

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В.А. Заболотний, О.В. Заболотний, В.О. Книш

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Навчальний посібник
до курсового проектування

Харків «ХАІ» 2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В.А. Заболотний, О.В. Заболотний, В.О. Книш

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Навчальний посібник
до курсового проектування

Харків «ХАІ» 2008

УДК 629.7.05. 002

Заболотний В.А. Проектування технологічних процесів складання електронної апаратури: навч. посібник / В.А. Заболотний, О.В. Заболотний, В.О. Книш. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 64 с.

Детально розглянуто окремі етапи проектування технологічних процесів складання печатних вузлів сучасної електронної апаратури з поверхневим монтажем. Особливу увагу приділено розробленню маршрутної й операційної технологій та конкретизації окремих питань проектування.

Для студентів денної й заочної форм навчання радіотехнічних і приладобудівних спеціальностей.

Іл. 23. Табл. 11. Бібліогр.: 31 назва

Р е ц е н з е н т и: канд. техн. наук, доц. М.Ф. Савченко,
канд. техн. наук В.І. Демидов

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2008 р.

ПЕРЕДМОВА

Роль і значення робіт, пов'язаних з розробленням технології виробництва електронної апаратури (ЕА), все більше зростають. Це спричинено зростанням ступеня інтеграції застосовуваної мікроелектронної елементної бази та розширенням сфер використання ЕА, що потребує урахування сучасних методів конструювання і відповідних їм технологічних процесів, які забезпечують оптимальне поєднання необхідних експлуатаційних та економічних характеристик.

Однією з високих найсучасніших комплексних технологій електронного приладобудування є поверхневий монтаж.

Поверхневий монтаж – це закріплення і монтаж електронних компонентів спеціальної конструкції безпосередньо на поверхню монтажної плати [2]. Головна особливість конструкції таких компонентів – відсутність штирових і довгих планарних виводів. На заміну їм для приєднання до плати використовують металізовані торці корпусів компонентів, або матрицю кулькових виводів на нижній поверхні корпусу компонента, або мініатюрні планарні виводи. Установлення та монтаж таких багатовивідних електронних компонентів виконують не у прецизійні металізовані отвори, а на контактні площадки, які розташовані на поверхні печатної плати.

Суттєва ознака цієї високої технології – автоматизоване конструкторське і технологічне проектування, автоматизоване складання і монтаж.

Сучасні методи конструювання ЕА на основі поверхневого монтажу з використанням сучасної елементної бази потребують розроблення відповідних якісних технологічних процесів з урахуванням особливостей елементної бази та механізації складальних робіт.

Цей навчальний посібник конкретизує вирішення окремих питань проектування технологічних процесів (ТП) складання, викладених у навчальному посібнику [1], з урахуванням сучасних методів конструювання ЕА. У посібнику наведено сучасну елементну базу для ЕА і оснащення для механізації та автоматизації складальних робіт. Конкретизація окремих питань проектування надасть студентам більшої самостійності та якості рішень при проектуванні технологічних процесів складання печатних вузлів сучасної ЕА, що є актуальною проблемою не тільки для студентів денної форми навчання, а і для заочної.

1 ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Розроблення ТП складається з послідовності етапів, набір і характер яких залежать від типу виробу, виду ТП, типу виробництва. У табл. 1.1 наведено етапи розроблення ТП виготовлення електронних вузлів [4].

Таблиця 1.1 – Етапи розроблення ТП виготовлення електронних вузлів

Етап	Основні задачі етапу
1. Аналіз початкових даних	Вивчення конструкторської документації. Аналіз і розрахунки технологічності конструкції. Аналіз обсягу випуску виробу та визначення типу виробництва. Організація форми складання
2. Вибір типового (базового) ТП	Формулювання технологічного коду за класифікатором. Визначення місця виробу у класифікаційній групі. Прийняття рішення з використання діючого ТП
3. Розроблення технологічної схеми складання	Аналіз складу деталей, комплектуючих і складальних одиниць виробу; вибір базової деталі або складальної одиниці; аналіз способів складання і монтажу; розроблення схеми складання з базовою деталлю
4. Розроблення маршрутного ТП	Визначення кількості, змісту та послідовності технологічних операцій. Визначення штучного часу $T_{шт}$. Вибір устаткування та засобів технологічного оснащення
5. Розроблення технологічних операцій	Розроблення структури операції та послідовності переходів. Розроблення схеми базування і встановлення деталей при складанні та монтажі. Вибір засобів технологічного оснащення (остаточний). Розрахунки точності операції (складності). Розрахунки режимів, складових $T_{шт}$ і завантаження устаткування
6. Розрахунки техніко-економічної ефективності	Визначення розряду робіт за класифікатором розрядів і професій. Вибір варіантів операцій за технологічною собівартістю та трудомісткістю
7. Аналіз ТП з точки зору техніки безпеки	Вибір і аналіз вимог до шуму, вібрацій, радіації, впливу шкідливих речовин. Вибір методів і засобів забезпечення збереження і сталості екологічного середовища
8. Оформлення технологічної документації	Оформлення ескізів технологічних операцій і карт. Оформлення карт маршрутного й операційного техпроцесів
9. Розроблення ТЗ на спеціальне оснащення	Схема базування деталі (деталей). Визначення похибки базування і точності пристроїв. Визначення кількості деталей і схеми їх закріплення. Розроблення схем прив'язки пристрою до устаткування

При виконанні етапів 3 – 5 (див. табл. 1.1) для ТП складання та монтажу конструктивних елементів ЕА першого рівня (модулів, типових елементів заміни, вузлів) у табл. 1.2 наведено типові операції [4].

Таблиця 1.2 – Основні операції ТП складання

Основні етапи складання	Об'єкт складання	Основні типові операції
1. Комплектація	Печатні плати, навісні елементи, деталі	Розпакування з тари постачальника. Вхідний контроль параметрів. Розміщення в технологічній тарі
2. Підготування до монтажу	Печатні плати	Промивання плати. Контроль печатного монтажу. Контроль плати на здатність до паяння. Маркування плати
	Навісні елементи (ЕРЕ, ІМС)	Лакування позначень номіналів. Рихтування й обрізання виводів. Флюсування та лудіння виводів. Промивання та сушіння ЕРЕ, ІМС. Комплектація. Касетування
3. Установлення на печатну плату	Деталі	Установлення і закріплення з'єднувачів (рознімання), контактів (штирів, пелюстків), навісних шин, прокладок. Стопоріння механічних з'єднань
	Навісні елементи	Установлення та фіксування резисторів, діодів, конденсаторів, транзисторів. Установлення та фіксування мікросхем. Контроль установлення елементів
4. Виконання контактних з'єднань	Плата з деталями, ЕРЕ, ІМС	Флюсування та паяння з'єднань. Промивання й сушіння печатного вузла. Контроль контактних з'єднань
5. Контроль печатного вузла і захист від зовнішніх впливів	Печатний вузол	Контроль і регулювання функціональних параметрів. Складально-монтажні операції (додаткові). Контроль параметрів, захист печатного вузла (лакування), випробування та контроль. Здавання на відповідність ТУ

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Визначення типу виробництва відноситься до першого етапу розроблення ТП виготовлення виробу (див. табл. 1.1).

Важливою початковою інформацією для визначення типу виробництва є річна програма випуску виробу. Її задає викладач у

початкових даних. Від кількості виробів і їх трудомісткості тип виробництва може бути одиничним, серійним або масовим. А від типу виробництва залежать глибина розроблення ТП складання виробу, кількість операцій, технологічне оснащення та ступінь механізації.

Річна програма випуску виробів дає можливість розрахувати такт випуску виробів. Для визначення такту випуску [1] необхідно знати дійсний річний фонд часу роботи верстата або робочого місця.

З навчальною метою можна прийняти, що дійсний річний фонд часу для роботи в одну зміну складає приблизно 2070 годин [3]. Він визначається кількістю робочих днів у році з повною тривалістю робочої зміни (8,2 год) – 247 днів і скорочених на 1 годину – 6 днів.

3 ВИБІР ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ ФОРМИ СКЛАДАННЯ

Визначення організаційної форми складання відноситься до першого етапу виготовлення виробу (див. табл. 1.1).

При визначенні організаційної форми складання [1] у серійному типі виробництва необхідно враховувати ступінь механізації складальних робіт.

Для підвищення продуктивності праці слід уникати ручного виконання операцій, а більшість операцій механізувати, автоматизувати.

Раціональна ступінь механізації залежить:

- від типу виробництва;
- виду складальних операцій;
- кількості електрорадіоелементів (ЕРЕ), що належать до однієї групи за формою та розміром корпусу, кількості виводів і їх розміщення відносно корпусу ЕРЕ;
- наявності технологічних пристроїв, механізованих установок, напівавтоматів, автоматів.

Як правило, просте автоматизоване технологічне устаткування виконує роботи з певною групою ЕРЕ. Кількість ЕРЕ кожної групи у печатному вузлі різна, крім того, технологічне обладнання має різну продуктивність. Якщо у технологічному процесі складання використовуються кілька таких автоматичних установок для складальних операцій різних груп ЕРЕ, то їх роботу синхронізувати важко, оскільки вони будуть витрачати різну кількість часу для установаження на печатну плату своєї групи ЕРЕ.

У такому випадку необхідно вибирати організаційну форму складання з вільним рухом виробу від одного робочого місця до

іншого в міру виконання операції.

4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ

Технологічність конструкції виробу закладається на етапі проектування. Поняття технологічності тісно пов'язане з поняттям економічності конструкції. Найбільш технологічні конструкції, як правило, і найбільш економічні в умовах виробництва. У технологічній конструкції: не повинно бути робіт, що виконуються вручну, оскільки вони мало продуктивні; повинні максимально використовуватись механізація і автоматизація; необхідно максимально використовувати уніфіковані, нормалізовані, стандартні деталі та вузли; слід уникати оригінальних конструкцій, деталей та вузлів; максимально забезпечувати взаємозамінність, контролепридатність, інструментальну доступність до вузлів і елементів, регульованість; слід використовувати мінімальну кількість деталей та вузлів; технологічний процес складання має містити мінімальну кількість операцій.

Аналіз конструкції на технологічність відноситься до першого етапу розроблення ТП виготовлення виробу (див. табл. 1.1).

4.1 Якісна оцінка технологічності

До понять, якими висловлюється якісна оцінка технологічності конструкції виробу в [1], можна додати: «спрощує-затрудняє».

При оцінюванні компоновочних рішень необхідно звернути увагу:

- на розміщення ЕРЕ на платі:
 - якщо ЕРЕ розміщені тільки на одній стороні плати, то конструкція технологічна, оскільки дозволяє максимально автоматизувати як складальні операції, так і монтажні (паяння), і зменшити кількість операцій;
 - якщо ЕРЕ розташовані з двох сторін плати, то не всі складальні роботи можна автоматизувати, і кількість операцій збільшиться, що погіршує технологічність;
 - якщо щільність ЕРЕ на платі максимальна, то затрудняються складальні та монтажні операції, збільшується вірогідність браку;
 - якщо щільність ЕРЕ на платі середня та низька, то таке розміщення відповідає технологічності;
 - якщо забезпечені однакова орієнтація та групування однотипних корпусів ЕРЕ на печатній платі, то спрощується

використання автоматизації, збільшується продуктивність праці, поліпшується якість паяння і полегшується контроль;

– якщо корпуси ЕРЕ орієнтовані паралельно сторонам печатної плати, то автоматизація операцій устанавлення ЕРЕ на плату спрощується;

– форму та розміри печатної плати:

– якщо форма печатної плати прямокутна й уніфікована за розмірами сторін та їх співвідношенням згідно з державним стандартом, то така печатна плата буде технологічною, оскільки зменшуються число регулювань засобів технологічного оснащення і кількість необхідного оснащення. Також не потрібне спеціальне оснащення. Конфігурацію плат, яка відрізняється від прямокутної форми, використовують у виняткових, технічно обґрунтованих випадках.

При оцінюванні взаємозамінності ЕРЕ, складальних одиниць і печатного вузла в цілому необхідно звернути увагу на те, чи всі ЕРЕ стандартні або нормалізовані і чи їх легко замінити. Складальні одиниці, що входять до печатного вузла, повинні регулюватися окремо, тому їх також легко замінити. Задану конструктором точність електричних параметрів печатного вузла в цілому можна забезпечити:

– методом повної взаємозамінності без додаткових затрат, що відповідає технологічності;

– методом неповної та групової взаємозамінності з незначними додатковими затратами, що погіршує технологічність;

– методами регулювання та підбору з істотними додатковими затратами, що значно погіршує технологічність конструкції печатного вузла.

При оцінюванні елементної бази інформацію, важливу для розроблення операцій технологічного процесу складання, краще занести в табл. 4.1, групуючи ЕРЕ за типами та типорозмірами.

Таблиця 4.1 – Характеристика елементної бази

Тип ЕРЕ	Форма і розміри корпусу	Кількість виводів і їх розміщення відносно корпусу	Розміщення виводів відносно встановлювальної площини	Базова відстань між виводами для встановлення на плату	Підготовчі роботи з виводами (рихтування, формування, обрізування, лудіння)
1	2	3	4	5	6

Типи EPE: резистори, транзистори, конденсатори, мікросхеми тощо. Під типорозміром розуміється габаритний розмір без урахування номінальних значень. Форма корпусу може бути прямокутною, овальною, циліндричною, квадратною та ін. Розміщення виводів відносно корпусу: осьове (аксіальне) – для резисторів, діодів та інших подібних EPE циліндричної форми й інколи прямокутної; радіальне – якщо корпус має форму циліндра, а виводи направлені по радіусу до поперечного розтину корпусу; з однієї сторони прямокутного або циліндричного корпусу; з двох протилежних сторін прямокутного корпусу; з однієї (двох, трьох, чотирьох) сторін прямокутного корпусу.

Інформацію про форму і розміри корпусу та кількість виводів і їх розміщення відносно корпусу можна знайти в численній довідковій літературі для кожного типу EPE. Можна також скористатись табл. 5, 6 [6]. Слід звернути увагу на EPE для поверхневого монтажу. Компоненти для поверхневого монтажу в основних типах корпусів докладно розглянуто у [2]: прямокутні чіпи; циліндричні чіпи; SOT; SOIC; кристалоносії з виводами PLCC; кристалоносії з J-виводами; корпуси BGA і CSP з масивом кулькових виводів на нижній поверхні корпусу; безвивідні кристалоносії. Корпуси мікросхем для поверхневого монтажу наведено у Додатку Г.

