. T-0 材については, 表面起点型破壊を白四角(□), 内部起点型破壊を黒四角(■)でプロットした. T-160, T-300, T-500, T-600 材は全て表面起点型破壊を呈してい た. また, T-300 材においては, σ_a=1000MPa で他の試 験片に比べて明らかに長寿命で破断した試験片も確認さ れることから,疲労試験をさらに継続していくと T-300 材も二重 S-N 特性を生じる可能性がある. これを考慮す ると,本材料の疲労試験結果から,二重 S-N 特性が現れ る強度の境界はビッカース硬さ HV = 500~550 程度であ ると推定される.



Fig. 3 S-N diagram for SCM435.

3.2 破面観察結果 SEM(走査型電子顕微鏡)を用いて, 破断した試験片の破面観察を実施した.

二重 S-N 特性が得られた T-0 材からは, Fish-eye を伴 う内部起点型破壊の破面が確認された. Fig.4(a)に Fish-eye を伴って破断した T-0 材の破面の全体写真, Fig.4(b)にその Fish-eye の拡大写真を示す.内部起点型破 壊が生じる原因は,試験片内部の介在物と塑性変形が関 係していることであると考えられる.材料の強度が増す と塑性変形が起こりにくくなるため,介在物近傍の塑性 変形による応力緩和が生じず高い応力集中が維持される. これにより試験片内部でも高い応力集中部が存在し,疲 労き裂発生起点になると考えられる.疲労限度以下の応 力で内部起点型破壊が主となる原因は,試験片表面付近 の応力は疲労限度以下のため疲労き裂が進展しないのに 対し,試験片内部は介在物などによる応力集中で介在物 近傍の応力が疲労限度を越えるため疲労き裂が進展する と考えられる.

一方, T-160 材からは Fish-eye は確認されず,内部疲労き裂発生起点となる介在物も確認されなかった.よって,二重 S-N 特性が得られた2種類の試験片のうち,内部起点型破壊が確認されたのは T-0 の破面のみであり,その他の試験片は表面起点型破壊の破面であった.

したがって、S-N 曲線の2段折れ曲がり現象は、き裂 発生点の異なる二重S-N特性であるという概念と矛盾す る結果となった.しかし、現段階では表面起点型破壊や 内部起点型破壊の定義はなく,破壊形態の判定は研究者の主観により決定されていることから,この結果は二重 SN 特性の概念を否定する結果ではないと考える.

次に T-300 材の 1000MPa の応力振幅下で,明らかに寿 命の長かった試験片の破面の全体写真を Fig.5(a)に示す. 同図(b)の起点付近写真では大半の部分に破面同士が叩 き合った形跡が確認された.しかし,試験片表面中央付 近は叩いた形跡がなく,試験片表面から疲労き裂が形成 されているようにみえる.よって,S-N 線図から判断す ると内部起点型破壊の可能性もあるが,現段階では表面 起点型破壊と判断した.

明確な疲労限度が確認できた, T-300 材, T-500 材, T-600 材の長寿命で破断した試験片は,表面の1箇所または複 数箇所から発生した疲労き裂が伝播し破断に至っていた. 疲労き裂の発生数は応力の低下とともに減少する傾向が 確認された.

本来,表面起点型破壊は結晶粒のすべりに起因するも のであり,内部起点型破壊は微視欠陥を起点とした破壊 である.したがって,一見表面起点型破壊と判断される ような破面でも,試験片表面または限りなく表面に近い 場所に存在した微視欠陥から疲労き裂が発生している可 能性がある.このことから,今回,表面起点型破壊と判 断した長寿命で破断した試験片について,引き続いてよ り詳細な検討をする必要があると言える.



(a) Macroscopic fracture (b) Fracture origin surface for SCM435 (T-0). (b) Fracture origin on the surface in Fig.4 (a). Fig.4 An example of fracture surface in high cycle fatigue for SCM435(T-0). (σ_a =950MPa, N_f =14,505,720)





(a) Macroscope fracture (b) Fracture origin surface for SCM435(T-300). On the surface in Fig.5(a). Fig.5 An example of fracture surface in high cycle fatigue for SCM435(T-300).(σ_a =1000MPa, N_f =31,099,340)

<参考文献・結言 省略>