

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Автоматизація ТП гнучких структур у виробах

електронної техніки

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. АУТПм-19-1

Наливкін О.Д.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Автоматизоване управління

технологічними процесами

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Омаров М. А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма Автоматизація управління технологічними процесами
(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Наливкіну Олександр Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація ТП гнучких структур у виробках електронної техніки
затверджена наказом по університету від 02.11 2020 р. № 1510Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи _____
 - 3.1 Досліджуваний зразок гнучкої поліімідної плати
 - 3.2 Вид деформації – вигин
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
 - 4.1 Провести аналіз технічного завдання;
 - 4.2 Провести аналіз існуючих гнучких комунікаційних структур;
 - 4.3 Провести аналіз технологій виробництва гнучких структур;
 - 4.4 Провести дослідження напружено-деформованого стану матеріалів гнучкого шлейфа
 - 4.5 Провести розрахунки пов'язані з охороною праці

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	02.11 2020	виконав
2	Аналіз існуючих гнучких комунікаційних структур	12.11 2020	виконав
3	Аналіз технологій виробництва гнучких структур	20.11 2020	виконав
4	Дослідження напружено-деформованого стану матеріалів гнучкої друкованої плати	25.11 2020	виконав
5	Моделювання та інженерний аналіз гнучких друкованих плат при силовому впливі	29.11 2020	виконав
6	Оформлення пояснювальної записки	01.02 20120	виконав
7	Подання роботи до ЕК	15.12 2020	виконав

Дата видачі завдання 2 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Омаров М.А
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 72 с., 34 рис., 1 дод., 11 джерел.

ГНУЧКА ДРУКОВАНА ПЛАТА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПОЛІАМІДНІ КОМУНІКАЦІЙНІ СТРУКТУРИ, ПОЛІАМІД

Об'єкт дослідження – поліамідна гнучка друкована плата.

Предмет дослідження – проблеми, що пов'язані з експлуатацією електронних структур, а також проблеми, пов'язані зі створенням складної електронної техніки, якщо для компоновки електронних деталей бажана деформація або наявність гнучких властивостей у компонентів.

Метою даної роботи є моделювання фізичних впливів на гнучку друковану плату та виявлення найбільш оптимальних параметрів матеріалів для виготовлення гнучких друкованих плат.

Проведено дослідження міцності гнучкої друкованої плати. Показано вплив фізичних та механічних умов на напружено-деформований стан. Наведено результати моделювання та інженерного аналізу гнучкої друкованої плати при механічному впливі, встановлені найбільш суттєві критерії міцності. Встановлено залежність допустимого значення напруги матеріалу від товщини провідників та товщини друкованої плати.

Наукова новизна роботи – на основі змодельованого впливу показані масштаби впливу на друковані плати від згинів при різних товщинах діелектричного шару. Змодельована друкована плата доводить, що електронні вироби з поліаміду мають підвищену надійність та стійкість до фізично-механічних впливів.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 72 sheets, 34 drawings, 1 supplement, 11 sources.

PRINTED CIRCUIT BOARD, MODELING, POLYAMIDE COMMUNICATION STRUCTURE, POLYAMIDE

Object of research – polyimidic printed circuit board.

Subject of research – problems, which are associated with exploitation of electronic devices, and also issues, associated with development of complicated electronic technic, if deformation or flexible capabilities is needed for details construction.

The purpose of the work is modeling deformation and stress in materials of electronic components on the example of flexible circuit board and calculating the most optimal parameters of circuit board.

The study of strength of flexible printed circuit board is carried out. Influence of physical and mechanical factors on flexible-strain state was shown. In this work the results of modeling and engineering analyses of flexible circuit board with mechanical influence are given. The most important factors of strength are established. The dependence of power and thickness of conductors and PCB are established.

Scientific novelty of work – on the basis of modeled influence, is shown scale of mechanical influence on PCB, dependent on thickness of dielectric cover. The simulated printed circuit board proves that electronic products made of polyamide have increased reliability and resistance to physical and mechanical influence.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	6
Вступ.....	7
1 Аналіз існуючих друкованих плат	10
1.1 Односторонні друковані плати (ОДП).....	12
1.2 Двосторонні друковані плати (ДДП)	13
1.3 Багатошарові друковані плати (БДП)	14
1.4 Гнучкі друковані плати.....	15
1.5 Технології виробництва ДП.....	19
1.6 Висновки до розділу	26
2 Аналіз технології виробництва гнучких структур.....	28
2.1 Аналіз матеріалів для виготовлення друкованих плат.....	28
2.2 Розгляд технологій виготовлення друкованих плат з фольгованого поліаміда	31
2.3 Висновки до розділу	39
3 Обґрунтування вибраного засобу та методу моделювання.....	40
3.1 Висновки до розділу	45
4 Моделювання впливу на гнучку структуру з поліаміду на прикладі друкованої плати	46
4.1 Висновки до розділу	62
5 Охорона праці.....	64
Висновки	66
Перелік джерел посилання	68
Додаток А Демонстраційний матеріал у вигляді презентації	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D – трьох вимірне;

ГДП – гнучка друкована плата;

ГЖДП – гнучко-жорстка друкована плата;

ДП – друкована плата;

ДСТУ – державний стандарт України;

КД – конструкторська документація;

НДС – напружено-деформований стан;

РЕА – радіоелектронна апаратура;

САПР – системи автоматизованого проектування.

ВСТУП

Стрімке зростання сучасних технологій обумовлює зростання вимог до електронної техніки. Одним із основних вимог є надійність, зручність у користуванні, невибагливість до умов навколишнього середовища. Для відповідності цим вимогам засоби електронної техніки та їх комплектуючі з кожним днем вдосконалюються.

Одним з основних функціональних елементів у електронній техніці є друковані плати. Їх використання стає все більш поширеним. Дані елементи викликають великий науковий інтерес та представляють можливість для вдосконалення електронної техніки в цілому. З кожним кроком модернізації товщина провідників, кількість елементів та розмір плати зменшуються, надійність збільшується, технології їх виробництва стають все більш простими та дешевими.

Розробка нових поколінь елементної бази та посилення вимог до електронних засобів, призвели до розвитку техніки друкованого монтажу та привели до створення нових методів монтування електронних компонентів на друковану плату (SMT, COB, TAB, COF технології), при якій елементи монтуються до контактних майданчиків, або для монтування використовують спеціальні носії, виготовлені з гнучких матеріалів, гнучкі друковані плати.

Це дозволило не тільки домогтися мініатюризації виготовлених таким чином виробів, а також призвело до зниження маси та вартості приладів, а також до підвищення якості та надійності, оскільки дані технології включають в себе наявність повністю автоматизованого виробництва, без участі людини.

Однак, слід зазначити, що у більшості випадків, мініатюризація підвищує ризики під час виготовлення та знижує надійність, особливо при збільшенні розмірів схем. Матеріали, які використовуються при виготовленні гнучких або гнучко-жорстких схем тонкі та гнучкі. Саме тому стабільність їх геометричних розмірів дещо гірша, ніж у більшості матеріалів для

виготовлення жорстких друкованих схем, виходячи з того, унаслідок більш складної структури розміщення елементів та схеми в цілому, ці викликані матеріалом зміщення можуть бути локалізовані та непередбачувані у процесі виробництва. В результаті, зі збільшенням та ускладненням конструкції, страждає ефективність. Також однією з вад у отриманні гнучкої друкованої плати є відсутність гнучких властивостей у електронних компонентів, які монтуються на друковану плату. Таким чином, вивчення ГДП з метою підвищення їх якості та надійності є актуальною задачею та представляє значний інтерес. Проте, незважаючи на все це, друковані плати потребують вдосконалення. На сьогоднішній день найбільш сучасними платами є гнучкі друковані плати, або ГДП. Проте їх надійність та стійкість до впливів навколишнього середовища ще вивчається.

Актуальність даної проблеми постає у гострій необхідності покращення якості електронної техніки для відповідності новим вимогам користувачів та прискорення розвитку ринку. Одним із найбільш очевидних способів покращення якості електронних приладів є вдосконалення друкованих плат із міркувань щодо їх фізичних властивостей.

Складність виготовлення та великі затрати при застосуванні новітніх технологій виробництва обумовили створення систем автоматизованого проектування, або САД. Також для експериментів над виробами були створені середовища автоматизованого моделювання (САМ). Наявність таких інструментів полегшує виробництво та дає можливість спрогнозувати поведінку виробу у тих чи інших умовах. Також дані середовища віднімають необхідність у багаточисельних випробуваннях та експериментах, та їх застосування є фінансово вигідним для підприємства. Тому всі експерименти з покращення якості електронного виробу у даній роботі будуть проводитися саме у середовищі автоматизованого проектування та моделювання.

Об'єктом дослідження у даній роботі є системи автоматизованого моделювання та проектування, а предметом виступає найпростіша друкована

плата, над якою будуть проводитися експерименти у середовищі моделювання.

Метою даної роботи є моделювання фізичних впливів на гнучку друковану плату та виявлення найбільш оптимальних параметрів матеріалів для виготовлення гнучких друкованих плат.

Для досягнення мети атестаційної роботи необхідно спроектувати друковану плату у середовищі автоматизованого проектування та змоделювати механічний вплив на неї. Також необхідно провести експерименти з друкованою платою та проаналізувати показники фізичної міцності та гнучкості.

При створенні даної атестаційної роботи були використані методичні вказівки з «Розробки і оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» [1] та ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» [2].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Одним із основних та найважливіших елементів у електронній техніці є друкована плата. Дані плати використовуються для з'єднання електронних елементів та розміщення електронних схем.

Друкована плата, ДП (англ. *Printed circuit board, PCB*) – пластина, виконана з діелектрику (склотекстоліт, текстоліт, гетенакс, ситол тощо), на якій, або в середині якої сформований хоча б один шар рисунку з провідними доріжками. На друковану плату монтуються електронні компоненти та пристрої, які з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунка за допомогою паяння, або, значно рідше, зварювання, у результаті чого складається електронний модуль - змонтована друкована плата.

Друковані плати у порівнянні зі звичайними з'єднаннями та провідними реалізаціями електричних схем мають деякі переваги:

- підвищена щільність розміщення компонентів та монтажних з'єднань, можливість істотного зменшення габаритів і ваги виробів;
- отримання друкованих провідників, електронних та радіодеталей в одному технологічному циклі;
- гарантована стабільність і повторюваність електричних властивостей у ідентичних виробів та схем;
- підвищена швидкодія та заводо захищеність схем;
- велика стійкість до кліматичних та механічних впливів, умов агресивного середовища;
- всі конструктивні та технологічні рішення уніфіковані та стандартизовані;
- підвищена надійність блоків, з'єднань і пристрою в цілому;
- поліпшена технологічність за рахунок комплексної автоматизації монтажоскладальних та контрольних-регулювальних робіт;
- знижена енергоємність виготовлення, матеріаломісткість та собівартість виробу.

Проте, незважаючи на ряд переваг у виробництві та експлуатації, друковані плати маю ще і неусунені недоліки, такі як:

- складність внесення змін у конструкцію;
- обмежена ремонтпридатність;
- складний та екологічно агресивний процес утилізації після використання та утилізації пошкоджених виробів [3].

Друковані плати повинні відповідати деяким вимогам:

- діелектрична підставка друкованої плати (ДП) має бути однорідною за кольором, монолітною за структурою і не мати внутрішніх бульбашок і раковин, сторонніх включень, відколів, тріщин і розшарувань;

- провідний рисунок ДП повинен бути чітким, з рівними краями, без здуття, відшарувань, розривів, слідів інструменту і залишків технологічних матеріалів;

- для підвищення корозійної стійкості та покращення паяємості на поверхню провідного рисунка наносять електролітичне покриття, яке має бути суцільним, без розривів і відшарувань;

- монтажні і фіксуючі отвори повинні бути розташовані згідно з вимогами креслення і мати допустимі відхилення, зумовлені класом точності ДП. Для підвищення надійності паяних з'єднань внутрішню поверхню монтажних отворів покривають шаром міді товщиною не менше 25 мкм;

- покриття повинне бути суцільним, без включень, пластичним і міцно зчепленим з діелектричною підставкою;

- контактні майданчики являють собою ділянки металевого покриття, які з'єднують друковані провідники з металізацією монтажних отворів. Їх площа повинна бути такою, щоб не було розривів під час свердління і залишився гарантійний поясок міді шириною не менше 50 мкм;

- плата повинна бути контролепридатною, тобто мати додаткові контактні майданчики для зондів (пробників) для внутрішньосхемного контролю. Як правило, ці додаткові елементи зменшують щільність компоновки на 10-15%.

Існує декілька видів друкованих плат за класифікацією, наприклад, за кількістю друкованих провідних шарів.

1.1 Односторонні друковані плати (ОДП)

Друковані плати лише з одним шаром провіднику, або найпростіші друковані плати. Мають один шар провідникових доріжок нанесений на діелектричну поверхню. Виконуються на шаруватому пресованому або рельєфному литому підставі без металізації або з металізацією монтажних отворів. Плати на шаруватому діелектрику прості по конструкції і економічні у виготовленні. При неможливості розводки друкованих провідників застосовуються навісні перемички. Їх застосовують для монтажу побутової радіоапаратури, блоків живлення, пристроїв техніки зв'язку, в простій радіоелектронній апаратурі та допоміжної апаратури. Низькі витрати, високу технологічність і нагревостійкість мають рельєфні литі плати, на одній стороні яких розташовані елементи друкованого монтажу, а на іншій – об'ємні елементи (корпусу з'єднувачів, периферійна арматура для кріплення деталей і тепловідводи та ін.) У цих платах за один технологічний цикл виходить вся конструкція з монтажними отворами і спеціальними заглибленнями для розташування апаратури, монтованих на поверхню, зовнішній вигляд зображений на рисунку 1.1.

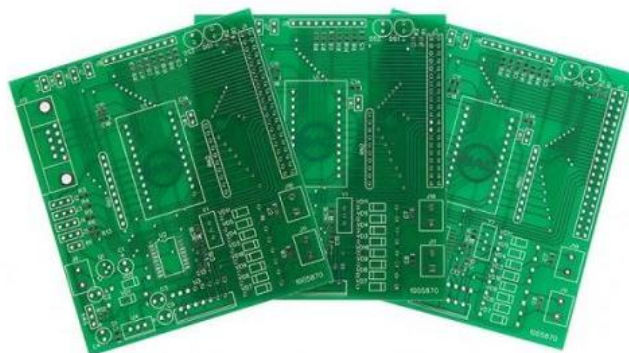


Рисунок 1.1 – Односторонні друковані плати

1.2 Двосторонні друковані плати (ДДП)

Мають провідний малюнок на обох сторонах діелектричного або металевого підстави і забезпечують високу щільність установки компонентів і трасування. Можуть мати металізовані та неметалізовані отвори. Металізовані отвори мають більшу надійність, а неметалізовані використовуються для створення макетів виробів. Переходи провідників із шару в шар здійснюються через металізовані перехідні отвори. Плати допускають як монтаж компонентів на поверхні, у тому числі з двох сторін, так і монтаж компонентів з осьовими і штирові висновками в металізовані отвори. ДДП є найпоширенішою різновидом ПП в виробництві модулів РЕА, використовуються у вимірювальній техніці, системах управління та автоматичного регулювання[4]. Ззовні не мають суттєвих відмінностей від одношарових плат та функціонально мають небагато переваг. Лиш розміри одношарової плати зменшені удвічі. Зовнішній вигляд зображений на рис. 1.2.