Розміщення виводів відносно встановлювальної площини може бути [4]:

а) для виводів, що монтуються в отвори:

- перпендикулярне в один, два, три, ... ряди;
- перпендикулярне по контуру прямокутника;
- перпендикулярне в чотири ряди в шаховому порядку;
- перпендикулярне по квадрату;
- перпендикулярне по колу;
- перпендикулярне (для двох, трьох виводів);

б) для виводів, що монтуються на поверхню:

- паралельне з двох протилежних сторін;
- паралельне з однієї сторони;
- паралельне з чотирьох сторін;
- перпендикулярне для бокових площадок виводів з двох (чотирьох) сторін.

Типи корпусів мікросхем наведено у Додатку Д.

Розміщення корпусів EPE і їх виводів відносно встановлювальної площини необхідно визначити зі складальних креслень і технічних вимог конструктора, де зазначені варіанти установа EPE на

плату.

Базова відстань – це відстань між монтажними отворами (площадками) одного елемента.

Підготовчі роботи з выводами необхідно визначати залежно від інформації у стовпчиках 3, 4 табл. 4.1. Для елементів, що монтують в отвори, проводять рихтування выводів, їхнє формування й обрізування відповідно до креслення. Якщо виводи елементів подовжені, то вони підлягають обрізуванню відповідно до креслення.

Рихтування – виправлення (вирівнювання) форми выводів, його застосовують в основному для осьових выводів.

Формування – надання певної форми выводам (рис. 4.1).

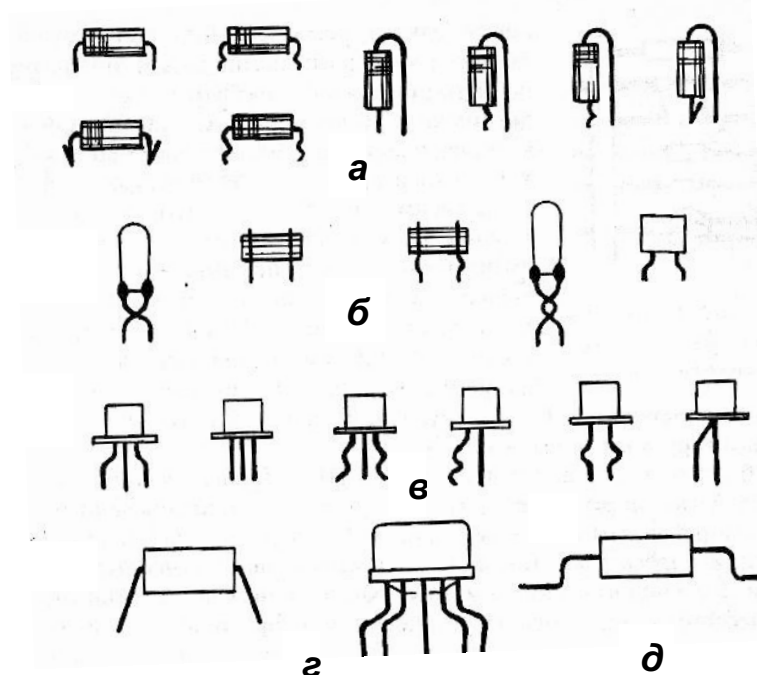


Рисунок 4.1 – Приклади формування выводів елементів перед монтажем: а, б – ЕРЕ з аксіальними та радіальними виводами відповідно; в – транзисторів; г, д – ІМС з штировими та планарними виводами відповідно

Обрізування – видалення залишків выводів.

Для елементів з выводами, що монтують на поверхню, проводять формування й обрізування выводів відповідно до креслення.

Лудіння обов'язково виконується у випадках, коли виводи ЕРЕ або мікросхем не залужені на заводі-виробникові. Для поліпшення паяння выводів елементи можуть піддаватися гарячому перезалуженню з послідовним зануренням у флюс і припій. Якщо

виводи покриті шаром нікелю і золота, то операція гарячого лудіння перед встановленням на платі для монтажу є обов'язковою. Як правило, усі корпуси типу PLCC, SO, а також чіп-резистори, чіп-конденсатори поставляються з залуженими виводами.

Однією з переваг монтажу на поверхню ЕРЕ з короткими виводами і таких, що не мають виводів, є відсутність механічної підготовки виводів.

Аналізуючи елементну базу, необхідно також звернути увагу на особливі властивості ЕРЕ: негерметичність, хрупкість, вплив статичної електрики та ін. До негерметичних ЕРЕ слід віднести з'єднувачі. Статична електрика може вивести з ладу мікросхеми.

При оцінюванні контролепридатності можна сказати, що вона буде технологічною, оскільки легко можна контролювати усі ЕРЕ окремо до процесу складання, легко контролювати усі важливі етапи в процесі складання, а також легко контролювати параметри печатного вузла після складання.

При оцінюванні виду підготовки, установа й монтажу ЕРЕ необхідно окремо охарактеризувати ці види робіт. При оцінюванні виду підготовки ЕРЕ до складання слід використати результати аналізу елементної бази (див. стовпчик 5, табл. 4.1). Якщо в конструкції багато ЕРЕ з виводами, які треба рихтувати, формувати, обрізувати та лудити, то така конструкція нетехнологічна. При оцінюванні виду установа ЕРЕ на плату необхідно згадати, як можуть кріпитися корпуси ЕРЕ на платі: за допомогою клею; гвинтовим з'єднанням; на свої виводи, що монтують в отвори, або припаюють на контактні площадки; на підставках з приклеюванням; за допомогою прижимів тощо. Найбільш технологічним буде кріплення ЕРЕ на свої виводи з їх підгинанням (якщо монтують в отвори) і паянням (якщо монтують на контактних площадках). При оцінюванні виду монтажу ЕРЕ необхідно згадати, як можна забезпечити надійний електричний контакт виводів ЕРЕ з іншими елементами печатного вузла: паянням, зварюванням, накруткою на штирі, різьбовим з'єднанням та ін. Найбільш технологічний вид монтажу – паяння.

При оцінюванні інструментальної доступності до ЕРЕ при установа на плату необхідно звернути увагу на щільність розміщення ЕРЕ на платі та перекриття одних ЕРЕ іншими. Якщо щільність розміщення ЕРЕ середня та низка і одні ЕРЕ не перекривають інших, то інструментальна доступність технологічна.

При оцінюванні регульованості необхідно з'ясувати, яким чином конструктор забезпечує точність вихідних електричних параметрів

печатного вузла:

- якщо методами повної, неповної і групової взаємозамінності, то конструкція вузла буде технологічною;
- якщо методами регулювання або підбору, то на складальному кресленні повинні бути змінні (підстроювальні) резистори, змінні (підстроювальні) конденсатори або котушки індуктивності, що використовуються в електронній апаратурі як регулятори вихідних параметрів.

При використанні методу підбору повинні бути резистори, конденсатори, які змінюються у процесі налагоджування. Біля таких ЕРЕ на електричній схемі проставлені „зірочки”. Чим більше зазначених вище ЕРЕ у печатному вузлі, тим гірша технологічність конструкції вузла.

При оцінюванні способів захисту від зовнішніх впливів слід звернути увагу на покриття (лаком чи емаллю) печатного вузла після складання для захисту від вологи. Оскільки затрати на таке покриття незначні, то це технологічно.

4.2 Кількісна оцінка технологічності

Розрахунки коефіцієнта використання мікросхем і мікроскладань необхідно проводити за формулою

$$K_{BMC} = \frac{H_{MC}}{H_{EPE}},$$

де H_{EPE} - загальна кількість ЕРЕ. До ЕРЕ належать: транзистори, діоди, конденсатори, резистори, з'єднувачі, дроселі, котушки індуктивності, трансформатори, мікроскладання і мікросхеми різного ступеня інтеграції, мікромодулі, перемички, навісні шини, контакти (пелюстки, штирі) та ін.

При розрахунку коефіцієнта автоматизації та механізації монтажу виробу необхідно пам'ятати, що кількість монтажних з'єднань на платі визначається підрахунком виводів навісних елементів, перемичок, петель об'ємного проводового монтажу, контактів. Оскільки на платі усі контактні з'єднання виконують паянням, то оцінюється можливість механізації паяння $H_{A.M}$ з урахуванням конструкції з'єднання (планарний вивід, штировий вивід, петля проводу і т.д.), відомих способів паяння, наявності устаткування та серійності виробництва.

При розрахунку коефіцієнта автоматизації та механізації підготовки ЕРЕ до монтажу необхідно враховувати те, що можливість механізації підготовки виводів навісних елементів до монтажу (рихтування, формування, обрізування, лудіння) визначається наявністю стандартних форм виводів, типом і типорозмірами їх корпусів. Для формування й обрізування виводів ЕРЕ використовують спеціальні інструменти, пристрої з ручним приводом, штампи, напіваавтомати, автомати. Інформацію про їх наявність можна знайти у довідковій літературі та в типових технологічних процесах і операціях.

При розрахунку коефіцієнта автоматизації та механізації операцій контролю та настроювання електричних параметрів необхідно враховувати ряд трудомістких і маломеханізованих операцій контролю: перевірка здатності до паяння плат перед монтажем, якості промивки і лакування печатної плати та печатного вузла, якості приклеювання прокладок під корпуси навісних елементів, установлення елементів і якості паяння їх виводів. Електричні параметри навісних ЕРЕ перед складанням і функціональні параметри печатного вузла після складання контролюються на спеціальних стендах. Залежно від складності конструкції печатного вузла та виду робіт для його складання загальну кількість операцій контролю та настроювання для курсового проектування можна брати від 4 до 7, а механізованих – залежно від виду операції контролю та наявності пристроїв для її виконання.

Після визначення комплексного показника технологічності необхідно проаналізувати його значення за табл. 3 [6] і зробити висновок, для якої стадії підготовки виробництва є технологічною конструкторська документація: розроблення робочої документації для дослідного зразка, розроблення робочої документації для встановлювальної серії, розроблення робочої документації для серійного або масового виробництва.

5 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ СКЛАДАННЯ

Фактично розроблення ТП виготовлення виробу (визначення виду робіт, змісту операцій та їх послідовності) починається з розроблення технологічної схеми складання (див. етап 3, табл. 1.1). Тому технологічна схема складання є основою (початковим етапом) розроблення технологічного процесу виготовлення виробу [6].

При визначенні послідовності складальних робіт необхідно врахувати рекомендації, викладені в [1], з деякими змінами.

1. Попередні роботи не повинні ускладнювати виконання наступних.
2. Наступні роботи мають не погіршувати якість установлених ЕРЕ і виконаних робіт.
3. Однорідні роботи необхідно групувати.
4. Після виконання найвідповідальніших робіт призначають суцільний або вибірковий контроль.
5. Технологічну схему загального складання розробляють за умови утворення найбільшої кількості складальних одиниць.
6. У першу чергу виконують нерухомі з'єднання, які потребують значних механічних зусиль.
7. Як правило, механічні складальні роботи виконують раніше, якщо це не суперечить рекомендаціям 1, 2.
8. Можливо чергування механічних і електричних з'єднань у тих випадках, коли повне закінчення механічних складальних робіт ускладнює доступ до вузлів і деталей для електричного з'єднання.
9. На заключних етапах складають рухомі частини виробів, рознімні з'єднання, установлюють деталі, що замінюються в процесі налаштування.
10. Установлення елементів на печатну плату рекомендується починати з менших за висотою та розмірами.

Послідовність і види складальних робіт залежать від конструкції печатного вузла. При сучасному рівні виробництва електронної апаратури на печатні плати частіше за все встановлюються ЕРЕ змішаного складу як для монтажу в отвори, так і для поверхневого монтажу.

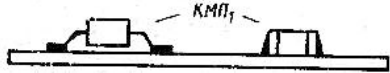
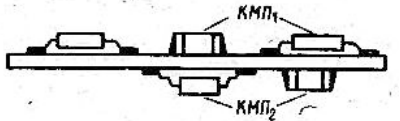
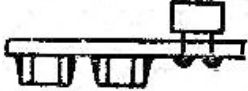
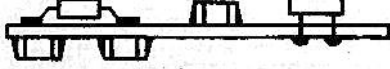
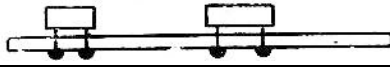
При використанні двох груп компонентів – монтованих в отвори (КМО) і монтованих на поверхню (КМП) печатних плат, а також одно- або двостороннього їх розміщення на платі можливі шість варіантів основних конструкцій функціональних вузлів, що реалізуються за допомогою різних технологій [7].

Основні конструкції функціональних вузлів наведено в табл. 5.1.

