フレキシブルプリント配線板の高屈曲寿命化技術

本上 満*, 堂田 一介**

Technologies of Higher Flexural Fatigue Life for Flexible Printed Circuit Boards

Mitsuru HONJO* and Kazuyuki DOUTA**

*日東電工株式会社回路材事業部技術統括部 (〒519-0193 三重県亀山市布気町919)

**日東電工株式会社信頼性技術開発センター (〒519-0193 三重県亀山市布気町919)

*Product Development Dept., Printed Circuits Div., Nitto Denko Corporation (919 Fuke-cho, Kameyama-shi, Mie 519-0193)

**Reliability Technology Development Center, Nitto Denko Corporation (919 Fuke-cho, Kameyama-shi, Mie 519-0193)

1. はじめに

フレキシブルプリント配線板(以下FPCと略す)は薄くかつ屈曲性に優れ、コンピュータの周辺機器や最近機能進化が著しいモバイル機器に組み込まれている。屈曲性はFPCの最大の特徴である。したがって、繰り返し曲げに対する耐久性能はFPCにとって最も重要な基本機能として位置づけられる。

FPCの構造と屈曲性の関係および屈曲性向上への具体的な取り組み、そしてFPCの設計段階で屈曲寿命を予測する技術について検討した結果を報告する。

2. FPCの高屈曲化

2.1 FPC構造と屈曲特性

FPCの構造はFig. 1に示すように屈曲部は通常片面(導体層1層)構造をしている。

FPCの屈曲特性を調べるため、IPC-240規格に準拠した独自設計のFPCサンプルを用い、FPCの構造や構成材料と屈

曲寿命の関係を調べた。Fig. 2にIPC-240規格に準拠した屈曲試験法を示す。

本試験法による評価結果として、Fig. 3にFPCの総厚と屈曲寿命の関係、Fig. 4に接着剤の弾性率と屈曲寿命の関係、Fig. 5にポリイミドフィルムの弾性率と屈曲寿命の関係、Fig. 6に銅箔自身の屈曲寿命とFPCの屈曲寿命の関係

Fig. 3 Relationship between thickness of FPC and flex fatigue life

Fig. 4 Relationship between elastic modulus of adhesive and flex fatigue life

Fig. 1 Cross section of FPC

Fig. 2 IPC flex tester

Fig. 5 Relationship between elastic modulus of PI film and flex fatigue life

Fig. 6 Relationship between copper foil fatigue and flex fatigue life

Fig. 7 Construction of Ultra Thin FPC

を示す。これらの図から、FPCの総厚と接着剤の弾性率がFPCの屈曲寿命に大きな影響を与えることがわかる。

以上のことから、FPCの総厚を薄くする、弾性率の高い接着剤を使用することでFPCの屈曲特性を向上させることができる。

2.2 超極薄 FPC

総厚を薄くすることで屈曲性を高めたFPCとして薄形化と高寸法安定性を両立させた超極薄FPCを開発した。超極薄FPCはFig. 7に示すように、導体パターンを感光性ポリイミドによる絶縁層で支持した構造となっている。

超極薄FPCに使用した感光性ポリイミド樹脂の特性をTable 1に示す。

Table 1. Properties of Photosensitive PI

Item	Unit	Polyimide
Tensile strength	MPa	286
Coefficient of thermal expansion	ppm/Deg.C	14.0@25 Deg.C
		17.6@100 Deg.C
Density	g/cm ³	1.4
Modulus of elastic	Gpa	6
Poisson ratio		0.3
Water absorption ratio	%	1.5
Coefficient of hygroscopic expansion	ppm/%	40
Dielectric constant		3.08 (1 MHz)
Elongation ratio	%	36
5% weight loss temperature	Deg.C	488

Fig. 8 Ductility tester

Fig. 9 Relationship between thickness of FPC and flex fatigue life

ベースの絶縁層が5μm、導体厚が10μm、カバー絶縁層が5μmである超極薄FPCを製作し、屈曲特性と屈曲時の反発力の試験を行った。

超極薄FPCのダクティリティ試験(Fig. 8)による屈曲特性の試験結果をFig. 9、反発力(Fig. 10)の試験結果をFig. 11に示す。ここでダクティリティ試験とは、Fig. 8に示すよう

Fig. 10 Stiffness property test

Fig. 11 Relationship between thickness of FPC and bias force

に2本のマンドレルという金属棒の間にFPCを通し、サポートローラの間を上下させることで屈曲試験を行うものである。

反発力の測定は、Fig. 10に示すように2枚の板の間にFPCをU字状に入れることで測定する。

Fig. 9およびFig. 11に示す試験結果から、超極薄FPCは屈曲性に優れ、しかも屈曲時における反発力が非常に小さい結果が得られた。

2.3 高温屈曲用FPC

HDDやDVDなどに使用されるFPCには使用環境や機器の動作による温度上昇のため、高温屈曲性の要求が高まっている。Fig. 12に汎用接着剤と高温屈曲用接着剤によるFPCの80℃におけるIPC-240規格に準拠した屈曲試験結果を示す。図から高温屈曲用FPCは高温領域で良好な屈曲寿命を有していることがわかる。

Fig. 13に汎用接着剤と高温屈曲用接着剤に対する弾性率の温度特性を示す。高温環境での使用に対しては、高温領域で弾性率の低下が少ない接着剤を使用することで高温領域でも良好な屈曲性を実現させることができる¹⁾。

