

の結果よりわかる。この結果は定性的に大内田ら²⁾の軸方向にキレットを入れた試験片の回転曲げ疲労試験の結果とよく一致している。

IV. 結 言

人工欠陥作成材の疲労強度は無欠陥材に比して低下する。その仕方はラミネーションの位置すなわち試験片中心軸からの距離および、その厚さによつて変化し、距離が大きいくほど、層の厚さが大なるほど低下が著しい。また欠陥の長さの影響は少ない。また層の厚さが大きくなると S-N 曲線の短寿命部での傾斜が急になる。この層の厚さと疲労限の関係については、地との結合状態などよりさらに検討する必要がある。なお本試験に使用した材料は 80 kg/mm² 級高張力鋼で切欠感受係数が 0.84 であるが、この値の低い材料についてのラミネーションの影響についても目下実験中である。

文 献

- 1) 村木, 他: 鉄と鋼, 49 (1953) 10, p. 274~276
- 2) 大内田, 他: 機械学会論文集, 20 (1954) 99, p. 739~745

(119) 軸受鋼の疲労寿命と非金属介在物との関係

大同製鋼中央研究所

工博 藤原 達雄・○福井 彰一

Relation between Non-metallic Inclusion to the Fatigue Life of Ball-Bearing Steel.

Dr. Tatsuo FUJIWARA and Shoichi FUKUI.

I. 緒 言

鋼の疲労強度におよぼす非金属介在物の影響については従来にも多くの研究が行なわれているが、非金属介在物の種類、形状、分布等が複雑であるためにその評価についてはなお問題があるように思われる。H. CUMMINGS, F. STULEN, W. SCHULTE¹⁾は 140~300 ksi に調質した SAE 4340 鋼について、表面あるいはその直下にある silicate 系の球形非金属介在物から疲労破壊が始まっていることを示し、これらの疲労破壊発生起点に認められた介在物の直径と疲労寿命との間に相関関係があることを示している。また M. ATKINSON²⁾は鋼中の非金属介在物の形状による応力集中効果と非金属介在物の大きさとから独自の非金属介在物の評価方法を考案し、高抗張力に調質した鋼の平均的な疲労強度の推定を試みて一応成功している。軸受鋼については川田, 中沢, 児玉³⁾の実験があり、平滑試験片の回転曲げ疲労破面にほとんどの場合 fish-eye と呼ばれる斑点を認め、その中央にいろいろの形状の介在物が存在することを認めた。

筆者らは高硬度に調質した軸受鋼の疲労寿命が著しいばらつきを示し、また疲労破壊はほとんど全ての場合に非金属介在物のところから発生することを認め、これらの非金属介在物が何れも silicate 系でほぼ球形をしていることに着目し、これらの非金属介在物の大きさ、位置などの幾何学的性状から応力集中効果を評価し、これ

Table 1. Chemical composition of specimen(%).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1.00	0.28	0.30	0.023	0.007	0.09	0.06	1.47

Table 2. Cleanliness of specimen.

d	d A	d B	d C	Remarks
0.03	0	0	0.03	Large inclusion type C, thickness 50 μ

により疲労寿命のばらつきを説明することを試みたのでその結果について報告する。

II. 供試材および実験方法

供試材は 2 ton 塩基性電気弧光炉溶解し、出鋼時に Al および Ca-Si で脱酸した軸受鋼 2 種相当の鋼でこれを 1 ton 鋼塊にした後 2 heat で 18mm ϕ に熱間圧延し、球状化焼鈍を行なった。化学成分は Table 1 に示すごとくのものである。また JIS 法による非金属介在物の測定結果は Table 2 に示すごとくで A 系および B 系非金属介在物はほとんど測定にかかるものではなく、主として C 系非金属介在物が認められた。

