

УДК 621.3.019; 539.5

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МОНТАЖНИХ З'ЄДНАНЬ ГНУЧКИХ СТРУКТУР У СКЛАДІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Д.т.н. В. Є. Овчаренко¹, д.т.н. М. А. Омаров², к.т.н. В. В. Невлюдова²

1. Державне підприємство Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування, м.Харків

2. Харківський національний університет радіоелектроніки

В роботі розглянуті питання забезпечення динамічної гнучкості ГС та заходи із захисту їх від механічних впливів, що є основними причинами руйнування. Розглянуті причини низької надійності виробів радіоелектроніки з інженерних позицій і визначено, що вони є в основному наслідком конструкторських, технологічних і експлуатаційних помилок. До експлуатаційних помилок віднесено використання в невідповідних технічних умовах режимів експлуатації: електричних перевантажень, в умовах дії підвищених (знижених) температур, атмосферного тиску, вібрацій, прискорень, радіації, вологості, агресивних середовищ, акустичних коливань.

В работе рассмотрены вопросы обеспечения динамической гибкости ГС и мерам по защите их от механических воздействий, которые являются основными причинами разрушения. Рассмотрены причины низкой надежности изделий радиоэлектроники с инженерных позиций и определено, что они в основном являются следствием конструкторских, технологических и эксплуатационных ошибок. К эксплуатационным ошибкам отнесены, использование в несоответствующих техническим условиям режимов эксплуатации: электрических перегрузок, в условиях действия повышенных (пониженных) температур, атмосферного давления, вибраций, ускорений, радиации, влажности, агрессивных сред, акустических колебаний.

The paper considers the issues of ensuring the dynamic flexibility of the horizontal wells and measures to protect them from mechanical stress, which are the main causes of destruction. The reasons for the low reliability of electronics products from an engineering standpoint are examined and it is determined that they are mainly the result of design, technological and operational errors. Operational errors are attributed to use under operating conditions that do not meet the technical conditions: electrical overloads, under conditions of increased (lowered) temperatures, atmospheric pressure, vibrations, accelerations, radiation, humidity, aggressive environments, and acoustic vibrations.

Ключові слова: гнучкі друковані плати, руйнування, механічні впливи, деформації

Вступ

На сучасному етапі розвитку радіоелектронної промисловості, особливо мікроелектронної, із появою великих і надвеликих інтегральних схем стало очевидним, що традиційні методи конструювання та монтажу друкованих вузлів електронної техніки (ЕТ) не можуть забезпечити виконання вимог, які висувують до них, тому були запропоновані нові методи так званого

поверхневого монтажу (SMT, COB, TAB, COF-технології), коли електронні компоненти ЕТ розташовуються не на штирьових виводах, встановлених у відповідних отворах у друкованій платі (ДП) або припаяних до відповідних пелюсток, а безпосередньо на контактних площинках на ДП, сформованих струмопровідними доріжками, або для монтажу використовуються спеціальні носії, виготовлені з гнучких матеріалів (поліімід, лавсан, поліефір) [1-4]. Це дозволило не тільки досягти у величезній мірі мініатюризації складених таким чином виробів, а й призвело до значного зниження їх маси та вартості, оскільки дані технології передбачають наявність повністю автоматизованого виробництва.

Розробка чергових поколінь елементної бази (інтегральна, потім функціональна мікроелектроніка), посилення вимог до електронних пристроїв, вимагали розвитку техніки друкованого монтажу та призвели до створення багатопланових, гнучких і рельєфних друкованих плат.

Різноманіття сфер застосування електроніки зумовило спільне існування різних типів ДП [5].

Гнучкі друковані плати (ГДП) та гнучко-жорсткі плати (ГЖП) [6] є відносно новими напрямками розвитку сучасних технологій. При цьому гнучкі шлейфи давно та досить широко використовуються для внутрішньо- і міжблоочної комутації вузлів ЕТ.

ГДП виготовляються на еластичній основі товщиною 0,1 ... 0,2 мм. Різновидом ГДП є гнучкий друкований кабель (ГДК) або шлейф. Такі ГС знаходять широке застосування, якщо плати піддаються вібраціям, багаторазовим вигинам або коли їм необхідно надати вигнуту форму.