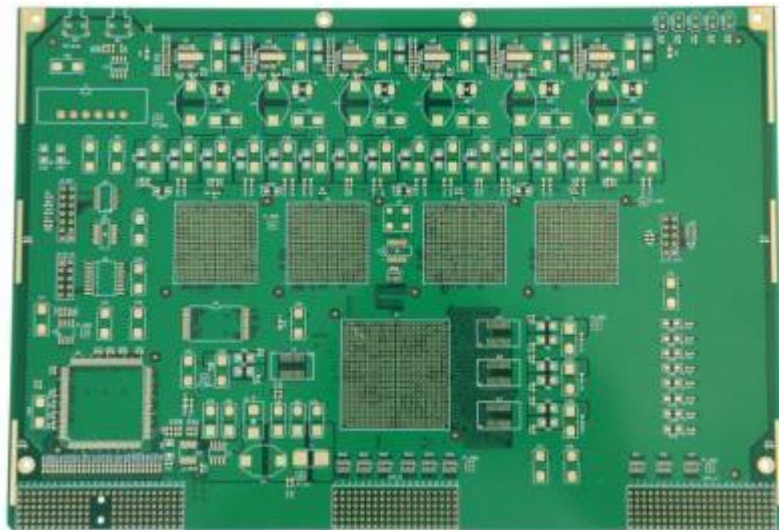


Рисунок 1.2 – Двостороння друкована плата

1.3 Багатошарові друковані плати (БДП)

Складаються з чергуючихся шарів ізоляційного матеріалу з провідними малюнками на двох або більше шарах, між якими виконані необхідні з'єднання, з'єднаних клейовими прокладками в монолітну структуру шляхом пресування. Електричний зв'язок між провідними верствами виконується спеціальними об'ємними деталями, друкованими елементами або хіміко-гальванічної металізацією. У порівнянні з ОПП та ДПП вони характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу, стійкістю до механічних і кліматичних впливів, зменшенням розмірів і кількості контактів. Однак більша трудомісткість виготовлення, висока точність малюнка і суміщення окремих шарів, необхідність ретельного контролю на всіх операціях, низька ремонтпридатність, складність технологічного обладнання і висока вартість дозволяють застосовувати БДП тільки для ретельно відпрацьованих конструкцій радіоелектронної апаратури. Зовні багатошарові друковані плати відрізняються від односторонніх та двосторонніх лиш товщиною, проте на схемі або у розрізі можна побачити їх значиму відмінність від менш технологічних аналогів [4]. Модель багатошарової друкованої плати з поясненнями для шарів, контактних майданчиків та діелектрику представлена на рисунку 1.3.

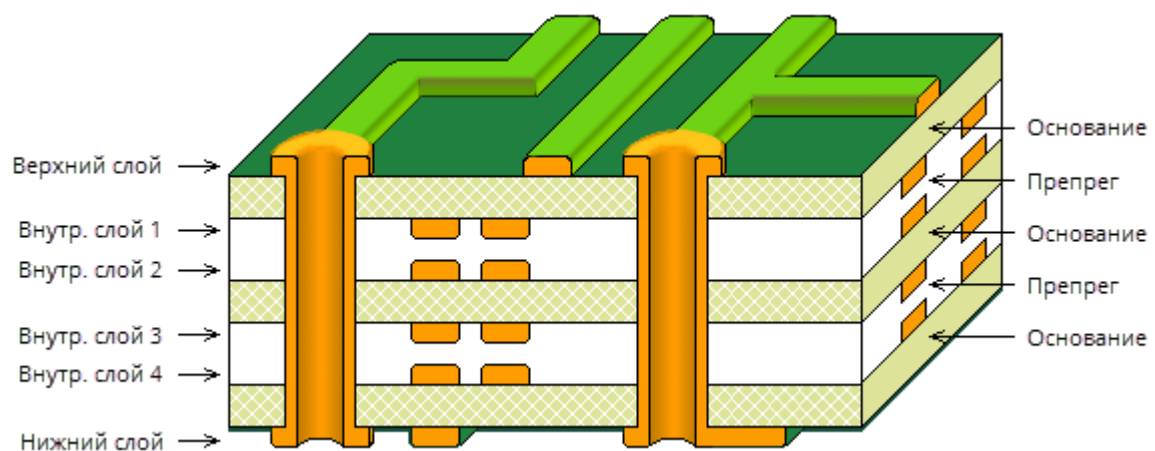


Рисунок 1.3 – Багатошарова друкована плата

Проте, серед різноманіття видів друкованих плат одними із найбільш сучасних вважаються гнучкі друковані плати. Їх розвиток не сягнув настільки різноманітного та універсального використання, та здебільшого обмежується гнучкими провідниками для з'єднання друкованих плат, або тим самим з жорсткими ділянками для розташування електронних компонентів. Проте даний вид друкованих плат знаходиться у стадії розвитку, та новітні ГДП мають все більш еластичні властивості та представляють можливість монтування електронних компонентів. Проте, струмопровідні майданчики та майданчики у складних друкованих платах все ще потребують вдосконалення із міркувань підвищення надійності, еластичності та покращення електронних властивостей.

1.4 Гнучкі друковані плати

Гнучкі друковані плати все більше розширюють коло свого застосування. Приклад – так звані гнучкі друковані кабелі (шлейфи). Подібні друковані плати виконують обмежений обсяг функцій (виключається функція підкладки для радіоелементів). Вони служать для об'єднання звичайних плат, замінюючи джгути. Гнучкі друковані плати набувають еластичність завдяки тому, що їх полімерна «підкладка» знаходиться в високоеластическом стані. Гнучкі друковані плати мають два ступені свободи. Їх можна згорнути навіть в стрічку Мебіуса (рис. 1.4).

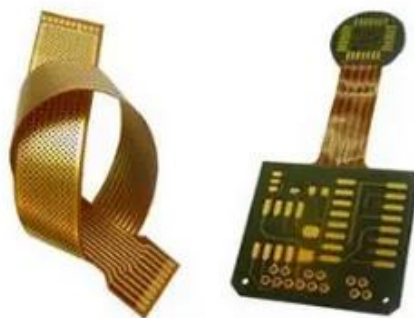


Рисунок 1.4 – Гнучкі друковані плати – шлейфи

Одну або навіть два ступені свободи, але дуже обмеженої свободи, можна надати і звичайним жорстким друкованим платам, в яких полімерна матриця підкладки знаходиться в жорсткому - склоподібного стану. Це досягається шляхом зменшення товщини підкладки. Одним з переваг рельєфних друкованих плат, що виготовляються з тонких діелектриків, називають можливість надання їм «округлості». Тим самим з'являється можливість узгодити їх форму і форму об'єктів (ракет, космічних об'єктів і ін.), в які їх можна помістити. Результат - істотна економія внутрішнього обсягу виробів [5].

Їх істотний недолік в тому, що зі зростанням кількості шарів знижується гнучкість таких друкованих плат. А застосування звичайних негнучких комплектуючих виникає необхідність фіксувати їх форму. Оскільки вигини таких друкованих плат з негнучкими компонентами призводять до високих механічних навантажень в точках їх з'єднання з гнучкою друкованою платою.

Проміжне становище між жорсткими і гнучкими друкованими платами займають «стародавні» друковані плати, що складаються з твердих частинок, що складаються подібно гармошці. Такі «гармошки», ймовірно, і навели на думку про створення багатошарових друкованих плат. Сучасні гнучко-жорсткі друковані плати реалізовані іншим способом. Йдеться переважно про багатошарових друкованих платах. У них можна поєднати жорсткі і гнучкі шари. Якщо гнучкі шари вивести за межі жорстких, можна отримати друковану плату, що складається з жорсткого і гнучкого фрагментів. Інший варіант - поєднання двох жорстких фрагментів гнучким.

Гнучкі друковані плати ціняться у електронній техніці за те, що вони володіють деякими властивостями, наприклад:

– динамічна гнучкість. Стійкість до багатократних динамічних деформацій – одна з найбільш уживаних властивостей гнучких плат. Інші типи гнучких з'єднань у вигляді плаского стрічкового кабеля, також можуть успішно використовуватися, але гнучкі плати переважають їх як стандартний метод створення надійного взаємозв'язку між рухомими частинами апаратури.

Мала товщина матеріалів основи та тонка фольга дає гнучким платам значну перевагу у динамічно міцних з'єднаннях. Такі плати використовуються у принтерах, там де необхідно провести електронний зв'язок із друкуючою головкою, а також у приводах дисководів (рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Гнучка друкована плата у приводі дисковода

– керований хвильовий опір ліній зв'язку. Майже всі матеріали основ ГДП мають електричні характеристики, які добре відображаються на формуванні ліній передач: однорідність матеріалів та електричні властивості на великій частоті. Завдяки цьому є простим реалізувати гнучкі схеми для забезпечення швидкодії ліній передач. За наявності однорідності матеріалів єдина вимога до виробництва – забезпечити адекватну однорідність провідників по всій довжині, тобто точно відтворити геометрію, для того, щоб забезпечити необхідні значення характеристик ліній зв'язку;

– покращене теплове розсіювання. Плaskі провідники мають набагато більшу зовнішню площу ніж круглий дріт, за рахунок чого більш ефективно розсіюється тепло. У них краща теплопередача та тепловіддача, за рахунок чого дані плати менше нагріваються та швидше віддають тепло у навколишнє середовище [6]. Мала зміна температури під час роботи стала однією з причин застосування гнучких шлейфів у сонячних панелях. Технології застосування сонячних панелей зробили крок вперед із застосуванням гнучких плат. Хоч, через свою велику вартість дане альтернативне джерело енергії не отримало широкого застосування у енергетичній промисловості, сонячні панелі користуються популярністю у супутникових системах. Гнучкі шлейфи там

використовуються для успішної реалізації технологій використання складаних панелей. Секції з панелями, що з'єднуються між собою за допомогою шлейфів, складаються для підвищення компактності та зручного транспортування, а на наступному етапі розкладаються для виконання своїх прямих функцій. Такі складані сонячні панелі можуть забезпечити електроенергією навіть МКС (рис. 1.6);



Рисунок 1.6 – Сонячні панелі на МКС

– можливість об'ємної компоновки. Можливо вигідно скомпонувати у просторі кристали мікросхем та забезпечити невеликі габарити електронного пристрою у поєднанні з потужними електронними властивостями. Тобто, у деяких електронних пристроях декілька одношарових або багатшарових плат поєднуються між собою за допомогою гнучких друкованих плат та складаються одна на одну (рис. 1.7). Також дві з'єдані між собою жорсткі плати можуть бути вмонтовані на різні стінки корпусу електронного

пристрою. Надійність таких конструкцій підвищена за рахунок відсутності роз'ємних та паяних з'єднань.

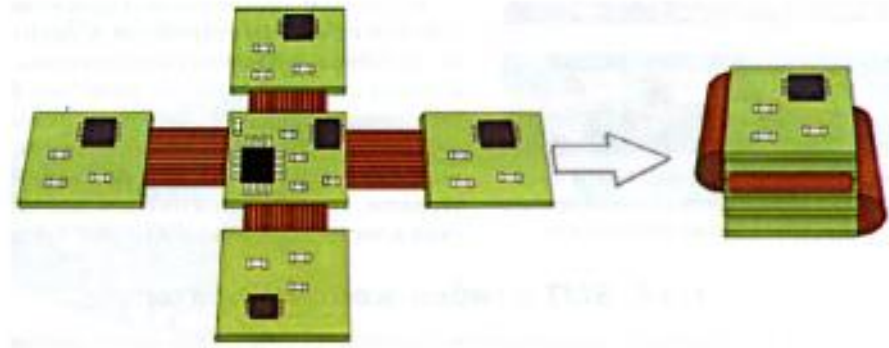


Рисунок 1.7 – Об'ємна компоновка жорстких друкованих плат за допомогою гнучких

Сучасні вдосконалення друкованих плат привели до поєднання гнучких друкованих плат та жорстких. Зараз також використовуються гнучко-жорсткі друковані плати. Але їх експлуатаційні характеристики не є найважливішим критерієм при виборі продукції для виробництва. Оскільки при виробництві також необхідно звертати увагу на технології виробництва, його вартість та енергоємність [4].

Гнучкі друковані плати також отримали широке застосування у повсякденному житті. Для більш детального вивчення теми необхідно також звернути увагу на технології виробництва друкованих плат.

1.5 Технології виробництва ДП

Перед виробництвом друкованої плати на промисловому підприємстві проводиться планування виробництва та моделювання друкованої плати у системах автоматизованого проектування. Найпопулярнішою програмою для віртуального моделювання та трасування друкованих плат є P-CAD. У даних середовищах проходить побудова 2D та 3D моделі плати за технічним

завданням та розмірами електронних компонентів, які необхідно розмістити на ній. Також проходить віртуальне трасування та автоматичне розставлення струмопровідних доріжок. Інтерфейс подібної програми представлений на рисунку 1.8

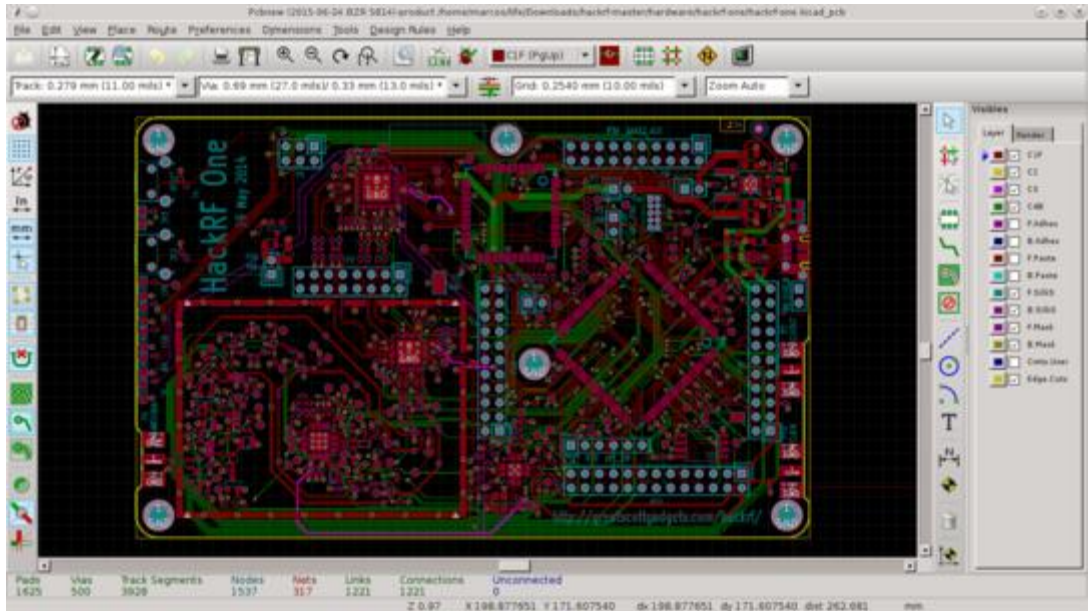


Рисунок 1.8 – Друкована плата у електронному приладі у середовищі автоматизованого проектування

Після теоретичної підготовки виробництва переходять до саме виготовлення. Друковані плати виготовляються різними способами. Деякі з них наведені нижче.

1.5.1 Спосіб переносу

Для виготовлення друкованої плати за цим способом потрібні: гетинакс товщиною від 1 до 2 мм, мідна фольга товщиною 0,05-0,06 мм, БФ-2, клей конторський універсальний казеїновий (Можна використовувати сіндетікон), міліметрівка, пергамент, копіювальна а також папір. З пристосувань потрібні тільки дві металеві пластини, між якими затискається плата при наклеїці друкованої схеми.

Під міліметрівку, на якій викреслений в натуральну величину друкований монтаж, підкладають послідовно: копіювальний папір, кальку олівцеву, фольгу і, нарешті, якусь підкладку, наприклад кілька аркушів паперу або картон. Усі аркуші скріплюють по краях скріпками, після чого отриману пачку кладуть на рівний металевий лист або скло і гостро заточеним твердим олівцем ретельно обводять контури провідників друкованого монтажу. Після зняття скріпок отримують пергамент, на якому буде видний чіткий малюнок друкованого монтажу; такий же малюнок буде і на фользі у вигляді рельєфних ліній.

Фольгу перед нанесенням на неї малюнка треба обробити з одного боку шліфувальною шкуркою, щоб вона краще прилипала до гетинаксу. При копіюванні фольгу кладуть шорсткою стороною вниз. По контурах друкованого монтажу ножицями вирізують з фольги провідники і приклеюють їх глянсовою стороною казеїнові клеєм до пергаменту. Клей слід наносити тонким рівномірним шаром і стежити при наклеюванні провідників на пергамент за точним суміщенням контурів провідників з малюнком на пергаменті. Для точного розміщення провідників щодо країв гетінаксової плати на пергамент наклеюють центруються рамки. Схему наклеюють на гетінаксову плату одразу ж після того, як провідники схеми змонтовані на пергаменті; якщо клей висохне, провідники можуть відокремитися від пергаменту. Плату обрізають так, щоб вона точно входила всередину наклеєної на пергамент центрує рамки. Сторону гетінаксової плати, де будуть наклеєні провідники, прошліфовують шкуркою.

Провідники, змонтовані на пергаменті, а також гетінаксову плату знежирюють ацетоном, спиртом, грушевої есенцією або будь-яким іншим розчинником. Після цього обидві склеювані поверхні (Провідники і гетінаксову плату) покривають тонким шаром клею БФ-2, якому дають підсохнути протягом 10-20 хв. Потім на поверхню провідників пензликом вдруге наносять шар клею і на змащений клеєм друкований монтаж кладуть гетінаксову плату шорсткою стороною вниз. Весь пакет затискають між

двома металевими пластинами, які стягують гвинтами і витримують у такому вигляді протягом години при кімнатній температурі. Після цього пакет нагрівають до 120 ° С і витримують при цій температурі 3 г [7].