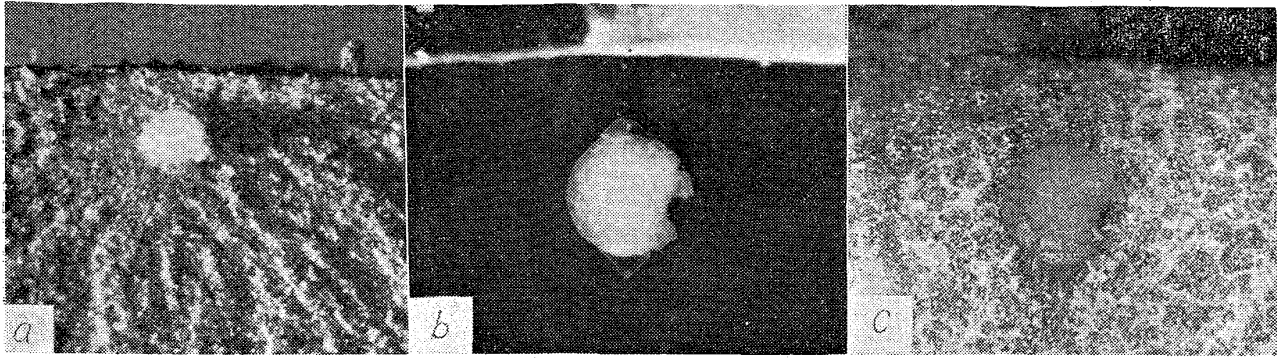
試験片は粗仕上げ後 840°C \times 15min 油冷, 150°C \times 1 hr 焼戻を行なつてから研削仕上げし、平行部直径 8 mm, 平行部長さ約 20mm の小野式回転曲げ疲労試験片とした。試験片はさらに最終エメリー紙 05 番の軸方向研磨を行なつてから小野式回転曲げ疲労試験機を用い応力繰返速度 3000 rpm で試験した。試験片の硬さは HRC 61~62 であつた。

疲労試験片は応力振幅 60.2 kg/mm² で 30 本, 70.5 kg/mm² で 22 本試験し、破断繰返数を測定した。また、破面を 600 倍の顕微鏡で観察し、非金属介在物の確認および位置、大きさの測定を行なった。

III. 疲労破壊起点に発見された非金属介在物の性状

破断した試験片の破面には川田らのいう fish-eye が認められるものもあつたが、それが明瞭に認められないものもあつた。しかしこれらには極く僅かなものを除いては何れも疲労破壊の起点と思われる位置に 1 個の非金属介在物を認めた。これらの非金属介在物はやや大きいものでは肉眼的にも判別できるが本実験では 600 倍の顕微鏡により非金属介在物の確認および位置、大きさの測定などを行なった。疲労破壊起点付近に現れた非金属介在物は何れも Photo. 1, a のごとくほぼ半球状の部分を露出し、これを摘出した後は矢張り半球状の凹みを残すのでほぼ球形であつたことがわかる。Photo. 1, a は斜光線を当てて撮影したものであり、真珠様の光沢を有している。Photo. 1, b はこれを破面の方から研磨して暗視野照明で撮影した顕微鏡写真でありまた Photo. 1 c はナイタールで腐食した場合の顕微鏡組織である。これらの観察の結果によれば、この非金属介在物は silicate 系で 2 相以上から成つているようであるが、その本質については追つて報告する。

疲労破壊起点付近の非金属介在物は大きさ 20~100 μ で位置は表面に露出しているものから深さ 490 μ に達するものまで区々であつた。なお試験片表面に露出して



a) Origin of failure $\times 70 \times 1.5$ b) Polished, dark field $\times 170 \times 1.5$ c) Etched by nital $\times 170 \times 1.5$

Photo. 1. Non-metallic inclusion observed at the origin of fatigue failure. (1/2)

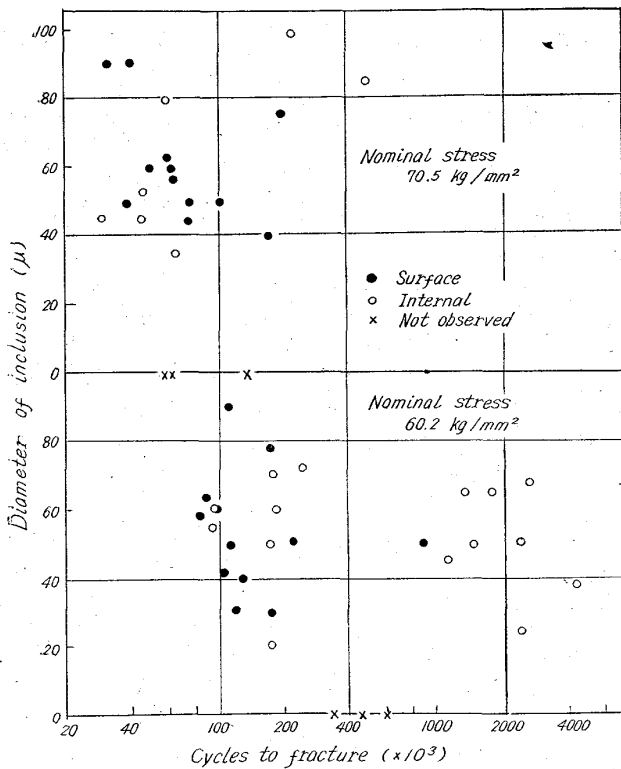


Fig. 1. Relation of diameter of non-metallic inclusion and fatigue life.