Розглянемо конструктивне виконання 1 (табл. 5.1). У даній конструкції на верхній стороні плати встановлюються компоненти КМП₁ тільки для поверхневого монтажу. На нижній стороні плати компонентів немає. Монтаж компонентів містить такі операції (рис. 5.1): нанесення паяльної пасти на контактні площадки плати через трафарет; установлення компонентів на контактні площадки; контроль установлення компонентів; оплавлення паяльної пасти

нагріванням за допомогою інфрачервоного випромінювання (ІЧ), або в паровій фазі (ПФ), або за допомогою плоских нагрівачів (ПН); промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

Таблиця 5.1 – Конструктивні варіанти функціональних вузлів

Конструктивне виконання		Метод паяння	Примітки
Варіант	Схема		
1		ІЧ, ПФ, ПН	Однобічний монтаж
2		ІЧ, ПФ	Двосторонній монтаж
3		ІЧ, ПФ, ПН + ХП	–
4		ХП	КМП ₂ – пасивні
5		ІЧ, ПФ + ХП	КМП ₁ – активні та пасивні, КМП ₂ – пасивні
6		ХП	–

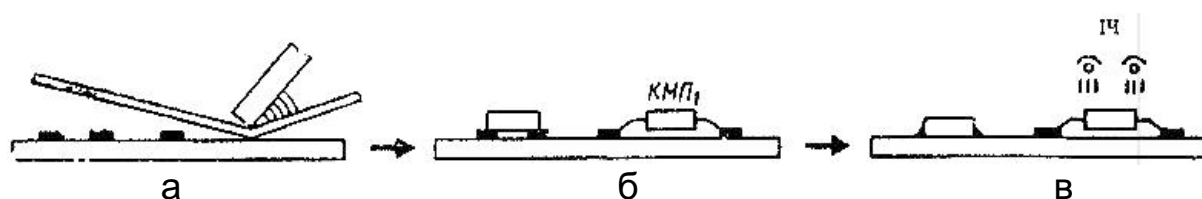


Рисунок 5.1 – Схема технологічного процесу монтажу компонентів згідно з варіантом 1 табл. 5.1: а – нанесення паяльної пасти; б – установлення КМП₁; в – оплавлення паяльної пасти

При конструктивному виконанні 2 (табл. 5.1) на обох сторонах плати установлюються тільки компоненти КМП₁ і КМП₂ для поверхневого монтажу. Монтаж компонентів містить такі операції (рис. 5.2): нанесення паяльної пасти на контактні площадки верхньої сторони плати; нанесення дози клею на місця установлення

компонентів КМП₁; установлення компонентів КМП₁; контроль; полімеризація клею УФ або ІЧ випромінюванням; оплавлення паяльної пасти нагріванням ІЧ випромінюванням або в паровій фазі (ПФ); перевернення плати; нанесення паяльної пасти; установлення

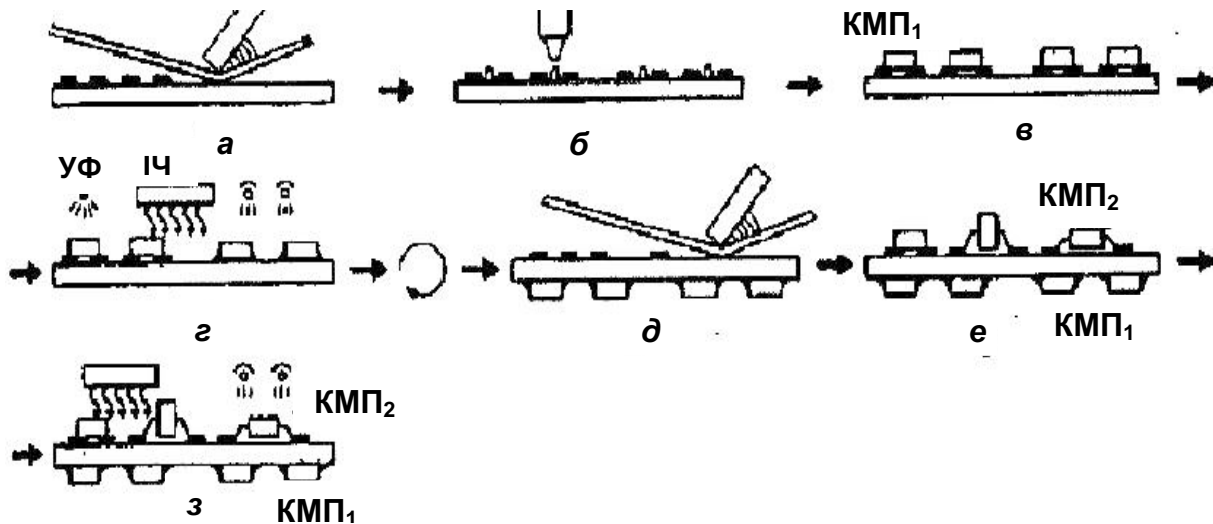


Рисунок 5.2 – Схема технологічного процесу монтажу компонентів згідно з варіантом 2 табл. 5.1: а – нанесення паяльної пасти; б – нанесення клею; в – установлення КМП₁, г – полімеризація клею й оплавлення паяльної пасти; д – перевернення плати; е – нанесення паяльної пасти; ж – установлення КМП₂; з – сушіння й оплавлення паяльної пасти

компонентів КМП₂; оплавлення паяльної пасти; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань. При паянні в паровій фазі (ПФ), а також ІЧ випромінюванням з нижнім і верхнім розміщенням випромінювачів операцію оплавлення пасти після установлення КМП₁ не проводять.

При конструктивному виконанні 3 (див. табл. 5.1) тільки на верхній стороні плати установлюються компоненти для монтажу в отвори (КМО₁) і поверхневого (КМП₁) монтажу. Монтаж компонентів містить такі операції (рис. 5.3): нанесення паяльної пасти на контактні площадки верхньої сторони плати; установлення КМП₁; контроль; сушіння та оплавлення паяльної пасти; установлення в отвори КМО₁; паяння КМО₁ подвійною хвилею припою; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

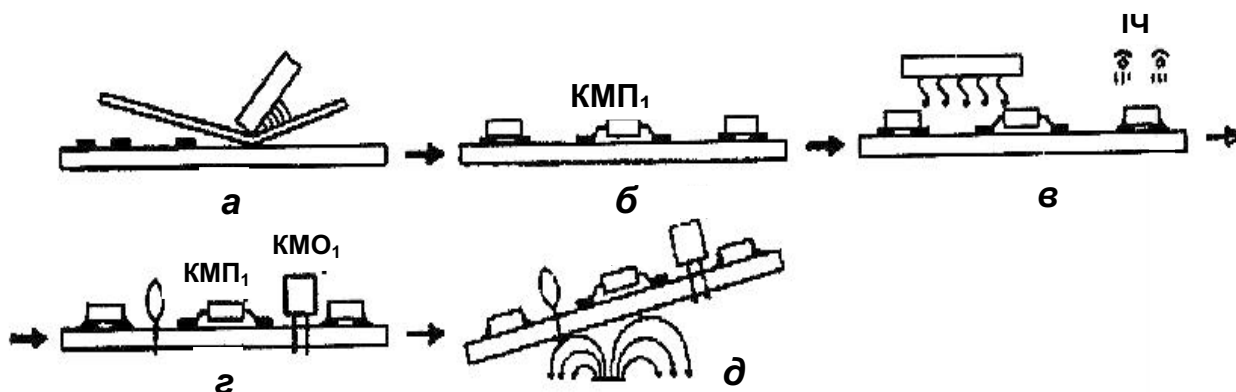


Рисунок 5.3 – Схема технологічного процесу монтажу компонентів згідно з варіантом 3 табл. 5.1: а – нанесення паяльної пасти; б – установлення КМП₁; в – сушіння й оплавлення паяльної пасти; г – установлення КМО₁; д – паяння КМО₁ подвійною хвилею припою

При конструктивному виконанні 4 (див. табл. 5.1) на верхній стороні плати установленно тільки компоненти КМО₁ для монтажу в отвори ("штиркового"), на нижній – компоненти КМП₂ для поверхневого монтажу, здебільшого пасивні. Монтаж компонентів містить такі операції (рис. 5.4): нанесення клею на нижню поверхню плати; установлення компонентів КМП₂; контроль

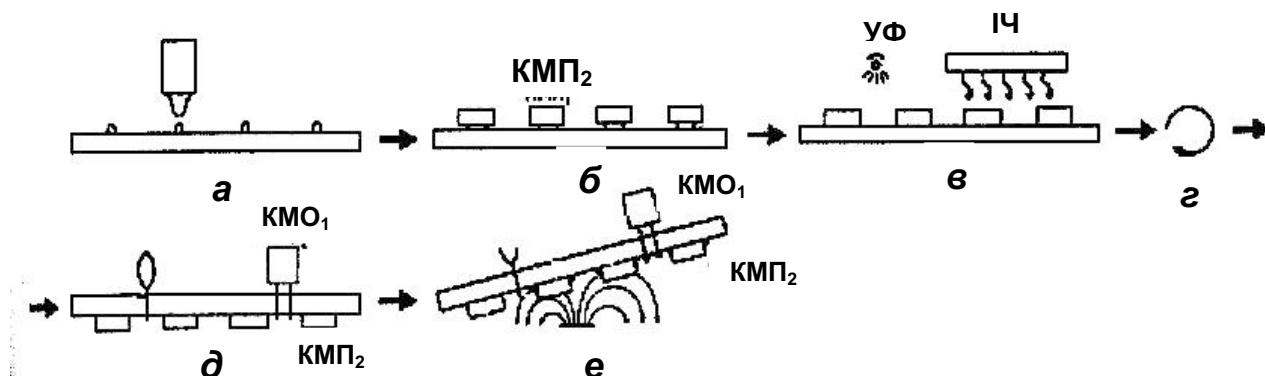


Рисунок 5.4 – Схема технологічного процесу монтажу компонентів згідно з варіантом 4 табл. 5.1: а – нанесення клею; б – установлення КМП₂; в – полімеризація клею; г – перевернення плати; д – установлення КМО₁; е – паяння КМО₁ і КМП₂ подвійною хвилею припою

установлення компонентів; полімеризація клею УФ і (або) ІЧ випромінюванням; перевернення плати; установлення компонентів КМО₁; спільне паяння КМП₂ і КМО₁ подвійною хвилею припою; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

При конструктивному виконанні 5 (див. табл. 5.1) на верхній

стороні плати компоненти КМО₁ для монтажу в отвори і поверхневого КМП₁ монтажу, на нижній – компоненти КМП₂ для поверхневого монтажу. Монтаж компонентів містить такі операції: нанесення на нижню сторону печатної плати дозатором клею; установлення компонентів КМП₂; контроль установлення компонентів; полімеризація клею УФ і (або) ІЧ випромінюванням; перевернення плати; нанесення паяльної пасти; установлення компонентів КМП₁; оплавлення паяльної пасти в паровій фазі ПФ або ІЧ випромінюванням; установлення компонентів КМО₁; спільне паяння компонентів КМП₂ і КМО₁ подвійною хвилею припою; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

Можливий другий варіант ТП з такими операціями (рис. 5.5): нанесення паяльної пасти на плату; установлення компонентів КМП₁; контроль; сушіння й оплавлення паяльної пасти будь-яким методом (УЧ, ПФ, ПН); перевернення плати; нанесення дозатором клею; установлення КМП₂; полімеризація клею; перевернення плати; установлення компонентів КМО₁; спільне паяння КМП₂ і КМО₁ подвійною хвилею припою; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

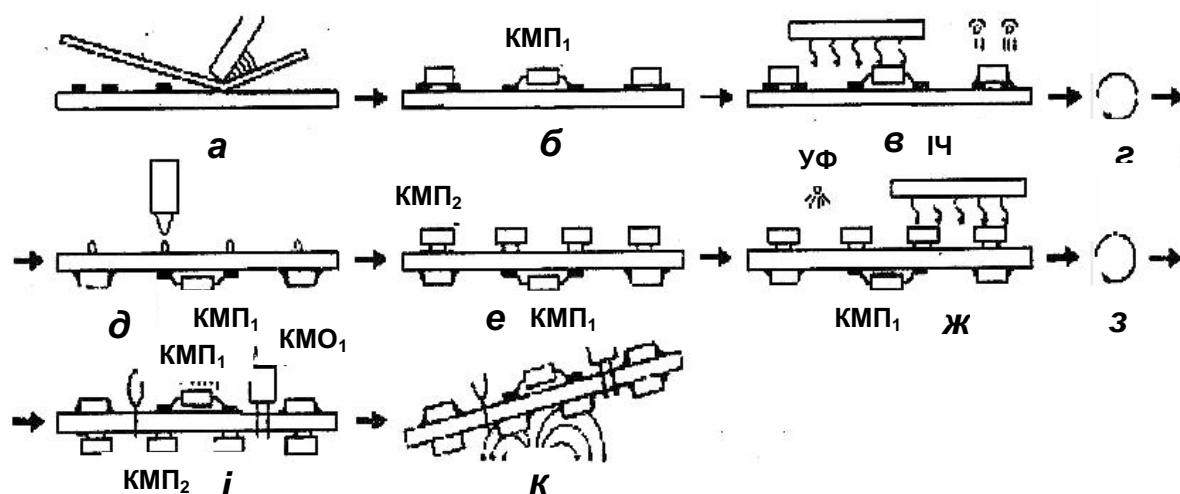


Рисунок 5.5 – Схема технологічного процесу монтажу компонентів згідно з варіантом 5 табл. 5.1: а – нанесення паяльної пасти; б – установлення КМП₁; в – сушіння й оплавлення паяльної пасти; г – перевернення плати; д – нанесення клею; е – установлення КМП₂; ж – полімеризація клею; з – перевернення плати; і – установлення КМО₁; к – паяння КМП₂ і КМО₁ подвійною хвилею припою

При конструктивному виконанні 6 (див. табл. 5.1) на печатну плату монтують тільки компоненти КМО₁ для монтажу в отвори з однієї

сторони плати. Монтаж компонентів містить такі операції: установлення компонентів КМО₁; контроль установлення компонентів; паяння компонентів КМО₁ хвилюю припою; промивання печатної плати з компонентами; контроль паяних з'єднань.

Вивчивши складальні креслення та специфікацію до них, можна установити, до якого конструктивного варіанту відноситься печатний вузол та які технологічні операції необхідні для його складання.

Ці технологічні операції (види робіт) та їх послідовність слід зазначити на технологічній схемі складання [6]. Крім того, на схемі складання необхідно зазначити інші операції (види робіт), які обов'язкові для виготовлення виробу при його складанні. Такі операції (види робіт) можна визначити з табл. 1.2 для етапів складання 3 – 5, а етапи 1, 2, виконані раніше, на схемі складання не зображаються. Якщо в технічних вимогах конструктора вказано маркування плати (див. табл. 1.2, етап складання 2), то маркування також необхідно відобразити на схемі складання.

Таким чином, на технологічній схемі складання слід зазначити всі необхідні операції (види робіт) етапів складання 3 – 5 без етапів складання 1, 2 (див. табл. 1.2). Не слід вносити операції (види робіт), не рекомендовані конструктором.

Для визначення послідовності робіт необхідно користуватись не тільки табл. 1.2, а і вище вказаними десятьма рекомендаціями з урахуванням особливостей елементної бази (негерметичність, вплив статичної електрики) і конструктивного виконання печатного вузла.

Прийняту послідовність складання необхідно пояснювати з посиланням на номер рекомендації чи і (або) пункт технічних вимог конструктора, які вказані на складальному кресленні. Також необхідно вказувати позиції ЕРЕ. Наприклад, в першу чергу (спочатку) маркуємо печатну плату згідно з вимогами конструктора (п. 4) і рекомендації 1. Потім установлюємо пелюстки поз. 3, закріплюємо їх розвальцюванням (рекомендація 6)... Далі установлюємо резистори поз. 10, резистори поз. 8, діоди поз. 12, конденсатор поз. 15, резистори поз. 9, транзистори поз. 17 з підгинанням виводів (рекомендація 10)... Після цього установлюємо мікросхеми поз. 18, 20, 24, 19 з підгинанням двох діагональних виводів (рекомендації 2, 10)... Потім виконуємо контроль правильності установки ЕРЕ (рекомендація 4)...

Якщо послідовність робіт зрозуміла з ТП, то посилання на пункти рекомендацій не обов'язкове. Так, після паяння завжди необхідні промивання і сушіння.

При побудові технологічної схеми складання з базовою деталлю

[6] кожен позицію ЕРЕ (див. складальні креслення і специфікацію) необхідно зображати окремим прямокутником. Якщо одна частина ЕРЕ конкретної позиції установлюється раніше, а друга – пізніше, то така ситуація буде зображена двома прямокутниками у відповідних місцях схеми складання.

