

G0400303

## 回転曲げ疲労試験中の塑性仕事に起因する局部温度上昇の検討について

山本 泰三<sup>\*1</sup>, 廉 本寧<sup>\*2</sup>, 後藤 浩二<sup>\*3</sup>

### The study of the heat generation caused by the cyclic plasticity work during rotating bending fatigue test

Taizoh YAMAMOTO<sup>\*1</sup>, Benning LIAN<sup>\*2</sup> and Koji GOTOH<sup>\*3</sup>

<sup>\*1,2</sup> Yamamoto Metal Technos Co. Ltd.,  
4-7 Setoguchi 2-chome, Hirano-ku, Osaka, 547-0034 Japang

<sup>\*3</sup> Kyushu University,  
744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

Fatigue property in gigacycle regime is focused as an important subject in recent years. In such a long life region, a tremendous long period is required to perform fatigue tests. In order to overcome this difficulty, a multi-type rotating bending fatigue testing machine of cantilever type has been developed. It is known that this type of fatigue machine can be performed much quickly comparing with the tension and compression fatigue testing machines, and the fatigue dates are matched with many experimental dates in the past though the dates of an ultrasonic fatigue testing machine are unclear.

Researchers would like to carry out fatigue tests at the rotating speed as fast as possible, but the maximum speed of a rotating bending fatigue test are limited because of the heat generation caused by the cyclic plasticity work and the clamping area of a specimen. Each maximum loading frequency may as well be limited by each raised temperature to affect the fatigue properties of base materials. However each appropriate limited loading frequency is unclear because it is very difficult to measure the temperature of the fracture portion of a specimen precisely during the rotating bending fatigue test.

The measuring technique of the temperature near the fracture portion in a specimen during the rotating bending fatigue test of cantilever type is proposed, and the maximum speed of a rotating bending fatigue testing machine is discussed about the validity in this study.

**Key Words** : Maximum speed, Loading frequency, Rotating bending fatigue testing machine, Measuring temperature, Fracture portion, Specimen, Rotating bending fatigue testing machine, Cantilever type, Heat generation

---

<sup>\*1</sup> 株式会社山本金属製作所 (〒547-0034 大阪府大阪市平野区背戸口 2-4-7)

<sup>\*2</sup> 株式会社山本金属製作所 (〒547-0034 大阪府大阪市平野区背戸口 2-4-7)

<sup>\*3</sup> 九州大学 大学院工学研究院海洋システム工学部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail: yamakin@mx1.alpha-web.ne.jp

## 1. 緒 言

金属素材の疲労試験は、十分な SN データを採取するのに長時間を要する問題があったが、近年、文献 2, 3, 5 に示されるような多連式の回転曲げ疲労試験機が開発され、引張圧縮疲労試験よりも高能率で、かつ超音波疲労試験とは異なり過去の疲労データの互換性があることも検証された。しかし、JISZ 2274 より最高回転数が制限されている為、試験機能力的にはさらに高速回転にて負荷できたとしても、有効な試験データを得るためにはその制限速度内で実験を行う必要がある。速度制限が設けられている理由の 1 つに塑性仕事に起因する試験片の局部温度上昇があるが、実際にどの程度の温度上昇が生じているか不明な為、必要以上に負荷速度を下げている可能性がある。

本研究では、回転曲げ疲労試験中に生じる塑性仕事に起因する試験片破断部周辺の温度を正確にモニタリングすることで、負荷速度制限の妥当性について検討する。

## 2. 4 連式回転曲げ疲労試験

著者の一部らが開発した図 1, 2 で示す片持ち式 4 連式回転曲げ疲労試験機を活用することで、疲労試験に要する時間、特に近年需要が増しているギガサイクル領域の疲労試験において、試験時間短縮の効果が非常に大きい事を考慮し、本研究では文献 4 で示す同機種最新式の YRB300L を用いることとした。



Figure1 Dual-spindle rotating bending fatigue machine YRB300L (front)

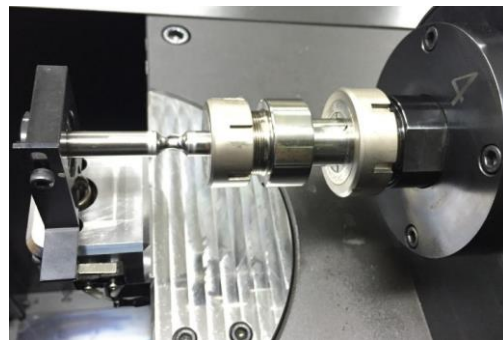


Figure2 Dual-spindle rotating bending fatigue machine YRB300L (chucking parts of specimen)