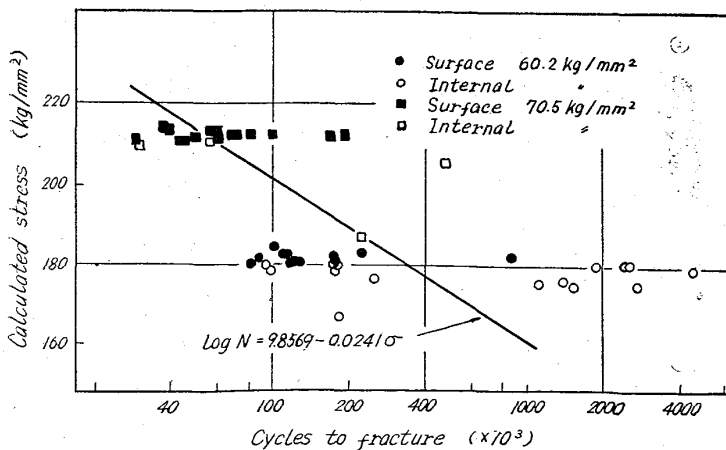


Fig. 2. S-N relation according to method A.

るものでは試験片の研磨により球形の一部が削り去られている。

IV. 疲労寿命におよぼす非金属介在物の寄与

以上のごとく本試験片の疲労破壊起点付近にはほとんどの場合に球状の silicate 系非金属介在物が認められたのであるが、これらの非金属介在物は応力集中源となることが考えられる。この場合には最大の応力集中を生ずる位置は弾性力学的には球状非金属介在物の応力軸に垂直な大円上の部分である。破面に現れる介在物がほぼ半球状の部分を露出することは前述の通りである。したがってこれらの試験片の疲労破壊には非金属介在物の存在による弾性力学的寄与があることが考えられる。

CUMMINGS ら¹⁾は表面およびその直下に存在する非金属介在物の直径と疲労寿命の間に相関性があることを示している。これに倣って疲労破壊起点となった非金属介在物の直径と疲労寿命の関係を整理した結果を Fig. 1 に示す。この結果によれば試験片表面に露出した非金属介在物をもつ場合は内部のものに比して疲労寿命は短く、またその直径と寿命との間に相関関係が認められるが、内部に存在する介在物で破壊する場合は一般に寿命は長く、また著しいばらつきを示す。なお 600 倍の顕微鏡観察で非金属介在物の認められなかつた試験片の寿命は他のものに比して特に長くはない。これらの結果は一般的には非金属介在物の存在する位置についても考慮しなければならないことを示していると考えられる。

V. 疲労寿命における非金属介在物の評価

疲労寿命に対して非金属介在物がいかなる影響力をもつかを評価するに当って問題の単純化のために介在物をそれと同形の空洞と見做すこととする。この種の弾性力学的解析は従来にもいくつかあるがそのまま本実験の全ての場合には適用できない。そこで筆者らはこれを平面問題に置換えて検討を試みた。

1) 平行面切断法 (A法) による検討

非金属介在物の中心を通りこれから試験片軸に下した垂線と直交する平面で切断した極く薄い板について考えると、これは有限巾をもつ平板の中央に円孔をもつ場合と考えることができる。試験片には曲げ応力が加っているが介在物直径は試験片直径に対して無視しうる程度であるから単純な引張応力が働く場合と考えてよいであろう。応力集中係数としては R. E. PETERSON⁴⁾ の図表によ

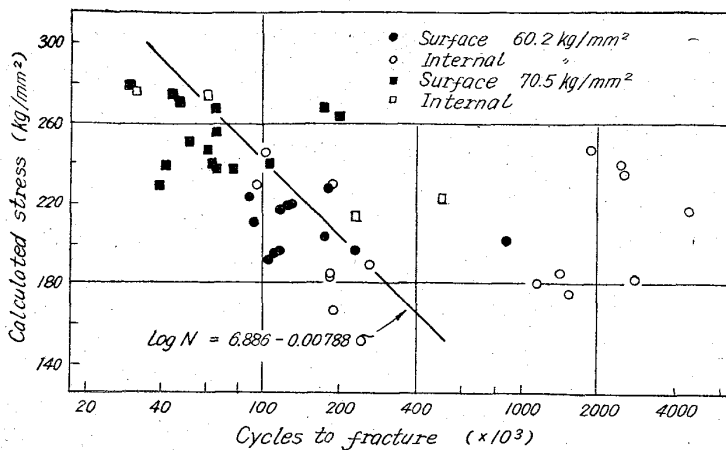


Fig. 3 S-N relation according to method B.