Тому особливу увагу варто приділити питанням забезпечення динамічної гнучкості гнучких структур (ГС) та заходам із захисту їх від механічних впливів, що є основними причинами руйнування.

Надійність гнучких друкованих плат

Зокрема, під час розробки та оптимізації технологічного процесу (ТП) складання вузла ЕТ на основі ГС технічно доцільним є аналіз технологічних факторів, що визначають кінетику процесу формування монтажних з'єднань у ГС для визначення оптимальних режимів монтажу. Крім того, необхідно проаналізувати вплив конструктивних і технологічних факторів на напружено-деформований стан елементів мікроз'єднань.

Однією з серйозних проблем є забезпечення

високої якості контактування ГДП зі з'єднувачами для сполучення із жорсткими частинами вузлів ЕТ [7].

Зниження надійності ГДП може бути обумовлено різними причинами: неточністю розрахунків характеристик виробу на етапі його проектування; неоптимальність прийнятих конструкторських рішень на етапі конструювання; порушенням технології виробництва на етапі виготовлення; недотриманням норм експлуатації та цілим рядом випадкових причин, які заздалегідь передбачити і оцінити неможливо [8].

Під час теоретичних досліджень і розрахунків параметрів ГДП, неможливо точно врахувати всі фізичні явища, які відбуваються в них.

Розглядаючи причини низької надійності виробів радіоелектроніки з інженерних позицій, можна стверджувати, що вони є в основному наслідком конструкторських, технологічних і експлуатаційних помилок.

До конструкторським помилок можна віднести неоптимальний вибір принципової електричної схеми виробів з точки зору виконання покладених на неї функцій, комплектуючих елементів, вихідних матеріалів, які не в повній мірі враховують фізико-хімічні властивості, електричні, теплові, електромагнітні та інші режими роботи елементів плати і апаратури в цілому. До них відносять також недостатність заходів щодо допусків і стабілізації параметрів комплектуючих компонентів, невдалу компоновку, неефективність засобів захисту ГДП від дестабілізуючих факторів і способів її резервування, а також прорахунки чисто технічного порядку.

До технологічних помилок відносяться: використання незадовільних за якістю комплектуючих виробів і матеріалів; недосконалість обраних технологічних процесів і недотримання їх точного виконання; недостатню організацію та неефективність контролю якості; недосконалість технологічного обладнання; недостатній рівень автоматизації виробничих процесів; порушення санітарно-гігієнічних норм виробництва.

До експлуатаційних помилок відносяться, використання ГДП в невідповідних технічних умовах режимах експлуатації: електричних перевантажень, в умовах дії підвищених (знижених) температур, атмосферного тиску, вібрацій, прискорень, радіації, вологості, агресивних середовищ, акустичних коливань. До експлуатаційних помилок слід також віднести природні і неминучі фактори старіння, які характеризуються дрейфом параметрів електроніки і виходом їх за межі встановлених допусків, викликані фізико-хімічною деградацією матеріалів в часі, а також зносом виробів радіоелектроніки внаслідок їх старіння.

Відмовостійкість ГДП, як і всіх виробів радіоелектроніки, зручно характеризувати «кривою життя», яка ілюструє залежність інтенсивності відмов, що відбуваються в ній λ від часу t . Така ідеалізована крива для ГДП приведена на рис. 1. Вона характеризується трьома явно вираженими періодами: припрацювання I, нормальної експлуатації II і зносу III.



Рис. 1. Ідеалізована «крива життя» виробів радіоелектроніки

Припрацьовуючі відмови спостерігаються в перший період $(0-t_1)$ експлуатації виробів радіоелектроніки. Вони виникають, коли частина елементів, що входять до складу ГДП, є або бракованими, або мають низький рівень надійності. Вони можуть бути також наслідком неякісного виконання складальних операцій і помилок при монтажі. Оскільки тривалість періоду напрацювання ГДП визначається в основному інтенсивністю відмов неякісних елементів, що входять до її складу, то тривалість безвідмовної роботи таких елементів зазвичай порівняно низька, тому виявити і замінити їх вдасться за порівняно короткий час.