Прямокутник можна не розділяти на частини, якщо в ньому буде записаний допоміжний матеріал, який після складання залишається у виробі. Крім того, у прямокутнику необхідно зазначити лише назву допоміжного матеріалу: лак, припій, клей та ін.

Матеріал даного розділу слід викласти в пояснювальній записці у такій послідовності: записати кілька загальних речень про технологічну схему складання (її місце в розробленні ТП, вирішувані задачі), десять рекомендацій щодо послідовності складання, пояснення до розробленої схеми складання.

6 РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Після виконання третього етапу розроблення ТП виготовлення виробу (див. табл. 1.1) необхідно виконати четвертий етап. У [1] такий етап окремим розділом не виділено, а в [6] наведено загальні положення та рекомендації. Тому в Додаток А «Зразок змісту основної частини пояснювальної записки» внесено підрозд. 7.1 – 7.4 для поетапного вирішення цієї задачі.

Маршрутний технологічний процес визначає послідовність (маршрут) виконання операцій, їх вид і найменування, устаткування й оснащення (пристрої, інструмент) для виконання операцій, трудомісткість виконання операцій і кваліфікацію робітників. Усі параметри розроблення ТП заносять у маршрутні карти.

Маршрутний ТП будемо розробляти на базі типового технологічного процесу (ТТП). Тому при виконанні підрозд. 7.1 необхідно згадати визначення ТТП та одиничного технологічного процесу (ОТП).

Типові технологічні процеси розробляються для групи виробів, об'єднаних на основі ознак конструктивно-технологічної спільності, і характеризуються єдністю змісту та послідовності більшості технологічних операцій і переходів для виробів усієї групи. Операції записано у загальному вигляді.

Одиничний ТП відноситься до виробу конкретного найменування, типорозміру та виконання незалежно від типу виробництва. Операції записано для конкретної елементної бази.

Для виконання підрозд. 7.1 можна скористатись табл. 1.2, а також ТТП [8] (для середньосерійного, великосерійного та масового типів виробництва) і ТТП [9] (для малосерійного типу виробництва). Аналізуючи зміст кожної операції ТТП, потрібно виписати назви операцій, необхідних для розроблення ОТП. Якщо назви операцій повторюються, то назву можна записати один раз з поміткою (за бажанням) кількості операцій. Не слід вносити операції, не передбачені технічними вимогами конструктора.

При виконанні підрозд. 7.2 необхідно:

- записати усі вибрані в підрозд. 7.1 операції ОТП;
- записати суть (вид роботи) операції і те, з якими ЕРЕ (зазначити позиції) вона буде виконуватись;
- визначити та записати ступінь механізації кожної операції.

Операції слід записувати за їх назвами. Якщо будуть однакові за назвою операції, то слід зазначити їх кількість і записати окремо суть кожної з них. Наприклад, в ТТП операція «Складання» записана один раз у загальному вигляді з таким змістом: установити ЕРЕ на печатну плату. Необхідно визначити, скільки буде таких складальних операцій в ОТП для ЕРЕ конкретних позицій. Їх кількість залежить:

- від типів і типорозмірів елементної бази;
- виводів ЕРЕ, що монтуються в отвори або на поверхню;
- осьових або радіальних виводів ЕРЕ та їх кількості;
- виду кріплення ЕРЕ на плату: на свої виводи з підгинанням, приклеюванням, механічним кріпленням гвинтовим з'єднанням тощо;
- установлення ЕРЕ на одній стороні плати чи на двох;
- ступеня механізації операції та функціональних можливостей вибраного обладнання;
- особливих властивостей елементної бази (негерметичність, вплив статичної електрики та ін.).

При розробленні та визначенні кількості підготовчих операцій, що відносяться до формування й обрізування виводів ЕРЕ, спочатку необхідно розробити складальні операції та визначити ступінь їх механізації. Наприклад, якщо ЕРЕ з осьовими выводами встановлювати за допомогою автомата, який працює з клеєними в липку стрічку ЕРЕ, то автомат формує й обрізує виводи в процесі установлення ЕРЕ на плату. Тому окремої підготовчої операції з формування й обрізування виводів таких ЕРЕ не буде, а буде підготовча операція за змістом: вклеїти ЕРЕ поз. ... у липку стрічку.

Якщо необхідно виводи ЕРЕ конкретної позиції обрізувати і

формувати, то такі роботи слід виконувати в одній операції.

Суть операцій необхідно викласти коротко, використовуючи дієслово у наказовому способі (комплектувати, контролювати, промити, маркувати, установити, закріпити, паяти, сушити, лакувати і т.п.). Кількість операцій, на які поділяється складальний процес, може бути різною і залежить від типу виробництва, конструкції виробу та елементної бази.

При визначенні ступеня механізації операцій з технічної літератури, навчальних підручників, стандартів, ТТП, типових технологічних операцій необхідно знати, чи існує відповідне обладнання. Крім того, необхідно з'ясувати технічну та економічну доцільність його використання в конкретних умовах виробництва. У першу чергу слід проаналізувати можливість автоматизованого або механізованого виконання робіт і в останню чергу – виконання робіт вручну.

Етап комплектації навісних елементів і деталей (див. табл. 1.2), що входять до складу модулів першого рівня, трудомісткий і виконується в основному вручну. Це пов'язано з різноманітністю тари, у якій поставляються ЕРЕ і ІМС. Велика кількість тари призначена для їхнього збереження і використання в завантажувальних пристроях складального устаткування. За необхідності з тари постачальника електронні компоненти перекладають у проміжні технологічні касети або вклеюють у стрічки (у тому числі у певній послідовності). Мікросхеми в індивідуальній тарі-супутнику розпаковуються на автоматах з орієнтацією за ключем і укладенням у технологічні касети. Для елементів, установлюваних в отвори, ще застосовують картонні карти, пластмасові коробки, пластикові конверти. Однак ця тара є застарілою і використання її вимагає перевантаження ЕРЕ в касети або стрічки. Для компонентів, що монтуються на поверхню плат, нині застосовують такі види поставок [2]:

- розсипом (Chip і Melf корпуси);
- трубчаста упаковка (пенал) (корпуси PLCC з j-виводами і «крило чайки»);
- комірчастий (матричний) магазин (корпуси SO і PLCC з j-виводами);
- упаковка в блістер-стрічку (корпуси Chip, Melf, SOT, SO та ін.).

Для штучних ЕРЕ, що постачаються розсипом, застосовують завантажувальні вібробункери, які забезпечують упорядковану подачу елементів до складальних автоматів або до пристроїв попередньої підготовки (формування, обрізування виводів) їх до монтажу.

Трубчасту упаковку (пластиковий пенал) використовують для

компонентів з двостороннім розташування виводів і відносно простої форми. Пенал установлюється на устаткуванні у вертикальному положенні і подача компонентів до місця установки здійснюється за рахунок їх ваги.

Упаковка у комірчастий магазин відбувається на спеціальних матричних піддонах (рис. 6.1), у яких розміщуються корпуси багатовивідних компонентів. Автоматом-укладальником піддони за програмою витягуються з магазину і компонент установлюється на поверхню плати відповідно до заданої адресації. Застосування комірчастих магазинів обмежується невеликою кількістю даних компонентів на піддоні і в магазині.

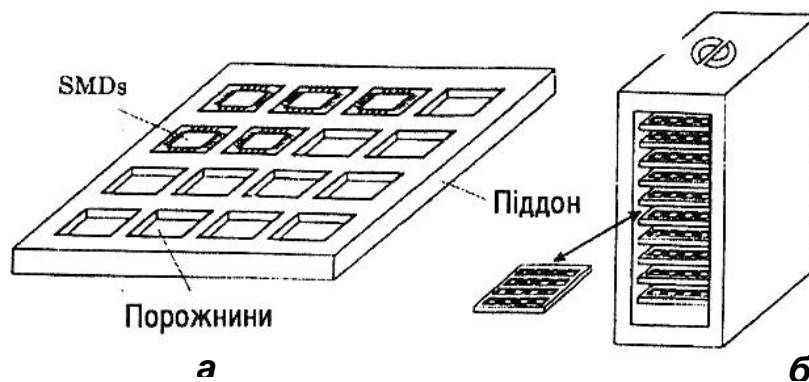


Рисунок 6.1 – Загальний вигляд матричних піддонів (а) і магазину для їх розміщення (б)

Найперспективнішою і широкоживаною у даний час (до 80 % корпусів, що монтуються на поверхню) упаковкою є блістер-стрічка: паперова або пластмасова. Цей вид упаковки містить, як правило, три компоненти: катушку з етикеткою продукту, несучу стрічку з посадочними місцями (заглибленнями) для компонентів, захисну стрічку (рис. 6.2).

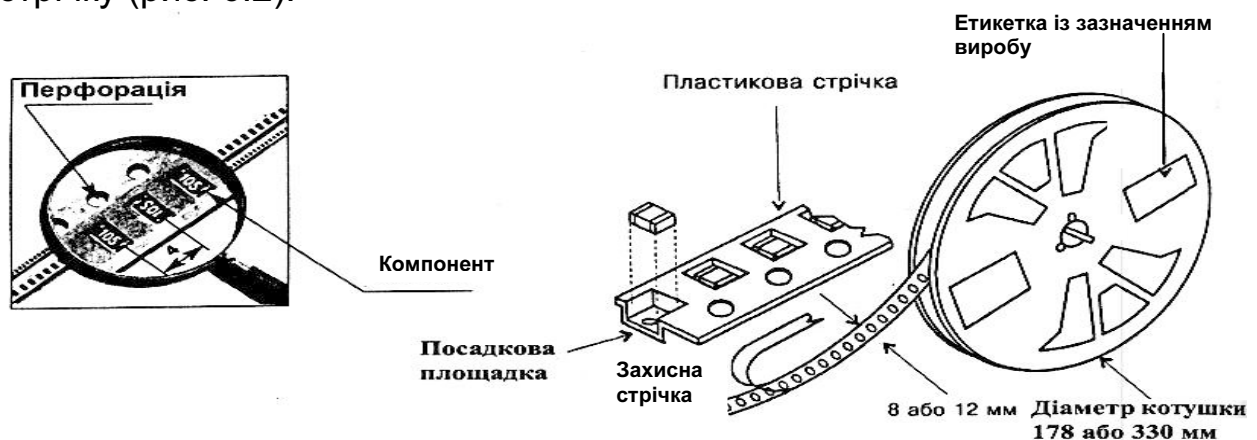


Рис. 6.2 – Схема упаковування компонентів у стрічку на катушку

Закуплені ІМС і ЕРЕ надходять на центральний заводський склад, звідки за заявками їх доставляють на цеховий склад або ділянку комплектації і далі – на робочі місця.

Для підвищення продуктивності складальних автоматів елементи повинні бути упаковані в технологічні матричні магазини (рис. 6.3), касети (для ІМС) або стрічку (див. рис. 6.2).

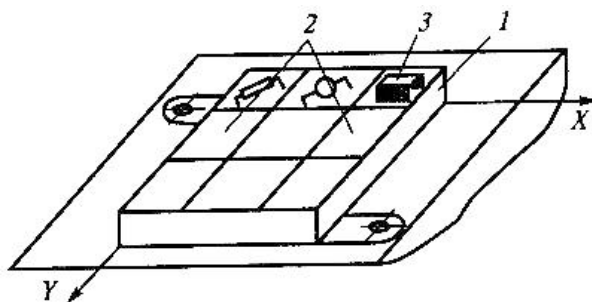


Рисунок 6.3 – Тара матричного типу: 1 – тара; 2 – комірки; 3 – елемент

Робочі місця монтажників мають різні варіанти комплектування: у вигляді конвеєрів з комірками для розміщення елементів або багатоярусних пристроїв карусельного типу.

Для складальних автоматів комплектація елементів здійснюється установленням їх у стрічку або в касети з конкретним кроком, що регламентується стандартом EIA 481. На рис. 6.4 показано кілька варіантів такого розміщення елементів. У такому впорядкованому вигляді елементи у стрічках намотуються на катушку і зберігаються або поставляються Замовникові. Можливий варіант розміщення елементів на стрічці – у порядку їх установлення на ПП. У такому випадку для складального автомата необхідна одна стрічка. У іншому випадку необхідно мати стільки стрічок (касет), скільки типорозмірів елементів буде встановлено на ПП. Елементи у липку стрічку вклеюються за допомогою автоматів.

Етап підготовки до монтажу (див. табл. 1.2) відноситься до печатних плат і навісних елементів.

Для збереження якості паяння плати консервують покриттям каніфольним флюсом. Покриття, що консервує, перед збиранням і монтажем слід очистити у розчиннику. Крім того, при виробництві вузлів на печатних платах необхідно очищати поверхню багаторазово: після паяння для видалення залишків флюсів та продуктів їх розкладання перед склеюванням та покриттям лаком для видалення жиркових плям від інструмента і рук робітників та ін. Варто врахувати,

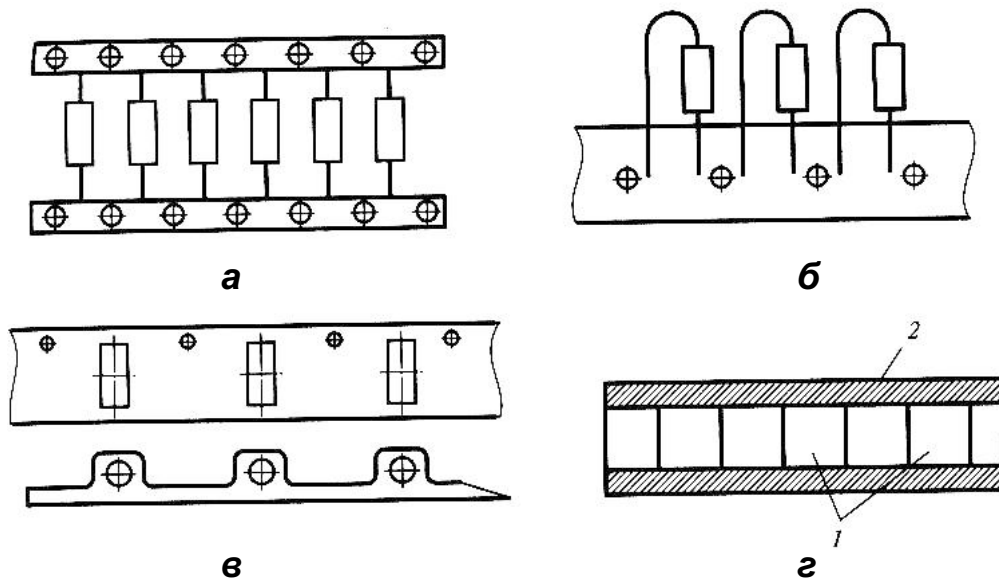


Рисунок 6.4 – Розміщення елементів з осьовими виводами у двосторонній (а) і односторонній (б) липкій стрічці та елементів поверхневого монтажу у стрічці (в) і корпусних елементів 1 у касеті 2 (г)

що при монтажі на поверхню очищення набуває особливого значення.