り、また応力値としては非金属介在物の位置による補正を行なつて計算した結果を Fig. 2 に示す。これによれば各公称応力別には計算応力と疲労寿命の間にわずかな相関が認められるが、疲労寿命のばらつきを説明するには十分ではない。

2) 軸断面切断法 (B法) による検討

試験片軸を含み非金属介在物の中心を通る平面を考え試験片直径に対して介在物の深さを無視すれば引張応力を受ける半無限板に円孔または切欠きを付した場合と考えることができる。(非金属介在物半径)/(深さ) $=0.61$ 以上は切欠としてまた 0.61 以下では円孔と考えて R. E. PETERSON の図表⁵⁾を用いて整理した結果を Fig. 3 に示す。この場合には公称応力振巾の差異をも含めて計算応力と破断繰返数との関係は可成りよく示される。長寿命側で著しく外れる点があるのは(非金属介在物半径)/(深さ)の値が $0.5 \sim 0.8$ で応力集中状態が円孔の場合とも切欠きの場合とも異なるようなところにあるためではないかと考えられる。非金属介在物による弾性力学的な応力集中によつて疲労寿命のばらつきを説明するのに B法によつてもなお十分に満足ではないがこの主な原因としては非金属介在物と地との密着の程度に差異があり全ての場合を完全な空洞とは見做しがたいこと、STURLEN⁶⁾ のいうごとく熱処理時に非金属介在物の周囲に生ずる残留応力の影響などが考えられる。

VI. 総 括

高硬度に調質した軸受鋼 2種相当の鋼を回転曲げ疲労により破断した破面を観察した結果、疲労破壊発生起点にはほとんど全ての場合に Silicate 系の球状非金属介在物を認めた。これらの介在物は試験片表面に露出しているものおよび深さ 490μ にまで認められ直径 $20 \sim 100 \mu$ であつた。疲労破壊は非金属介在物と地との境界部で引張応力方向に直交する大円の部分と考えられる。

非金属介在物をこれと同形の空洞と見なしてこれによる応力集中を考慮することにより疲労寿命におよぼす非金属介在物の大きさおよび位置を可成りよく評価することができた。

文 献

- 1) H. N. CUMMINGS et al: Trans. ASM, 49 (1957), p. 482~516
- 2) M. ATKINSON: J. Iron & Steel Inst.(U. K.),

193 (1960) 5, p. 64~75

- 3) 川田, 中沢, 児玉: 学振第 129 委員会資料 No.1-11-1
- 4) R. E. PETERSON: Stress concentration design factors, (1962), p. 84 [John Wiley]
- 5) " p. 85, 139
- 6) STUFF REPORT: Metal Progress, 74 (1958) 2, p. 120~122

(120) 軸受鋼の機械的性質におよぼす C, Cr の影響

愛知製鋼

赤沢唯一・荒川武二・小田昭午・○山本俊郎
Effects of Carbon and Chromium on Mechanical Properties of Bearing Steels.

Ichi AKAZAWA, Takeji ARAKAWA,
Shōgo ODA and Toshiro YAMAMOTO.

I. 緒 言

今日、鋼の中で軸受鋼ほど製鋼メーカーと使用者の間で問題となる鋼種は外にはないのではないかと考えられるが、その材質上のいろいろな問題点に対応して多くの研究がなされてきた。ところが最近、焼入焼戻後の組織中の初析セメントライト、巨大炭化物の根拠も、製品の寿命を害する一因として挙げられるようになってきている。軸受鋼第 2 種 (JIS SUJ-2) では炭素量は $0.95 \sim 1.10\%$ と規定されており、これは状態図から見れば過共析であるので球状化焼鈍前に焼準を行なつても、一般の冷却方法では初析セメントライトの析出を完全に阻止することはきわめて困難である。ゆえに炭素量を規格値以下の共析付近としてさらにいずれか元素を添加すれば、組織は良好でしかも焼入性の劣らない軸受鋼の製造が可能ではないかと考えられる。

本研究では、本鋼種の主要成分たる C, Cr の 2 成分に着目し、その成分を規格より外して変化させた場合、曲げ破断荷重と硬さにかなる影響を与えるかを分析して C, Cr 2 成分の役割を再検討した上、炭素量のみ共析付近の $0.85 \sim 0.90\%$ の範囲を目標として軸受鋼第 2 種を溶製し、顕微鏡組織的な面を考慮しながら、いろいろな機械的性質および焼入性について、現存の過共析軸受鋼第 2 種のそれと比較検討した。

II. 試 料

試料は A, B 2 系列からなる。A 系列の試料について曲げ破断荷重と硬さにおよぼす C, Cr の影響を分析したが、その化学組成は軸受鋼第 2 種のそれを標準にとり炭素量を 1.0% 一定としクロム量を $0.86 \sim 1.81\%$ の範囲に、またクロム量を 1.5% 一定とし炭素量を $0.57 \sim 1.25\%$ の範囲に変化させてある。他の元素に関してはそ