Раптові відмови спостерігаються в другій період (t_1-t_2) експлуатації ГДП. Вони виникають несподівано внаслідок дії ряду випадкових факторів, і попередити їх наближення практично не представляється можливим. Однак і такі відмови підкоряються певним закономірностям. Зокрема, частота їх появи протягом досить великого проміжку часу однакова в однотипних ГКП.

Період нормальної експлуатації ГДП характеризується тим, що інтенсивність її відмов в інтервалі часу (t_1-t_2) мінімальна і має майже постійне значення. Період нормальної експлуатації ГДП невідповідального призначення може тривати десятки тисяч годин. Він може навіть перевищувати час морального старіння апаратури.

Тривалість періоду II обмежують для ГДП зносом і природним старінням її елементів. Відповідно до рис. 1 це відбувається в точці t_2 (після закінчення часу t_1-t_2). Раптові відмови можуть бути наслідком технологічних і експлуатаційних помилок.

Відмови в результаті зносу і відмови, викликані старінням матеріалів, спостерігаються в третій період (t_2-t_3) експлуатації ГДП. Вони в більшості випадків є закономірним наслідком поступового зносу і природного старіння використовуваних в апаратурі матеріалів і елементів. Залежать вони головним чином від тривалості експлуатації і віку виробів радіоелектроніки. Середній термін служби компонента до зносу величина більш певна, ніж час виникнення напрацьовуючих і раптових відмов. Їх появу можна передбачити на підставі дослідних даних, отриманих в результаті випробувань конкретної апаратури.

Завершується період зносу III (а разом з ним припиняється і експлуатація виробів), коли інтенсивність

відмов наблизиться до максимально допустимого значення для даної конструкції ГДП.

Всі перераховані види відмов носять випадковий характер.

Механізми руйнування ГС

Як уже зазначалося, поряд із перевагами ГС виникає також багато труднощів. Більшість з них під час розробки, виготовлення та експлуатації ГС пов'язані з іншим, у порівнянні з жорсткими ДП, механізмом руйнування.

Існує три найбільш небезпечних і поширених причини руйнування ГС:

- циклічні пружнопластичні деформації під час багаторазових згинань. Даний вид деформації прийнято вважати найбільш небезпечним;
- пружнопластичні деформації розтягування;
- резонансне руйнування за «робочого» (розтягнутого) стану ГС.

Крім руйнування гнучкої основи ГС також можливе порушення її працездатності через руйнування електричних з'єднань встановлених на ГС елементів з основою.

Деформації типу «вигин»

Відповідно до розглянутих вище варіантів застосування ГС у виробках ЕТ і МЕМС-компонентах можна виділити типові схеми деформації гнучких конструкцій [9-10]:

- поперечний (рис. 2, а) та багаторазовий (рис. 2, б) вигини ГС;
- розтягнення-стиснення ГС (рис. 2, в);
- резонансна деформація ГС (рис. 2, г);

Найбільш небезпечними поширеними видами впливів, за яких відбувається руйнування ГС, є пружнопластичні деформації за багаторазових згинань або так звана малоциклова втома матеріалу [11]. Тому одним із завдань дисертаційних досліджень є дослідження даного виду впливів на ГС.