3. 屈曲寿命予測技術

3.1 FPCの屈曲寿命

FPCの設計段階で屈曲疲労寿命を予測できれば、FPCの

Fig. 12 Relationship between curvature radius and FPC flex fatigue life at 80 Deg.C

Fig. 13 Relationship between elastic modulus of adhesive and temperature

効率的な開発ができると考えられる²⁾。

FPCの屈曲疲労現象は、屈曲部に繰り返し加えられる歪みによって導体回路が破断する現象である。

よって、歪みの大きさを評価できれば屈曲寿命を予測できると考えられる。

銅箔に生じる歪み ε はFPCの厚みを T 、銅箔の厚みを t 、曲率半径を R とすると、一般的に式(1)で表される³⁾。

$$\varepsilon = \frac{t}{2R+T} \quad (1)$$

Fig. 14に曲率半径と屈曲寿命の関係、Fig. 15に接着剤の種類が異なるFPCと屈曲寿命の関係、Fig. 16に曲率半径を固定し屈曲のストロークを変化させた場合の屈曲寿命につ

Fig. 14 Relationship between curvature radius and flex fatigue life

Fig. 15 FPC fatigue life characteristics at 80 Deg.C

Fig. 16 Relationship between stroke and flex fatigue life (Copper foil single unit)

Table 2. Thickness and physical property of FPC materials (80 Deg.C)

	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Polyimide	0.025	4000	0.35
Copper foil	0.035	47000	0.34
Adhesive 1	0.020	2800	0.40
Adhesive 2	0.020	1700	0.40
Adhesive 3	0.020	1200	0.40

Fig. 17 Boundary condition

いて試験した結果を示す。

曲率半径の大きい方が屈曲寿命は長くなることは容易に理解できる。しかし、接着剤の種類が異なると屈曲寿命が異なり、さらに屈曲時のストロークの大きい方が屈曲寿命が短くなるという現象は理解することが難しい。

式(1)にはFPCの設計因子はほとんど含まれておらず、複数の設計因子が変わった場合の屈曲寿命の予測は困難である。

3.2 有限要素法による屈曲解析

銅箔屈曲部に生じる歪みは、通常測定するのは困難であるため有限要素法による弾塑性解析を行った。解析に使用したFPCの構成はFig. 1と同様である。また、構成材料の特性をTable 2に示す。接着剤は弾性率の異なるものを3種類とした。銅箔および接着剤を弾塑性体、ポリイミドフィルムは弾性体として2次元弾塑性解析を行った。なお、境界条件はFig. 17に示すようにIPC試験法を反映させた条件としている。

有限要素法による解析を行った結果、FPCはストロークを与えられることにより、Fig. 18に示すように半円状から曲率半径が小さい形状に変形するという結果が得られた。この変形が実際に生じるかを確認するため、高速度カメラにて屈曲中のFPCを撮影した結果をFig. 19に示す。図から有限要素法で得られた形状とほぼ一致していることが確認され、有限要素法による解析結果に妥当性があることがわかる。

3.3 屈曲寿命予測式

Table 2に示す材料にて構成したFPCを用い、各種試験条件下において銅箔に生じる歪みを有限要素法により解析し

Fig. 18 Change in shape of FPC (Analysis using FEM)

Fig. 19 Change in shape of FPC (High-speed photography)

た。その歪みの解析結果と実際に IPC-240 に準拠した試験を実施して得られた屈曲寿命の関係を Fig. 20 に示す。図から寿命予測カーブは試験環境温度、接着剤の種類、曲率半径に依存しないマスターカーブで表すことができ、式(2)に示す屈曲寿命予測式が得られた。

$$N_f = 1.66 \times 10^{-31} \times \varepsilon^{-31.7} \quad (2)$$

ここで、 N_f : 屈曲寿命、 ε : 銅箔屈曲部に生じる歪み
銅箔に生じる歪みが評価できれば式(2)からおよその屈曲寿命を予測することができる。

4. おわりに

FPC の厚みおよび接着剤の弾性率が FPC にとって最も重要な基本機能である屈曲特性に大きな影響を及ぼすことを示し、屈曲特性を向上させた具体例として、超極薄 FPC と

Fig. 20 Relationship between strain on curved section of copper foil and fatigue life

高温屈曲用 FPC の紹介を行った。

また、FPC の設計段階で屈曲寿命の予測を可能にするための手法として、有限要素法による応力解析から屈曲時に銅箔に生じる歪みを評価することで屈曲寿命予測式を導出した結果に関して報告を行った。

(2004.4.29-受理)

文 献

- 1) 宮明稚晴：“フレキシブルプリント基板の高温屈曲寿命信頼性評価”，日東技報，Vol. **37**, No. 2, pp. 37-38, 2001
- 2) 堂田一介，宮明稚晴，三宅 清：“屈曲疲労寿命予測技術で迫るフレキシブルプリント基板開発”，日東技報，Vol. **39**, No. 1, pp. 66-70, 2001
- 3) 鈴木秀人：“フレキシブルプリント配線板の耐折寿命に関する強度学的研究”，日本機械学会論文集（A 編），Vol. **57**, No. 534, pp. 448-453, 1991

本上 満（ほんじょう みつる）
昭和32年生まれ。昭和58年，神奈川大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。現在，日東電工株式会社回路材事業部技術統括部において，フレキシブルプリント配線板の特性評価に従事。

堂田 一介（どうた かずゆき）
昭和40年生まれ。平成5年，金沢大学工学部電気情報工学系卒業。現在，日東電工株式会社信頼性技術開発センターにおいて，高周波，応力関連のシミュレーション技術の開発に従事。