

コアピン用疲労試験機の製作

佐竹忠昭 鈴木和雄 高橋誠二

山形大学工学部 技術部

概要

携帯電話や PC 等に使用される微小なコネクタ - の射出成形に使用される金型部品がコアピンである。今回、コアピンの専門メ - カ - の依頼により、微小部品であるコアピン用疲労試験機を共同で試作した。試験片にはコアピンに類似の形状寸法を採用し、作用する応力の算出には片持はりの式を用いた。応力振幅の負荷にはオルダム継ぎ手を応用したクランク機構を採用した。試験片の固定端から荷重点までの長さを変えることにより応力振幅を変化させ、繰返し速度は 6 Hz とした。また、疲労試験には長時間を要するため、試験片の破断時に試験機が自動的にストップするよう自動停止装置を製作した。製作した試験機による疲労試験を実施した結果、耐久性に問題がなくコアピン用の疲労試験機として使用可能であることが分かった。

1 はじめに

近年、携帯電話や PC 等の情報通信機器は急速に小型薄型化・高機能化されつつある。これら機器の部品の中にケ - ブルを接続するコネクタ - があり、部品として低背・狭ピッチ化が求められている。コネクタ - は一般に高分子の射出成形により製造される。この金型の部品がコアピンであり、例を図 1 に示した。0.3~0.5mm ピッチの突起部を有し研削と放電加工により製作されている。材料には工具鋼を使用し、焼入れと焼戻しを施すことによりかなり高強度となっている。



図 1 コアピンの形状と寸法

しかしながら 射出成形の繰返しによって突起部に繰返し応力が作用し疲労破壊する。このため、より疲労強度の高いコアピンを製作するためには、加工条件や熱処理条件等を変化させた時の疲労強度特性を知る必要がある。

今回、コネクタ用コアピンの専門メ - カ - の依頼により、微小部品であるコアピン用疲労試験機を試作した。本報では問題点等を含めその製作について紹介する。

2 疲労試験機の製作

2.1 疲労試験片

図 1 に示すような現物のままの状態での疲労試験を行うことは困難であるため、できる限り現物に近い形状と寸法を考えた。また、射出成型時にコアピンの突起部に作用する負荷応力の様式は不明であるが、基本的には曲げ応力が繰返し作用すると仮定した。以上のことを念頭に図 2 に示すような疲労試験片を採用した。

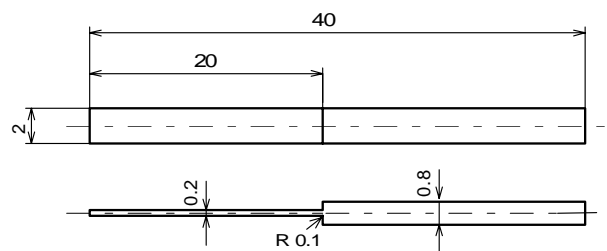


図 2 試験片の形状と寸法

疲労試験は図3のように、厚さ 0.8mm の部分を固定し、0.2mm の部分に対して完全両振りの繰返し曲げ応力を作用させる様式とした。このため、段付の部分には応力集中が作用することになる。

2.2 曲げ応力の算出 [1]

曲げ応力の算出に際しては図3に示すような矩形断面の片持ちばりを想定した。この時、固定端の曲げ応力 および自由端の変位 y は次式によって表される。

$$= M / Z \quad (1)$$

$$M = PL \quad (2)$$

$$y = PL^3 / 3EIz \quad (3)$$

ここで M : モーメント [Nm], Z : 断面係数 ($= bh^2/6$) [m³], P : 荷重 [N], L : はりの長さ [m], E : 弾性係数 [GPa], Iz : 断面二次モーメント ($= bh^3/12$) [m⁴], b : 試験片幅, h : 試験片厚さ [m]