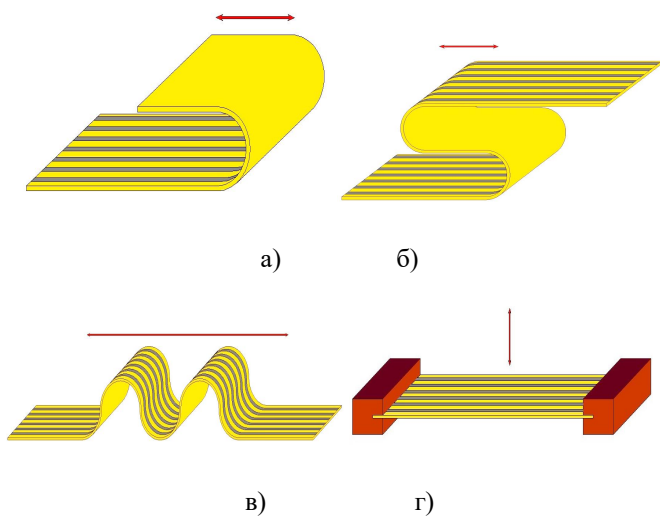
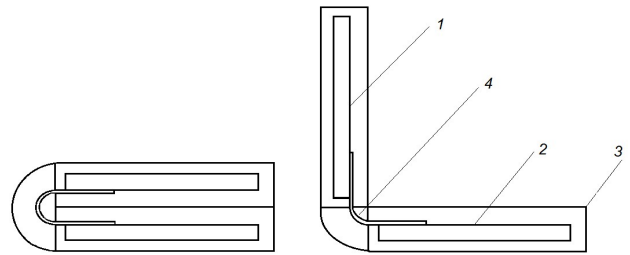


Рис.2. Види деформацій ГС

Найбільш поширеною причиною таких видів деформацій є перехід з компактного вимкненого стану виробу ЕТ, що містить ГС, у робочий – ввімкнений (рис.3).



1, 2 – жорсткі ДП; 3 – корпус; 4 – ГС

Рис. 3. Приклади структур модулів ЕТ з використанням ГС

Також даний вид деформації виникає у виробках ЕТ і компонентах МЕМС, у яких ГС використовується для з'єднання двох або більшої кількості жорстких модулів, які обертаються один відносно іншого вздовж певної осі, наприклад в антенах, ноутбуках, датчиках, HDD та ін.

Така деформація може призвести до відшарування фольгованого провідника від діелектричної основи, пластичної деформації провідникової системи, виникнення тріщин у провідниках [12].

Деформації, які представлені на рис. 2, а і 2, б є характерними для портативних виробів ЕТ і МЕМС-пристроїв різного застосування, наприклад для ГС, що застосовуються у сонячних батареях, принтерах тощо. Дефекти, що виникають під час таких деформацій, аналогічні до тих, що мають місце під час «чистого» вигину.

Відповідно до літератури, найбільшу небезпеку за таких видів деформації представляють вигини ГС із малим радіусом. Радіус перегину ГС є визначальним параметром виникнення дефектів. Розробивши методику розрахунку даного параметра та змінюючи технологічні параметри ГС, можливо підвищити довговічність і стійкість виробів ЕТ за умови впливу на них дестабілізуючих факторів.

Деформації типу «розтягнення-стиснення»

Ще одним різновидом розповсюджених деформацій ГС, що виникають у довгих лініях, антенній апаратурі тощо, є дефекти, що викликані розтягуванням-стисненням ГС. Даному виду деформації можуть піддаватися як окремі ділянки ГС, так і вся вона цілком [11].

На відміну від друкованих модулів на жорсткій основі, складова «стиснення» даного виду деформації не є небезпечною для ГС завдяки їх конструкційним особливостям. У той же час «розтягнення» для ГС створює значну ймовірність виникнення дефектів через більш тонку основу ГС у порівнянні з жорсткими конструкціями.

Основними дефектами, що виникають за такого роду деформацій, відповідно до проведеного аналізу, є обрив провідників і руйнування ГС у місцях контакту зі з'єднувачами.

Резонансне руйнування

Досить рідкісним, але вкрай небезпечним є резонансне руйнування ДП, що виникає за умови співпадіння частоти зовнішніх вібрацій із власною частотою ДП. На відміну від жорстких ДП, для ГС даний тип впливів є небезпечним лише за її знаходження у «розтягнутому» робочому стані.

Під час попереднього розрахунку власної частоти коливань ГС існує можливість розробки автоматичної системи детектування частоти зовнішніх коливань, яка за умови співпадіння даних частот змінює тип натягу ГС або переводить її у «неробочий» стан з метою уникнення можливих дефектів.