1.5.2 Хімічний спосіб

На фольгований гетинакс наносять малюнок друкованих провідників кислототривким лаком або наклеюють смужки з липкої стрічки, які захищають від трав'яно розчину ті місця фольги, які повинні залишитися на платі.

Для виготовлення аматорських плат з друкованим монтажем найбільше підходить заводський фольгований гетинакс марки ГФ-1 (для односторонніх друкованих плат) і ГФ-2 (для двосторонніх). Якщо заводський фольгований гетинакс дістати неможливо, радіоаматор або майстер можуть виготовити його самі.

Хімічний спосіб виготовлення друкованого монтажу має кілька різновидів, що відрізняються методом нанесення зображення друкованого монтажу на фольгированную заготовку. Малюнок друкованого монтажу може бути виконаний ручним (малювальних) способом за допомогою пензлика і рейсфедера; за допомогою липкої стрічки.

Спосіб ручного нанесення друкованого монтажу. Через копіювальний папір малюнок монтажу переносять на фольгований гетинакс з боку фольги.

У місцях, де повинні бути отвори, кернів набивають заглиблення, після чого міліметровку і копіювальний папір видаляють. Місця фольги, які повинні залишитися на платі, зафарбовують нітролаком, цапонлаком, асфальтобітумним або яким-небудь іншим лаком. Спочатку уа всі набиті керном поглиблення ставлять лаком точки. Найпростіше це зробити сірником, вмочивши її кінець в лак. Потрібно стежити за тим, щоб поглиблення, набите кернів, було в центрі точки. Діаметр точки повинен бути 2,5-3 мм. Коли всі крапки поставлені, нх з'єднують лаком між собою згідно схемою. Сполучні криві лінії проводять пензликом, а прямі лінії – рейсфедером.

Коли лак висохне, плату ретушують, тобто підправляють малюнок скальпелем, лезом безпечної бритви або спеціальним скребком для ретуші фотографій.

Відретушовану плату піддають травленню у фарфоровому або пластмасовою фотографічної ванночці з розчином хлорного заліза. Ванночку енергійно і безперервно погойдують, через кожні 5 хв плату обережно протирають ватним тампоном, який утримують пінцетом, щоб видалити продукти реакції з пробільних ділянок плати, що сповільнюють процес травлення. Повністю схема витравлюється за 40-50 хв. Якщо ж розчин хлорного заліза підігріти до 40 °С, то плата витравитиметься за 10 хв.

Потім з витравлених плати розчинником видаляють лак, добре її промивають кілька разів поперемінно холодною і гарячою водою, сушать, а в місцях, набитих кернів, свердлять в платі отвори для висновків радіодеталей. Щоб уникнути відклеювання (відшаровування) провідників від матеріалу плати отвори свердлять з боку фольги спочатку свердлом діаметром 0,5-0,8 мм. Потім всі отвори з обох сторін плати баньки свердлом, заточеним під кутом 90 ° з таким розрахунком, щоб після рассверловки свердлом необхідного діаметра на отворах залишилися фаски приблизно 0,1-0,2 мм.

Спосіб виконання малюнка друкованого монтажу за допомогою липкої стрічки. На фольгований гетинакс наклеюють гуртки і смужки, вирізані з липкої поліхлорвінілу-вої ізоляційної стрічки (синьою). Гуртки і смужки заготовлюють наступним чином. На мотку ізоляційної стрічки роблять надріз глибиною 1,5-2 мм, відокремлюють від кола кілька шарів стрічки і гострим ножем по лінійці вирізують смужки, а висічкою вирубують гуртки. Ширина смужок і діаметр залежать від креслення друкованого монтажу (зазвичай смужки мають ширину 1-2 мм, а діаметр гуртків 2,5-3 мм).

Висічку найкраще виточити зі сталі і загартувати. Після вирубки отримаємо стопку лежачих один на одному гуртків. Підготувавши деталі з липкої стрічки, приступають до виготовлення друкованої плати.

Заготівлю з фольгованого гетинаксу знежирюють (промивають розчинником) і добре просушують. На заготівлю кладуть міліметрівку з кресленням друкованого монтажу і через міліметрівку набивають керном поглиблення в місцях заготівлі, де повинні бути отвори, після чого міліметрівку видаляють. Потім зі стопки гуртків липкої стрічки за допомогою скальпеля і пінцета відділяють один гурток і наклеюють його на поглиблення, набите кернів таким чином, щоб поглиблення було точно в центрі гуртка.

Після наклейки всіх гуртків наклеюють липкі смужки, з'єднуючи між собою контактні площадки (гуртки) згідно з кресленням друкованої плати, виконаному на міліметрівці. При цьому треба дотримуватися наступних правил: не торкатися руками клейкої поверхні смужки, при наклеїці не розтягувати стрічку, а укладати її без додаткових поздовжніх зусиль; вигини провідників робити можливо більшого радіусу; з'єднувати смужки з гуртками так а, тобто встик, і зафарбовувати проміжок між гуртком і смужкою кислототривкої фарбою. Якщо ж з'єднання робити внакладку, що здається більш простим, то при травленні травяна розчин потрапить між смужкою і гуртком і після травлення кінці смужок подтравляться. Отже, таке з'єднання все одно вимагає зафарбовування місць стику гуртка і смужки. Потім плату трують у зазначених вище розчинах, промивають і сушать [6].

1.5.3 Механічний спосіб

Є два різновиди цього способу виготовлення друкованих плат: а) видалення фольги з пробільних місць шляхом фрезерування; б) зрізання і зіскоблювання фольги ножом або різакком.

Спосіб фрезерування. На фольгований гетинакс наносять малюнок друкованого монтажу, причому друкований монтаж повинен бути спроектований з вузькими пробільними ділянками (ширина їх повинна дорівнювати діаметру бору).

Металеву фольгу з пробільних місць видаляють фрезою (зубним бором), закріпленої в патроні, що сидить на осі електромотора. Після фрезерування плату шліфують дрібною шкіркою, свердлять в ній отвори і обрізають.

Спосіб вирізування фольги. Це, мабуть, найпростіший спосіб виготовлення друкованого монтажу, він не вимагає майже ніякої оснащення. З матеріалів необхідний тільки фольгований гетинакс. Як і в раніше описаному способі, на плату наносять малюнок друкованого монтажу і по контуру пробільних ділянок гострим ножем по лінійці прорізають фольгу.

Найпростіший спосіб лудіння друкованих плат – це занурення їх в розплав. Установка для лудження складається з нагрівача (електроплитка типу ТС-1/1, 0-Н-М1, встановлена на потужність 450 Вт, напругою 220 В), встановленої на ньому ванни з покрівельного заліза розмірами 240 X 300 X 60 мм, в якій знаходиться сплав «Розі» (олово – 25 %, свинець – 25 %, вісмут – 50 %).

Температура розплаву 120 – 140 °С. Щоб попередити окислення і появу шлакової плівки на поверхні розплаву, його заливають шаром хімічно чистого гліцерину товщиною 20-25 мм.

Процес лудіння відбувається наступним чином. Щипцями з довгими ручками захоплюють плату з друкованим монтажем і декапірують в 5%-ному розчині соляної кислоти.

Зайвий розплав з друкованої плати видаляють за допомогою ракеля з вакуумної гуми. Після цього плата готова для складання і монтажу навісних елементів [7].

Вищевказані технології виробництва зазначені для одиночного або малосерійного виробництва. Для багатосерійного або масового виробництва використовуються схожі технології, проте дії людини замінені автоматизованими пристроями. Після виготовлення самої друкованої плати приступають до пайки електронних пристроїв на неї для формування готового виробу. Для здійснення монтажу елементів на плату, використовується технологія пайки. Така процедура дозволяє отримати абсолютно нероз'ємне

з'єднання деталей за допомогою введення розплавленого металу. Перш ніж приступити до пайки, необхідні елементи розміщуються на платі їх виводами в спеціальні отвори, після чого припаюються до контактних площадок. Дана технологія називається DIP монтаж. Крім цього, існує ще кілька вельми поширених технологій - SMT і SMD. Їх головною відмінністю є те, що необхідні компоненти встановлюються і паяються на спеціальні майданчики, що представляють собою частину провідного малюнку.

1.6 Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто велику кількість видів друкованих плат, що застосовуються у електронній техніці. Деякі вже нагадують архаїчні пристрої, а деякі друковані плати ще не стали повністю досконалыми для надійного виробництва та широкого застосування. Проте, на сьогоднішній день важко уявити собі електронні пристрої без друкованих плат.

Сучасна електронна техніка застосовується усе в більшій кількості галузей та включає в себе великий спектр вимог до її компонентів. Компоненти електронної техніки повинні з кожним днем ставати все більш надійними та міцними фізично. Розглянувши основні типи друкованих плат можна прийти до висновку, що ні одношарові, ні багатошарові друковані плати не відповідають вимогам сьогодення. Найбільш близько до відповідності сучасним вимогам наблизилися гнучкі друковані плати. Проте, гнучкі друковані плати також мають свої недоліки. Їх обмежена функціональність може завадити їх використанню у громіздкій електротехніці. Гнучкі друковані плати знаходять усе більше застосування у повсякденному житті та у складній електронній техніці. Проте, на відміну від інших типів друкованих плат, гнучкі друковані плати потребують також вивчення та покращення своєї якості. Оскільки покращення саме їх якості дасть великий поштовх для розвитку електронної техніки.

Гнучкі друковані плати вже давно відомі нам як шлейфи, які використовуються автономно, або у складі гнучко-жорстких друкованих плат. Проте, дані друковані плати будуть найбільш ефективними, якщо будуть застосовуватися ширше, а не тільки у якості гнучких шлейфів. Також одним із напрямків розвитку та вдосконалення гнучких друкованих плат є покращення у вже існуючих гнучких шлейфів їх гнучких властивостей. Саме тому для подальших експериментів та вивчення були обрані саме гнучкі друковані плати.

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ГНУЧКИХ СТРУКТУР

2.1 Аналіз матеріалів для виготовлення друкованих плат

Оскільки друкована плата являє собою ізоляційну пластину, що грає роль механічного каркаса ПП, на одну або обидві поверхні якої нанесений струмопровідний малюнок (як правило мідна фольга), сформований провідниками, що з'єднують електрорадіоелементи (ЕРЕ) відповідно до електричної схеми. ЕРЕ кріпляться на друковану плату або запаюванням ніжок деталей в спеціальні отвори в ПП, забезпечуючи механічний кріплення ЕРЕ (dip-монтаж), або поверхневим монтажем (пайкою елементів безпосередньо на доріжки - chip-монтаж) Матеріалами друкованих плат служать фольгований склотекстоліт або фольгований гетинакс, тому нас будуть цікавити саме ці два продукти, а також складові їх компоненти.

Ізоляційна підкладка друкованої плати складається з ряду просочених терморезистивними смолами шарів скловолокна або паперу, які пресують і отверджують в нагрітих пресах. Струмопровідну схему виконують або так званім способом видалення, коли ізоляційний матеріал повністю закривається мідною фольгою і струмопровідний малюнок (лінії і площини) створюють, видаляючи непотрібні ділянки, або способом накладення. В цьому випадку потрібний струмопровідний малюнок створюють металізацією [8].

Також для виготовлення друкованих плат у якості діелектрика можуть використовувати металічний шар або провідник, покритий шаром непровідного металу. Наприклад, анодованого алюмінія. Розглянуті вище матеріали часто використовуються у виробництві друкованих плат, але з них виготовляють лише жорсткі друковані плати та фрагменти гнучко-жорстких друкованих плат. Дані матеріали були розглянуті та виявлено те, що вони обмежено володіють гнучкими властивостями. Оскільки було прийнято

рішення детальніше розглядати гнучкі друковані плати, слід більш детально розглянути матеріали для виготовлення саме гнучких структур.

Найбільш популярні матеріали для виготовлення діелектричних шарів гнучких друкованих плат – це поліефірні плівки. Провідний шар незмінно виготовляється з міді. Проте, діелектрична частина має багато варіантів для вибору матеріалу виготовлення.

Поліамідні плівки на сьогодні є домінуючим матеріалом для виготовлення гнучких друкованих плат. Існує ряд формул поліаміда з різними торговими марками, поліамід має декілька переваг перед матеріалами, за що його настільки часто використовують:

- відмінна гнучкість на всьому діапазоні робочих температур;
- хороші електричні властивості;
- хороша хімічна стійкість;
- хороша стійкість до розриву та малий показник розходу розриву;
- певні типи поліамідів мають додаткові переваги (коефіцієнт розширення, узгоджений з міддю, зменшена напруга в ламінатах);
- можливість хімічного травлення в гарячих лугах
- великий робочий діапазон температур, а саме від -200 °C до +300 °C.

Проте, поліамід також має і свої недоліки:

- високе вологовбирання (приблизно 3% від загальної ваги);
- відносно висока вартість;
- перевага у вискотемпературному переході не може бути використана через необхідність використання низькотемпературних адгезивів [9].

Також у виготовленні гнучких друкованих плат використовуються поліефірні плівки. Розглянемо переваги ті недоліки поліетилентерефталату.

Переваги матеріалу:

- відносно низька температура переходу у пластичний стан;
- відносно невелика вартість;
- хороша стійкість до розриву та розповсюдження розриву;
- оптимальні гнучкі властивості;

- хороша стійкість до хімічних пошкоджень;
- низьке вбирання вологи;
- вигідний баланс електричних характеристик;
- широкий робочий діапазон температур, хоч і значно менший ніж у поліамада ($-60\dots+105^{\circ}\text{C}$).

Також розглянемо недоліки цього матеріалу:

- дуже обмежена здатність до пайки;
- стає крихким при низьких температурах;

має занадто малу розмірну стабільність.

Розглянувши два найбільш розповсюджених матеріали (рис. 2.1) для виготовлення друкованих плат необхідно прийняти рішення щодо вибору матеріалу для піддослідної друкованої плати.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд поліамада (а) та полієфірної плівки (б)

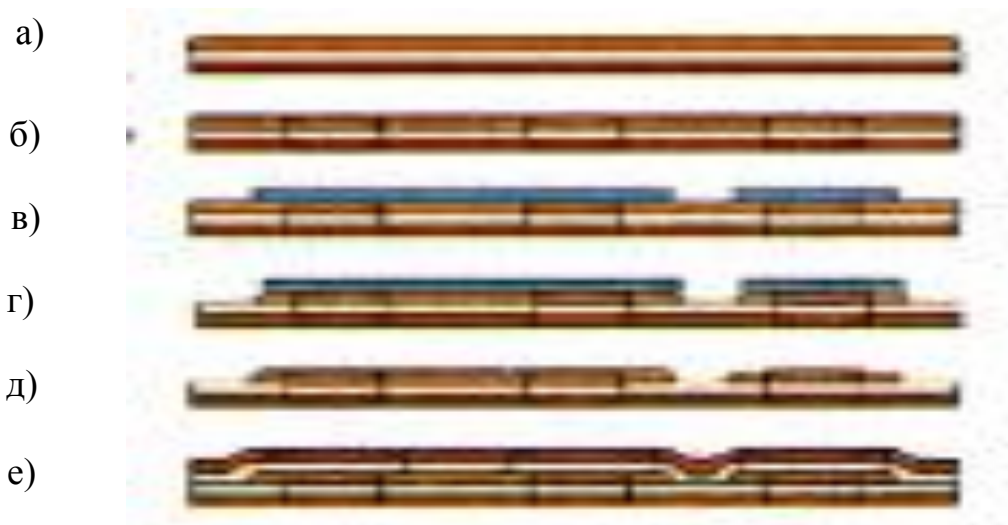
Висновки до підрозділу

Переглянувши усі переваги та недоліки поліаміду та полієфірних плівок було прийнято рішення на користь поліаміду, оскільки даний матеріал вже широко використовується у радіоелектроніці, вироби з нього мають високу надійність та міцність. Його кристалічна структура більш міцна, можливість травлення у гарячих лугах дозволяє проявити свободу фантазії при

проектуванні технологічного процесу виготовлення електронних елементів, а діапазон робочих температур дає можливість не боятися високих перегрівів обчислювальної техніки. Поліефірні плівки також створили конкуренцію обраному матеріалу, але, через обмежену здатність до пайки було відхилено їх використання із міркувань щодо подальшого розвитку гнучких друкованих плат та електронних пристроїв, яке через наявність такої вади стикнеться з сильною проблемою.

2.2 Розгляд технологій виготовлення друкованих плат з фольгованого поліаміда

Схема найбільш популярної технології виготовлення представлена на рис. 2.2. Дана технологія виготовлення має декілька варіацій застосування та зміни основних вхідних показників та елементів.