弾性係数は 210 GPa とした。

式(1)~(3)より応力は次式のように求められる。

$$= 3hy / 2L^2 \quad (4)$$

変位 y が大きい場合、(4)式は厳密には適用できないが近似的に成立すると考えた。

2.3 疲労試験機の製作

a) 応力振幅の負荷

疲労試験では、試験片に作用する応力を変化させながら、破断時の繰返し数を測定する。(4)式より試験片に作用する応力を変化させるためには振幅 y とはりの長さ L を変化させればよいことになる。

ここで、振幅 y を与える方法としてクランク機構を採用し、振幅の変化はオルダム継手を参考にして偏心量を変化させることを考えた。機構の概要を図4に示した。固定円盤 A に対して円盤 B がスライドすることによって偏心量を変化させる機構になっている。

これまでの疲労試験結果では疲労限が約 1000 MPa と得られている。図2に示した試験片固定端の応力集中を考慮し、この近傍で応力振幅を変化させることとした。いま仮に、はりの長さを 10mm とすると、この時の変位量は式(4)から $y = 1.58$ mm と得られる。このことから、変位振幅は 2mm 程度あれば十分であり、余裕を持って最大 3mm の振幅を得られるように設計した。前述のように、はりの長さ L を変化させることによって応力振幅を変化させることが可能である。実際の試験

においては、偏心量を変えるよりもはりの長さを変化させる方が容易である。このため、実際の試験には、変位を固定してはりの長さを変える方法により応力振幅を変化させた。試験片取り付け状態を図5に示した。

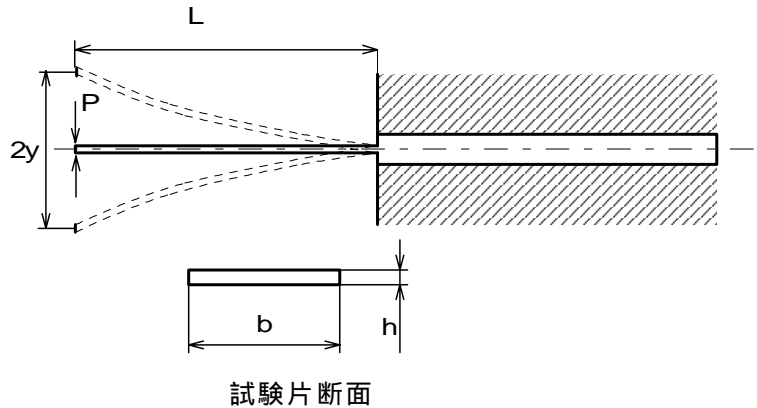


図3 試験片に作用する応力の算出

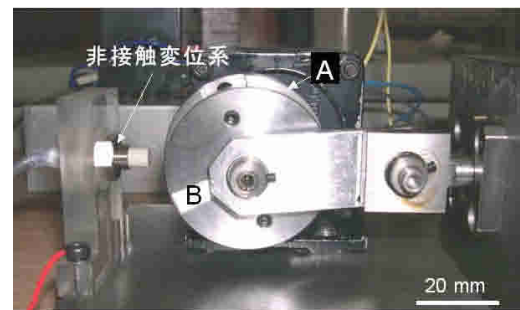


図4 クランク機構

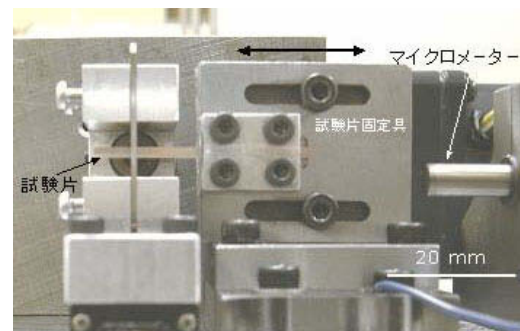


図5 試験片固定具

試験片固定具を左右にスライドさせることによってはりの長さ(固定端から荷重点までの長さ)を変化させる機構である。

荷重点と試験片の接触状態が負荷応力を評価する上で重要ポイントである。摩擦力や拘束力等が加担すると、曲げ以外の応力成分が発生するためである。構造としては図6に示すように、厚さ1mmの加変位板2枚により試験片を両側から挟み込む様式とした。試験片接触部分には拘束力を軽減するため半径5mmの曲率を与えた。