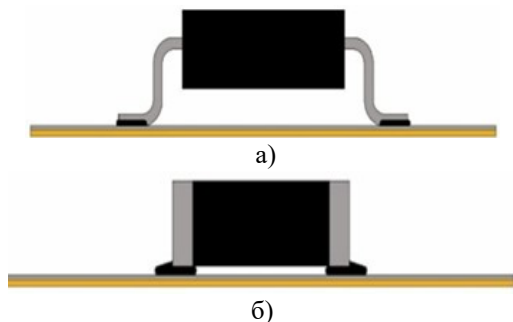
Таким чином, у процесі проведеного огляду проаналізовано можливі причини та варіанти виникнення дефектів ГС у складі виробів ЕТ і компонентів МЕМС, а також поставлені завдання запобігання їх виникнення за допомогою розробки технологічних і конструкційних методів виготовлення ГС.

Аналіз можливих руйнувань електричного контакту «електронний компонент-основа ГС»

Дефекти основи ГС не є єдиною причиною виходу з ладу виробу ЕТ. Крім описаних вище, можуть також виникнути дефекти, що викликані виходом з ладу електричних компонентів і міжз'єднань «електронний компонент-основа ГС».

Поверхневий монтаж є основною технологією виготовлення електричних модулів на основі ГС. Для такого монтажу використовуються спеціальні компоненти, що монтується на поверхню (КМП), тобто на контактні площадки на ГС. Руйнування електричного контакту «ЕК-основа ГС» (рис. 4) може відбуватися через дію двох основних впливів: критичного розтягування або вигину гнучкої основи.

Причинами руйнування є значна відмінність модулів пружності основи ГС і елементів, які на ньому встановлені.



а) елемент з дротовими/стрічковими виводами;
б) КМП-елемент

Рис. 4. Установка елементів на ГС

У таблиці 1 представлені основні види виникаючих дефектів електричних з'єднань.

Таблиця 1.

Основні види виникаючих дефектів електричних з'єднань

Елемент з дротовими/стрічковими виводами	КМП-елемент
Дефекти електричних з'єднань, що викликані неякісними паянням	
Дефекти електричних з'єднань, що викликані неякісною адгезією шарів фольгованого алюмінію та полііміду	
Дефекти електричних з'єднань і розрив провідників, що викликані деформацією типу «вигин»	
Дефекти електричних з'єднань під час розриву	

Можливими шляхами максимального зменшення можливості виникнення дефектів електричних з'єднань є:

- використання елементів навісного монтажу. Однак застосування даного виду монтажу викликає необхідність використовувати елементи з малою масою та невеликою кількістю виводів;
- можливість використання ультразвукового зварювання для з'єднання елементів з гнучкою основою за умови використання навісного монтажу (рис. 5).



Рис. 5. З'єднання елемента за допомогою зварювання

Однак даний вид з'єднання викликає необхідність використання елементів із тонкими виводами з матеріалу фольги гнучкої основи. Також для створення зварних з'єднань ультразвуком виникає необхідність у створенні спеціальних вікон у полііміді.

Даний вид з'єднання дозволить позбутися точок підвищеної концентрації механічних напружень, що виникають під час застосування припою;

- розташування елементів вздовж лінії передбачуваних вигинів, що значно знизить їх деформацію та ймовірність виникнення дефектів.

На підставі проведеного аналізу видів деформацій, що виникають у ГС і призводять до їх руйнування, запропоновано наступні рекомендації з технологічного забезпечення якості ГС, які застосовуються у виробі ЕТ і МЕМС-компонентах:

- для зменшення впливу деформацій типу «вигин» на алюмінієву провідникову систему доцільно обирати поліімідний фольгований матеріал з більш тонким шаром

алюмінію (за зберігання площі перерізу провідника за рахунок збільшення його ширини), що дозволить зменшити відстань від «нейтральної лінії» до граничних шарів провідника та призведе до зниження нормальних напружень у даних шарах і, у свою чергу, дозволить забезпечити менший радіус вигину ГС;

- під час виготовлення одношарових ГС є доцільним використання захисного поліімідного покриття (рис. 6), що дозволить не тільки забезпечити більш високу ступінь захисту тонкої фольгової провідникової системи, але і дозволить змістити «нейтральну лінію» у центральні шари провідників [13]. У порівнянні з незахищеними (рис. 7), ГС із захисним поліімідним покриттям дозволять додатково знизити нормальні напруження у граничних шарах алюмінію;



