高強度焼結鋼のフレットング疲労特性*

西 田 友 久^{*1}, 武 藤 睦 治^{*2}

Fretting Fatigue Behavior of Sintered High-Strength Steel

Tomohisa NISHIDA and Yoshiharu MUTOH

Plain fatigue and fretting fatigue tests were carried out using two types of sintered high-strength steel. The ratio of tensile strength σ_B and plain fatigue strength σ_w , σ_w/σ_B , for sintered steel was rather low compared to melted structural steel. The ratio of plain fatigue strength σ_w and fretting fatigue strength σ_{wf} , σ_{wf}/σ_w , in sintered steel was significantly high compared to melted steel. The superior fretting fatigue property of sintered steel compared to melted steel is a result of its lower tangential force coefficient. The tangential force in sintered steel is induced by the lubricating effect of wear particles, which are trapped inside pores on the surface.

Key Words: Fatigue, Fretting Fatigue, Fretting Wear, High-Strength Steel, Tangential Force Coefficient, Fatigue Life Prediction

1. 緒 言

焼結機械部品はニアネットシェイプ成形により切削工程を大幅に減少できることや生産性が高いことなど多くの特徴を有しているため、大量生産が行われる自動車、電機および事務機等の部品で幅広く採用されている。しかし、その使用条件は年々苛酷となり、材料の強度に対する要求も一段と厳しくなってきた。そのため近年ではさらに材料成分の検討や製造技術の開発が行われている。例えば、高純度の鉄粉に Ni, Mo などの合金元素を拡散付着させる手法⁽¹⁾等により製造された焼結鋼は耐摩耗性に優れ、組成の偏析がなく、引張強さも 800MPa 以上の高強度・高密度の製品が得られるようになり、これらは歯車、エンジンのコンロッドおよび自動車用パワーステアリング部品等の摺動部にも多く使用されている。したがって、これら高強度焼結鋼に関しては、機械的性質や通常疲労のみならずフレットング疲労特性を明らかにすることが強く要求されている。これまで、焼結鋼のフレットング疲労特性に関する研究は、著者ら⁽²⁾⁽³⁾の空孔を有しな

い相対密度 100% の焼結高速度鋼（粉末ハイス）の例を除くとほとんど行われておらず、空孔を有する焼結鋼のフレットング疲労特性については明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、機械部材として用いられている高強度焼結鋼をとりあげ、通常疲労試験、疲労き裂伝ば試験およびフレットング疲労試験を行い、空孔を有する焼結鋼のフレットング疲労特性について検討した。さらに、表面に空孔が存在する場合のフレットング摩擦特性についても詳細に検討するため、通常の引張圧縮疲労試験機により試験可能な簡便なフレットング摩耗試験治具を製作し、これを用いて試験を行った。

2. 実 験 方 法

2.1 供試材 供試材として耐摩耗性に優れた高強度焼結鋼（拡散合金鋼）を用いた。圧粉体の焼結にはメッシュベルト型炉を使用し、1150℃、35min の条件で焼結した。また、焼結体の半数には 850℃、30min 保持後油焼入れし、180℃、30min の焼戻し処理を施した。以下では焼結のままの材料を A 材（As-sintered）、焼入れ焼戻しを施した材料を Q 材（Quenched）と呼ぶ。

* 原稿受付 平成 5 年 7 月 2 日。

*¹ 正員、沼津工業高等専門学校（〒410 沼津市大岡 3600）。*² 正員、長岡技術科学大学（〒940-21 長岡市上富岡町）。

通常疲労、疲労き裂伝ばおよびフレットング疲労の試験片にはいずれも焼結鋼のAおよびQ材の2種類を用いた。フレットング疲労試験の接触片には焼結鋼共材に加え、溶製鋼であるS45C鋼およびSNCM439鋼（以下ではS45CおよびSNCMと省略する）を使用した。なお、S45CおよびSNCM材については硬度がそれぞれAおよびQ材と同程度になるように熱処理を施した。また、フレットング摩耗試験の試験片および接触片にはA、Q、S45CおよびSNCM材を使用した。