## 3. 回転曲げ疲労試験用無線式温度監視ツール

図 3 は、著者らが新たに開発した無線式温度監視ツールの概略図を示す。ツールホルダ内部に増幅器、A/D 変換器を配置し、熱電対のアナログ信号をデジタル信号に変換し、無線インタフェースを持つマイコンを用いて温度計測結果を無線で送信し、受信機に接続された PC により温度計測結果をリアルタイムで表示・記録でき、最大 3 点の温度同時計測ができる。その為、熱電対先端を試験片内部に接地させる事で、試験片内部温度を計測しながら、データを無線でパソコンに転送できる。その温度監視ツールは、図 3, 図 4 に示す交換可能な直径の異なるアダプタを組み付けることができ、アダプタの一方を温度監視ツールの Chuck に組み付け、もう一方を試験機本体のコレットチャックに組み付ける事で、チャックサイズが異なる回転曲げ疲労試験機に取り付けることができる。

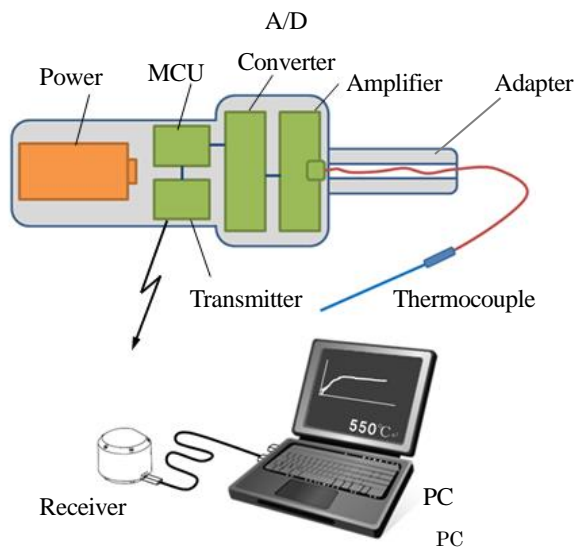


Figure3 Construction of the wireless temperature monitoring tool

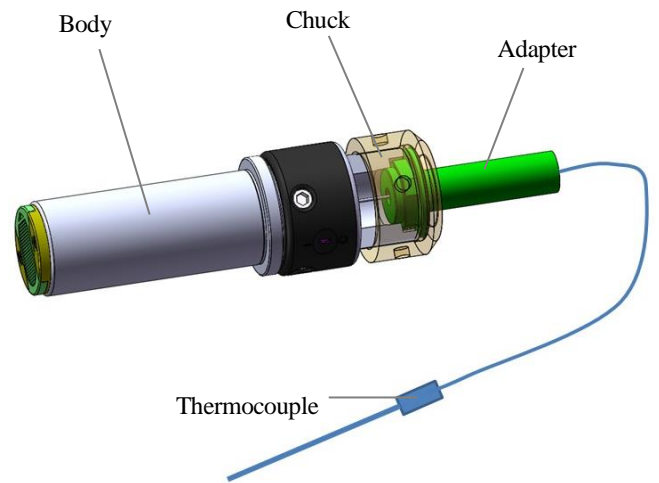


Figure4 Appearance of the wireless temperature monitoring tool

## 4. 実験結果

### 4・1 試験片中心部の温度測定

試験片中心部の塑性仕事に起因する温度上昇を検討する為、アルミニウム合金 A6N01 を用いて、図 5 に示すような形状に製作した回転曲げ試験片内部の 3 か所に熱電対を接地させ、図 6 に示すように試験片をセットした反対側のスピンドル組付け部に無線式温度監視ツールを取り付けた。また、回転数による温度上昇の差も確認する為、3000rpm と 6000rpm の回転数条件下で各部位の温度測定を行った。

その結果を図 7, 図 8 に示す。試験片の温度上昇は塑性仕事が行われている中心部だけでなく、試験片と試験機本体の組付け部の spindle side と adapter side でも発生し、回転数が上がれば、より試験機回転機構部の温度が上昇していることが分かった。