Рис. 6. Одношарова ГС із захисним поліімідним покриттям і адгезивним шаром

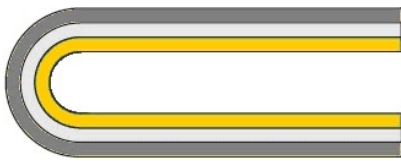


Рис. 7. Одношарова ГС з адгезивним шаром без захисного поліімідного покриття

- під час трасування ГС необхідно дотримуватися стратегії, яка дозволяє максимізувати динамічний час життя та надійність за статичної гнучкості. Для цього провідники у зоні ймовірних деформацій мають відповідати таким умовам:

- 1) перпендикулярність до напрямку вигину;
- 2) рівномірний розподіл вздовж області вигину;
- 3) максимальна ширина в області вигину;
- 4) відсутність додаткової нарощеної металізації;
- 5) постійна ширина;
- 6) «шахове» розташування у суміжних шарах (для багатошарових ГС);
- 7) кількість шарів у гнучкій частині має бути зведено до мінімуму (для багатошарових ГС);
- 8) металізовані наскрізні отвори не допускаються, для міжшарових з'єднань і для установки елементів на ГС

доцільно використовувати УЗ-зварювання;

9) «нейтральна вісь вигину» повинна проходити через центр перерізу провідника.

Висновки

У процесі розробки топології ГС необхідно максимально віддалити ЕК, встановлені на ГС, від зони деформації, або за ймовірних деформацій типу «вигин» розмішувати їх паралельно до лінії вигину, за деформацій типу «розтягнення» – перпендикулярно до вектора прикладення зусиль.

Для того щоб зменшити можливість виникнення тріщин у ГС необхідно використовувати додаткові «армуючі» покриття провідникової системи шляхом напilenня на провідники матеріалів із більшою питомою жорсткістю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Сридхар К. Конструкції переменной формы. В мире науки. № 7-8. 2014. – С. 82-90.
2. Медведев А. М., Мылов Г. В., Набатов Ю. А., Люлина В. И. Гибкие платы. Преимущества и применение. Компоненты и технологии. 2007. № 9. – С. 202-208.
3. Баширов А., Морозов В. Монтаж микросхем на гибком носителе – дань прошлому или приближение будущего? Печатный монтаж. 2007. № 5. – С. 2-4.
4. Грушевский А. М., Семенов С. Н., Жуков П. А., Карвасарный В. В. Технология прецизионного монтажа на полиимидных платах. Известия вузов. Электроника. 2005. № 6. – С. 36-40.
5. Пирогова Е. В. Проектирование и технологии печатных плат. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. 560 с.
6. Овчаренко В.Е. Перспективы использования гибких и гибко-жестких конструкций в электронной технике / В.Е. Овчаренко, А.А. Ефименко, Е.В. Токарева, Е.А. Чалая // Технология приборостроения. – 2016. №3, – С. 22-24
7. Палагин В. А., Разумов-Фризюк Е. А., Демская Н. П., Невлюдова В. В. Анализ и разработка конструкций разъемов для FFC или FPC шлейфов. Технология приборостроения. 2016. №1. – С. 50-53.
8. Дубровин Л.А. Основы теории надёжности: надёжность РЭС. – Йошкар-Ола, 2004. - 87 с.
9. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов / под ред. А. В. Александрова. 3-е изд. испр. М: Высш. шк., 2003. 560 с.
- 10 Горшков А. Г. и др. Сопротивление материалов. М.: Физматлит, 2005. 544 с.
11. Разумов-Фризюк Е. А., Невлюдова В. В., Демская Н. П. и др. Оценка влияния механических воздействий на гибкие печатные платы. Проблемы тертя та зношування. 2016. № 1 (70). – С. 143-149.
12. Финстад М. Разработка гибких печатных плат. Печатный монтаж. 2006. №1. – С. 6-9.
13. Медведев А. Финишные покрытия в производстве печатных плат. Технологии приборостроения. 2005. № 2. – С. 9-18