а – одностороння фольгована плівка; б – свердління отворів; в – нанесення малюнку фоторезиста; г – травлення міді; д – видалення резисту; е – нанесення плівки

Рисунок 2.2 – Класична технологія виготовлення гнучких плат без металізації отворів

Але, в цілому, дана технологія виготовлення гнучких структур із поліаміду не сильно відрізняється від звичної і вже розглянутої технології виробництва друкованих плат, проте слід розглянути її більш детально для вивчення технологій роботи саме з поліамідними структурами. Наслідком відсутності у подібних платах металізованих отворів їх виготовлення є більш економічним ніж виготовлення звичайних жорстких або гнучко-жорстких плат. Проте дані плати відрізняються більшою гнучкістю та знаходять своє застосування у якості гнучких шлейфів, не втрачаючи свою надійність через багатократні згини. Як вже було розглянуто, такі плати використовуються у побутовій техніці, тобто у приводі дисководу, у автомобілях та у принтерах.

Дані плати потребують міцних паяних з'єднань, але через відсутність металізованих отворів, неможливо забезпечити їх наявність. Тому у даних платах використовуються розгалужені контактні майданчики.

Для виготовлення друкованої плати необхідно скористатися мідною фольгою, яка часто використовується у композиційних мідних матеріалах. Вона оброблена спеціальним чином та може забезпечити гарне зчеплення з поліамідним діелектриком, або з адгезивом. Також існує фольга з подвійною обробкою, де обидві сторони вже оброблені та готові до роботи.

Мідну фольгу чистять вручну, або на спеціалізованих промислових машинах. Вручну мідну фольгу чистять за допомогою щітки та кислотної суспензії. Щіткою необхідно користуватись обережно, щоб не деформувати та не зіпсувати матеріал фольги та не змінити її розміри. Для мінімізації ризику деформації та пошкодження матеріалу слід класти гумову підкладку під фольгу.

На виробництві використовується спеціальне конвеєри для очищення плат та підготовки мідної поверхні, але при неправильному налаштуванні обертальних щіток на цих машинах можна пошкодити тонкий гнучкий матеріал. Також конвеєрні установки можуть бути використані для фольгованих полімерних плівок. У таких випадках плівку необхідно

зафіксувати жорстко для запобігання її пошкодження. Також конвеєрні установки використовуються для очищення таких ламінат види деформації

Також застосовують хімічне очищення. Це відмінний метод підготовки поверхні до роботи. Для нього необхідно видалити всі попередні забруднення наприклад відбитки пальців жирові сліди пил бруд та інші видалити покриття які захищають поверхню від окислення та потемніння, для того щоб усі хімічні реагенти могли розраховувати правильно та виконати травлення мідної поверхні. Травлення необхідно виконувати лише на чистій поверхні. Окрім простого очищення необхідно зняти усі антивірусні та антикорозійні покриття які були нанесені виробником матеріалу або при інших операціях

На наступному етапі необхідно просушити заготовку, для запобігання окислення або потемніння матеріалу. На виробництві для цього користуються конвеєрними сушарками або сушарками з жорсткими підкладками.

Далі необхідно проявити малюнок на фоторезист і це можна зробити за допомогою проявника з хімічним складом, який співпадає з типом використовуваного резиста. Найбільш підходящим обладнанням для проявлення фоторезиста є спеціально сконструйовані конвеєрні стрічки, які забезпечують плавність та акуратність та сортування виробів. Звичайні проявочні машини конвеєрного типу також можна використовувати для обробки гнучких елементів, необхідно тільки звертати увагу на те щоб гнучкий ламінат не потрапляв у зазор між валками конвеєрної системи та не намотувався на валки. Проблему можна вирішити закріпивши шмат жорсткого матеріалу до ведучої кромки гнучкого ламіната, це ж відноситься і до усього конвеєрного обладнання яке використовується при обробці гнучких ламінатів.

Адгезив, який використовується для поклейки фольги до поліамідної мідної основи повинен бути сумісним з більшістю складів та рецептів для травлення міді, у тому числі на основі аміачного комплексу хлорної міді, кислого розчину хлорної міді та хлорного заліза. Рисунок схеми формується шляхом травлення відкритої міді (рис 2.3) травлення ведеться у струменевих конвеєрних стрічках, що не завжди можливо через гнучкість заготовок.

Необхідні спеціальні машини, або треба завантажувати гнучкі плати на конвеєр машини для травлення зі спеціальними засобами або виконувати травлення у пружних ваннах з обприскування. Після травлення слід провести ретельну промивку при температурі 18 °С - 27 °С для видалення всіх наслідків процесу, особливо на кордонах і торцях заготовки.

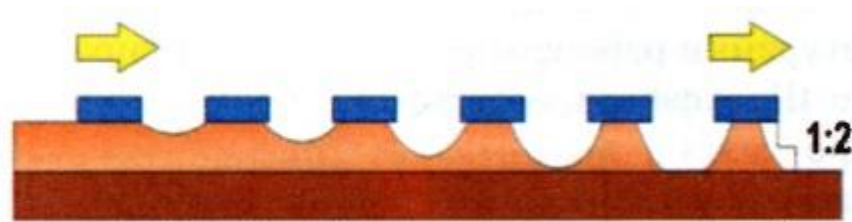


Рисунок 2.3 – Травлення малюнку по фоторезисту

При подальшому пресуванні покривної плівки під впливом температури будь-які залишки складу травлення можуть викликати потемніння і пошкодження схеми. При травленні провідників з високим профілем в лужних розчинах може бути необхідно нейтралізувати травильний розчин, щоб видалити сліди розчину для травлення з заготовки.

Після травлення потрібно перевірити критично важливі розміри і базові отвори отриманої схеми, порівнявши заготовку з фотошаблоном, щоб переконатися, що вони не вийшли за призначені допуски.

Для відтворення тонкого малюнка використовують напівадитивну схему процесу, коли провідники по тонкому провідному шару гальванічно нарощуються в рельєфі фоторезисту (рис. 2.4). Різниця в товщині міді на провідниках і в пробільних місцях настільки велика, що є можливість здійснювати диференціальне травлення. Травлення може здійснюватися у розчинах гарячих лугів для більш якісного нанесення мідного провідного малюнку. Також, поліамід, на відміну від аналогів дозволяє виконання подібної операції.

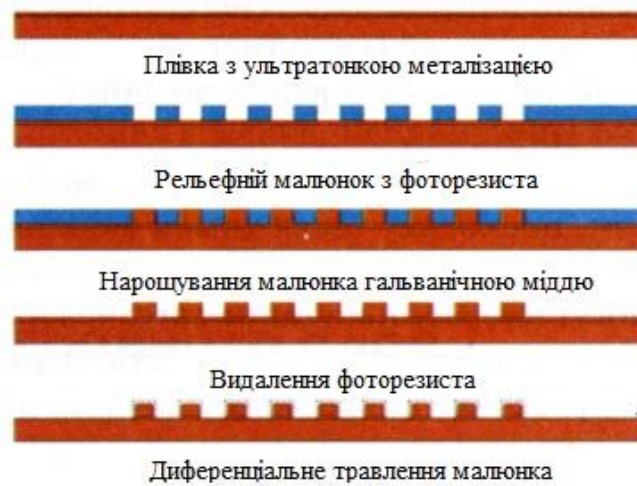


Рисунок 2.4 – Напівадитивний метод відтворення тонкого малюнка

На наступному етапі необхідно видалити фоторезист з заготовки, також це називають стрип-процесом. Видаляти фоторезист необхідно у ваннах за допомогою занурення або за допомогою конвеєрних стрічок та за участі розчинів, що підходять для використовуваного фоторезисту. Параметри часу обробки, температури та концентрації розчину необхідно задавати за рекомендаціями виробника фоторезисту.

Нижче представлені найбільш часто застосовувані способи для видалення фоторезисту з поверхні заготовки. Один з них – видалення у водно-лужному середовищі. Цей процес представляє собою використання 1-3% водного розчину лугу. Для того щоб запобігти пошкодженню заготовки, необхідно тримати спеціально розраховану температуру під час експерименту. Також можна видалити фоторезист за допомогою напівводяних розчинів для його зняття. Такі розчини зазвичай мають собі фірмову хімію, яка складається з деяких лужних речовин або розчинників, які мають високу температуру кипіння. Ванну зазвичай готують заливши 20-30 відсотків води по об'єму та працюють за температурою від 45 °C до 60 °C. Час, виділений на зняття фоторезисту повинен бути від двох до п'яти хвилин. Також фоторезист знімають за допомогою розчинників. Даний спосіб у деякому сенсі небезпечний, оскільки можна пошкодити плату та доріжки на ній, тому працювати необхідно на мінімальних рекомендованих температурах та з

мінімальним часом перебування Також, для того, щоб не пошкодити адгезив слід також слідкувати за кислотністю розчину яка регулюється інструкцією від виробника. Необхідно промивати плату та видаляти вже знятий фоторезист, для того щоб він не вплинув на окрас плати і вона не забарилася фарбами від знятого фоторезиста, який залишився у ванні. Для запобігання такому явищу необхідно частіше міняти розчин у ванні для зняття фоторезисту.

Також, заготовки які оброблені у розчинниках або у водних розчинах слід сушити півгодини при температурі 120 °С. Та після роботи з водно-лужними розчинами, зняття фоторезисту та промивки, необхідно виділити півгодини для сушіння плати при 120 °С.

На наступному етапі необхідно очистити поверхню міді та нанести покривних шари. На даному етапі найбільш підходящим способом є хімічні методи очищення. Кількість міді яка знята з ламінату у процесі травлення виробу напряду зв'язано з імовірністю появи механічних деформацій. Для очистки слід використовувати хімічний метод який вже був описаний вище. Покривний шар виконує функцію захисту малюнку провідників, проте необхідно вибрати правильну товщину покривного шару.

Далі виконується термічна сушка перед пайкою для видалення усих залишків рідин з плати та запобігання проблем на наступному етапі. Сушка поліамідних гнучких плат виконується у спеціальних сушарних установках або на конвеєрній стрічці. Рекомендована температура – 120 °С, рекомендований час на виконання операції – 30 хвилин.

Наступний етап – пайка. Після термічної сушки необхідно якнайшвидше відправити виріб на пайку щоб запобігти повторного вбирання вологи. Проте, якщо для сушки використовувалася вакуумна піч, то можна обійтись більш низькими температурами від 10 °С до 80 °С. Вакуумні печі до того ж мають ще одну перевагу: при відсутності кисню окислення неможливо.

Далі необхідно провести лудіння з вирівнюванням припою. Для цього можна використовувати стандартні методи введення жорстких друкованих плат, оскільки вони підходять також для гнучких композиційних матеріалів та

для поліамідів. Однак деякі операції, наприклад вирівнювання гарячим повітрям вимагають застосування спеціального оснащення для кріплення виробу, щоб домогтися найкращих результатів необхідно уважно стежити за рекомендаціями виробника засобу для пайки. Слід запобігати поганого змочування контактних майданчиків припоєм, дана проблема може поставати при використанні деяких покривних плівок в якості паяльної маски. Імовірною причиною цього дефекту можливо є перенос з цієї плівки деякої органіки, яка не може видалитися звичайно за допомогою звичайної хімічної очистки та флюсування майданчиків.

Далі необхідно видалити флюс. Оскільки для пайки використовують найбільш різні флюси, звичайний метод очищення після пайки передбачає лужне очищення з легкою обробкою механічними інструментами, тобто щіткою або абразивом. Дана процедура дуже високоефективна, тому що вона також прибирає іонні забруднення (рис 2.5). Вона передбачає такі операції: виконання даного процесу необхідно підготувати гарячу лужну ванну для занурення промити плату водою також промити де іонізованою водою декілька разів.

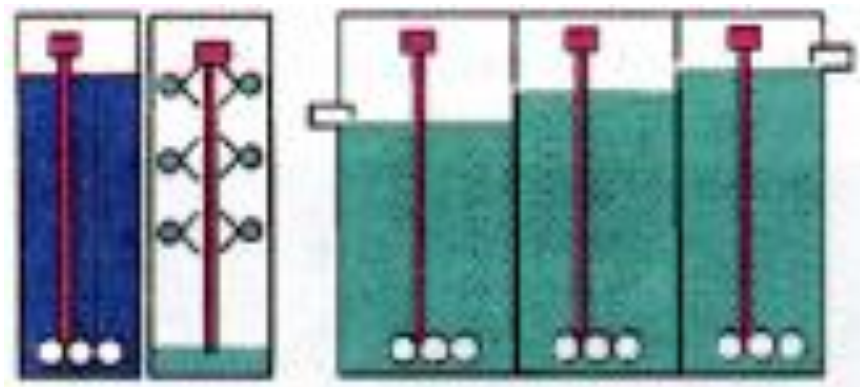


Рисунок 2.5 – Процедура видалення флюсу після пайки. Три каскади протистічної каскадної промивки при 80 °С служить для видалення іонізованих забруднень та залишків флюсу

Насамкінець останній етап – висічка та обрізання по контуру (рис 2.6). Мається на увазі процес вилучення друкованої плати із заготівки та надання їй

кінцевої форми, обробка контурів плати. Висічка зазвичай виконується за допомогою простого штампа. Для висічки великих партій плат, а також для виробки контура з жорсткими допусками не менше 125 мкм застосовують більш точні та більш дорогі висічні штампи. Фрезерування контуру односторонніх та двосторонніх гнучких плат без наскрізних металізованих отворів зазвичай, стараються не застосовувати так як воно може дати занадто голуку кромку. Успішно застосовується також метод вирізання струменем води під великим тиском або гидрорізка. Останнім часом для обробки виплат по контуру використовується лазери крім того вони дають можливість відкриття внутрішніх шарів міді для забезпечення доступу до монтажних елементів необхідно запобігати гострих кутів у контурі плати, виробники дуже часто скручують гострі кути та створюють інші осередки напруження, які у майбутньому можуть ініціювати пошкодження або розриви у критичних місцях. для запобігання розриву края плівки необхідно ставити міні перемички для запобігання пошкоджень.



Рисунок 2.6 – Висічка плати за виробленим штампом

2.3 Висновки до розділу

З розглянутих технологій виробництва друкованих плат добре видно, що їх виготовлення потребує великих матеріальних затрат. Але, оскільки життєвий цикл виробу не закінчується на виготовленні, а продовжується крізь експлуатацію до утилізації, то виробник повинен проводити експерименти над готовим виробом для покращення виробу у подальшому використанні та перевірки його ремонтпридатності. Експерименти та покращення якості виробів після настільки енергоємкого виготовлення забирають ресурси підприємства, як матеріальні, так і кваліфікаційні. До того ж, після прийнятого рішення щодо вдосконалення виробу, необхідно переглянути технологію його виробництва та навіть можлива закупівля та заміна обладнання або програм у вже працюючих верстатах. Тому сучасна тенденція розвитку технологій виробництва та післяпродажної підтримки виробів потребує втручання автоматизованих систем проектування та моделювання фізичних впливів на виріб та вдосконалення його ще до його створення. У інших галузях вже застосовуються подібні САПР. У будівництві, тестуванні транспортних засобів, гірничодобувній промисловості за допомогою них вже моделюються впливи на піддослідні елементи та вироби. Пропонується розглянути детально виробництво гнучких друкованих плат та декілька з систем автоматизованого проектування та вибрати найбільш підходящу систему для виконання поставленої задачі.

3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО ЗАСОБУ ТА МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ

Для покращення якості та гнучкості друкованих плат необхідно виготовити плату із більш еластичного матеріалу, який буде також відповідати вимогам надійності та вібростійкості. Проте, недостатньо виготовити плату, оскільки у такому разі виявляється необхідність у зайвих експериментах. Для того, щоб виключити подібну необхідність, треба звернутися до систем автоматизованого проектування та моделювання. На даний момент існують декілька інструментів САПР. Перед початком досліджень необхідно дослідити та вибрати інструмент САПР. Серед найбільш відомих та підходящих до вимог засобів: ANSYS, Solidworks, , Nastran.

SolidWorks – продукт компанії (зараз – дочірня компанія Dassault systems, яка спеціалізується на САПР та підготовці виробництва будь-якої складності та призначення).

Даний інструмент має широкий спектр галузей використання, оскільки вже давно користується популярністю на ринку програмного забезпечення та має декілька оновлень з поглибленими можливостями проектування та моделювання інженерних рішень. Найкраще вимогам даної дослідницької роботи відповідає пакет Solidworks Premium.

