極薄板疲労試験機の実用化

西畑三樹男* 荒瀬 昇** 崎田 栄一***

1. 開発の背景

通信、情報機器、例えば、電話機、リレー、スイッチ、プリントなどには、寸法 0.1 mm 以下のステンレス鋼、銅合金、磁性合金ばねが各方面で広く使用されている。

ばねの疲労強さ(実寿命)は、設計、製造加工、実使用に対する指針と種々な機器の小形化、高速化、高密度化を達成する面からも重要な性質である。

一方、ばね製造、実寿命における疲労強さ向上については、材料寸法が小さくなるほど組織、介在物、表面残留応力、表面あらさなどに直接左右される。これに対し、従来より、疲労試験ならび疲労現象については広く研究⁽¹⁾⁽²⁾されているが、寸法 0.1 mm 以下材料の疲労試験機については未検討の分野であった。

筆者らは、以上のような見地から、主として電子ばね材料に用いられている板厚 0.1 mm 以下の極薄板の疲労強さならびに疲労現象、実寿命を解明する目的で、新しいプリー曲げ方式による極薄板疲労試験機を実用した。

現在までに(1)試験片形状、(2)試験速度、(3)応力負荷、(4)破断現象、(5)機差、(6)応用などについて繰返し実験を行い、ばね技術研究において、極薄板疲労試験の標準化について検討中である。

図1 極薄板疲労試験機.

2. 極薄板用疲労試験機の考え方

疲労試験機には、負荷応力の種類、駆動方式により種々なものがある。

薄板用疲労試験機は、1970年代⁽¹⁾に動電形加振機を利用した両振曲げ疲労試験機が開発され、板厚 0.15 mm 以上の

* 日本ベルパーツ株式会社代表取締役社長

** 株式会社東衛テスタック専務取締役

*** NTT技術協力センター主任技師

Development of Fatigue Testing Machine for Very Thin Metal Sheets; Mikio Nishihata*, Noboru Arase**, Eiichi Sakita*** (*NIPPON BELL PARTS Co., Ltd. **TOKO TESTACK Co., LTD. ***NTT Technical Assistance & Support Center)

1993年1月25日受理

電子材料の疲労強さが明らかにされた。しかし、この試験機は片持ちり曲げ方式のため、板厚が 0.1 mm 以下と薄くなると固定法、変位計測、試料長、応力負荷等に制限があり極薄板には使用できない。そこで、板厚 0.1 mm 以下の疲労試験機の設計、製作には、以下の条件を設定した。

- (1) 繰返し回数 10^7 回以上の連続運転に安定した動作をすること。
- (2) 有害な寄生振動を発生しないこと。
- (3) 駆動力および変位の測定が容易であること。
- (4) 複数試験片の疲労試験が同時にでき、個々の繰返し数を正確に記録できること。
- (5) 試験片の適切な保持、固定等の着脱が容易であること。

さらに試験結果の利用応用のため、材料の基本となる $S-N$ 曲線とその材料を用いた部品の使用寿命、破断、破損の関連データが求め易いことも考慮した。

3. 極薄板疲労試験機の原理、構成

図 1 に試験機の外観を示す、試験機の大きさは、幅 500 mm、奥行 300 mm、高さ 800 mm で試験片は両側に 5 本ずつ、計 10 本の試験が同時にできるようになっている。

図 2 は試験機の基本原理を示したものである。試験片の形状は図 3 に示すもので、掴み部の部分にスナップピン用の穴を設けている。

応力は試験プーリ径が変わることに与えられる。試験は、試験片と駆動補助ベルト(SUS304、板厚 0.2 mm)をスナップピンで結び、それぞれ試験プーリと駆動プーリに取り付ける。また、曲げ応力を正確に与えるために、コイルスプリングにより試験片には 9.8~29.4 N の張力が負荷できるようにしている。試験は曲げ応力と引張応力を負荷した状態で、試験片に揺動運動を与える。揺動運動はモータに取付けられたフライホイールを回転させることによりコンロッドは上下運動し、クランクアームを介して試験片に伝達される機構となっている。

曲げ応力は試験プーリ径を変えることにより適宜選定できる。試験プーリは鉄鋼であるが他の試験目的にはセラミクス等も使用できる。上述のように試験片には曲げ応力と引張応力が作用し、一般に次式で表される。