Очищення може виконуватись традиційними методами, а також їхньою комбінацією [2]. Розглянемо деякі з них.

Ручне очищення з використанням тампона або пензля чи щітки, змочених розчинником.

Механізоване очищення щітками. Очищення виконується при обертанні нейлонових щіток і струминній подачі мийного розчину під тиском.

Занурення у ванну на певний строк (змочування) з наступним протиранням щіткою або тампоном.

Очищення у ванні з барботуючим мийним розчином. При цьому здійснюється продування розчину повітрям, що створює механічний вплив і переміщує розчин.

Очищення у ванні з механічним перемішуванням розчинника. Розчинник перемішують з використанням активатора або центрифугуванням виробу в розчині (за типом пральних машин).

Віброочищення у ванні з низькою частотою вібрації (25...100 Гц) розчинника. Механізований вібраційний метод очищення набув найбільшого поширення. Ефективність очищення цим методом залежить від частоти коливань, положення поверхні, температури й тиску пари рідини та тривалості очищення. Вібраційний метод,

забезпечуючи досить добру якість очищення, має ряд недоліків – він створює динамічну дію на вироби, що очищуються, і високі шумові характеристики обладнання.

Ультразвукове очищення (частота коливань 20...22 кГц) є найбільш ефективним методом. Однак цей спосіб очищення може ушкоджувати активні електронні компоненти – напівпровідникові прилади й інтегральні схеми. Крім того, устаткування для ультразвукового очищення більш дороге, більш складне, а також зі значними труднощами встановлюються і контролюються припустимі режими очищення.

Струминне очищення виконується направленням на виріб струменя (струменів) мийної рідини під тиском.

Серед перелічених методів поза конкуренцією – ультразвуковий, який забезпечує видалення 98...100 % забруднень. Ручне й механізоване очищення видаляє 80...92 % забруднень, вібраційне – 92...96 %.

Розроблено ряд методів очищення спеціально для технології монтажу на поверхню: занурення у киплячий розчинник з попереднім і кінцевим промиванням струменем рідини, занурення у киплячий розчинник з накладанням ультразвуку, очищення струменями рідини високого тиску і великої потужності та ін.

Час очищення: 30...60 с для ультразвукового очищення і 2...10 хв при інших методах.

Для очищення від залишків флюсів, масел та інших забруднень використовують установки та системи тупикового і прохідного (конвеєрного) типу.

Для очищення вручну мийним розчином СБС 1:1 (спирто-бензинова суміш) часто використовують найпростіші цехові ванни. Основні технічні характеристики устаткування для очищення, що широко застосовуються на підприємствах країн СНД, наведено у Додатку Е.

Установка КР-1М призначена для очищення у киплячих розчинниках – азеотропних спирто-фреонових сумішах (СФС 1:19) тощо.

Ультразвукова установка УЗО-4М1 також призначена для відмивання вузлів у СФС (1:19) при очищенні. Завантаження вузлів у касетах виконують вручну.

Установка УП1 901 також очищає вузли в СФС, має підвищену продуктивність.

Установки типу М120.0 призначені для застосування в серійному

(01) і дрібносерійному (08) типах виробництва з використанням води і розчину «Електрин». Їхній аналог – установка ЛПП 901 – для очищення в технічних мийних розчинах «Електрин» (30 г/м^3) і «Істра-1». До лінії входять модулі миття, промивання гарячою водою, ополіскування дистильатором. Цикл оброблення в кожному модулі – до 2 хвилин.

Очищення та знежирення тривають усього кілька хвилин. Деталі й вузли витягаються з устаткування чистими і сухими, готовими до наступної операції.

Ознайомитись детальніше з процесами промивання та з обладнанням можна також і у ТТП [10], і стандартах [11, 12].

Після очищення плати від консервації каніфольним флюсом можна виконувати такі підготовчі роботи, як нанесення на плату дозованої кількості клею і паяльної пасти, якщо в складанні присутні елементи для поверхневого монтажу.

Нині нанесення припійних паст здійснюється трафаретною печаттю, а також за допомогою різного роду дозаторів, шприців, голок і штемпелюванням. Основний метод нанесення – трафаретною печаттю. Нанесення припійних паст може виконуватись вручну або на автоматичному устаткуванні.

Нанесення паяльних паст, флюсів, клеїв за допомогою багатоточкових дозаторів є альтернативним методом щодо трафаретної печаті. Нанесення паст, клеїв, флюсів дозатором найбільш зручне при змішаній технології. Автоматичні дозатори, як правило, використовуються у серійному виробництві. Широко застосовуються пневматичні дозатори. Конструкція дозатора достатньо проста: шприц із пастою (клеєм чи флюсом), голка і поршень. При дрібносерійному виробництві використовують дозатор для нанесення пасти шприцюванням.

Окремі складальні автомати обладнані спеціальною головкою, призначеною для нанесення клею або паяльної пасти за програмою.

Суть підготовки виводів до монтажу (рихтування, обрізування, формування, лудіння) детально розглянуто при аналізі елементної бази (див. підрозд. 3.1). Для підготовки виводів резисторів, конденсаторів, напівпровідникових приладів і ІМС розроблено безліч типів технологічного устаткування й оснастки. Вибір конкретного типу оснащення визначається умовами виробництва, його продуктивністю та вартістю. Оснащення можна розділити на групи: ручні інструменти, пристрої, напівавтоматичне та автоматичне обладнання для формування й обрізування виводів елементів.

В одиничному та малосерійному виробництві виробів з невеликою кількістю компонентів, виводи яких підлягають формуванню, слід застосовувати ручний формувальний інструмент та ручні пристрої [13]. При серійному і масовому виробництві застосовується напівавтоматичне та автоматичне обладнання.

Формування і обрізування аксіальних і радіальних виводів пасивних ЕРЕ, діодів, транзисторів, ІМС виконуються на груповому технологічному оснащенні, що являє собою штамп (формувальний, обрізувальний) з пневматичним приводом і набором змінних формувальних елементів. Конфігурація змінних формувальних елементів оснащення визначається видом формування виводів компонентів (див. рис. 4.1). При ручній подачі продуктивність такого оснащення складає 1,5...3 тис. елементів/год, при подачі з вібробункера – 5...10 тис. елементів/год, а зі стрічки - до 25 тис. елементів/год. Схему автоматичного обладнання для комплексної підготовки ЕРЕ з аксіальними виводами (продуктивністю 50 елементів/хв) зображено на рис. 6.5.

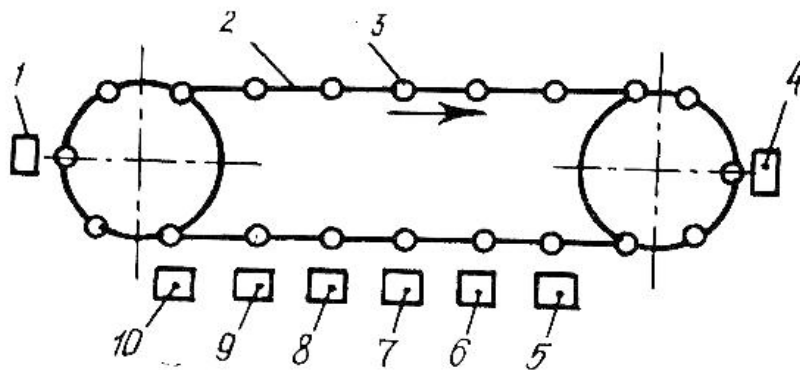


Рисунок 6.5 – Автомат комплексної підготовки ЕРЕ з аксіальними виводами: 1 – вібробункер; 2 – транспортер; 3 – ЕРЕ; 4 – механізм рихтування; 5 – механізм зачистки; 6 – механізм обрізування; 7 – механізм флюсування; 8 – механізм лудіння; 9 – механізм формування; 10 – механізм розвантаження і касетування

Підготовка до монтажу ІМС з планарними виводами в умовах масового виробництва може здійснюватись на автоматичній лінії ПАЛМІС, яка містить уніфіковані модулі: розпакування ІМС із тари-супутника, формування і обрізування виводів, флюсування, лудіння виводів холодним напресуванням припою ПОС-61 і укладання ІМС у технологічні касети. Продуктивність лінії – 900 елементів/год.

Однією з переваг монтажу на поверхню є відсутність підготовки (механічної обробки) виводів електронних компонентів.

Лудіння виводів ЕРЕ і ІМС може виконуватись ручним (за допомогою паяльника або зануренням у ванночку з припоєм) і механізованими способами.

Процеси підготовки ЕРЕ до монтажу та види їх механізації викладено в стандартах [14 –17] і ТТП [8, 9, 18].

Етап установлення на печатну плату деталей і навісних елементів (див. табл. 1.2) може виконуватись вручну, механізованим і автоматизованими способами (рис. 6.6).

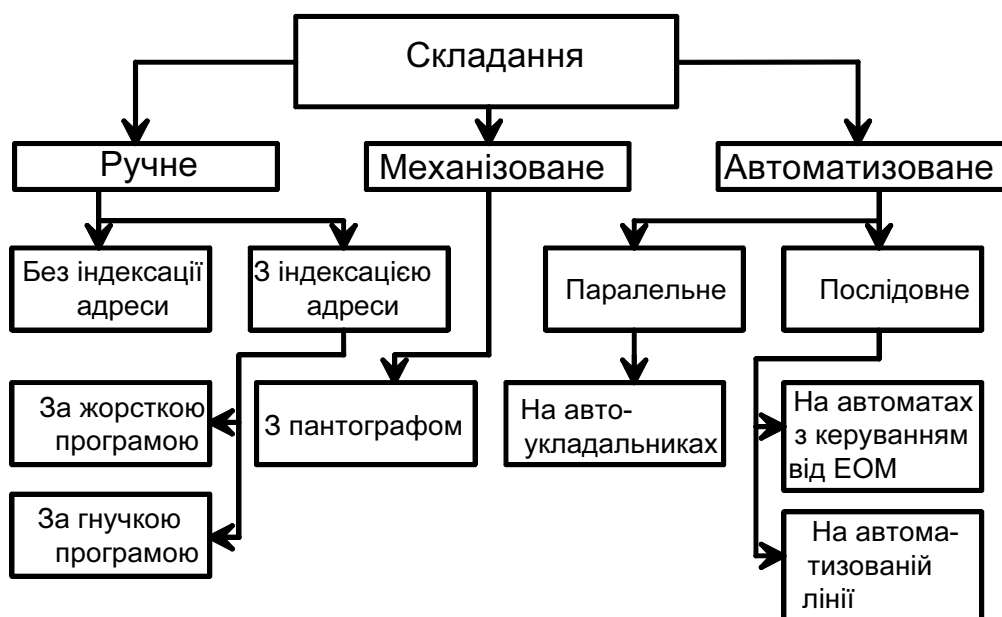


Рисунок 6.6. – Способи складання компонентів на печатних платах

У дослідному виробництві установлення елементів і їх паяння, як правило, виконуються на одному робочому місці. У серійному виробництві установлення елементів виконується окремо перед групою пайкою.

При ручному складанні без індексації адреси підготовлені (з залуженими, формованими, обрізаними виводами) елементи розкладаються за номіналами у технологічні касети, а ПП закріплюється у підставці за допомогою швидкозатискних фіксаторів. При нещільному монтажі та малій партії печатних вузлів установлення ЕРЕ можна здійснювати вручну. У інших випадках необхідно використовувати засоби автоматизації та механізації. Продуктивність і якість ручного складання підвищуються при використанні світломонтажних столів з індексацією адреси установлення компонентів. Один з варіантів схеми світломонтажного стола [4]

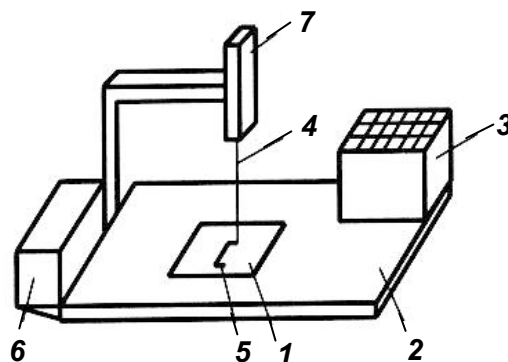


Рисунок 6.7 – Схема світломонтажного стола

наведено на рис. 6.7.

Печатна плата 1 установлюється на монтажний стіл 2. Комплект ЕРЕ розміщується у комірках тари 3. Місце установлення ЕРЕ на платі показує промінь світла 4. Курсор 5 переміщується по платі за програмою від пристрою керування 6 механізмом підсвічування 7 і, зупиняючись, показує місце установлення елемента. При цьому загоряється лампочка підсвічення комірки, з якої монтажнику слід узяти й установити елемент на плату. Продуктивність монтажника підвищується на 20% і більше. За зміну можна установити до 6 тис. елементів. Ту кількість елементів, яку не можна установити на автоматах, установлюють вручну з використанням світломонтажних столів.

До механізованої установки з пантографом входить монтажний стіл з двокоординатним переміщенням, на якому закріплюються тримач однієї або кількох плат, магазин компонентів, пристрій позиціонування стола. Елементи з аксіальними і радіальними виводами вклеюються в липку стрічку в заданій послідовності. Призматичні компоненти подаються в зону установлення з вертикально розміщених магазинів. Печатна плата установлюється на тримачі й закріплюється. Її позиціонування виконується вручну за допомогою пантографа. Копірний щуп пантографа вводиться у відповідні отвори шаблону (ПП з розсвердленими отворами), визначаючи положення монтажного стола відносно встановлювальної головки. Після позиціонування встановлювальна головка захоплює елемент (наприклад з аксіальними виводами) і виконує ряд операцій, показаних на рис. 6.8. Продуктивність таких установок досягає 2...2,5 тис. елементів/год.