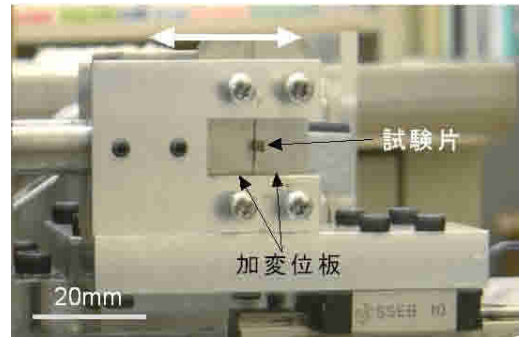


図6 加変位板

b) 繰返し速度とモータの選択

1個のコネクタを射出成形で製造するのに7~8 secを要する。これと同等の繰返し速度で試験を実施するのが理想であるが、本実験では試験時間を短縮するため繰返し速度を6 Hzとした。また、繰返し速度を変化させて試験する場合のことを想定して2~8 Hzまで可変になるように製作した。モータのトルクについては、はりの長さ10 mmに変位2 mmを付与するためには式(3)より1.6 Nの荷重をかければよいことになる。この時のトルクは0.0033 Nmとなることから、小型のモータでも十分であることが分かった。以上のことから、モータにはオリエンタルモータ-K.K.製レバシブルモータを採用した。定格が消費電力23 W、トルク0.4 Nm(1400 rpm時)のモータを減速比3のギヤヘッドを介して試験機に取り付けた。

c) 自動停止装置

試験片の破断時に実験者がその場に居合わせていなければ試験機をストップさせることはできない。10⁶回(6 Hzで46.3時間)の疲労寿命に対応する耐久限を求めるような試験の場合には、昼夜連続の運転が必要であり、試験片破断に対応できる自動停止機構が必要となる。このため、試験片に微弱な電流を流し、破断(電流が流れない状態)した際に試験機が自動的に停止する装置を製作した。装置の外観を図7に示した。

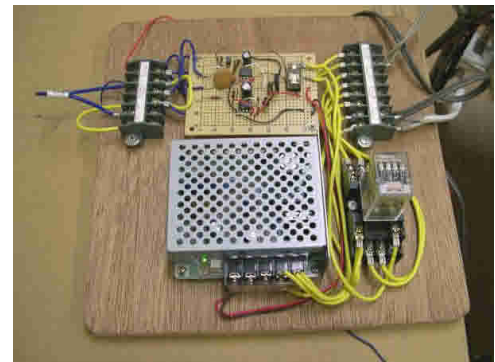


図7 自動停止装置

d) 繰返し数の測定

図4中に示すように、繰返し数はクランク後方に設置した非接触変位計により計数した。

3 コアピン用疲労試験機の全体構成

図8に製作したコアピン用疲労試験機を斜め上方と正面から見た図を示した。前節に記述した事項以外に考慮した点は以下の事項である。

- 1) 摺動部にはベアリングを使用した。
- 2) 試験片には自動停止装置用に微弱な電流を流すため、試験片固定部をアクリル板を介して台座に取り付けることにより試験片を装置本体と絶縁した。図中赤青のリード線は自動停止装置へ接続してある。
- 3) 荷重点部の往復運動を安定化するためLMガイドを使用した。
- 4) 固定端から荷重点までの距離はマイクロメータにより測定した。

4 疲労試験結果及び問題点

製作した試験機を使用して疲労試験を実施した。当初、加変位板には先端に半径 5 mm の曲率をつけた S45C 材を使用し、軽く接触させる方式で試験を実施した。結果を図 9 に印で示した。一般的な疲労強度特性曲線の形状が得られたが、試験片との接触部で摩耗する問題を生じた。このことは試験片と加変位板との間に大きな摩擦力が作用していることを示唆しており、試験片に単純曲げの以外の応力が作用していることが考えられる。このため、材質を工具鋼の焼入れ材に換えると同時に試験片と加変位板間に 0.25 mm のクリアランスを設けることとした。試験結果を図 9 に印で示した。その結果、摩耗現象は減少し、図から明らかなように疲労強度が著しく上昇した。理由として、クリアランスを設けることにより試験片に作用する応力がより単純曲げに近くなったためと考えられる。この結果を基に試験片の変形とクリアランスについて検討した結果、

