301

# 高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)の Fish-eye の発生に及ぼす 加工精度の影響

明星大学 正 〇山本晴生 ㈱東京衡機 古澤達哉 ㈱コスモ計器 市川 貢

Influence of Processing Accuracy on Fish-eye Generation of High Carbon-Chromium Bearing Steel Haruo YAMAMOTO, Tatsuva FURUSAWA and Mitugu ICHIKAWA

#### 1. 緒 1

高強度材料は応力が 10<sup>8</sup>回~10<sup>9</sup>回負荷されると特徴 的な二段折れ曲がり現象が現れ材料が内部起点型破壊、 いわゆる Fish-eye を生じて再び疲労限度が降下する。内 部疲労き裂発生とき裂進展挙動は中島ら<sup>11</sup>が非金属介在 物周辺に粒状領域が生成されて疲労寿命の約 90%で Fish-eye に遷移することを解明した。

酒井ら 2は疲労破面は、①き裂発生点付近の平坦部(内 部起点型破断の場合は Fish-eye に対応)、②平坦部に続 き方向性のない条痕が現れる領域、③き裂進展方向に沿 う放射条痕が現れる最終領域なる3つの領域に分割され ることを明らかにしている。

村上ら<sup>30</sup>は介在物周縁の溶存水素による水素脆化と考 え水素がない場合でも介在物周縁は負の静水圧に近い応 力状態となりマトリックス内に溶存水素があれば拡散し 易く水素脆化などの現象が生じることを究明している。

そこで、本研究は軸荷重下の高炭素クロム軸受鋼の Fish-eye の発生に及ぼす試験片表面の加工精度の影響 と凹凸をマクロ的に観察して疲労き裂の発生源となる介 在物の影響を破壊力学的に検討したので報告する。

## 2.試験片および実験方法

2.1 試験片 供試材(㈱不二越)の化学組成は表1に示す。

Tabi	e i Chemi	cal compos	sition of mat	erial (mass/)
С	Si	Mn	Р	S
1.00	0.19	0.35	0.013	0.004
Cr	Cu	Ni	Мо	0
1.45	0.09	0.04	0.02	6ppm
		/	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	HB:183

試験片には次の焼入れ・焼き戻しの熱処理を施した。

(1) 予熱 650℃×120min

(2) 焼入れ: 850℃×120min ⇒ 油冷(80℃)

(3) 焼戻し: 180℃×120min ⇒ 空冷(2回)

試験片の形状・寸法は最小直径 3 mの砂時計型で半径は 15 mで有限要素法による応力集中係数は 1.02 で平滑材とみなせる。試験片は旋盤加工仕上げ( $\nabla \nabla \nabla$ )と旋盤加工後ラップ仕上げ( $\nabla \nabla \nabla \nabla \nabla$ )の2種類で、前者を3系統試験片、後者を5系統試験片とする。なお所定の加工後に試験片表面は住鉱業潤滑剤(㈱製の  $\alpha \neq \rho$ ルラップスプレーを用いて防錆処理を施してある。それぞれ 3本の引張試験を行なった結果、両者に多少の差はあるが疲労試験片の引張強さは 2774MPa である。

**2.2実験方法** 疲労試験機は四連式軸疲労試験機(㈱東 京衡機製造所製 PMF4-10)で容量 10kN、試験速度は 82Hz(4920rpm)で室温・大気中で疲労試験を実施した。

#### 3. 実験結果

3.1 S-N曲線 図1は3系統試験片、図2は5系統試 験片のS-N曲線を示す。図中の○印は表面起点型破断、 ●印は内部起点型破断によってFishreyeの存在が認め られたことを示す。なお1100MPa以下の応力レベルは 10本の試験片を用いて疲労寿命を求めた。平均疲労寿命 が10<sup>7</sup>回を越える応力振幅は1000MPaである。

3系統試験片は 1400MPa で 2 本、1300MPa で 1 本、 5系統試験片は 1400MPa で 2 本が○印で示す表面起点 型破断を生じているが、試験片表面の加工精度が高いと 疲労破壊はほぼ●印で示す内部起点型破断である。なお Ti を含有し化学成分が異なる前報 4では 1100MPa 以下 で Fish-eve が発生している。



Fig. 2 S-N diagram under axial loading  $(\nabla \nabla \nabla \nabla \nabla)$ 

-55-

**3.2 破断面観察結果** 図 3(a)は5系統試験片に応力振幅 1000MPa を 3.94×107回負荷後に内部き裂発生型破壊のき裂発生起点となった介在物近傍の拡大写真を示す。 図 3(b)は介在物の拡大写真を示す。



(a) Fracture surface in interior inclusion induced fracture with inside fish-eye (内部型 fish-eye)



(b) Inclusion at the center of fish-eye(介在物の拡大) (σa=1000MPa,Nf=3.94×10<sup>7</sup>, T.P.No.528) Fig.3. SEM observation of fish-eye



Fig.4 Relationship between  $\triangle K_{inc}$  and  $N_f$  ( $\nabla \nabla \nabla$ )



Fig.5 Relationship between  $\[theta]K_{inc}\]$  and  $N_f(\bigtriangledown \bigtriangledown \bigtriangledown \lor \lor \lor \lor)$ 

3.3 き裂発生起点の破壊力学的検討 き裂発生起点の 介在物寸法を用いて村上ら 5は高強度鋼の疲労強度に及 ぼす介在物の影響の定量的評価法を式(1)で示している。

## $\Delta K_{\text{inc}}=0.50 \, \sigma_{a} \sqrt{\pi \sqrt{a} rea_{\text{inc}}} \, \cdots \, (1)$

図1と図2に●印で示したFish-eye が発生した試験 片について式(1)を用いて応力拡大係数範囲⊿Kineを計算 し疲労寿命との関係を図4および図5に示す。

図4は3系統試験片、図5は5系統試験片の応力拡大 係数範囲⊿K<sub>ine</sub>と疲労寿命との関係を示し⊿K<sub>ine</sub>は2~4 MPa√m である。

塩澤ら <sup>6)</sup>は 4~5MPa√mであると発表している。 本研究の⊿Kine は塩澤らより多少小さいが、今後実験 数を増やしてさらに考察する必要があると考える。

3.4 Fish-eye 付近の観察 図6は疲労寿命が比較的短 い時の破断面写真である。介在物は複数存在しているこ とを示しているが今後詳細な解析が必要であると考える。



Inclusion at the center of fish-eye(介在物の拡大) ( $\sigma$  a=1000MPa,Nf=8.79×10<sup>5</sup>, T.P.No.531) Fig.6. SEM observation of fish-eye

### 4. 結 言

高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)の軸荷重疲労長寿命領域 下の Fish-eye の形状、凹凸を観察し、介在物の破壊力学 的検討を行い以下の結果を得た。

 (1)平均疲労寿命が 10<sup>7</sup>回を越える応力振幅は 1000MPa である。

(2)試験片表面の加工精度が高いと疲労破壊はほぼ内部 起点型破断が生じて Fish-eye が発生する。

(3)Fish-eye 中央部は約 10µm の凹凸が生じている。

(4) ⊿Kincは 2~4 MPa√m である。

本研究は平成 17 年度明星大学大学特別研究費の補助 を受けて実施した研究である。

#### 参考文献