Саме цей пакет дозволяє виконувати наступні маніпуляції: проектування трубопроводів (SolidWorks Routing): жорсткі збірні трубопроводи (на зварюванні і різьбленні), гнуті трубопроводи, гнучкі підводки і шланги. Формування даних для трубогибов зворотний інжиніринг (ScanTo3D): перетворення відсканованого хмари точок в 3D-моделі SolidWorks; аналіз розмірних ланцюгів в 3D-моделі збірки (TolAnalyst): розрахунок і оптимізація допусків і посадок інженерний аналіз: SolidWorks Motion – комплексний динамічний і кінематичний аналіз механізмів. SolidWorks Simulation – розрахунок на міцність конструкцій (деталей і зборок) в пружною зоні.

Незважаючи на високу різноманітність даних програмних пакетів, для дослідження нас найбільше цікавить SolidWorks Simulation, оскільки він дозволяє виконувати розрахунок на міцність конструкцій (деталей і зборок) та аналіз процесу затвердіння матеріалу.

Середовище проектування SolidWorks відносно просте у використанні та має зрозумілий інтерфейс користувача (рис. 3.1), з яким можна розібратись навіть вивчаючи посібник або навчальне відео для інструменту SolidWorks зразка іншого року випуску.

Також завдяки пакетам інструментів SolidWorks, користувач може не тільки проектувати та працювати з кресленнями, а також моделювати, працювати із середовищами розповсюдження матеріалу, та навіть проектувати електронні схеми. Більшість цих додаткових інструментів вже знайшли своє застосування на державних та приватних підприємствах, будівництві, гірничо-видобувній промисловості та у багатьох інших галузях, де може знадобитись проектування, тестування та виготовлення будь-яких деталей механізмів чи машин. SolidWorks має багату історію, даний продукт вдосконалюється з кожним роком та вносить зміни у середовище проектування та програмну архітектуру задля зручності користування та відповідності вимог клієнтів.

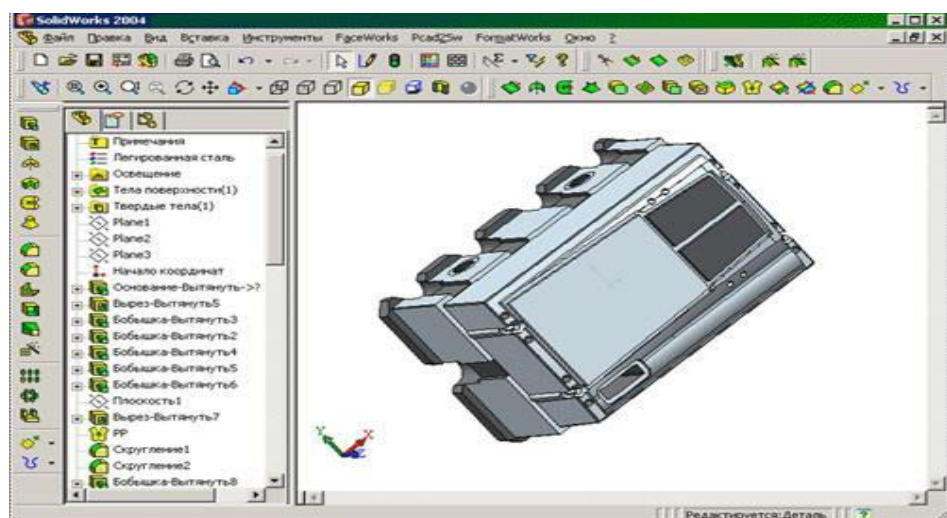


Рисунок 3.1 – Інтерфейс користувача SolidWorks

Переваги: простий інтерфейс користувача, наявність великої кількості інструментів, більш наочна ілюстрація моделі ніж у аналогічних середовищ розробки, як при проектуванні так і при моделюванні. Можливість встановити пакет програм, для виконання декількох задач, окрім проектування. Завдяки освітній програмі та популярності знайома студентам та інженерам. Найбільш точно відповідає вимогам теми та технічного завдання цієї роботи. Не займає багато пам'яті при відсутності складних випробувань та не потребує великих витрат часу та сил на видалення.

Недоліки: дуже дорого коштує, а для придбання безкоштовної студентської версії необхідно пройти дуже довгу та енергоємку процедуру (zareєstrуватись у американській базі даних студентів, подати електронну заявку, зв'язатись у Facebook зі співробітниками компанії SolidWorks, після чого вони перевіряють правильність вказаних вами даних при реєстрації та видадуть серійний номер та код активації для програми, яку можна скачати з офіційного сайту). Погана реалізація оновлень (деталі, спроектовані у більш пізніших версіях навіть не відкриваються у версіях, які були випущені раніше).

ANSYS – програмна система, створена для роботи у сфері систем автоматизованого проектування та моделювання. Також користується популярністю у інженерів-проектувальників по всьому світу та представляє користувачу типовий інтерфейс для роботи з елементом. Моделювання здійснюється за допомогою технології накладення сітки та поділення предмету на сегменти. Інтерфейс користувача побудований методом «дерева», коли з одного сегменту відкриваються декілька інших (рис. 3.2). Цей інтерфейс є типовим та схожий на інтерфейс інших програмних засобів автоматизованого проектування та моделювання. Має дещо більш демократичні вимоги до техніки, на якій запускається та дає змогу детально дослідити елементи, з якими працює. Дозволяє моделювати вплив на елементи та перевірити їх стан за такими параметрами, як: міцність, термічний стан, електромагнетизм, дозволяє моделювати динаміку газів та рідин як окремо, так і одночасно. Моделювання механічного впливу та впливу тепла

може бути поєднаним, тобто, за допомогою цього середовища автоматизованого моделювання можна побачити деформацію приладу не тільки від механічного, а і від термічного або електромагнітного впливів. Моделювання впливів за різними критеріями проводиться у відповідних пакетах програми. Mechanical – міцність та тепловий стан, Structural – тільки лінійний та нелінійний механічний вплив, Professional – вирішення лінійних завдань з механічного впливу з урахуванням тепла, EMAG – аналіз електромагнетизму, Flotran – гідро та газо динаміка.

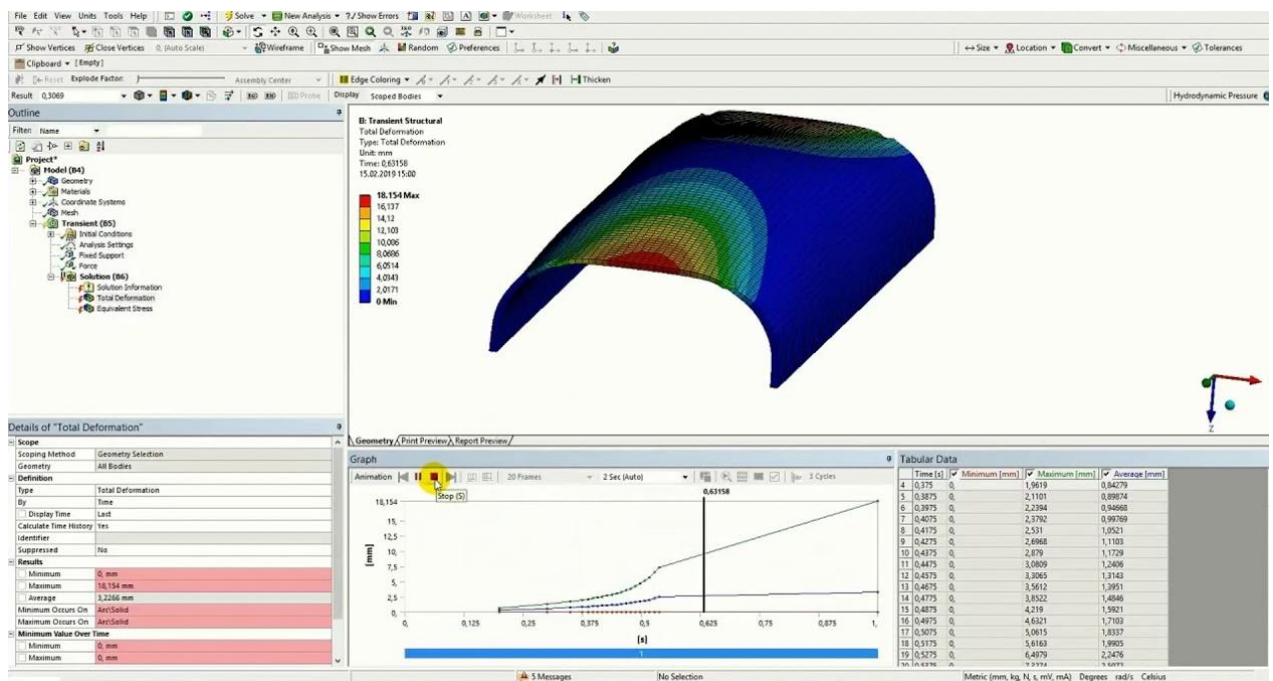


Рисунок 3.2 – Інтерфейс користувача ANSYS

Переваги: велика швидкість обробки інформації, великий спектр отриманої інформації, яка ілюструється декількома способами. Має велику бібліотеку кінцевих елементів, може працювати з кресленнями популярних форматів, імпортованих з інших САПР систем. Також відносно невеликі системні вимоги.

Недоліки: малий спектр використання та, як і у всіх засобів автоматизованого проектування та моделювання, велика ціна.

Система NASTRAN створена для оптимізації та розрахунку міцності конструкцій (рис 3.3). Вона дозволяє аналізувати: напругу та деформацію, частоти та форми коливань піддослідного предмета, стійкість конструкції, теплопередачу між конструкційними елементами, нелінійні статичні та динамічні перехідні процеси, частотні характеристики при навантаженні. Також програма дозволяє проводити спектральний аналіз, розраховувати критичні частоти та вібрації обертальних механізмів, досліджувати акустичні явища та аеропружність.

NASTRAN створений для моделювання систем управління та систем терморегуляції. Програма створена таким чином, щоб проводити покроковий контроль роботи та стану конструкції при зміні умов навколишнього середовища та навантаженнях. Розрахунки проводяться за допомогою чисельних методів розріджених матриць, а також із застосуванням елементів апроксимації високого порядку та округлення та наближення вирішуваних значень. Це призводить до підвищення швидкості обчислень та ефективності обробка даних. Система NASTRAN може бути прив'язана до інтегрованої середовища моделювання PATRAN, яка представляє собою інтерфейс користувача NASTRAN. Також цей програмний продукт може бути інтегрований у цілий ряд систем автоматизованого проектування у якості розрахункового ядра.

Переваги: Великий спектр досліджень, швидкі прорахунки параметрів та отримання результату. Можливість покроково прослідкувати вплив на піддослідний елемент. Може бути інтегрована у цілий ряд САПР як розрахункове ядро.

Недоліки: не є самостійним елементом та потребує встановлення середовища проектування окремо та комутації з ним, результати апроксимовані.

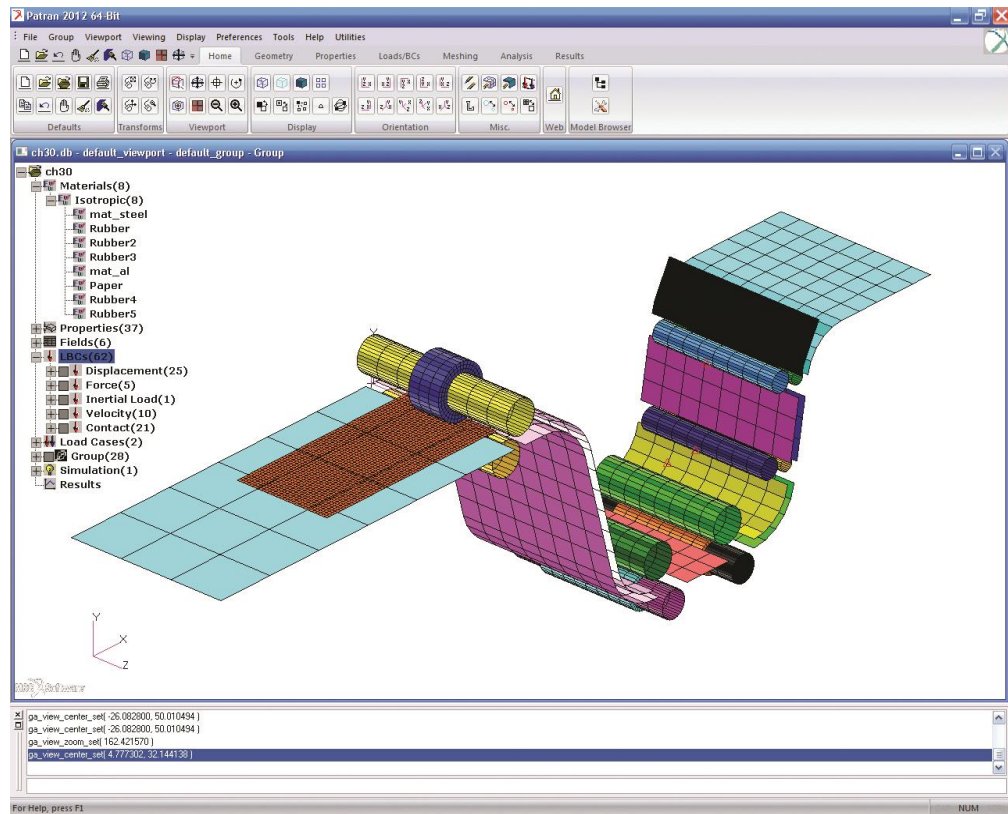


Рисунок 3.3 – Інтерфейс користувача PATRAN, з яким найчастіше усього користуються засобом NASTRAN

3.1 Висновки до розділу

Проаналізувавши функціональність вищеописаних CAE-систем, можна зробити висновок, що програмний продукт SolidWorks є найоптимальнішим, який задовольняє всім заданим вимогам, а це:

- наявність великої бібліотеки кінцевих елементів;
- прямий імпорт геометричних моделей з найбільш популярних CAD - систем;
- наявність різноманітних математичних моделей фізичної поведінки матеріалів;
- наявність зручного інтерфейсу;
- вивід результатів в легкому для розуміння відображенні за допомогою кольору [10].

4 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НА ГНУЧКУ СТРУКТУРУ З ПОЛІАМІДУ НА ПРИКЛАДІ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

При експлуатації електронних засобів, а саме друкованих плат, найбільш часто пристрої вигинаються. Також мають місце і інші види деформації, але вони не настільки повторювані, як відхилення від заданої площини друкованої плати, або вигин (рис. 4.1).

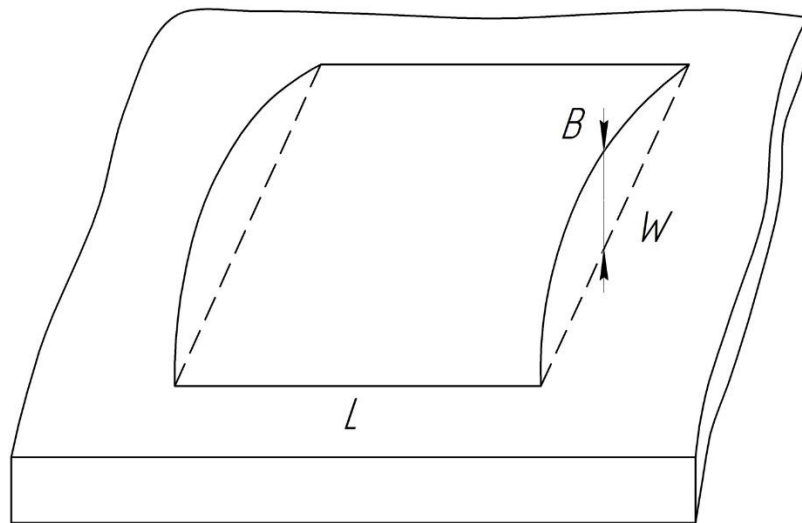


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення відхилення друкованої плати від заданої площини

Даний вид деформації часто виникає у електронних системах. Наприклад, у приводах дисководів та на сонячних панелях, а також у інших електронних пристроях, які були розглянуті у другому розділі. Такий вид деформації може призвести до тріщин у провідниках та пошкодженні діелектричного шару друкованої плати. Найчастіше, при експериментах прийнято брати за основне навантаження – прямий вигин з прикладанням сили до центру друкованої плати та фіксацією по крайнім кромкам.

Одним з параметрів, який може вплинути на покращення якості гнучких структур є товщина провідників та діелектрику. За допомогою отриманих при експериментах значень напруги матеріалу необхідно знайти найбільш міцну

та вигідну для виробництва комбінацію товщин провідників та діелектричного шару. Таким чином можна покращити якість гнучких структур та збільшити їх надійність.

