

135 高炭素クロム軸受鋼の衝撃ねじり疲労強度特性

大阪産業大学 工学部 ○能瀬春雄, 坂本 勇
 大阪産業大学 短期大学部 中山英明
 光洋精工(株) 柴田正道, 山下政英

1. 緒言

現在までの衝撃疲労研究においては、通常の荷重下での疲労強度に比較して、軸方向および曲げ衝撃荷重下での疲労強度は、主な側面において危険側の挙動を示すことが明らかにされてきている。一方、ねじり負荷様式下においては、衝撃荷重下での結果は通常の荷重下と比較して、安全側の挙動を示すことを筆者らは明らかにしてきた¹⁾²⁾。しかし、これまでの研究は比較的強度鋼に関するものであり、高強度鋼での研究はなされておらず、このため鉄鋼材料全般にわたっての衝撃ねじり特性を結論づけるには至っていない。高強度鋼のなかでも、高炭素クロム軸受鋼は転がり軸受に使用される等、工業的に用途の広い実用材料であるにもかかわらず、各種条件下での疲労強度は、十分に把握されていない材料の一つである。

本研究は上述の観点から、衝撃ねじり疲労挙動の体系的な一環として、高炭素クロム軸受鋼JIS.SUJ2を供試材料として行われた一連の衝撃ねじり疲労試験の結果に関するものである。なお、回転曲げ疲労試験についても併せて行い、高強度鋼での各種荷重条件下での強度挙動および破面の相違についても検討を加えた。

2. 供試材料および試験片

本研究に供試材料として用いたのは、高炭素クロム軸受鋼JIS.SUJ2でありその化学成分および非金属介在物の清浄度を表1、表2に、また熱処理条件および静的引張り試験での機械的性質を表3、表4にそれぞれ示している。材料はすべてφ23球状化焼鈍材として供給されたものを、図1(a)(b)(c)に示す試験片の形状、寸法に幾分の仕上げしろを残して機械加工し、所定の熱処理を施した。次いで所定の寸法に機械研削したのち表面をエメリ紙#1500まで研磨し、実験に供した。

表1 供試材料の化学成分

| Material | Chemical composition (wt%) | | | | | | |
|----------|----------------------------|------|------|-------|-------|------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
| SUJ2 | 1.01 | 0.31 | 0.31 | 0.012 | 0.006 | 1.54 | 0.02 |

表2 供試材料の清浄度

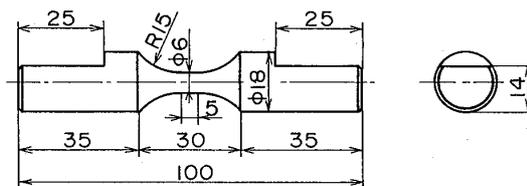
| A type | B+C type | Total |
|--------|----------|-------|
| 0.013 | 0.006 | 0.019 |

表3 熱処理条件

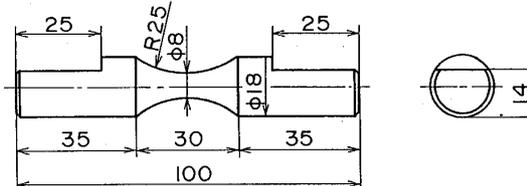
| Quenching | Tempering |
|--------------------------|------------------|
| 835°C 40min., 0.Q.(70°C) | 180°C 2hr., A.C. |

表4 機械的性質

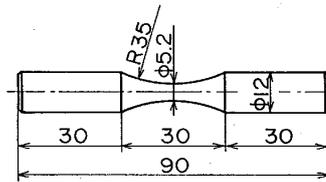
| Material | Ultimate tensile strength σ_B MPa | 0.2% proof stress $\sigma_{0.2}$ MPa | Elongation $\delta\%$ | Reduction of area $\phi\%$ | Hardness HRc |
|----------|--|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|
| SUJ2 | 2461 | 1667 | 1.0 | 2.3 | 61.8 |