За умов серійного та масового виробництва застосовують складальні автомати. Вони можуть бути вузькоспеціалізованими, розрахованими на установлення елементів одного типорозміру, або

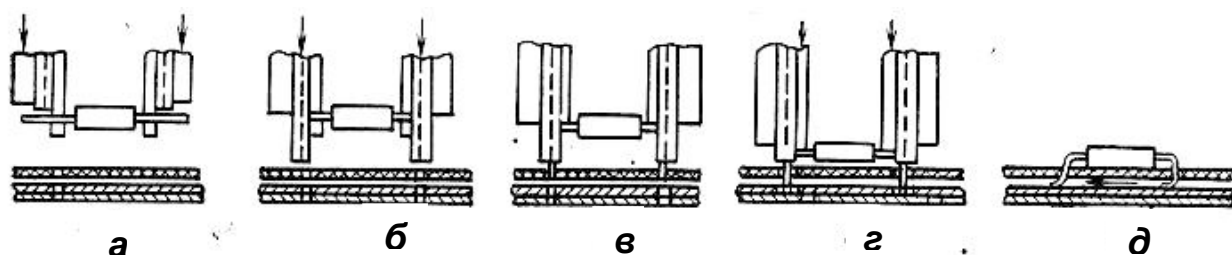


Рисунок 6.8 – Послідовність роботи механізованої встановлювальної головки: а – вирізання ЕРЕ з стрічки; б – вигинання виводів; в – орієнтація виводів; г – сполучення елемента і підрізання виводів; д – фіксування виводів

універсальними, які можуть установлювати різноманітні елементи. На рис. 6.9 наведено схему автоматичної установки для монтажу на плату елементів з осьовими виводами, розміщеними у липкій стрічці. Плата 1 установлюється в монтажному столі 2 у певному положенні.

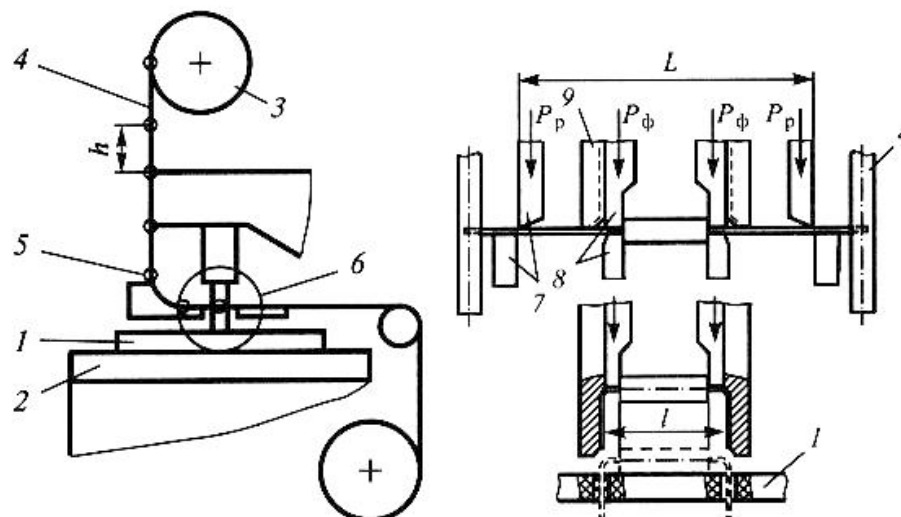


Рис. 6.9 – Схема установки для автоматизованого монтажу елементів з осьовими виводами

З бобіни 3 стрічка 4 з елементами 5 по напрямних надходить у робочу зону, де розміщується робоча головка 6. Робоча головка має механізм вирізання 7 ЕРЕ зі стрічки в розмір L і механізм утримування 8 ЕРЕ від випадання після вирізання, який після формування виводів у розмір l подає і встановлює елемент на плату. Формування виводів виконується при русі пуансона 9 вниз відносно опорної матриці 8. Виводи ЕРЕ утримуються в радіусних канавках пуансонів. Ці канавки строго орієнтують виводи відносно монтажних отворів. Продуктивність таких автоматів (напівавтоматів) – до 2 тис. елементів/год.

Автоматичне установлення ІМС і ЕРЕ з касет на плату з великою

продуктивністю здійснюється на верстаті-автоматі фірми «Amistar» [4] (рис. 6.10).

Касети 1 установлені на нахилоному подавальному пристрої 2, по якому елемент 3 (МС або ЕРЕ), що випав з касети, під власною вагою подається на робочу позицію 4, де він орієнтується, захоплюється встановлювальною головкою 5 і установлюється на підведене за програмою місце на ПП 6.

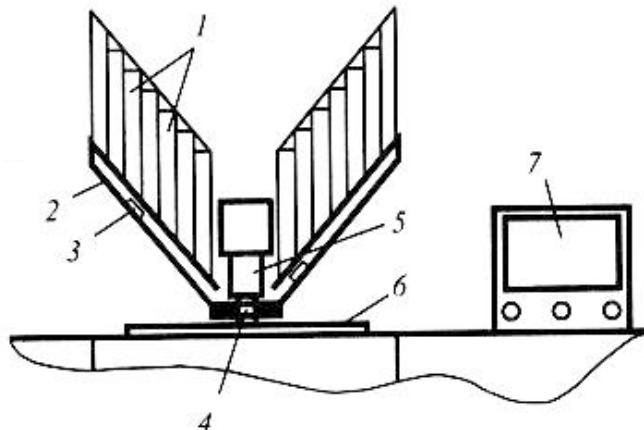


Рисунок 6.10 – Схема верстата-автомата «Amistar» для монтажу мікросхем і ЕРЕ на печатну плату з касет: 1 – касети; 2 – пристрій подавання; 3 – елемент; 4 – робоча позиція; 5 – встановлювальна головка; 6 – ПП; 7 – пристрій керування

Для монтажу ПП широко використовують автоматичні потокові лінії, що складаються з кількох встановлювальних головок з елементами на бобінах. У міру переміщення ПП від однієї головки до іншої на ПП послідовно установлюють усі ЕРЕ.

На рис. 6.11 показано приклад автоматичного монтажу ЕРЕ різних типорозмірів на ПП. Печатна плата 1 переміщується на транспортері 2 від позиції до позиції. На позиції, зображеній на рис. 6.12, установлення різних ЕРЕ проводиться в автоматичному режимі за програмою. ПП на час установлення ЕРЕ 3 нерухома. Захоплення ЕРЕ і їх установлення здійснюються двома робочими револьверними головками 4, які можуть переміщатися по двох координатах X і Y на траверсах 5 і 6. Револьверні головки мають по шість пневмозахоплювачів, кожний для певного типорозміру ЕРЕ 3. Пневмозахоплювач може переміщатися у вертикальному напрямку для захоплення й установлення ЕРЕ. Револьверна головка повертається для захоплення і установлення певного ЕРЕ. Ліва револьверна головка набирає ЕРЕ з лівого стаціонарного модуля

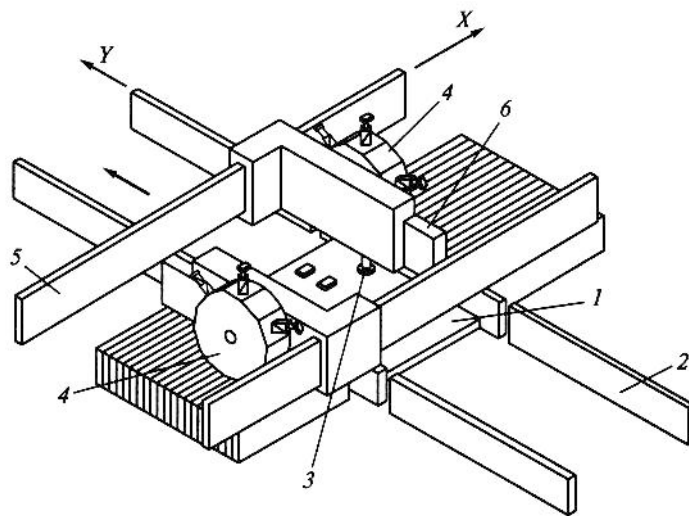


Рисунок 6.11 – Автоматичний монтаж ЕРЕ різних типорозмірів на печатну плату

елементів, права – з правого. Револьверна головка, перемістившись до модуля подавання ЕРЕ, захоплює шість елементів, потім переміщується на позицію установлення і, поки ці елементи установлюються на плату, друга головка захоплює шість елементів на модулі подачі ЕРЕ, які установлюються в автомати у касетах і (або) у стрічках. Продуктивність таких автоматів становить від 17 до 25 тис. елементів/год.

Складальні обладнання ПАЛМІС, ПРОГРЕС для компонентів з планарними виводами постачаються контактуючими пристроями, які зразу після сполучення елементів з платою виконують монтажні операції (паяння).

У технологічному процесі поверхневого монтажу однією з основних операцій є автоматичне установлення компонентів на печатну плату. Ураховуючи малі геометричні розміри компонентів і малу відстань між виводами, ручне виконання цієї операції у серійному типі виробництва практично неможливе. Розглядаючи конкретні особливості різних автоматів-установників, необхідно відзначити, що їх робочий цикл містить: вибір з накопичувача необхідного компонента, переміщення його до посадочного місця на печатній платі, установлення компонента з необхідною точністю позиціонування. Такий технологічний цикл можна реалізувати за допомогою взаємного переміщення основних конструктивних елементів автомата – монтажної головки, координатного столу і магазину з компонентами. У даний час прийнято ряд основних варіантів комбінацій переміщуваних основних елементів автоматів-установників [4, 7].

Варіант 1. Печатна плата і магазин з компонентами нерухомі. Стрічки з компонентами можуть переміщуватись тільки у напрямі X (рис. 6. 12).

Компоненти захоплюються монтажною головкою з необхідної позиції живильника і установлюються на посадочне місце. Монтажна головка переміщується за всіма напрямками (X, Y, Z) і навколо своєї осі, що дозволяє їй за заданою програмою вибрати необхідний елемент з живильника і встановлювати його в будь-яку точку на печатній платі. Автомати, що працюють за такою схемою,

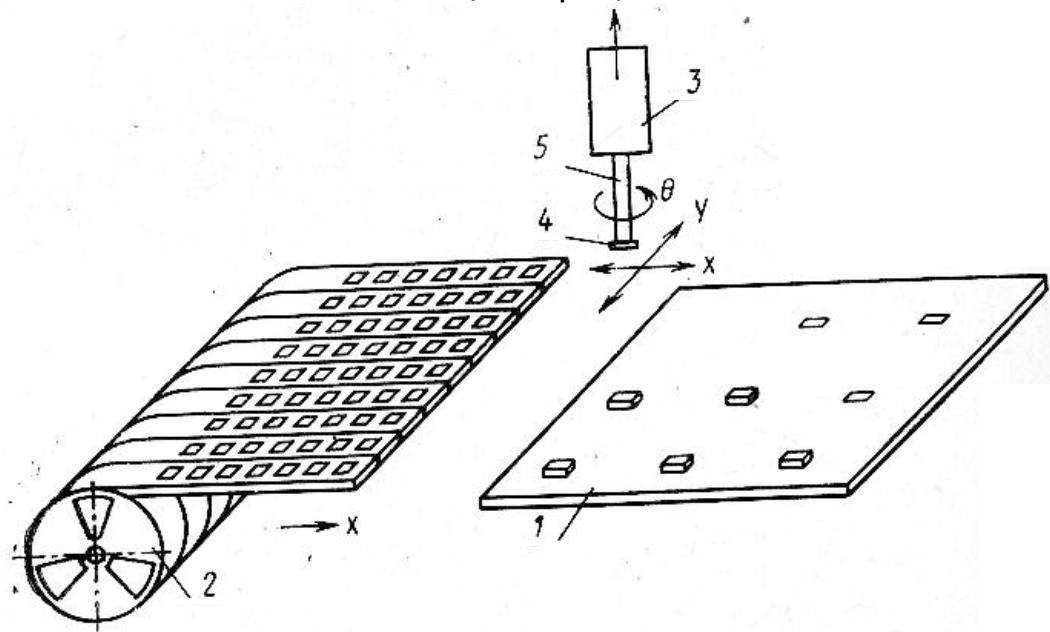


Рисунок 6.12 – Схема автомата-установника послідовного типу:
1 – печатна плата; 2 – котушки з упакованими компонентами;
3 – монтажна головка; 4 – установлюваний компонент; 5 – вакуумне захоплення

характеризуються найбільшою гнучкістю і дозволяють установлювати компоненти будь-яких типів, що ефективно за умов дрібносерійного і серійного виробництва при великій номенклатурі виробів і типорозмірів компонентів. Продуктивність автомата може бути підвищена за рахунок застосування декількох монтажних головок. У автоматах-установниках, виконаних за даним варіантом, може бути передбачена можливість використання установника для дозування клею або паяльної пасти. Для цього замість головки, що установлює компоненти, у автоматі використовується спеціальна дозуюча головка. Конструктивна реалізація описаної схеми виконана в

автоматах-установниках ряду фірм, наведених нижче.

Автомат-установник FM-760 фірми Zevatech (США) може встановлювати усі види мікросхем.

Автомат-установник Optimat фірми DIMA (Нідерланди) має шість автоматично змінюваних вакуумних насадок. Продуктивність автомата становить 2 тис. елементів за годину.

Характеристики автоматів-установників фірми Samsung наведено у Додатку Ж.

Автомат-установник GEM TOPAZ фірми Assembleon (Philips, Нідерланди) забезпечує точне і швидке центрування компонентів під час їх транспортування до встановлювальної позиції на платі. Установлювальні головки з комплектом змінних вакуумних насадок працюють з великою номенклатурою компонентів (CHIP, SOT, SOD, MELF, SOP, PLCC, BGA, SOI, TSOP, перемикачі, з'єднувачі та ін.), що поставляються в стрічці, касетах або матричних піддонах. Максимальна кількість типоніменалів – 100, максимальна продуктивність – до 12500 компонентів за годину.

Автомат-установник TOPAZ-X (модифікація автомата GEM TOPAZ) продуктивністю до 18000 компонентів за годину має додаткові блоки швидкої зміни живильників, живильник з матричних піддонів для 120 типів мікросхем.

Варіант 2. Цей варіант виконання автомата-установника характеризується використанням блоку головок (до 30) і декількох печатних плат (рис. 6.13).