供試材の化学成分を表1に、熱処理条件と機械的性質を表2に示す。なお、焼結鋼の密度はいずれも約 7.1Mg/m^3 であり、理論密度 $\rho_{\text{th}}=7.9\text{Mg/cm}^3$ から本供試材の空孔体積含有率を求めると約10%である。また、硬度はビッカース硬度計を用い、負荷荷重490Nの条件で測定した。

2.2 通常疲労試験およびフレットング疲労試験

通常疲労試験片およびフレットング疲労試験片の形状・寸法をそれぞれ図1(a)および(b)に示す。通常疲労およびフレットング疲労試験のいずれも容量98kNの油圧サーボ式疲労試験機を用い、荷重波形として引張圧縮($R=-1$)の正弦波を用い、繰返し周波数10~20Hzの条件で行った。フレットングは図1(c)に示すブリッジタイプの接触片一対をブルーピングリングにより試験片板状部(同図(b))に押付けて起こさせた。このときの押付け面圧は100MPaとなるように調節した。試験中における相対すべり振幅は特殊な小形伸び計により⁽⁴⁾、また、接触片と試験片間の摩擦力は接触片中央部裏面に貼付したひずみゲージにより測定した。さらに、通常疲労試験片を用い、振幅変動法による繰返し応力ひずみ曲線を求める試験も行った。

2.3 疲労き裂伝ば試験 疲労き裂伝ば試験片の形状・寸法を図1(d)に示す。き裂伝ば試験にも前述の容量98kNの油圧サーボ式疲労試験機を用いたが、負荷荷重が小さいので、精度を上げるためロードセルを容量4.9kNのものに代えて使用した。負荷はスパン長

さ40mmの3点曲げで、応力比 $R=0.1$ 、繰返し周波数2~20Hzの条件で行った。き裂長さは精度1/100mmの読取り顕微鏡を用い測定した。下限界値 ΔK_{th} は荷重漸減法により求めた。荷重漸減に際しては、約0.02~0.05mmのき裂進展ごとに荷重を3~5%低下させることを繰返した。

2.4 フレットング摩耗試験 試験片および接触片はいずれも供試材を切断・研削し、厚さが2mmの板材となるようにした後、試験片は $2 \times 6 \times 8\text{mm}$ 、接触片は $2 \times 2 \times 4\text{mm}$ となるようマイクロカッターで切断した。なお、フレットング面は、研削面をさらにエメリーペーパー(#2000)で研磨した後、アセトンで超音波洗浄し供試した。

試験治具の概略を図2に示す。JIS4号試験片の上部および下部に治具AおよびBを固定し、試験片は治具Bに、接触片は治具Cの下部に試験片に対して全面接触するように取付ける。フレットングは試験片に接触片を同図中の矢印の方向にブルーピングリングを用いて押付けて起こさせた。押付け面圧はフレット

図1 試験片形状・寸法。(a)通常疲労試験片、(b)フレットング疲労試験片、(c)接触片、(d)疲労き裂伝ば試験片。

表1 化学成分 (wt%)

Material	C	Cu	Ni	Mo	Cr	Mn
A and Q	0.50	1.50	4.0	0.50	----	----
S45C	0.46	----	----	----	----	0.72
SNCM439	0.40	----	1.8	0.25	0.7	0.76

表2 熱処理条件および機械的性質

Material	Sintering condition	Heat treatment	Hardness (GPa)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
A	1150°C*35 min	----	2.3	684	140
Q	1150°C*35 min	850°C*30min, OQ ¹ 180°C*30min, AC ²	4.1	960	148
S45C	----	850°C*30min, OQ 600°C*30min, WC ³	2.2	----	----
SNCM439	----	850°C*30min, OQ 500°C*30min, WC	4.1	----	----