(a) 通常のねじり疲労試験片



(b) 衝撃ねじり疲労試験片



(c) 回転曲げ疲労試験片

図1 試験片形状および寸法

3. 実験装置および実験方法

本研究は衝撃ねじり荷重下での疲労強度を調べ、通常のねじり荷重下での結果と比較対応させることにより、衝撃ねじり荷重の疲労挙動に与える影響を明らかにしようとするものである。試験機は運転速度の高速化、また通常および衝撃の両荷重条件下の実験が同一の試験機で行えるように試作した両振り衝撃ねじり疲労試験機を用いたが、その原理図を図2に示している。

本試験機の作動原理は次の通りである。回転軸にそれぞれ2個の偏心質量を取り付けた回転速度が1750 rpmの振動モータを荷重源とし、これの回転に伴い発生する遠心力の水平方向成分のみを取り出し、これにより衝撃端子をねじり負荷棒に固定された回転翼に交互に衝突させ、試験片に両振り衝撃ねじり負荷を与える。また、すきま調節棒を回転翼に締め付けると、回転翼と衝撃端子は一体となり、試験片には振動モータの回転による正弦波荷重が作用する。なお、荷重の検

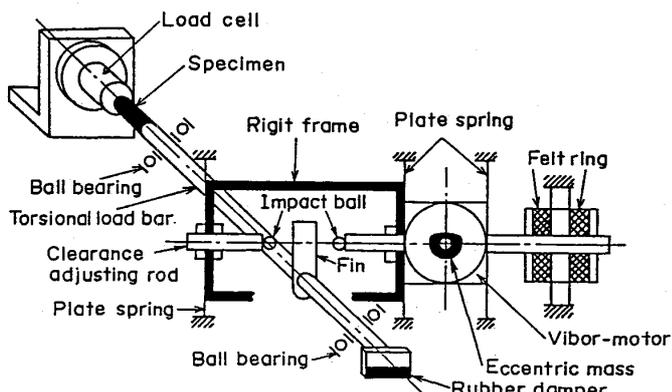


図2 振動モータ式衝撃ねじり疲労試験機の原理図

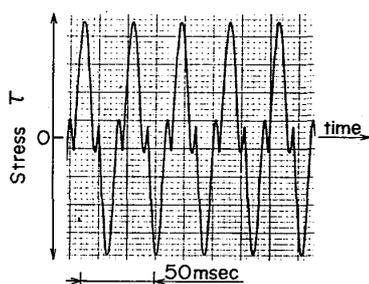


図3 衝撃ねじり応力波形の一例

出はチャック部に設けられたロード・セルおよび試験片のφ18mm部分に貼付したひずみゲージにより、応答周波数50KHzの直流増幅器を介してデジタル・メモリスコープで測定を行った。

本試験機により得られた衝撃ねじり応力波形の一例を図3に示している。図にみるように応力立ち上がり時間は約5msecであり、完全両振り衝撃ねじり荷重が作用している様子が観察される。

なお、本研究では小野式回転曲げ疲労試験機(3420 rpm)を用いて、回転曲げ疲労試験も併せて行った。

4. 実験結果および考察

4.1 疲労強度

本実験においては打切り繰返し数を 10^7 とし、同

一の試験機により行われた通常のねじり荷重下および衝撃ねじり荷重下での疲労試験結果、また回転曲げ疲労試験による疲労試験結果をS-N線図上に示したものが図4である。

まず、通常のねじり荷重下での疲労限度は約560MPaをとることができる。一方、衝撃ねじり疲労強度についてみると、実験範囲全域で通常のねじり疲労強度を上回っており、長寿命側に向かうほど通常のねじり疲労強度に漸近する傾向にあるが、疲労限度は通常のねじり疲労強度とほぼ等しい。

緒言で述べたように、軸方向荷重および曲げ荷重下においては、総じて衝撃疲労強度は通常の疲労強度を下回ることが明らかにされており、本研究にみるように高強度鋼および著者らがすでに報告している結果から、ほぼ鉄鋼材料全般にわたってねじり荷重下においては、衝撃疲労強度は通常の疲労強度より安全側もしくは同等の強度を示すことが明らかになった。