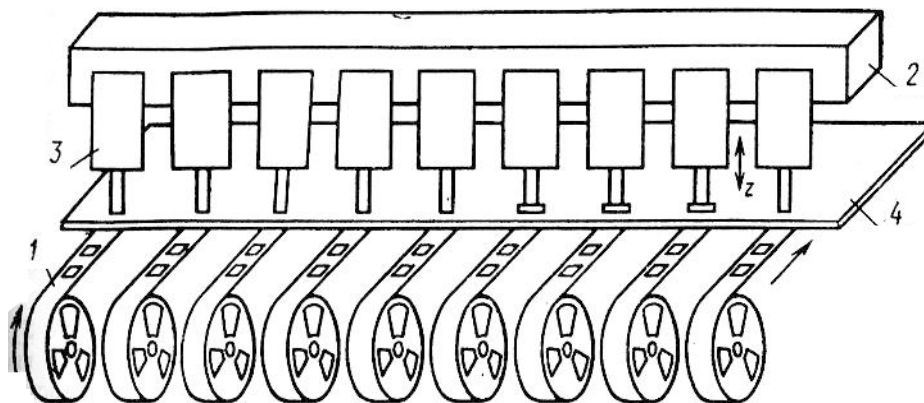


Рисунок 6.13 – Схема автомата з блоком монтажних головок:
1 – стрічка з елементами; 2 – блок монтажних головок; 3 – монтажні головки; 4 – печатна плата

Найефективнішим є їх застосування для монтажу компонентів простої форми, наприклад, чіп-конденсаторів і чіп-резисторів.

Прикладом такого розроблення є автомат-установник компонентів FMC фірми Assembleon (Philips), який має до 16 незалежних встановлювальних головок, орієнтованих на роботу з широкою номенклатурою компонентів. Продуктивність автомата – до 9600 компонентів за годину. Автомат установлює будь-які компоненти, що поставляються у стрічці (CHIP 0402 – 2518, SOT, SOD, MELF, SOIC 8 – 28). Максимальна кількість типоміналів – 96.

Варіант 3. Роторна схема побудови автоматів останніми роками знаходить усе більше застосування в конструкціях високопродуктивних автоматів-установників. У цій схемі використовується блок монтажних головок, які по колу переміщуються з однієї позиції на іншу. Місце установки компонента позиціонується координатним столом. Розрізняють автомати з поворотом ротора навколо вертикальної і горизонтальної осей. Схему автомата-установника роторного типу з обертанням ротора навколо горизонтальної осі зображено на рис. 6. 14. Схема автомата типу Onserter 4712B фірми Universal Instruments (Німеччина) має револьверну головку з чотирма захватами – вакуумними пінцетами і чотирма робочими позиціями через 90° . Упаковані у стрічку компоненти розміщують на бобінах, які встановлюють у карусель, що обертається навколо вертикальної осі.

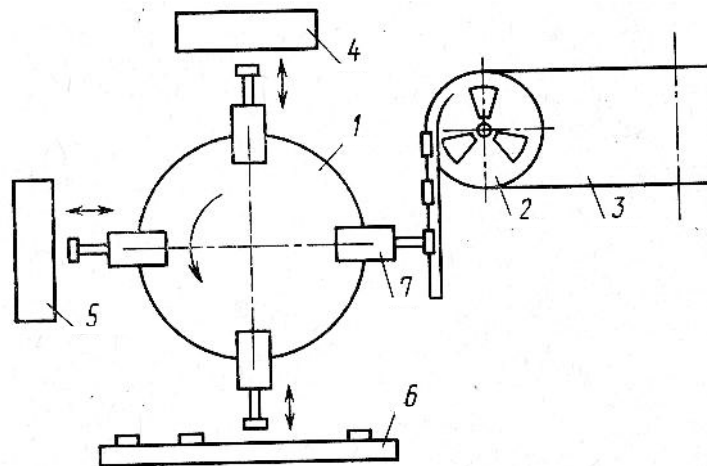


Рисунок 6.14 – Конструктивна схема складального автомата з револьверною головкою: 1 – револьверна головка; 2 – бобіна з упакованими у стрічку КМП; 3 – карусель з бобінами; 4 – вузол контролю електричних параметрів КМП; 5 – вузол позиціонування КМП; 6 – печатна плата на двокоординатному столі

Печатну плату розміщують на двокоординатному столі. При роботі

автомата необхідний компонент подається в живильник з бобіни при повороті каруселі. Вакуумний пінцет захоплює компонент, револьверна головка повертає його на 90^0 і передає у пристрій контролю електричних параметрів. У наступній позиції компонент центрується (коректується його положення відносно установлювального місця на платі). Потім головка повертається в наступну позицію, плата за допомогою двокоординатного столу переміщується в робоче положення і компоненти установлюються на плату. Потім цикл повторюється. Револьверна головка має чотири захоплювачі, що дозволяє у стільки ж разів збільшити продуктивність автомата.

У автоматах типу СРІІ фірми Fuji (Японія) та інших число захоплювачів збільшено до дванадцяти, що значно підвищує продуктивність до 14 тис. компонентів за годину. Максимальне число типоміналів – 100.

Щоб установлені на плату ІМС і ЕРЕ не випали або не змістились зі своїх місць при подальшому транспортуванні, необхідно їх зафіксувати на поверхні ПП. На рис. 6.15 показано декілька способів фіксування.

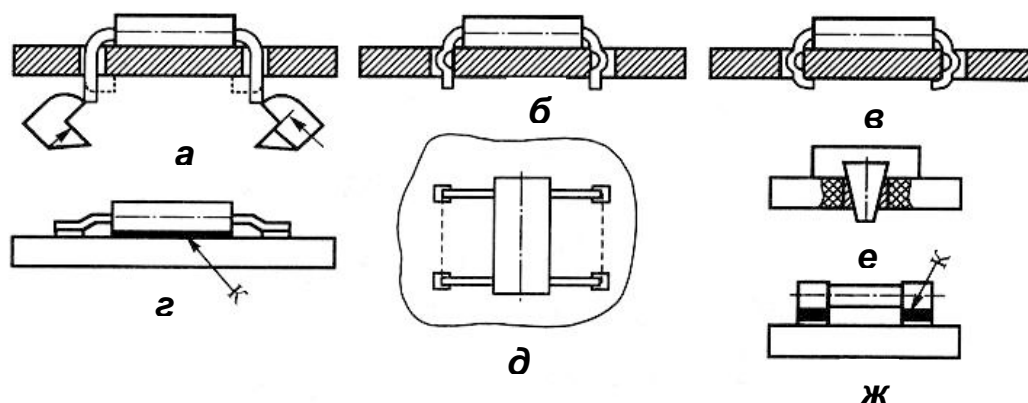


Рисунок 6.15 – Способи фіксування елементів на печатній платі:
а – підгинанням; б – зиг-формуванням; в – зиг-формуванням з замком;
г – приклеюванням; д – паянням діагональних виводів; е – конічним виводом; ж – паяльною пастою

Надійний, але трудомісткий спосіб фіксування осьових (аксіальних) виводів є їх підгинання на зворотній стороні плати (рис. 6.15, а). Зручним для верстатів-автоматів є фіксування елементів за допомогою пружних властивостей виводів, що мають зиг-формування (рис. 6.15, б) або зиг-формування з замком (рис. 6.15, в). Мікросхеми з планарними виводами фіксують на платі приклеюванням корпусів (рис. 6.15, г) або паянням діагональних виводів (рис. 6.15, д). У

випадку застосування ІМС зі штировими виводами конічної форми виводи при установленні заклинюються в монтажних отворах і надійно утримуються перед паянням (рис. 6.15, е). Елементи для поверхневого монтажу фіксують приклеюванням на попередньо нанесену паяльну пасту, на якій вони установлюються і утримуються (рис. 6.15, ж).

Контроль правильності складання виконується візуально. Перевіряють відповідність установлених ЕРЕ і ІМС вимогам конструкторської і технологічної документації: тип, номінал, маркування, форма вигину виводів, полярність, місце на платі. Компоненти повинні бути без надломів виводів, тріщин або подряпин корпусу, пошкоджень використовуваних ізоляційних трубок, маркувальних знаків і т.п. Для контролю можуть застосовуватись шаблони, лупи, дзеркала, підставки з підсвічуванням, допоміжні інструменти (тримачі, пінцети), технологічна тара для печатних вузлів.

При виконанні контактних з'єднань (див. етап 4 у табл. 1.2) використовують різні способи паяння для створення надійних електричних з'єднань. Залежно від типу виробництва й об'єму випуску виробів паяння елементів здійснюється вручну паяльником, груповими і автоматизованими способами.

Ручне паяння виконують паяльником на монтажному столі. Монтажник повинен мати браслет на руці для зняття електростатичного поля. Паяльник використовують у дослідному, ремонтному виробництвах, при виправленні браку і при установленні невеликої кількості елементів, які неможливо паяти іншими способами.

Для серійного виробництва рекомендується використовувати більш продуктивні способи паяння, коли всі з'єднання підлягають паянню одночасно.

У табл. 5.1 наведено методи паяння, що використовуються в ТП різних конструктивних варіантів виробів: у паровій фазі (ПФ), інфрачервоним випромінюванням (ІЧ), на плоских нагрівачах (ПН), хвилею припою (ХП), подвійною хвилею припою (ПХП).

Метод паяння хвилею припою виявився ефективним при реалізації конструктивного варіанта 6 (див. табл. 5.1), коли елементи монтуються в отвори (КМО), в умовах серійного і масового виробництва. Але метод погано пристосований для монтажу компонентів, що установлюються на поверхню плати (КМП). Для використання в змішаній технології (ТМП + ТМО) паяння хвилею припою було допрацьовано і з'явилися установки з подвійною хвилею

припою. При цьому перша хвиля робиться турбулентною і вузькою, вона виходить із сопла під великим тиском (рис. 6.16).

Паяння подвійною хвилею припою застосовується в основному для одного типу печатних вузлів: із традиційними компонентами на верхній стороні та монтованими на поверхню простими компонентами (чіпами та транзисторами) на зворотній (див. варіанти 4, 5 у табл. 5.1).

Процес паяння у паровій фазі починається з нанесення трафаретним печатанням паяльної пасти на контактні площадки печатної плати. Потім на поверхню плати встановлюються компоненти. У ряді випадків паяльну пасту просушують для якіснішого

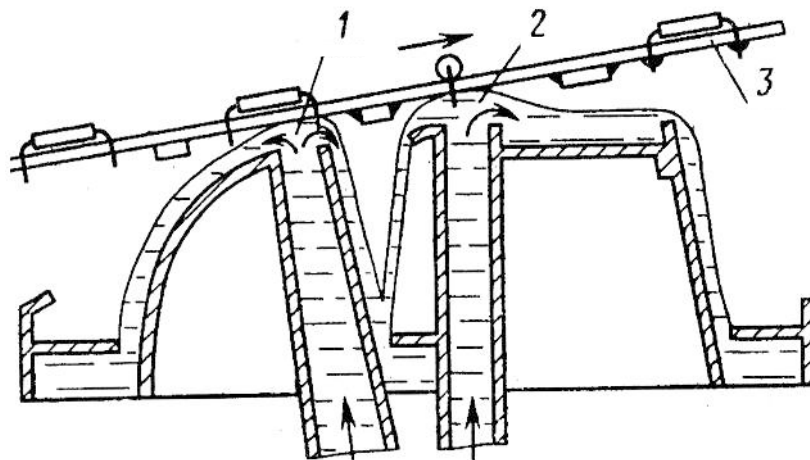


Рисунок 6.16 – Схема паяння подвійною хвилею припою: 1- турбулентна хвиля; 2 – ламінарна хвиля; 3 – печатна плата

фіксування компонентів. Плата з установленими і зафіксованими на ній компонентами розміщується в робочій зоні контейнера і попередньо нагрівається, потім при подачі насиченої пари киплячої робочої рідини температура підвищується. Паяння компонентів здійснюється в парах фторвміщуючої рідини, температура кипіння якої становить 215°C . Пара обволікає плату і починає конденсуватись на її поверхні, віддаючи при цьому сховану теплоту пароутворення. Припій, що знаходиться в зоні насиченої пари, розплавляється й утворює надійні паяні з'єднання. Такий метод паяння застосовується до печатних вузлів без монтованих в отвори компонентів, тобто набором тільки поверхнево монтованих компонентів будь-яких чіпів.

Більш економічним є паяння ІЧ нагріванням. Формування теплового поля проводиться за допомогою різних за геометрією відбивачів (рефлекторів). Розподілення при груповому паянні зони обробки на дві ділянки (на першій проводяться попереднє нагрівання та вирівнювання температур плати і компонентів, а на другій – паяння

потужним імпульсом енергії) дозволяє зменшити брак через досягнення в з'єднанні меншого внутрішнього напруження. Для обмеження зони нагрівання та зниження термічного впливу випромінювання на ЕРЕ застосовують захисні маски з металу.

Сушіння печатного вузла після промивання може відбуватись на повітрі при температурі 18...25 °С, або в термошафах, де температура задається залежно від режиму сушіння.

Візуальний контроль контактних з'єднань полягає у визначенні якості паяних з'єднань. Якісні паяні з'єднання характеризуються «скелетною» формою, тобто щоб під шаром припою були чітко означені контури поверхонь, що з'єднуються. Напливи, надлишок припою не поліпшують електропровідність і міцність паяних з'єднань. Якісне паяне з'єднання характеризується рівною блискучою поверхнею без тріщин, раковин, здуття, побічних включень, напливів, перемичок, бурульок. Не менш важливою частиною візуального контролю є оцінка чистоти поверхні паяного з'єднання. Якщо вузол після паяння недостатньо добре очищений, то виникають потенційна можливість корозії, зниження опору ізоляції, а отже вихід його з ладу в подальшому.

Візуальний контроль з'єднань звичайно доповнюється вибірковою перевіркою міцності з'єднання. З цією метою пінцетом беруть виводи елементів і легко тягнуть їх або ворують.

Часто при візуальному контролі як допоміжний засіб використовується оптична апаратура. Це лінза з підсвічуванням, закріплена на штативі, оптичний мікроскоп, проектор або телевізійний мікроскоп. Один з таких оптичних засобів – «Єрсаскоп» фірми ERSA (Німеччина). Він дозволяє візуально ефективно контролювати якість паяння на поверхню плат навіть електронних компонентів і інтегральних схем з периферійним і матричним розташуванням виводів. «Єрсаскоп» рекомендується для контролю якості паяння кулькових виводів корпусів BGA, CSP. Усім вимогам щодо оснащення для візуального контролю при монтажі на поверхню відповідає також робоче місце VS 8 англійської фірми Vision Engineering. Це робоче місце призначене для контролю печатних вузлів у процесі їхнього складання та ремонту з компонентами поверхневого монтажу і дозволяє одержувати масштабне стереозображення зі збільшенням до 80 разів. За допомогою VS 8 можна швидко оглянути компоненти або місця паяння з різних боків і з різним кутом зору, не змінюючи положення плати.

Етап контролю печатного вузла за електричними параметрами

(див. етап 5 у табл. 1.2) можна умовно розділити на два послідовних етапи:

- контроль правильності монтажу і пошук неполадок;
- функціональний контроль.