(1) 曲げ応力(σ_b)、 $\sigma_b = (t/P)E$ 、ここに t は試験片の板厚、 P は試験プーリ径、 E はヤング率。

(2) 引張応力(σ) $\sigma = T/A$ 、 T は張力、 A は試験片断面積。
上記(1)、(2)の応力組合せは揺動運動に伴い以下のようなになる。

$$\text{最大応力}(\sigma_{\max}) = \sigma_b + \sigma = (t/P)E + T/A$$

$$\text{最小応力}(\sigma_{\min}) = \sigma = T/A$$

$$\text{平均応力}(\sigma_m) = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 = (t/2P)E + T/A$$

$$\text{応力振幅}(\sigma_a) = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 = (t/2P)E.$$

本試験機は繰返し応力として、部分片振り応力を負荷する機構となっている。

4. 極薄板ステンレス鋼の $S-N$ 曲線

板厚 0.02, 0.05, 0.1 mm SUS304 ステンレス鋼、圧延率 40% 材とそれを 450℃ で熱処理したテンションアニーリング材について疲労試験を行った。

試験片の加工は、加工歪の影響を除くため、すべてホットエッチングにより作成した。

図 4 は板厚 0.02 mm, TA 材の試験速度 600, 1000 rpm の $S-N$ 曲線で、張力は 163.3 MPa である。

図 2 極薄板疲労試験機の原理図。

図 3 試験片形状。

図4 板厚 0.02 mm 極薄板ステンレス鋼の S-N 曲線.

図5 極薄板ステンレス鋼の S-N 曲線.

表1 極薄ステンレス鋼の疲労試験結果.

試料	板厚 (mm)	張力 (N)	試験速度 (rpm)	ビッカース硬さ HV	引張強さ σ_B (MPa)	疲労強さ σ_w (MPa)	$\frac{\sigma_w}{\sigma_B}$	$\frac{\sigma_w}{HV}$
SUS304(TA)	0.02	9.8	1000	416	1091	392	0.36	0.94
SUS304(TA)	0.02	9.8	600	416	1091	392	0.36	0.94
SUS304(TA)	0.05	9.8	1000	383	1096	445	0.41	1.16
SUS304(TA)	0.05	24.5	1000	383	1096	445	0.41	1.16
SUS304(TA)	0.1	19.6	1000	378	1024	490	0.48	1.30
SUS304(H)	0.02	9.8	1000	414	1092	392	0.36	0.95
SUS304(H)	0.02	9.8	600	414	1092	392	0.36	0.95
SUS304(H)	0.05	9.8	1000	364	1043	445	0.43	1.22
SUS304(H)	0.05	24.5	1000	364	1043	445	0.43	1.22
SUS304(H)	0.1	19.6	1000	370	1022	490	0.48	1.32

(H) 冷間圧延材, (TA) テンションアニーリング材.

図にみられるように極薄板材の場合、疲労強さ、S-N 曲線の傾向に試験速度の影響はみられない。

図5はTA材、板厚0.02および0.05 mmの1000 rpm、引張応力163.3 MPaのS-N曲線である。

両者の疲労強さには明確な差はみられない。

なお、張力の大きさ29.4 Nと9.8 Nについて検討したが、この範囲では張力の影響がないことを認めた。

表1は極薄板ステンレス鋼H材とTA材、板厚0.02～0.1 mm試料から求めた疲労強さである。疲労強さは、比較的厚い試料に比較して極薄板は σ_w/σ_B 値が高く、薄くなるにつれて疲労強さは増加する傾向にあるといえる。

以上のように本試験機を用いることにより、未検討であった板厚0.1～0.02 mmの疲労強さが高精度で得られることが判明した。

5. 標準試験法および寿命試験への応用

板厚0.1 mm以下ばね材料の疲労試験機としての実用性が明らかになり、ばね技術研究会で標準化について検討中⁽³⁾である。

また、本試験機はプリー曲げ方式と小形であるため、つぎのような寿命試験や比較試験ができる。

- (1) めっき複合材の試験
- (2) 組合せ摩耗試験
- (3) 潤滑および腐食疲労試験
- (4) 高温、高湿、低湿疲労試験

文 献

- (1) 西畑三樹男, 熊倉保夫: 薄板細線用疲れ試験機, ばね論文集, 21(1976), 24.
- (2) 日本材料学会編: 機械材料とその試験法, (1971), 82.
- (3) 日本ばね工業会: 極薄板ばね材料の特性評価法に関する調査報告書, 平成5年5月.