次いで、回転曲げ疲労試験の結果についてみると、疲労限度は約850MPaをとることができるが、有限寿命範囲での結果のバラツキは通常のねじり疲労試験に比較して大きい。

4.2 疲労破面観察

回転曲げ疲労、通常のねじり疲労および衝撃ねじり疲労試験の各荷重条件下での疲労破壊起点部付近の破面観察例を図5～図7にそれぞれ示す。

まず、回転曲げ疲労試験での結果についてみると、破壊形式は引張り破壊型であり、破面形態としては、これまで高強度鋼での疲労破面で知られているようなフィッシュ・アイの形成がみられる。すなわち、表面より幾分内部に入った起点を中心に平坦な粒内破壊域、粒内・粒界破壊を含んだ疲労破壊域および最終破壊域が順に同心円状に観察された。起点部はこれまで報告されているように非金属介在物がほとんどであるが、

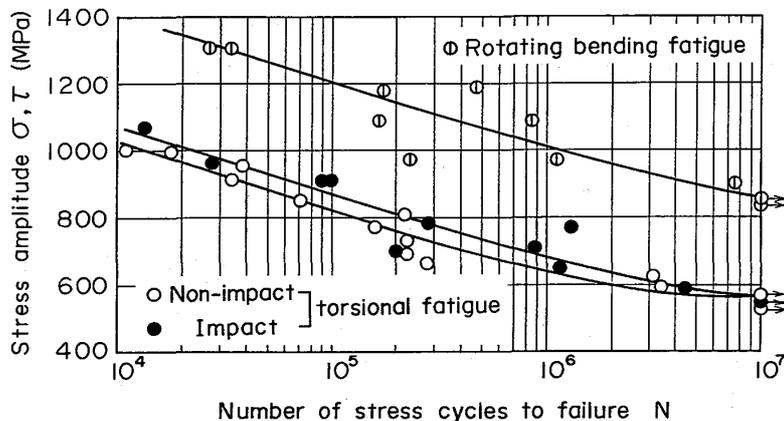
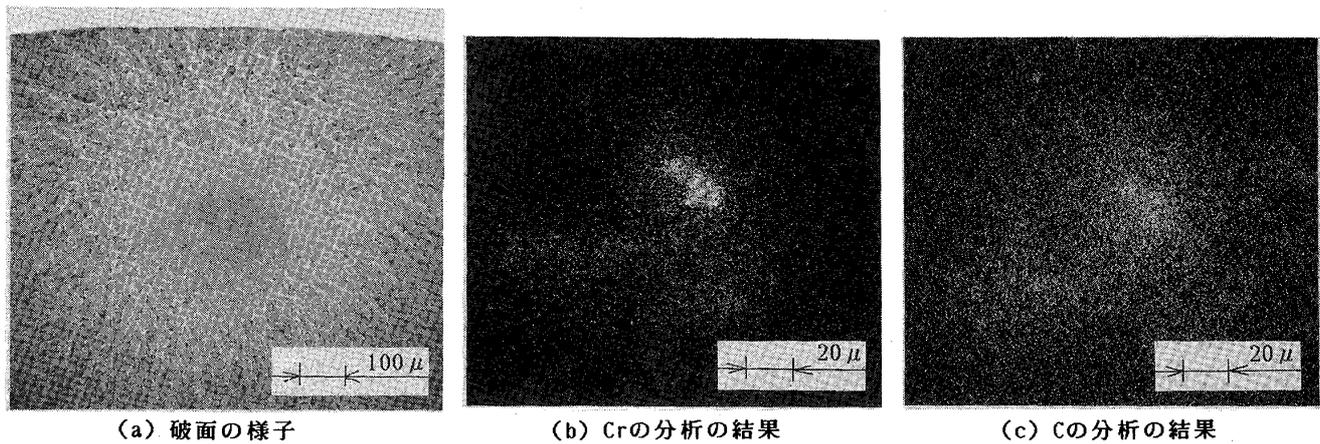