1. OQ: Oil quenching, 2. AC: Air cooling, 3. WC: Water cooling

図2 フレットング摩耗試験治具の概略

ィング疲労試験の場合と同一で100MPaとした。試験は前述の98kN油圧サーボ式疲労試験機を用い、JIS 4号試験片の両端を疲労試験機のつかみ部に取付け、荷重波形として引張圧縮($R=-1$)の正弦波を用い、繰返し周波数10Hzの条件で行った。試験片と接触片の間の接線力(摩擦力)は、図中に示すように治具Cに貼付したひずみゲージにより測定した。また、試験片と接触片の間に生じる相対すべり量は、治具BとCの間に取付けた小型の伸び計を用いて測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 通常疲労強度 図3に通常疲労の場合のS-N曲線を示す。図よりQ材はA材に比べ長寿命であり、その疲労限はA材が190MPa、Q材が290MPaであった。

一般に両振引張圧縮疲労限 σ_w と静的引張強さ σ_B との比 σ_w/σ_B は、溶製焼ならし機械構造用炭素鋼で0.25~0.5、調質構造用合金鋼で0.33~0.53程度となることが知られている⁽⁵⁾。本焼結鋼の場合、比 σ_w/σ_B はA材が0.27、Q材が0.30と同程度の引張強さを持つ溶製鋼の場合に比べやや低い値となった。このことは焼結鋼が有している空孔が通常疲労強度に、より強く影響を及ぼすことを示唆している。

図4に疲労破面の走査電子顕微鏡(SEM)による観察例を示す。図からも明らかなように破面には初期

図3 S-N曲線

図4 通常疲労破面(A材)

空孔の形跡が多く観察され、一部擬へき開破面も認められるが、それらを除く領域は、無特徴な粒内疲労破面となっていた。また、明瞭な疲労破壊起点およびストライエーション等は確認できなかった。このような観察結果は、田中・武藤⁽⁶⁾の別種の焼結鋼の場合と同様であった。

3.2 基本的疲労特性 振幅変動法により求めた安定状態における繰返し応力ひずみ曲線は次式で表した。

$$\sigma_a = \sigma_{yc} (\varepsilon_{pa} / 0.002)^n \quad (1)$$

ここで、 σ_a は応力振幅、 ε_{pa} は塑性ひずみ振幅、 σ_{yc} は繰返し降伏応力、 n は繰返し硬化指数である。得られた σ_{yc} および n の値は表3に記した。

3.3 疲労き裂伝ば挙動 疲労き裂伝ば試験結果より伝ば速度 da/dN と応力拡大係数 ΔK の関係を図5に示す。図より、ばらつきは大きいが高速度域ではQ材、高速度域ではA材の伝ば速度が大きいようである。また、伝ば曲線を次式で近似すると、式中の材料定数 C_0 、 m および ΔK_{th} は表3に示す通りであった。

$$da/dN = C_0 \Delta K^m - C_0 \Delta K_{th}^m \quad (2)$$

図5 疲労き裂伝ば曲線

表3 繰返し応力ひずみ特性および疲労き裂伝ば特性

Material	Cyclic		Crack propagation		
	σ_{yc} (MPa)	n	C_0 ($\times 10^{-14}$)	m	ΔK_{th} (MPa $\sqrt{m}$)
A	402	0.178	8.14	5.07	6.9
Q	513	0.167	4.01	4.78	6.2

図6 き裂進展状況(A材)

本供試材の ΔK_{th} 値は、引張強さや硬度の上昇とともに低下するという一般的な傾向⁽⁷⁾と同傾向であった。き裂の進展状況は巨視的には直線的であるが、微視的には図6に示すように空孔から空孔へとじくじぐにき裂が伝ばする場合が多く、また、複数の分岐き裂の発生や先行き裂の存在も認められた。このような挙動がき裂伝ば曲線のばらつきの主要因と考えられる。

3.4 フレット疲労強度 図3中にフレット疲労の場合のS-N曲線を示す。図より接触片が焼結鋼共材の場合のフレット疲労限は、A材が170MPa、Q材が250MPaであった。また、同図には接触片に空孔を有しない溶製鋼を用いた場合の結果も黒塗印で示してあり、いずれの場合とも焼結鋼共材に比べ短寿命であった。