以上より、片持ち式回転曲げ疲労試験機における試験片中心の温度は塑性仕事によって発生する熱と試験機本体から伝わってくる熱の合算であると推察される。

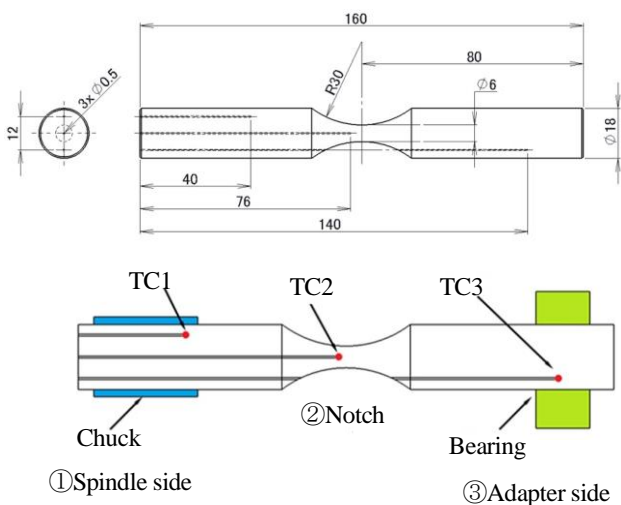


Figure 5 Setting position of thermocouples inside specimen

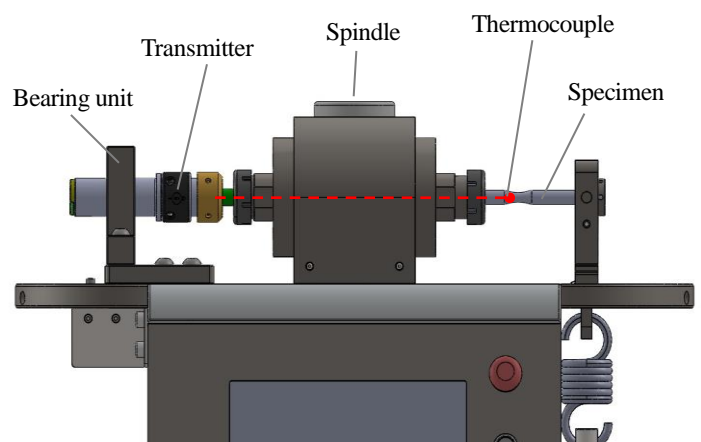


Figure 6 Construction of the wireless temperature measuring system

Temperature gradient (Load=30.7MPa)

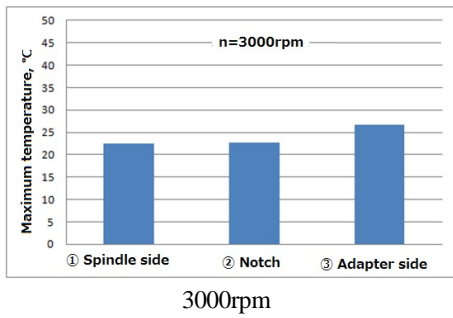


Figure 7 Relation between position and temperature inside the specimen (3000rpm)

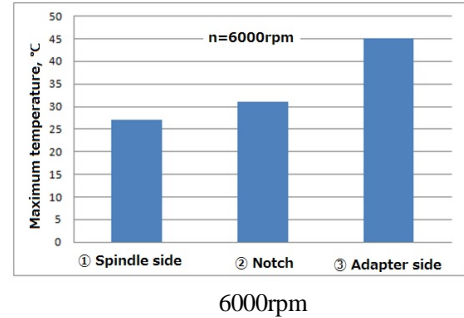


Figure 8 Relation between position and temperature inside the specimen (6000rpm)

#### 4・2 回転数と試験片の温度の関係

回転数に応じた回転曲げ疲労試験中の試験片破断部周辺の温度の関係を把握する為、A6N01、及び AZX611 素材を用い、図 9 に示すように片持ち式試験片の片側から試験片中心近傍まで、直径 0.5mm の熱電対接地用の穴を開けた。

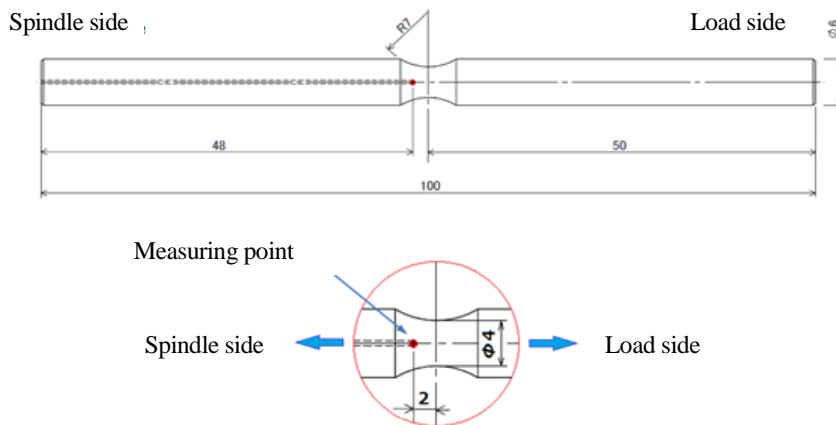


Figure9 Specimen for temperature monitoring (material: AZX611)