У даному розділі проведені дослідження міцності гнучкої друкованої плати при різних значеннях товщини мідних контактних майданчиків та поліамідного діелектричного шару. Побудована 3D модель досліджуваної плати та виявлені значення напруги для окремих місць плати при заданих навантаженнях. Досліджувана плата складається з двох матеріалів – мідь та поліамід.

Піддослідний елемент поводитиме себе у згоджені з графіком, показаним на рисунку 4.2.

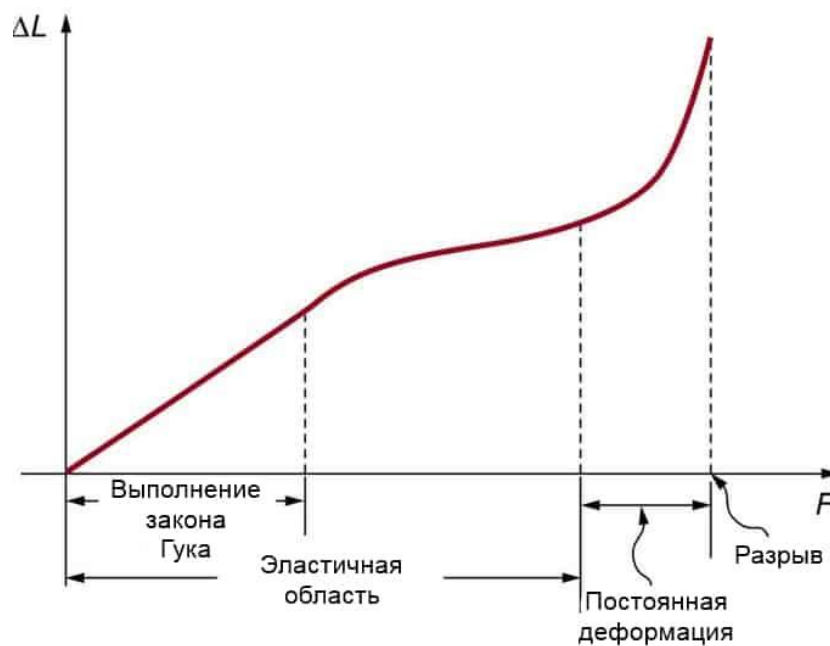


Рисунок 4.2 – Залежність еластичності від сили, прикладеної на предмет

Поведінку друкованої плати при механічному впливі можна спрогнозувати за формулою

$$\sigma_z = E\varepsilon_z = E \frac{y}{\rho}$$

де E – модуль Юнга;

y – відстань деформації.

За якою можна розрахувати напругу. Проте силу для напруги можна розрахувати за іншою формулою:

$$F = k\Delta l.$$

де F – сила, прикладена на піддослідний предмет;
 k – коефіцієнт Гука, l – відстань деформації.

Також для розрахунків напруги була використана формула узагальненого закону Гука:

$$\sigma_{ij} = \sum_{kl} C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}.$$

При розрахунках для немодифікованої плати та при експерименті було виявлено, що друкована плата ламається при нарузі у 87 Ньютон при тиску у її геометричний центр та відстань точки напруги від початкової точки у останній момент спостереження цілої плати – 7 мм.

При проведенні експерименту з модифікованою платою було розраховано та виявлено, що дана плата ламається при навантаженні у 110 Ньютон та відстань деформації у неї – 13 мм.

Для математичного задання експерименту та схематичного прогнозування поведінки піддослідного елемента була використана функція тотожна узагальненому закону Гука:

$$\sigma_{ij} = \sum_{kl} C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}$$

Також необхідно скористатися формулою для знаходження закону розподілу напружень у піддослідному елементі:

$$\sigma_1 = \frac{MyE_1}{E_1J_1 + E_2J_2}.$$

де J – момент інерції.

Параметри піддослідної плати: товщина мідних провідників H_1 – 35мкм, ширина провідників мкм, товщина плати H_2 – 100мкм.

Фізико-механічні властивості матеріалів гнучкої друкованої плати представлені на рисунках 4.3 – 4.4.

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости в X	1100000000	Н/м ²
Козффициент Пуассона в XY	0.4	Не применимо
Модуль сдвига в XY	318900000	Н/м ²
Массовая плотность	1140	кг/м ³
Предел прочности при растяжении в X	50000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии в X	90000000	Н/м ²
Предел текучести	65000000	Н/м ²
Козффициент теплового расширения в X	8	/К
Теплопроводность в X	0.2256	W/(м·К)

Рисунок 4.3 – Властивості поліаміду

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	1.1e+011	Н/м ²
Козффициент Пуассона	0.37	Не применимо
Модуль сдвига	4e+010	Н/м ²
Плотность	8900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	394380000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии в X		Н/м ²
Предел текучести	258646000	Н/м ²
Козффициент теплового расширения	2.4e-005	/К
Теплопроводность	390	W/(м·К)
Удельная теплоемкость	390	J/(кг·К)

Рисунок 4.4 – Фізико-механічні властивості міді

Далі потрібно розрахувати прогнозовані параметри результатів експерименту. Оскільки пружна деформація буде проходити у двох речовинах – міді та поліаміду, важливо прорахувати поведінку вищевказаних речовин та приблизне місце знаходження нейтральної вісі.

Нейтральна вісь – це вісь, у поперечному перерізі деформованого предмета, у якій нормальні напруження дорівнюють нулю. В бік, протилежний дії сил у предметі наявне напруження стискання, а в бік по дії деформуючих

сил, у предметі діють розтягувальні напруження. Наочна демонстрація явища зображене на рис. 4.5, на якому нейтральний шар, перпендикулярно, до якого є нейтральна вісь, показаний X.

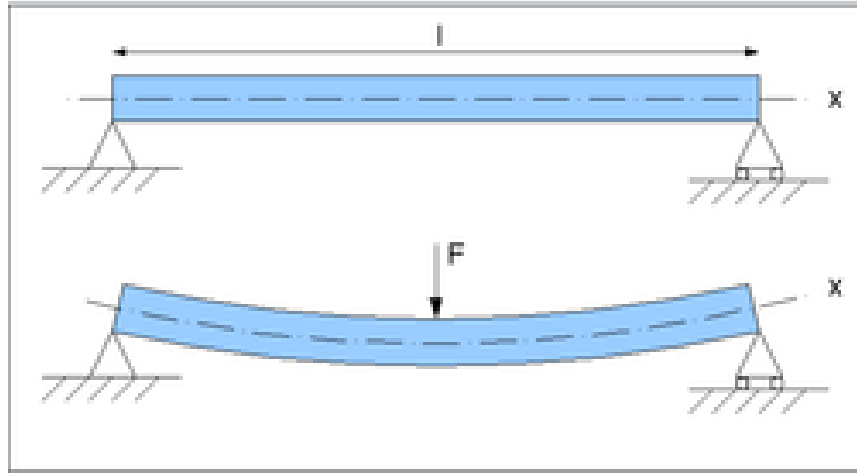


Рисунок 4.5 – Нейтральна вісь при деформації тіл

Оскільки модуль пружності поліаміду значно переважає пружність мідного шару, а також його товщина більша за мідь, нейтральна вісь, прогнозовано, буде знаходитись у поліамідному шарі. Точне її розташування можна вичислити за допомогою формули:

$$M = \int_F \sigma z dF = \frac{E}{\rho} \int_F z^2 dF,$$

де z – координата нейтральної вісі;

ρ – радіус кривизни зігнутого елемента;

σ – напруження у матеріалі.

Дана формула випливає із закону Гука, який виражає фізичний бік задачі.

Якщо скористатися відомими значеннями та підставити їх у вищевказану формулу, пам'ятаючи про те, що сумарна осьова сила в поперечному перерізі на нейтральній лінії дорівнює нулю, та взявши невідоме за h_1 отримаємо два шляхи рішення. Один для мідного шару, а інший – для

шару поліаміда. Та, після обчислень, можна скористатися тим, що сумарний момент сили та напруга на нейтральній лінії дорівнює нулю. При обчисленнях маємо:

$$E \int_F z dF = E \left[\left(-\frac{h_1}{2}\right) h_1 B_1 + \left(\frac{H_1-h_1}{2}\right) (H_1 - h_1) B_1 \right].$$

Підставивши числа у дану формулу, отримаємо:

$$E \int_F z dF = 11 \left[\left(-\frac{h_1}{2}\right) h_1 40 + \left(\frac{35-h_1}{2}\right) (35 - h_1) 40 \right] = 4(118 - 20h_1),$$

Для поліамідного шару. Також для мідного шару були проведені аналогічні розрахунки за зманими показниками пружності, товщини та ширини матеріалу. За цими розрахунками було отримано значення: $18(35 - h_1)$.

Ані розрахункові значення були отримані для товщини плати у 100 мкм. Після підставлення цих величин у закон відсутності напружень на нейтральній лінії та проведення розрахунків, було виявлено, що нейтральна лінія знаходиться у шарі поліаміду на відстані 34 мкм від поверхні з мідними контактними майданчиками при прикладеній силі у 5 Ньютон.

Також були проведені розрахунки для пошуку нейтральної лінії у платі товщиною 50 мкм. Для цього експерименту також були проведені розрахунки з коректуванням габаритів плати. Та після цих розрахунків було виявлено, що при товщині плати у 50 мкм та товщині мідного шару у 35 мкм, нульова лінія буде знаходитись на відстані 21 мкм від границі з мідним шаром та по центру друкованої плати при належно прикладеній силі у 5 Ньютон.

Також при попереному зганні предмету, він передуває у напружено-деформованому стані. На ньому також присутні точки небезпеки, які є найбільш вразливими для фізичних пошкоджень. Їх появу та місцезнаходження можна спрогнозувати.

Місця появи точок небезпеки:

– точка, де нормальне напруження досягає найбільшого значення;

– точка, де дотичне напруження досягає найбільшого значення;
 – точка, у якій момент напруження та момент інерції, хоч і не набувають своїх найбільших значень, проте створюють найбільш вигідну умову для руйнування матеріалу.

Умова міцності для першої точки небезпеки виглядає наступним чином:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma].$$

Умова міцності для другої точки, небезпеки, яка у свою чергу лежить на нейтральній лінії має наступний вигляд:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{b I_x} \leq [\tau].$$

Умова міцності третьої точки небезпеки також можна використати як формулу для еквівалентних напружень:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2} \leq [\sigma].$$

Далі, слід зобразити деформацію схематично (рис 4.6), для більш наочного сприйняття та більш точних розрахунків. На даному малюнку зображений брус. Далі сприйматимемо наш піддослідний елемент, як брус з торцевого боку. Його ширина $h = 100$ мм, товщина $b = 35 + 100 = 135$ мкм. Слід розрахувати напружену реакцію, згинальний момент та місця знаходження точок небезпеки, у яких слід очікувати максимальну напругу.

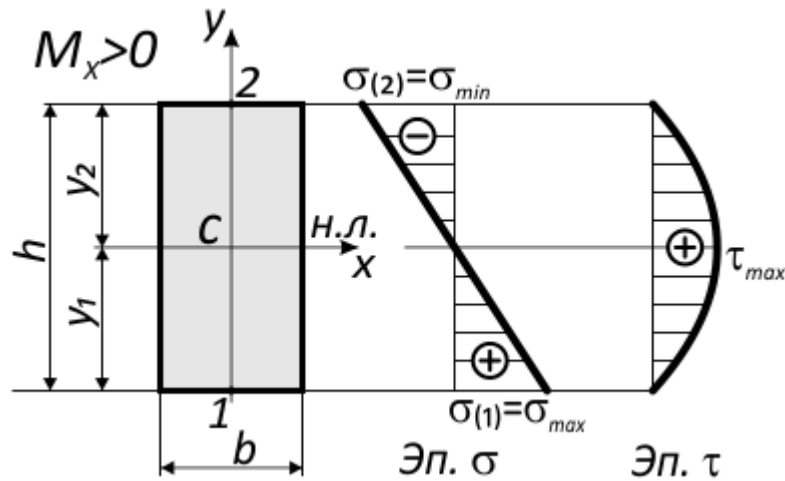


Рисунок 4.6 – Схематична деформація вигину

Розрахуємо силову реакцію у крайніх точках за формулою:

$$R_{A,B}^y = h \cdot F + y.$$

Розрахунки були проведені для правого та лівого боку, оскільки піддослідний елемент зафіксовано з обох боків. Після підстановки чисельних значень у рівняння, було прораховано, що реакцією на застосовану силу буде перенос моменту сили по 2,5 Ньютон на правий та лівий бік. Тобто, сила також подіє на зафіксовану геометрію.

Також слід розрахувати максимальний згинальний момент:

$$M_{\max} = 5 \cdot 0,01 \frac{5 \cdot 0,025}{0,05 \cdot 2} = 6,25 \text{ Нм.}$$

При розрахунках було виявлено, що максимальний згинальний момент – 6,25 Нм. Та точки небезпеки знаходитимуться на місцях фіксації піддослідного елемента та на нейтральній вісі, тобто по центру. Також слід брати до уваги те, що піддослідна плата не може бути розглянута повністю як балка, або брус, оскільки мідний шар покриває її неоднорідно та вона має вирізи та нерівності, а також слоти для кріплення, які будуть змінювати картину розподілу напружень у елементі при моделюванні зовнішніх впливів.

Матеріал поліамід також володіє вигідними значеннями параметру циклової втоми, більше ніж у мідних провідників. Це означає, що при згинаннях та розгинаннях піддослідної друкованої плати більша напруга буде зосереджена саме у міді, бо вона має менший показник силової втоми, а саме 200 – 100000 циклів згинання/розгинання.

Та при моделюванні зовнішніх впливів намагатимемось встановити, де саме плата переносить найбільші значення напруги та які значення товщини поліамідного шару найбільш оптимальні для використання у гнучкій друкованій платі з міркувань надійності, довговічності та циклової втоми. Для експерименту взято модель друкованої плати з слотами для монтажу, мідними провідними майданчиками та за відсутності паяних елементів (рис 4.7).

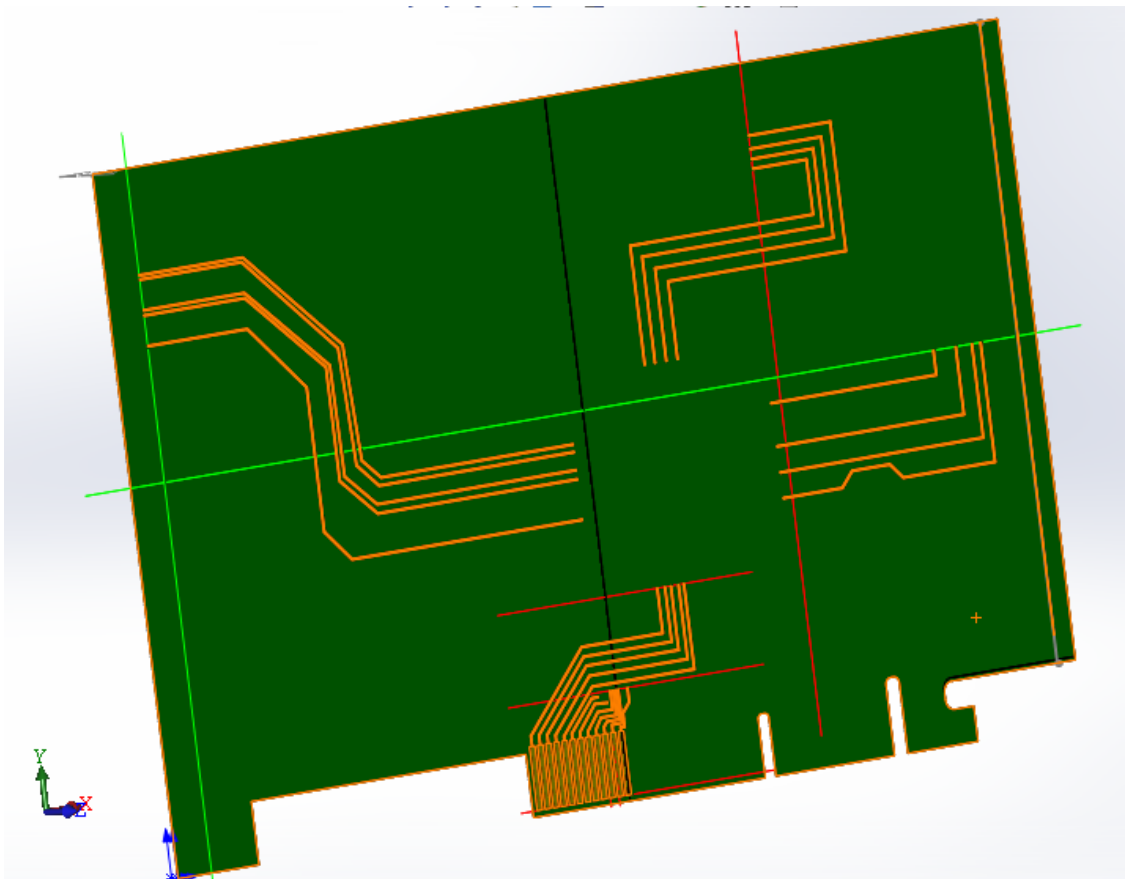


Рисунок 4.7 – 3D модель піддослідної плати

Товщина плати для першого експерименту – 100 мкм, та товщина мідних провідників – 35 мкм.