フレット疲労限 σ_{wf} と通常疲労限 σ_w の比 σ_{wf}/σ_w は、溶製鋼の場合およそ0.3~0.6であることが知られている⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。本研究におけるAおよびQ材の σ_{wf}/σ_w の値はそれぞれ0.88および0.84と同程度であり、これらは溶製鋼の場合に比べ著しく高く、焼結鋼が優れた耐フレット疲労性を有していること示している。

図7に、測定した接線力振幅 F_a と押付け力 P の比として求めた接線力係数(= F_a/P)と相対すべり量の関係を示す。この図より共材においてはいずれの場合

図7 フレット疲労試験における接線力係数と相対すべり量の関係

図8 フレット部の縦断面の観察例 (A材)

も接線力係数は相対すべり量の増加とともに増大するが、相対すべり量が10 μ m程度で摩擦係数が約0.2に飽和し、一定値を示す傾向が認められた。この値が一定となる領域では接触部全体がすべりを生じており、この場合の接線力係数は摩擦係数 μ に等しい。一方、接触片に溶製鋼(S45CおよびSNCM材)を使用した場合、接線力係数は相対すべり量の増加とともに増大し、いずれも焼結鋼の2倍程度の値を示した。

図8にSEMによるフレット部の縦断面の観察例を示す。このような観察結果によると、き裂はフレット部端部近傍で発生し、フレット面から傾斜した方向に進展し、その後負荷に垂直に進展している。このような全般的な傾向はこれまでの多くの観察結果⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾と同様であった。しかし、本焼結鋼は10~40 μ m程度の空孔を多数有しており、図からもわかるようにき裂が空孔まで達し、そこでき裂の進展が停止している例も観察された。なお、フレット疲労の疲労限付近で試験したものについては、上述のようなき裂発生および伝ばはほとんど観察されなかった。これは、微小き裂が発生しても摩耗によりそれが削り取られるなどの理由により停留き裂がほとんど観察されなかったものと推察される。

3.5 フレット摩擦特性 前述のフレット疲労試験結果によれば、高強度焼結鋼の耐フレット疲労性は溶製鋼に比べて優れている。これは、図7に示したように、フレット部での接線力係数(摩擦係数)が溶製鋼のそれに比べ小さいためと推察される。そこで、焼結鋼の接線力係数が低くなる理由についてさらに検討するため、数種のフレット摩擦試験を行った。

フレット摩擦試験結果から、SNCM材同士の場合の接線力係数と相対すべり量の関係を図9に示す。

図9 接線力係数と相対すべり量の関係 (フレット摩擦試験)

接線力係数は相対すべり量の小さい領域で相対すべり量の増加とともに増大するが、部分すべりから全面すべりへと移行する $15\mu\text{m}$ 程度で飽和し、一定値を示す傾向が認められ、この値は前述のように摩擦係数 μ に等しい。以下の摩耗試験はいずれの場合も接線力係数が一定値を示す領域($40\mu\text{m}$ 程度)で行った。

試験片および接触片が共材あるいは同一硬度の焼結鋼と溶製鋼の組合せである場合の摩擦係数と繰返し数の関係を図10に示す。図より摩擦係数はいずれの場合も繰返し数に依存することなくほぼ一定の値を示した。Godfrey ら⁽¹¹⁾は銅を用いたフレッティング試験を行い、摩擦係数は最初の数サイクルで上昇し、その後低下し、数百サイクルを越えたとほぼ一定値(0.55)を示すことを報告している。本試験においては、疲労試験機の荷重を除々に上げ、設定値に達したときをもって初期値としているため、Godfrey らと類似の現象は現れなかったものと思われる。また、摩擦係数は、焼結鋼のAおよびQ材の場合は0.20~0.25程度、溶製鋼のS45CおよびSNCM材の場合は0.65程度であり、焼結鋼の方が溶製鋼に比べ、著しく低い値を示した。図7における焼結鋼の全面すべりを生じている領域での接