Table1 Test conditions

Speed	3000rpm	5000rpm	6000rpm
Applied stress range			
15MPa(A6N01)	A1	B1	C1
15MPa(AZX611)	A2	B2	C2

表 1 に示す荷重と回転速度の組み合わせパターンにて疲労試験を行い、図 6 に示すように無線式温度監視ツールをセットし、試験片破断部周辺の温度をモニタリングした。測定結果は図 10、図 11 に示す。各回転数において、試験片が発熱し収束するまで計測し続けたが、温度上昇量は各素材においてそれぞれ 20 度に満たないことから、疲労試験結果に影響を与えるような発熱ではないと言える。

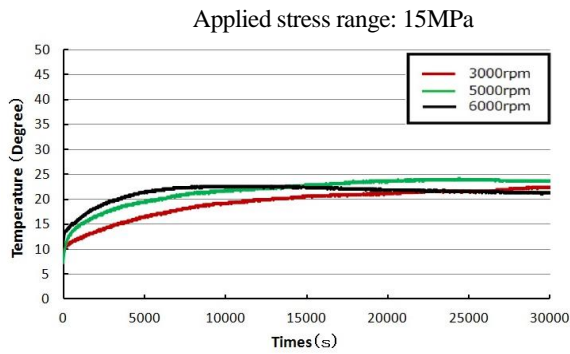


Figure 10 Results of temperature monitoring  
(material:A6N01)

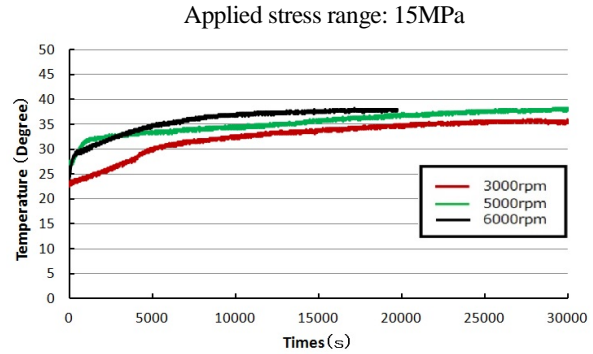


Figure 11 Results of temperature monitoring  
(material:AZX611)

## 5. 結 語

試験片内部に熱電対を接地し，著者らが開発した無線式温度監視ツールを多連式回転曲げ疲労試験機に組付ける事により，試験中に生じる試験片温度のリアルタイム測定を可能とした．また，この測定結果から下記の事が確認された．

- 1) 片持ち式回転曲げ疲労試験では試験片の温度は adapter side で最も上昇することから，試験中の温度上昇は，塑性仕事に起因する温度上昇よりも，試験片組付け部周辺のベアリングからの発熱の影響が大きい．
- 2) 回転数が増加すると，試験片内部温度は上昇する．
- 3) 試験片破断部近郊の温度上昇は，JIS 規格を満足する 3000rpm と同規格で定められた速度制限（5000rpm）を上回る 6000rpm で比較すると，若干 6000rpm の方が高いが，疲労寿命に影響を与えるような温度上昇はない．
- 4) 今回の実験結果より，現在の JIS 規格における回転曲げ疲労試験の制限速度は，過剰に制限されている可能性が考えられる為，今後実際に疲労試験を行い，制限速度の妥当性についてさらに検証を進めていく必要がある．

## 文 献

- (1) 新堂正俊，松田亮，古木辰也，廣垣俊樹，青山栄一，“無線多機能ホルダシステムを用いたエンドミル工具の多点加工温度モニタ”，2015 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集， pp. 359-364.
- (2) T. Yamamoto, A. Kokubu, T. Sakai, I. Kiyama, Y. Nakamura, “DEVELOPMENT AND FUNDAMENTAL PERFORMANCE OF DUAL-SPINDLE ROTATING BENDING FATIGUE TESTING MACHINE WITH SPECIAL DEVICE PROVIDING CORROSIVE ENVIRONMENTS”, VHCF5
- (3) T. Yamamoto, A. Kokubu, T. Sakai, Y. Nakamura, “Development and Several Additional Performances of Dual-Spindle Rotating Bending Fatigue Testing Machine GIGA QUAD”, VHCF6
- (4) 株式会社山本金属製作所ホームページ，URL “<http://www.yama-kin.co.jp/products/gigaquad/yrb3001/index.html>”
- (5) “極限環境下におけるギガサイクル 4 連式回転曲げ試験機の開発”， MECHA VOCATION 2015 Vol.22, pp.13