Перш за все були проведені експерименти з моделюванням деформації плати та її фіксацією лише з одного боку. При даному експерименті можна побачити остаточні деформації плати та значення напруги по усій площі піддослідного елемента. Проте, дана схема експерименту не виправдала себе, оскільки система автоматизованого проектування показала деформацію лише в одному місці, і як наслідок, на моделі дослідження видимі лише невеликі зміни, яку деформації, так і у значеннях напруження, які знаходяться лише біля зафіксованої геометрії та не мають великих показників, як для пружної деформації. Після невдалих експериментів (рис 4.8), єдиною користю яких була ілюстрація можливостей фізичної деформації поліаміду, було прийнято рішення з додавання іншої зафіксованої геометрії, та фіксації плати з обох боків.

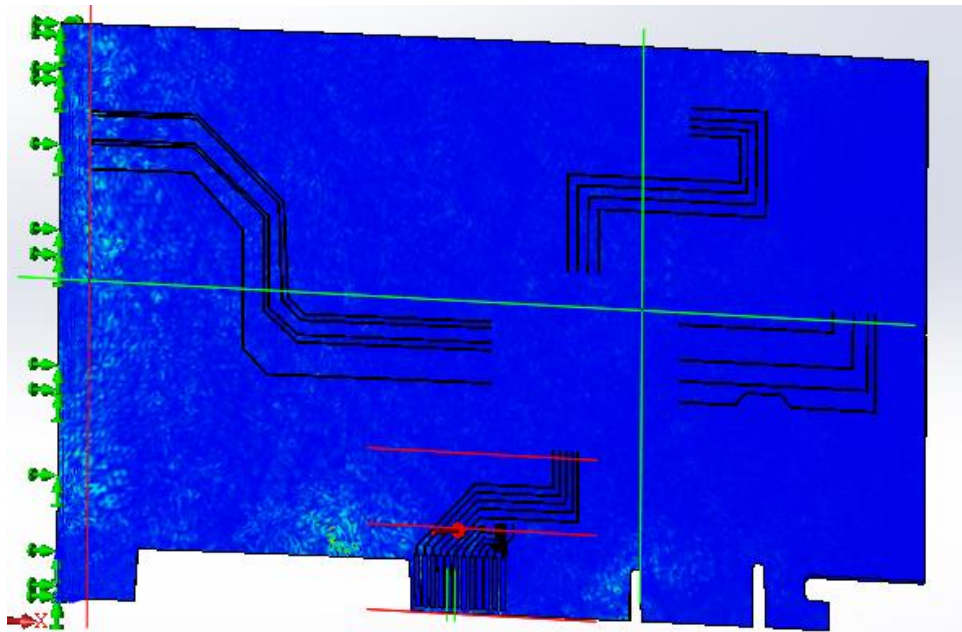


Рисунок 4.8 – Перша спроба експерименту з фізичних впливів на гнучку друковану плату

На наступних експериментах піддослідна друкована плата була зафіксована з двох сторін та після досліду вдалося зняти досить цінні показники напруженості (рис. 4.9). Для експерименту було встановлено

наступні показники: заявлена кількість ступенів свободи – 1245, час, який зайняло вирішення задач моделювання та на ілюстрацію експерименту – 22 год. До плати була прикладена сила у 5 Ньютон та першим експериментом було випробування плати, товщиною 100 мкм. Як видно на рисунку, значення напруг для поліамідного шару та для міді різняться. Це обумовлено тим, що дані елементи мають різну пружність та різну еластичність. Впливає навіть те, що поліамід, на відміну від міді не є металом. Поліамідний шар переносить значно меншу напругу та на рисунку показаний менш теплими кольорами. Проте, навіть у областях з найбільшими значеннями напруги для поліаміду, матеріал би не зламався, оскільки не перевищене значення його граничної міцності.

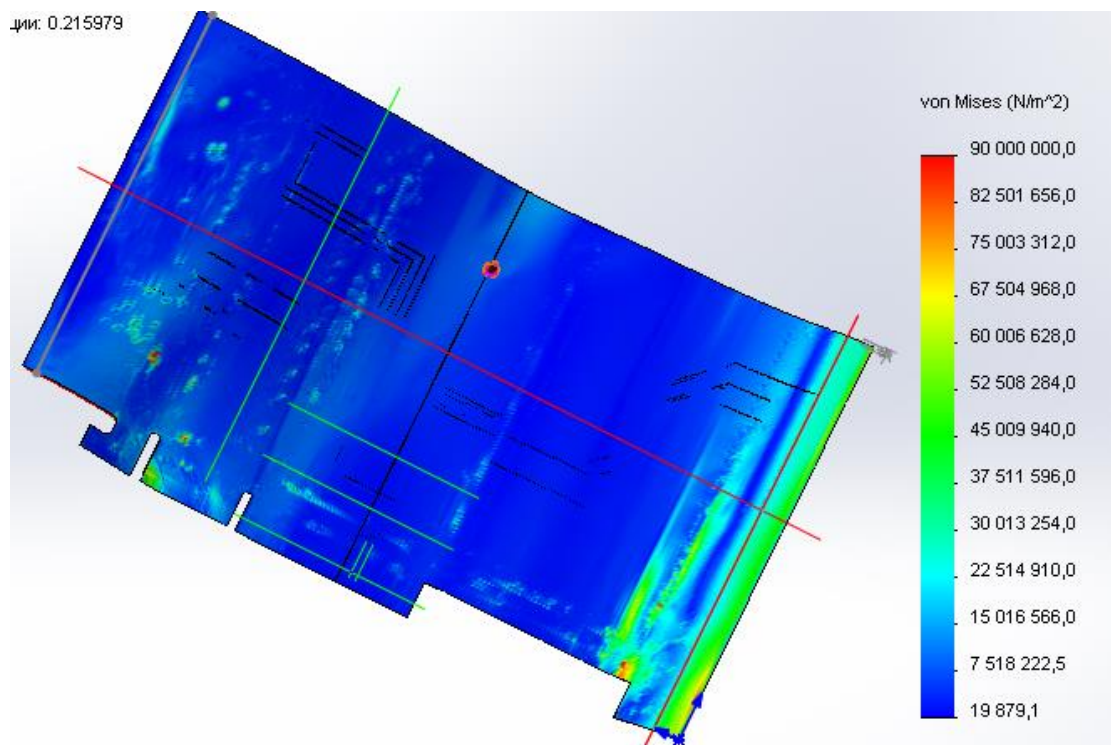


Рисунок 4.9 – Результати експерименту з деформації друкованої плати

На рисунку 4.9 плата показана зі сторони поліамідного шару. Розглянемо інший бік плати на рисунку 4.10. На даному рисунку показний вплив на мідний шар. Проте, зупинимось на впливі на поліамід. Більша частина поверхні плати зображена на малюнку синім кольором. Це означає,

що матеріал не зазнав високих напружень. Проте, на платі наявні і інші кольори. Наприклад, біля правого краю по поверхні плати проходить зелена смужка. Це показує те, що плата зазнала напруження. Зелена смужка знаходиться як раз біля точки фіксації. Тому слід підтвердити вищевказану теорію щодо точок небезпеки. Оскільки, на цій точці плата зазнала найбільшої напруги. Але, інші точки небезпеки не проявили себе у експерименті. Цей висновок можна зробити, оскільки плата була зафіксована з двох боків та місця прикладення сили також не відобразилися на малюнку.

Зелений колір, згідно шкалі, яка представлена праворуч від піддослідного елемента, відповідає позначці $45 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$. Це напруження, біля точки небезпеки на рисунку 4.9. Дану напругу, обраний для експерименту поліамід 6 з легкістю витримає, оскільки його напруга на розрив $90 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$. Проте, на рисунку також помітні невеликі червоні плями. На їх місцях поліамід зазнав напруги, яка може привезти до руйнування матеріалу. Проте, слід зазначити, що у системі автоматизованого проектування Solidworks неможливо вказати властивість матеріалу до складного розповсюдження розриву. Така властивість поліаміду дозволить допустити невеликі області червоного кольору впливу, тому що можна бути впевненим у локалізації даних осередків. Але червоні осередки малі та знаходяться у місцях, далеких від контактних майданчиків. Саме тому, навіть у випадку пошкодження друкованої плати її робочі функції можуть залишитися. Так, що навіть із ними можна вважати, що поліамід впорався з навантаженнями та експеримент з товщиною плати 100 мкм можна вважати вдалим.

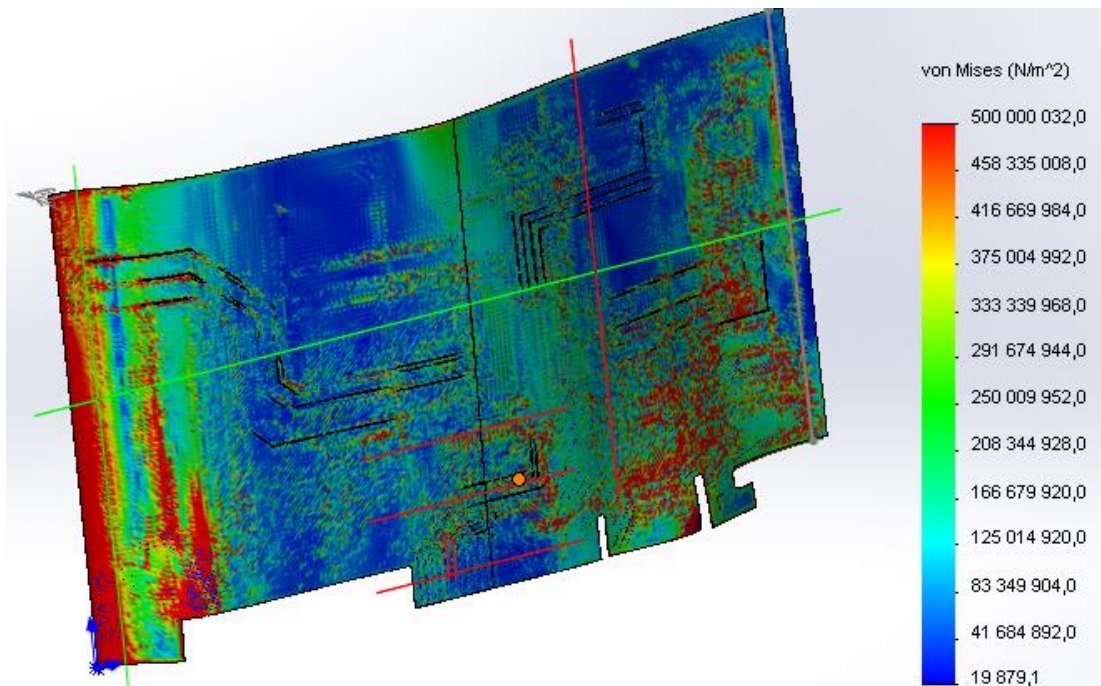


Рисунок 4.10 – Деформація плати з боку мідних контактних майданчиків

На зворотному боці плати можна побачити, що мідний шар зазнав більшої напруги. Оскільки модель не допускає розбіжність матеріалів між підкладкою та провідними доріжками, то слід основну увагу приділяти саме доріжкам. На рисунку можна побачити декілька осередків, відмічених червоним кольором. Це місця з максимальним напруженням. Як і при розгляді попереднього малюнку, можна помітити, що значення максимального напруження зазнали краї друкованої плати, лиш у деяких місцях доповнені контактними майданчиками. За шкалою, вказаною праворуч від плати, можна зробити висновок, що найбільше напруження, яке зазнала плата – $5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$. Це досить велике напруження. Мідь зазнала більшого напруження ніж поліамід, оскільки вона має інші властивості. Оскільки гранична напруга на розрив у міді становить $39 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$, то мідь на малюнку пошкоджена, хоч і у малій площі. Проте, слід звернути увагу саме на доріжки (рис 4.11), а не на плату, оскільки поліамід з іншого боку не дасть платі втратити цілісність у випадку, якщо плата зазнає подібних навантажень.

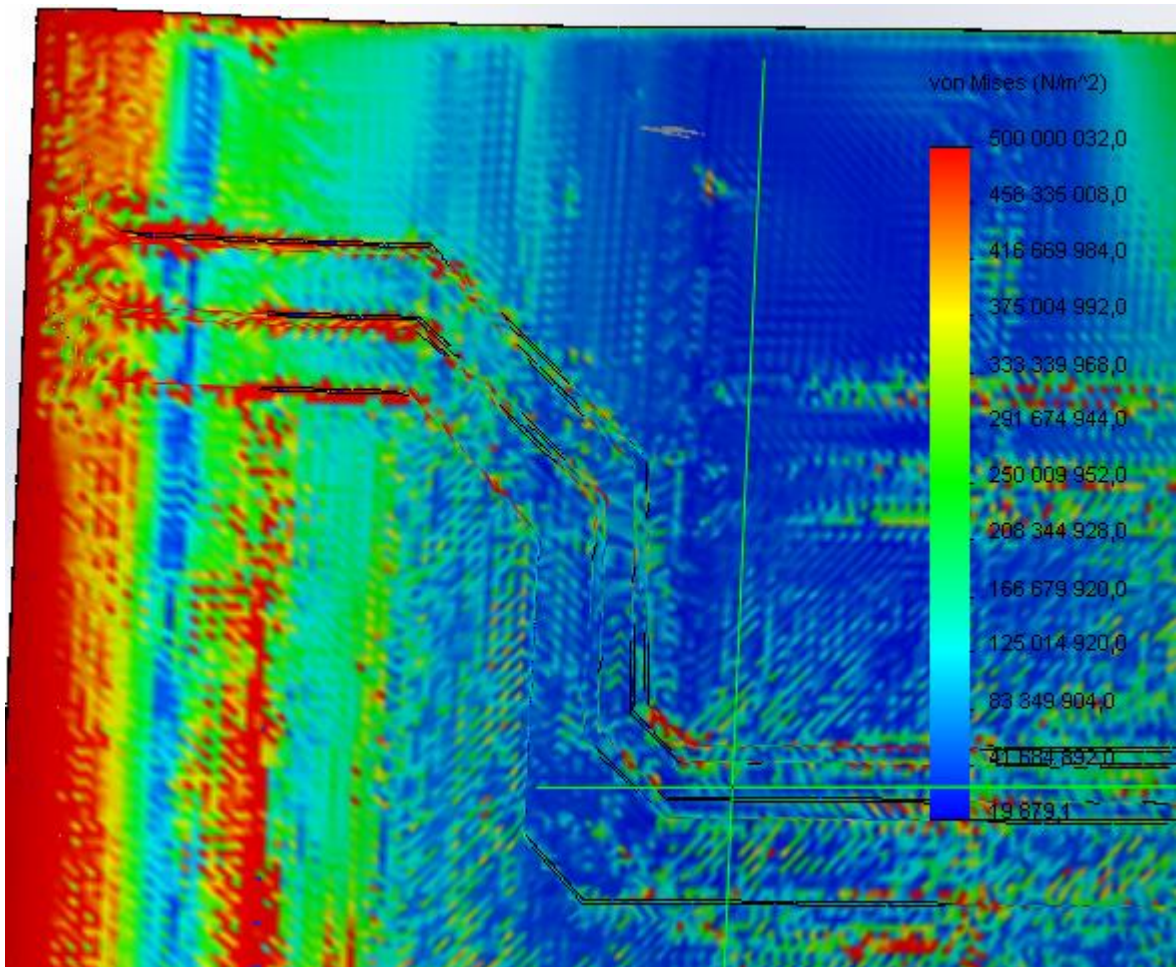


Рисунок 4.11 – Мідні доріжки у наближеному вигляді

На рисунку видно, що напруження розтягнулось також і на провідники. Проте, велика напруга на провідних доріжках не виходить далеко від точки небезпеки. Також слід зауважити, що доріжки можуть бути пошкоджені незважаючи на малу площу високого напруження. Та сигнал, який передаватиметься ними не надійде до пристрою – отримувача. З цього можна зробити висновок, що при згинанні плати слід звертати увагу на точки небезпеки, а також не слід проводити візуальний контроль пошкоджень при перевантаженні плати. Оскільки поліамідний шар повністю витримає навантаження, а пошкоджені доріжки можна не зареєструвати при візуальному перегляді, слід застосовувати електронні засоби контролю для перевірки справності друкованої плати. Звертати увагу слід на доріжки, які знаходяться у близькості від місць фіксації друкованої плати.