図10 摩擦係数と繰返し数の関係(フレッティング摩耗試験)

図11 摩擦係数と硬度の関係(フレッティング摩耗試験)

線力係数の値は、当然のことながら、図10の焼結鋼のそれとほぼ同じ値であった。また、図10には焼結鋼と溶製鋼を組合わせて試験した場合の摩擦係数と繰返し数の関係も黒塗りで示してある。摩擦係数は繰返し数の増加とともに増大し、 2×10^3 回を越えたとほぼ一定値を示した。その値は0.5程度であり、焼結鋼共材および溶製鋼共材の場合の中間の値をとった。

前述のように摩擦係数には焼結鋼と溶製鋼の相違が顕著であり、硬度にはあまり影響を受けていないようであるが、摩擦係数に及ぼす硬度の影響が小さいことを確認しておくため、試験片と接触片をSNCM材の同一材料同士の組合せで硬度を変化させてフレッティング摩耗試験を行った。その結果から接線力係数と硬度の関係を図11に示す。図の四角印は3~4本の値を平均して求めており、ばらつきは大きい接線力係数の平均値は0.6~0.7程度でほぼ一定値を示した。次に、試験片と接触片とも同一材料であるが、接触片の硬度を変化させたフレッティング摩耗試験を行った。図12にその結果を示す。図中の横軸は接触片および試験片の硬度の比(H_c/H_s , H_c :接触片の硬度, H_s :試験片の硬度)である。摩擦係数は材料の組合せに依存するものの、同一材料の組合せであれば、硬度の影響をほとんど受けないようである。以上のように、本供試材の摩擦係数は、実験を行った硬度が2 GPaを越える領域では硬度の影響をほとんど受けないと考えることができる。

焼結鋼の摩擦係数が溶製鋼に比べ低くなる要因について検討するため、摩耗面の観察を行った。試験片のフレッティング面を巨視的に観察すると、摩耗粉の付着状態が焼結鋼と溶製鋼とは異なっており、前者の摩耗粉の付着はフレッティング面全体にわたって観察されたのに対し、後者のそれはフレッティング部端部近傍で多く観察された。そこでフレッティング摩耗試

図12 摩擦係数と硬度の比の関係(フレッティング摩耗試験)

図13 焼結鋼共材の場合の
フレット面の観察例

試験後、摩耗粉の脱落を避けるため試料の超音波洗浄など行うことなく、直ちにSEMによりフレット面中央付近の観察を行った。焼結鋼の観察例を図13に示す。同図(a)はフレット摩耗面に堆積した摩耗粉の一例を示す。また、前述のごとく、試験片表面には多くの空孔が存在し、その中に摩耗粉が入り込んでいる様子(同図(b))も観察された。そのフレット表面の摩耗粉を詳細に観察すると同図(c)に示すような微小な粒状摩耗粉が多く認められた。一方、溶製鋼の場合フレット面の中央付近では摩耗粉の量も少なく、その形状は図14に示すように押潰されたような板状の摩耗粉が観察された。

図15に焼結鋼と溶製鋼を組合わせて試験した場合のフレット面の観察例を示す。表面には板状と粒状の摩耗粉が混在しており、 2×10^4 回摩耗試験を繰返した後のフレット面では、空孔の多くが板状の摩耗粉に覆われていた。

岩淵ら⁽¹²⁾⁽¹³⁾は表面あらしを変化させた数種の表面に酸化物を挟み込んだ状態でフレット試験を行った結果、表面あらしの小さい場合は酸化物が排出されるが、表面あらしの大きい場合、酸化物は窪みに堆積され潤滑と類似の作用をすることを報告している。本焼結鋼の場合においても、フレットの作用によって発生した粒状の摩耗粉が表面の空孔に入り込むため、フレット面間の圧縮により板状粗大化することなく、粒状を保ち潤滑作用を果たすため、接線力係数が小さくなったものと考えられる。