試験片の片側に 0.25 mm、両側で 0.5 mm のクリアランスを設ければ良いことが分かった。現在この様式で疲労試験を実施している。

現在、 10^6 回までの繰返し数を限度に、すでに数 10 本の試験片について実験を実施したが、試験機には何の問題も生じなかった。このため、疲労試験装置の耐久性については問題無いと判断している。

5 おわりに

疲労試験機は、試験の性質上高剛性、高耐久性が求められる。当初、試験機自体の耐久性を心配したが、現在までのところ順調に稼働している。今後、さらに改良を加え、より信頼性の高い試験機として行く予定である。

試験機を共同で製作するとともに、今回、発表を認めていただいた山形精研株式会社 染谷工場長に感謝いたします。また、日頃からご指導いただいている本学 菅野幹男 教授、松田則男 助教授、岡崎勝利 助手に感謝いたします。

参考文献

[1] 樋口盛一、斎藤秀雄、“弾性及び材料力学”，養賢堂

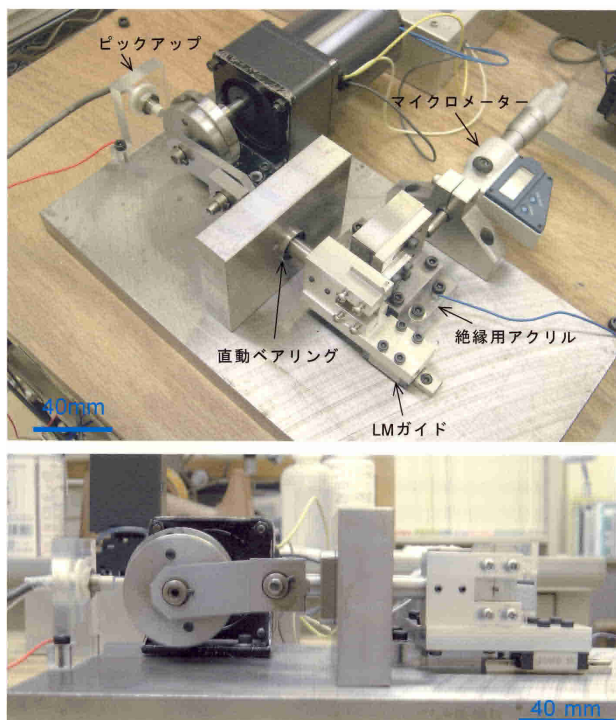


図 8 試験機の全体構成

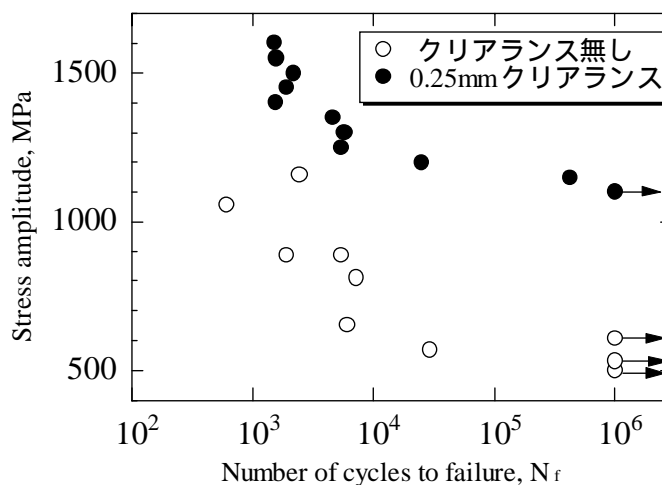


図 9 S-N 曲線