図4 SUJ2の疲労試験結果



(a) 破面の様子

(b) Crの分析の結果

(c) Cの分析の結果

図5 回転曲げ疲労試験での破面の様子

一部に炭化物の偏析によるものがあり、その破面を図5(a)に、また起点部付近のEPMAによる分析結果を図5(b),(c)にそれぞれ示す。

次に、図6に示した通常のねじり疲労試験での結果についてみると、破壊形式はせん断・引張り破壊型の組合せであり、破壊形態はせん断破壊部を起点とした一種のフィッシュ・アイの形成がみられる。しかし、起点となったせん断破壊部には一部に非金属介在物が認められたが、多くの場合には非金属介在物などの内部欠陥に相当するものは確認されなかった。またせん断破壊部の大きさは低応力側に向かうほど小さくなる傾向がみられた。一方、図7に示した衝撃ねじり疲労試験では、破壊、破面形態とも通常のねじり疲労の場合と同様のものが観察され、両荷重条件下における疲労破面での特徴的な破壊様式の差異は認められなかった。

高強度鋼での回転曲げ疲労破面では、破壊起点のほとんどが非金属介在物のような内部欠陥であることが、本研究の結果も含めて多くの報告がされている。しかし、本研究の結果に示したようにねじり疲労試験では、破壊起点に内部欠陥が確認されないこと、また図4に示したように通常のねじり疲労試験では回転曲げ疲労試験に比較して有限寿命範囲での結果のバラツキが小さいことから、ねじり荷重下では内部欠陥の影響を受けにくく、マトリクスの強度をより強く反映していることが推察される。

5. 結 言

- (1) SUJ2 を用いて行った衝撃ねじり疲労試験の結果、衝撃ねじり疲労強度は通常の疲労強度を上回り、長寿命側に向かうほど通常のねじり疲労強度に漸近する傾向にあるが、両者の疲労限度はほぼ等しくなる。
- (2) 疲労破面観察の結果、通常のねじりおよび衝撃ねじり荷重下とも、一種のフィッシュ・アイの形成

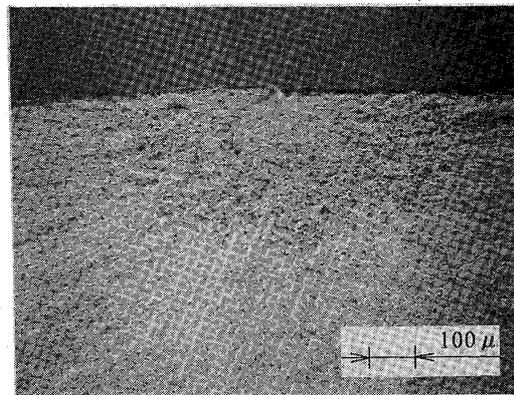


図6 通常のねじり疲労試験での破面の様子

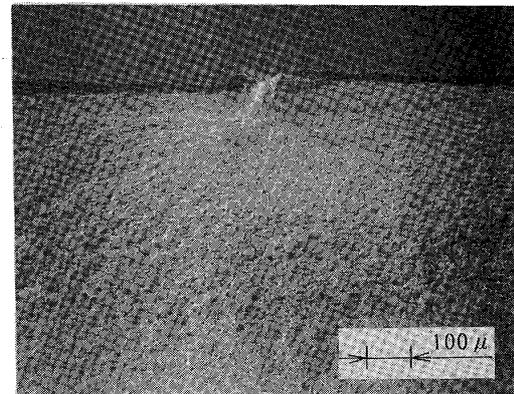


図7 衝撃ねじり疲労試験での破面の様子

がみられたが、両荷重条件下での特徴的な破壊様式の差異は認められなかった。

- (3) ねじり疲労試験では、破壊起点に非金属介在物などの内部欠陥が観察されず、疲労試験結果でのバラツキが小さいことから、ねじり荷重下では内部欠陥の影響を受けにくいことが推察される。

参考文献

- 1) 能瀬, 坂本, 中山, 材料システム, 6,181,(1987)
- 2) 能瀬, 坂本, 中山, 第19回疲労シンポジウム講演論文集,160,(1988)