焼結鋼と溶製鋼を組合わせてフレット疲労試験を行った場合の摩擦係数が焼結鋼共材と溶製鋼共材の場合の中間の値をとったのは、図15に示すフレット面の観察例のように粒状と板状の摩耗粉の混在によるものと思われる。

3.6 フレット疲労寿命の推定 フレット疲労き裂は繰返しのごく初期に発生し、フレット

図14 溶製鋼共材の場合のフレット面の観察例

図15 焼結鋼試験片と溶製鋼接触片の組合せ
の場合のフレット面の観察例

ング疲労寿命の大部分がき裂の伝ばに費やされることが知られている⁽¹⁰⁾。また、き裂伝ばの初期に接線力(摩擦力)による伝ば速度の顕著な加速を生じ、寿命低下をもたらしていることも知られている。このようにフレットの作用により、接触部で生じる摩耗と接線力によるき裂の早期の発生と、接線力による伝ば速度の加速がフレットによる疲労寿命低下の主要因と考えられる。本供試材では前節で示したように、摩擦係数が溶製鋼に比べ小さく、これが優れた耐フレット疲労性をもたらしていると考えられる。

著者ら⁽²⁾は焼結高速度鋼において摩擦力を考慮にいたれたフレット疲労き裂の破壊力学的解析を行い、推定したフレット疲労寿命が実験値とよく一致することを示している。そこで、前述の本供試材の優れた耐フレット疲労性が、低い摩擦係数にあることを、さらに明らかにするため、本研究においても同一の手法により寿命推定を試みた。

寿命推定法についての詳細はすでに報告⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾してあるので省略するが、その概略は以下の通りである。応力拡大係数範囲 ΔK は半無限体の貫通き裂を仮定し、繰返し応力 σ と摩擦力 F を考慮すると次式で与えられる⁽⁴⁾⁽¹⁴⁾。

$$\Delta K/2 = 1.12 \sigma_a (\pi a)^{1/2} + K_{F1} + K_{F2} \quad (3)$$

ただし、 $K_{F1} = 1.29 \alpha F a (1/\pi a)^{1/2}$ 、

$$K_{F2} = 1.29 (1 - \alpha) F a (\pi a)^{1/2} [(3/2\pi) \ln \{ \ell + (\ell^2 + a^2)^{1/2} \} / a - (1/2\pi) \ell / (\ell^2 + a^2)^{1/2}]$$

ここで、 a はき裂長さ、 K_{F1} は接触部端部に集中する摩擦力にもとづく成分、 K_{F2} は接触部に一様分布する摩擦力にもとづく成分、 ℓ は接触部の相対すべり方向の長さ、 α は摩擦力の端部への集中割合を示す定数で

表4 ΔK_{app} , a_0 および α

Specimen	Contact pad	ΔK_{app} (MP $\sqrt{m}$)	a_0 (μm)	α
A	A	6.9	9	0.03
A	S45C	6.8	12	0.06
Q	Q	6.3	10	0.13
Q	SNCM	6.1	16	0.15

ある。式(3)は弾性き裂の場合であるが、試験が比較的高応力で行われたことおよび微小き裂の伝ばを扱っていることを考慮し、弾塑性き裂伝ば、すなわち繰返しJ積分による取扱いを行う。実際の寿命計算には、塑性変形したときの見かけ上の ΔK 値である $\Delta K_{app} = (E \Delta J)^{1/2}$ を用いた⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。ここで、Eは縦弾性係数であり、 ΔJ の計算はShih-Huntchinson⁽¹⁵⁾の解にもとづき、表3中の繰返し応力ひずみ特性値を用いて行った。本寿命推定法にもとづき得られた