Також було проведено моделювання фізичного впливу на ідентичну плату, проте товщина поліамідного шару була зменшена вдвічі (рис 4.12). Подібне рішення було прийнято, виходячи з сукупностей тих факторів, що у першому експерименті видали невелике напруження для поліаміду. Тому у наступному експерименті товщина поліамідного шару вже була 50 мкм з все тією ж товщиною провідників у 35 мкм.

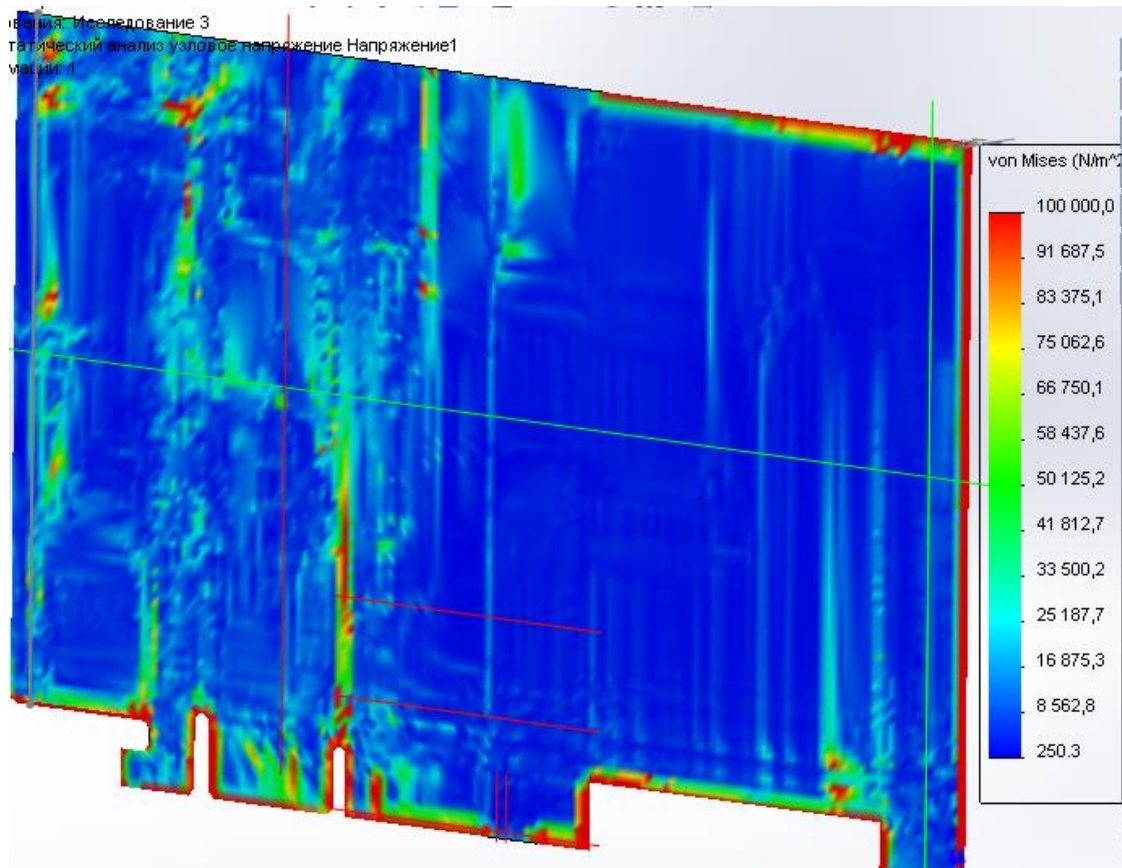


Рисунок 4.12 – Напруження у шарі поліаміду

На даному рисунку можна побачити як напруження розподілене по шару поліаміду. На платі з'явилися стрічки згори-вниз, які показують напруження стискання. Також напруження підвищене на кінцях та можна побачити, що вирізи між вигинами для контактів також можуть стати причиною перевищення напружень (рис 4.13)

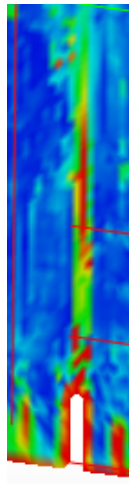


Рисунок 4.13 – Ілюстрація впливу вирізу на значення напруженості матеріалу

Проте, шкала напруження у цьому експерименті вже дещо інша. Червоне значення відповідає 10^5Н/м^2 . Тому, незважаючи на більшу площу напруженості, поліамід при товщині 50 мкм та даних характеристиках, витримає при прикладені сили у 5 Н.

З рисунку 4.12 також можна зробити висновок, що при збільшенні сили, діючої на плату, буде збільшуватися кількість напружень стискання у вигляді прямих ліній та можливий розрив може також статися на одній з таких ліній. Тому, хоч друкована плата і гнучка, не слід прикладати до неї велику силу, а саме більше ніж у 5 Ньютон.

Також, можна зробити висновок, порівнюючи два експерименти – з товщиною плати 100 мкм та 50 мкм, якщо брати до уваги значення напруги та співставити їх, то міцність більш тонкої плати у 0,7 рази перевищує міцність товстої плати, через зменшення радіусу деформації. Також результати експериментів не можна вважати стовідсотково прийнятними до поліаміду, оскільки мідний шар також впливає на фізичні властивості матеріалу.

Розглянемо результати досліджень на поверхні з піддослідним мідним шаром (рис 4.14).

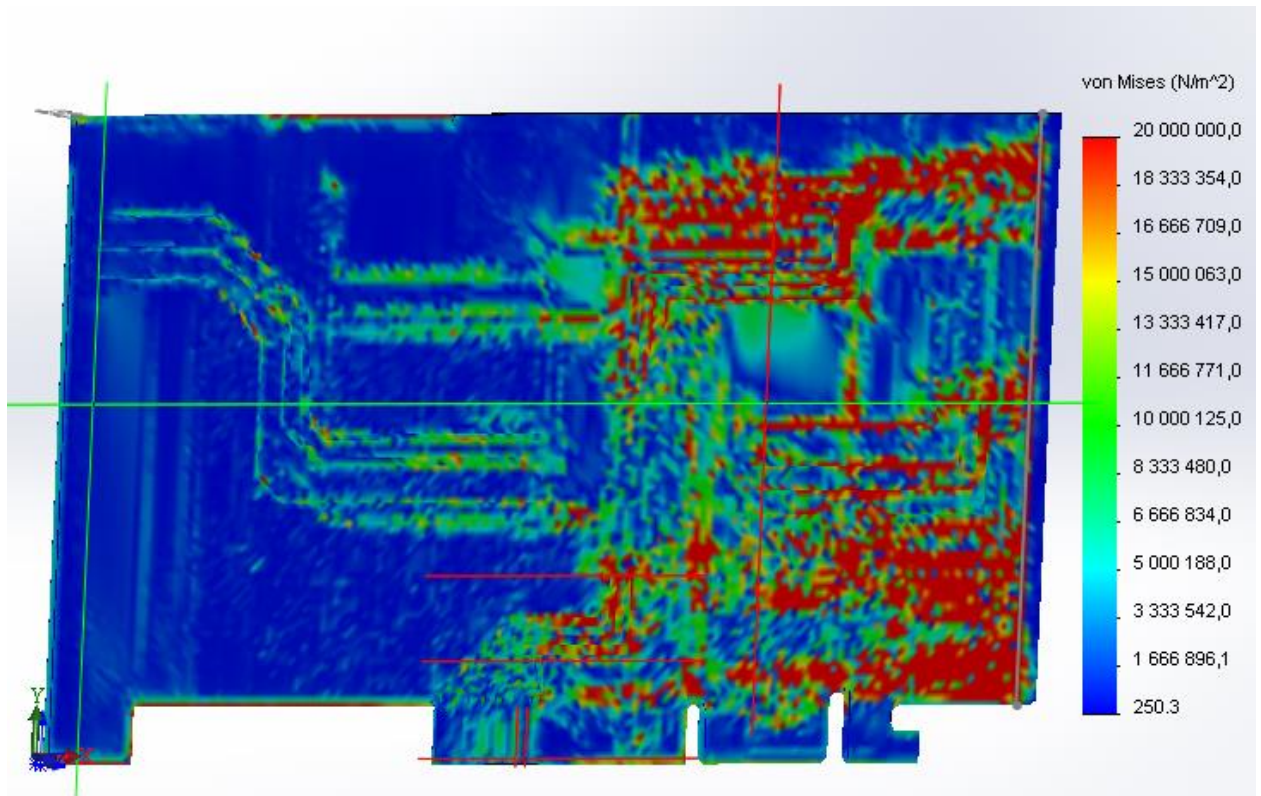


Рисунок 4.14 – Напруження у мідному шарі

На даному малюнку можна помітити, що напруження при змінній товщини поліамідного шару змістилися у бік з більшою концентрацією мідних провідних доріжок. Проте, значення, отримані у ході експерименту не перевищили напруження на розрив у мідних провідників, та плата залишилась цілою.

Напруження у платі ілюстрували основні найбільш вразливі до пошкоджень місця. Під час експериментальних досліджень біло виявлено, що 35 мкм – найбільш оптимальна товщина мідного провідникового шару. Також саме така товщина провідникового шару використовується у гнучких шлейфах.

4.1 Висновки до розділу

На основі виконаних досліджень можна зробити деякі висновки:

– напруга у матеріалі прямопропорційна прикладеній силі та вигину плати, тому що при вигині також діють напруги стискання та розтягнення, які збільшуються при збільшенні деформацій;

– при раціональному впливі на товщину поліамідного шару можна домогтися підвищення запасу міцності як у міді, так і у поліаміду;

– величини напруги збільшуються при приближенні до точок небезпеки – найчастіше точки фіксації, або місце прикладення сили;

– для покращення якості гнучких структур слід використовувати тонкі шари поліаміду та регулювати силу та деформацію.

Отримані висновки створюють сприятливі умови для покращення якості друкованих плат, а саме міцності та надійності.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для підтримання безпеки на підприємствах та установах необхідно дотримуватися деяких регламентованих норм охорони праці. Згідно з ними, кімната для роботи оператора та експериментатора має знаходитися у окремому приміщенні, яке обов'язково повинно бути обладнане штучним та природним освітленням. Для регуляції сили денного світла слід застосовувати штори та екрани. Також необхідно мінімізувати наявність відбитого світла.

Приміщення, працюють комп'ютери може мати зависоку температуру та занижку вологість через нагрівання обчислювальних машин. Температуру повітря у холодну пору року необхідно регулювати у діапазоні 22 – 24 °С, а у теплу пору року 23 – 25 °С та приміщення повинно бути забезпечене засобом провітрювання та кондиціонування повітря. Відносна вологість повітря при роботі в приміщенні повинна знаходитися в межах 40 – 60%. Також, подача свіжого повітря повинна регулюватися, 20 м³ на одну людину.

Також, керуючись НПАОП 40.1-1.21-98, а саме Державним нормативним актом про охорону праці, слід дотримуватись наступних правил. Засоби захисту, що застосовуються відповідно до цих Правил, повинні бути справні, випробувані і задовольняти вимоги “Правил применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках / Москва, Энергоатомиздат, 1987”, затверджених Міненерго СРСР 12.02.81. Первинні засоби пожежогасіння, які застосовуються в електроустановках, мають відповідати Правилам пожежної безпеки в Україні, затвердженим Управлінням Державної пожежної охорони МВС України 14.06.95 та зареєстрованим в Мінюсті України 14.07.95 за № 219/755.

Машини, механізми, пристосування і інструмент, що застосовуються в електроустановках, повинні бути справні і випробувані відповідно до чинних нормативних документів і строків.

Електрообладнання, конструкції, комплектувальні деталі, вузли вітчизняного та іноземного виробництва повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів в Україні.

Електрообладнання, яке підлягає в Україні обов'язковій сертифікації, повинно супроводжуватись сертифікатом відповідності або свідоцтвом про визнання іноземного сертифіката згідно з Державною системою сертифікації УкрСЕПРО.

У разі постачання електрообладнання з-за кордону організація - замовник повинна отримати сертифікат відповідності до укладення контракту на його поставку.

Паспорт, інструкція та інша експлуатаційна документація, що поставляється з обладнанням чи виробами, повинна мати переклад українською (або також і російською) мовою.

Можливі відхилення від нормативної документації повинні бути узгоджені з Держнаглядом, Держстандартом та організацією-замовником до укладання контракту на їх постачання. Копії погоджень і сертифікати долучаються до паспорта обладнання або виробу[11].

Надмірний шум також може впливати на працездатність людини та понижувати її, через зниження уваги, підвищення втоми та дратівливості, впливу на фізіологічні показники. Все це понижує працездатність людини.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 Дб. Для контролю за рівнем шуму стіни та стеля у робочому приміщенні можуть бути обшиті шумоізоляційним матеріалом.

ВИСНОВКИ

У сучасному світі зростає кількість галузей та місць застосування електроніки. Запчастини для електроніки дуже часто не ремонтпридатні, та вимоги до них та їх надійності вищі з кожним днем. Для відповідності деяким сучасним вимогам до засобів електронної техніки, користуються гнучкими платами або гнучкими шлейфами. Вони використовуються у багатьох галузях – від приводу дисководу у портативному комп'ютері до сонячних панелей на космічній станції. Проте, надійність та якість цих друкованих плат потребує вдосконалення. Проте, крок вперед для гнучких друкованих плат також повинен бути економічним та технологічно простим.

У магістерській атестаційній роботі було проведено аналіз літератури за відповідною темою, були розглянуті аналоги та обрана експериментальна модель. Була створена цифрова 3D модель гнучкої друкованої плати та промодельовано та вивчено вплив силової напруги на гнучку друковану плату математично та фізично.

У першому розділі було розглянуто аналоги, предмет дослідження, складові матеріали та галузі застосування. Також була доведена актуальність вирішення поставленої задачі та поставлена задача дослідження, що полягає у експериментальному покращенні якості гнучких структур у виробі електронної техніки.

У другому розділі детально був розглянутий та вивчений технологічний процес виготовлення гнучких структур з поліаміду для кращого розуміння необхідного предмету та пристрою.

У третьому розділі було розглянуто основні сучасні системи САПР та обрано найбільш оптимальну для створення тривимірної моделі та моделювання статичного аналізу.

Четвертий розділ містить створення 3D моделі, розрахунок основних параметрів плати, таких як місце знаходження нейтральної точки, напруга на

розрив, очікувана реакція, місце знаходження точок небезпеки. Також у цьому розділі було проведено моделювання фізичних впливів зі зміною шару поліаміду та аналіз результатів моделювання.

У п'ятому розділі розглянули правила роботи у підприємстві з проектування та моделювання гнучких друкованих плат та створення конструкторської документації на них.

У атестаційній роботі проведені експерименти з фізичного впливу на гнучку друковану плату та виявлено найбільш вразливі місця у даному засобі електронної техніки. Також виявлено критерії та способи з покращення якості та надійності друкованої плати.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
2. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
3. Технології виготовлення друкованих плат [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу <http://ua.nauchebe.net/2012/09/prosti-technolog%D1%97-vigotovlennya-drukovanix-plat/> 27.10.2020.
4. Друковані плати на підставі з високою теплопровідністю [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу <http://um.co.ua/1/1-4/1-4974.html> / 27.10.2020.
5. Медведев, А. М. Технология производства печатных плат [Текст]: справ. / А. М. Медведев – Учебное пособие для студентов ВУЗов М.. Техносфера 2005 183 с.
6. Медведев А.М. Гибкие печатные платы [Текст]: / А. М. Медведев – справочник для радиолюбителей М.. Группа ИДТ 2008 - 266 с.
7. Технології монтажу компонентів на друковану плату [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://renome.biz/uk/izgotovlenie-pechatnih-plat-dlja-jelektroniki/> 27.10.2020.
8. Вибір середовища моделювання та проектування для забезпечення якості гнучких структур у виробі електронної техніки : тези доп. ADED 2020 ХНУРЕ, 2020. – 235 с.

9. Матеріали для виготовлення друкованих плат – ізолітсервіс [Електронний ресурс] – Електрон. текстові дані. – Режим доступу <http://www.izolitservice.kiev.ua/ua/82-handbook/150->.

10 Матеріали гнучких друкованих плат та їх основ [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу <http://sepcu.ru/pcb-materials/materialy-gibkih-pechatnyh-plat-i-ih-osnovanij.html>

11 НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029) [текст] /Державний нормативний акт про охорону праці, 1998