ΔK_{app} , a_0 , α の値を表4に示す。ここで、 a_0 は初期き裂長さである。

寿命計算に際しては、式(3)をき裂伝ば曲線の式(2)に代入し積分した。このようにして求めた推定寿命は、 $R=0.1$ の場合に相当することになる。そこで、 $R=0.1$ の高サイクル疲労試験を行うことにより、 $R=-1$ における da/dN - ΔK 関係を推定した。その結果、図3中に示すように、AおよびQ材の同一寿命を与える応力振幅は $R=0.1$ の場合に比べ $R=-1$ の場合それぞれ約1.75および1.57倍高くなっていた。そこで、 $R=-1$ に対応する ΔK 値は $R=0.1$ における ΔK 値に対して高サイクル疲労強度比と同じ比を持つと仮定して、式(2)において ΔK (ΔK_{th} も含め)を1.75 ΔK および1.57 ΔK で置き換え、 $R=-1$ のき裂伝ば曲線とし、寿命推定を行った。その結果、図16に示すように推定寿命は実験結果と比較的よく一致しており、式(3)からわかるように、焼結鋼の低い摩擦係数(摩擦力)が、優れた耐フレッティング疲労特性をもたらしていることが明かである。

5. 結 言

空孔を多数含有する焼結鋼のフレッティング疲労特性について検討し、以下の結論を得た。

(1) 通常疲労の疲労限度 σ_w と引張強さ σ_B の比 σ_w/σ_B は、本焼結鋼の場合0.27~0.30であり、通常の溶製鋼に比べ低めの値を示した。

(2) フレッティング疲労限度 σ_{wf} と通常疲労限度 σ_w の比 σ_{wf}/σ_w は、本焼結鋼の場合0.84~0.88であり、通常の溶製鋼の0.3~0.6に比べ高い値を示した。このことは焼結鋼が優れた耐フレッティング疲労性を有していることを示している。

図16 S-N曲線(寿命推定)

(3) フレッティングの作用による焼結鋼の疲労限の低下が小さかったのは、主として、フレッティング部での接線力係数(摩擦係数)が小さいことに起因している。

(4) 焼結鋼の接線力係数(摩擦係数)が溶製鋼に比べて著しく小さかったのは、フレッティングの作用によって発生した粒状の摩耗粉が表面の空孔に入り込み、接触面間で押しつぶされ板状化することなく粒状を保ち、潤滑と同様の作用を果たしているためと考えられる。

おわりに、焼結鋼試験片の製作にご協力いただいた三菱マテリアル(株)新潟製作所の関係各位に謝意を表す。

文 献

- (1) 高城, 粉体および粉末冶金, 37-8, (1990), 1125.
- (2) 西田, 武藤, 田中, 中村, 機械学会論文集, 55-513, (1989), 1077.
- (3) 西田, 武藤, 辻井, 機械学会論文集, 投稿中.
- (4) Tanaka, K., Mutoh, Y., Sakota, S. and Leadbeater, G., Fatigue Fract. Eng. Mat. Struct., 8, (1984) 129.
- (5) 益子, "機械設計", 養賢堂, (1982), 9.
- (6) 田中, 武藤, 機械学会論文集, 52-473, (1986), 81.
- (7) 西谷編, 疲労強度学, オーム社, (1985), 184.
- (8) Mutoh, Y. and Tanaka, K., Wear, 125, (1988), 175.
- (9) Waterhouse, R. B. and Taylor, D. E., Proc. Instn. Mech. Engrs., 185, (1971), 691.
- (10) 武藤, 西田, 材料, 37-417, (1988), 649.
- (11) Godfrey, D. and Bailey, J. M., NACA Tech. Note (1953), 3011.
- (12) Iwabuchi, A., Hori, K. and Kubosawa, H., Wear, 128, (1988), 123.
- (13) Iwabuchi, A., Hori, K. and Kubosawa, H., Wear, 139, (1990), 319.
- (14) 田中, 武藤, 迫田, 機械学会論文集, 51-464, (1986), 1200.
- (15) Shih, C. F. and Hutchinson, J. W., Trans. ASME, Ser. H, 98-4 (1976), 289.
- (16) El-Haddad, M. H., Dowling, N. E., Topper, T. H. and Smith, K. N., Int. J. Fract., 16 (1980), 195.