Контроль правильності монтажу проводять за картами електричного опору і напруг спочатку без увімкнення живлення до печатного вузла. Потім з увімкненням живлення перевіряють режими роботи джерел живлення, шин живлення, а потім режими роботи мікросхем, напівпровідникових ЕРЕ за електрокалібрувальними картами. Якщо режими роботи не відповідають картам, то такий печатний вузол відправляють на ділянку ремонту.

Функціональний контроль передбачає поділ печатних плат вузлів на справні і несправні шляхом подачі на вхід вузла через з'єднувач характерного для його роботи сигналу й одержання на виході вузла сигналу відповідної величини згідно з функціональним призначенням. Методика контролю цифрових вузлів (модулів) основана на перевірці таблиць істинності, тобто логічної відповідності між вхідними і вихідними сигналами, що мають два рівні – «високий» і «низький». Контроль аналогових модулів більш трудомісткий, оскільки функціональні залежності між вхідними і вихідними сигналами описуються складними функціями, що мають безперервний або дискретний характер. Процедура контролю полягає у послідовному аналізі фрагментів (каскадів) схеми модуля у напрямку від входу до виходу і визначенні таблиць істинності для цифрових модулів і форми сигналів та їх величин – для аналогових модулів. Для функціонального контролю використовують автоматизовані системи контролю (АСК). Принцип контролю АСК оснований на тестовому методі перевірки схем, який полягає у подачі на входи вузла послідовності вхідних і аналізі вихідних сигналів. За результатами аналізу робиться висновок справності вузлів. Справні вузли (модулі) надходять на складання блоків, а несправні – на регулювання або ремонт. У результаті регулювання забезпечується приведення параметрів модуля у відповідність до вимог технічної документації за допомогою зміни параметрів спеціальних ЕРЕ, що активно впливають на вихідні параметри модуля, елементів.

Захист печатного вузла від зовнішніх впливів (див. етап 5, табл. 1.2) забезпечується лаковим покриттям. Лакове покриття товщиною 40...150 мкм захищає плату з компонентами від вологи. Найбільш широко застосовуються лаки на епоксидній основі.

Для нанесення лакофарбових вологозахисних покриттів

використовується метод пневморозпилювання. За цим методом покривають до 80 % печатних вузлів. Інші 20 % покривають методом занурення в лак або заливанням, фарбуванням у електростатичному полі коронного розряду, нанесенням лаку вручну.

Звичайно нанесенню лаку передують очищення (знежирення) і захист місць, що не підлягають покриттю. Для захисту застосовують заглушки, колодки, трубки з фторопласту, полівінілхлориду, хімічно стійкі лаки з низькою адгезією. Після циклів нанесення і сушіння (полімеризації) лаку захисні матеріали видаляють.

Сушіння – це заключний етап нанесення лаку. Його проводять у сушильних шафах, рефлекторних сушарках і т.д. Найбільш досконале сушіння – інфрачервоним нагріванням. Цей спосіб дає більшу економію енергії і дозволяє скоротити виробничі площі.

При виконанні підрозд. 7.3 необхідно брати конкретні моделі устаткування, пристроїв та інструментів для виконання всіх операцій, визначених у підрозд. 7.2 з урахуванням їх ступеня механізації. Для цього слід скористатись інформацією підрозд. 7.2, типовими технологічними процесами, типовими технологічними операціями, стандартами на ТП, додатками.

При виборі оснащення для очищення печатних плат і вузлів можна використовувати ТТП [10], стандарти [11,12] і Додаток Е.

При виборі оснащення для підготовки плати і ЕРЕ до монтажу можна скористатись стандартами [14 – 17], ТТП [8, 9, 18] і [13]. У розд. 5 при використанні компонентів, що монтуються на поверхню (КМП), у ТП передбачено нанесення паяльної пасти, клею на печатну плату. У [7] наведено деякі характеристики автоматичного обладнання для нанесення паяльних паст. Автомати трафаретної печаті типу GSP фірми Fuji machine (Японія) моделей GGP-2000, 2GP-3000, 3GP-4000 призначені для роботи в складі технологічної лінії монтажу компонентів КМП. До їх особливостей відноситься наявність двох ракелів, що дозволяє наносити пасту при прямому і зворотному ході, вмонтовані давачі настроювання положення трафарету, пневматичні затискачі для його кріплення. Швидкість переміщення робочого інструмента (ракеля) 1,5...150 мм/с, хід – 570 мм.

При виборі оснащення для складання можна скористатись ТТП [8, 9], стандартами [21 – 24], каталогом [20] і Додатками Ж, З.

При виборі оснащення для монтажу можна скористатись ТТП [26], стандартами [15, 25, 26], навчальним посібником [2], каталогом [20] і Додатком І.

При оформленні підрозд. 7.3 пояснювальної записки необхідно

окремо записати устаткування, пристрої, інструменти. Спочатку слід записати модель оснащення, а потім – для якої операції воно використовується. Якщо одне й те саме оснащення використовується в кількох операціях, то його слід записати один раз і визначити, у яких операціях.

При виконанні підрозд. 7.4 необхідно інформацію з підрозд. 7.2 і 7.3 занести у табл. 10.1 [1]. У першу чергу слід у другу колонку таблиці записати в технологічній послідовності всі операції, що визначені в підрозд. 7.2. Потім у наступні чотири колонки записати вибране оснащення та допоміжні матеріали. Колонки для обладнання і пристроїв повинні бути заповнені для всіх операцій, а колонки для інструментів і допоміжних матеріалів – тільки для тих операцій, де використовуються інструменти та допоміжні матеріали. У колонку «Режим» необхідно записати, за яким технологічним режимом повинна виконуватись операція: тривалість промивання, сушіння, паяння; температура припою чи жала паяльника; температура, за якої відбувається сушіння або промивання, тощо. У колонці «Примітки» слід записати розряд роботи для кожної операції. Для робітників введено сім розрядів роботи. Самий низький розряд – перший. Випускникам професійних технічних училищ присвоюють другий або третій розряд. Якщо робота складна, то розряд роботи має бути вищим. Складні ручні роботи завжди потребують високої кваліфікації робітників. Також до високої кваліфікації відносять налагоджувальні та контролювальні роботи.

У останню чергу в першій колонці необхідно проставити номери операцій.

7 РОЗРОБЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

У [1] такий етап (див. етап 5, табл. 1.1) окремим розділом не виділено, а в [6] наведено загальні положення. Тому в «Зразок змісту основної частини записки» (див. Додаток А) внесено підрозд. 8.1 – 8.3 для поетапного вирішення цієї задачі. Ці підрозділи дають одночасно можливість виконати й етап 6, табл. 1.1.

Задача етапу розроблення операційного ТП – повна деталізація виконання операції. Цей етап містить [4]:

- визначення структури операції, послідовності переходів і роботи інструментів;
- виконання операції із зображенням стану об'єкта, схеми базування або встановлення деталей, інструментів, напрямків

головних переміщень, геометричних розмірів, досягнутих на даній операції. Ескіз супроводжується таблицею, яка містить переходи, умови та режими їх виконання, основний t_0 і допоміжний t_d час, дійсну і допустиму похибку базування;

- розрахунок режимів і умов складання та монтажу, часу $T_{шт}$ з урахуванням технологічних можливостей попередньо вибраного обладнання. Уточнення часу фактичного завантаження обладнання;
- розрахунок точності операції, умов збірності сполучуваних деталей, дійсних похибок. Визначення вимог точності до складально-монтажних пристроїв;
- нормування операцій, вибір розряду робочого, розрахунок технологічної собівартості операції, техніко-економічне обґрунтування варіантів операції;
- обґрунтування вибору технологічного оснащення або розроблення технічного завдання на його проектування.

При виконанні підрозд. 8.1 слід вибрати таку операцію (бажано складальну або підготовчу), у якій нечітко проглядається техніко-економічна ефективність вибраного ступеня автоматизації. Наприклад, якщо необхідно на плату встановити тридцять мікросхем одного типу, то, очевидно, буде раціональним використати простий автомат-установлювач мікросхем. Якщо треба на плату встановити дві мікросхеми, то, очевидно, що використання автомата-установлювача мікросхем нераціональне, а більш раціональним варіантом буде ручне складання.

У випадку, коли необхідно встановити вісім мікросхем, то без порівняння описаних вище варіантів виконання складальних робіт незрозуміло, який варіант буде ефективнішим.

Вибирати операцію слід з таблиці, розробленої в підрозд. 7.4. Необхідно зазначити її номер, назву, зміст, кількість ЕРЕ, з якими вона виконується, та які варіанти механізації будуть порівнюватись.

При виконанні підрозд. 8.2 слід спочатку встановити зміст переходів для кожного з варіантів, вибраних для порівняння в підрозд. 8.1. Для цього треба з типових технологічних операцій [21 – 24, 8, 9, 14, 16, 17] вибрати виконання операції з необхідним ступенем механізації і записати в колонку 2 табл. 8.1 усі переходи для першого варіанту. У табл. 8.2 записати усі переходи для другого варіанту.

Потім необхідно виконати нормування варіантів операції. Для цього у [28 – 31] за змістом знаходять переходи, що записані в табл. 8.1

Таблиця 8.1 – Зміст операцій для варіанта № 1

Номер пере-ходу	Зміст переходу	T _{оп} таблич-не, хв	Кількість нормувальних одиниць, необхідних для виконання переходу	T _{оп} розрахункове, хв
1	2	3	4	5

Таблиця 8.2 – Зміст операцій для варіанта № 2

Номер пере-ходу	Зміст переходу	T _{оп} таблич-не, хв	Кількість нормувальних одиниць, необхідних для виконання переходу	T _{оп} розрахункове, хв
1	2	3	4	5

і 8.2, і в колонку 3 цих таблиць записати оперативний час T_{оп}. У [28 – 31] наведено T_{оп} для конкретної кількості нормувальних одиниць (ЕРЕ, виводи ЕРЕ, плати та ін.) і конкретних умов виконання. У колонку 4 табл. 8.1, 8.2 записують кількість нормувальних одиниць (ЕРЕ, виводи ЕРЕ, плати та ін.), з якими необхідно виконати переходи для даного печатного вузла. У колонку 5 табл. 8.1, 8.2 слід записати розраховане T_{оп} для кожного переходу (або групи переходів). Після заповнення колонок 5 табл. 8.1 і 8.2 треба підрахувати T_{оп} для виконання всієї операції.

При виконанні підрозд. 8.3 для оптимізації операції за трудомісткістю [5] необхідно скористатись формулою визначення штучно-калькуляційного часу. Штучно-калькуляційний час (трудомісткість) на один виріб виражається формулою (10.2) [1]. Штучно-калькуляційний час на складання партії виробів

$$T_{\text{ш-к,п}} = T_{\text{шт}} n + T_{\text{п.з}}, \quad (8.1)$$

де T_{шт} – норма штучного часу на виконання операції; n – кількість виробів у партії; T_{п.з} – підготовчо-заклучний час на партію виробів.

Норму штучного часу T_{шт} для кожної операції визначають за формулою (1) [28]. Ця формула також наведена в розд. 11 [1].

Кількість виробів у партії була визначена в розд. 4 [1].

Підготовчо-заклучний час на партію виробів входить складовою частиною до коефіцієнта K₁ [28] і встановлюється в процентах до оперативного часу. Тому спочатку необхідно визначити T_{оп}, що затрачується на партію виробів, а потім у відсотковому відношенні визначити T_{п.з}. Якщо у порівнювальних варіантах операції присутні

механізовані пристрої, напівавтомати або автомати, то до розрахованого часу $T_{п.з}$ слід додати 15...30 хв на налагодження такого обладнання перед виготовленням партії виробів.

Наступним кроком для визначення оптимального варіанту виконання операції за трудомісткістю залежно від кількості виробів у партії є побудова графіків кожного з варіантів як залежності штучно-калькуляційного часу на складання партії виробів $T_{ш-к,п}$ від кількості виробів у партії n за формулою (8.1). Вигляд графіків зображено на рис. 8.1.

Обидва варіанти будуть рівноцінними при критичній партії $n_{кр}$, оскільки у цьому випадку $T_{ш-к,п}$ буде однаковим. В інших випадках менш трудомістким (оптимальним) буде той варіант, у якому штучно-калькуляційний час виконання операції буде меншим. Тому необхідно для розрахованого n провести перпендикуляр і визначити оптимальний варіант. Якщо $n < n_{кр}$, то оптимальним буде варіант 1, а якщо $n > n_{кр}$, то – варіант 2.

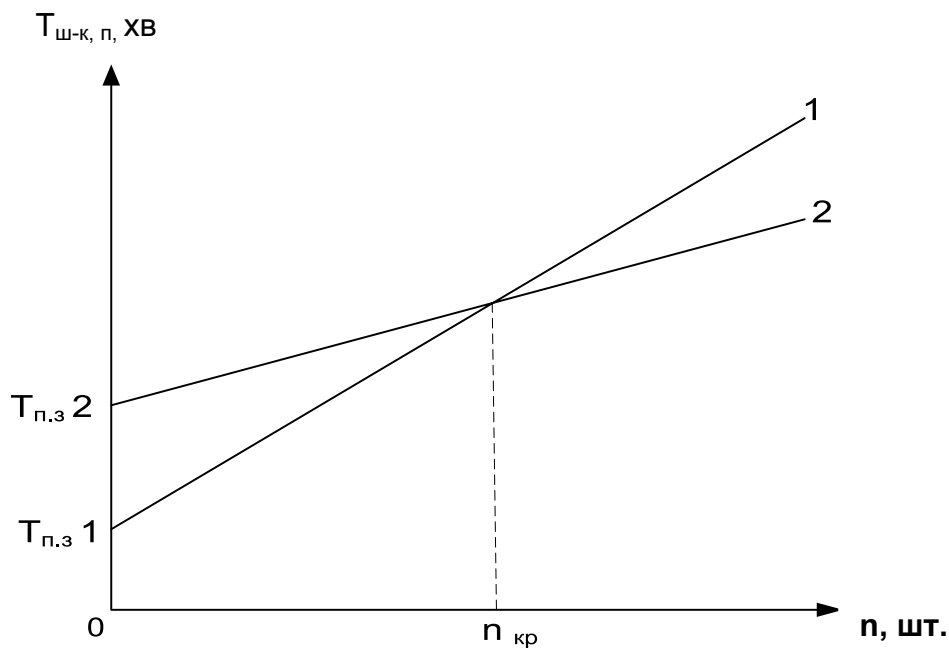


Рисунок 8.1 – Порівняння варіантів

8 ОФОРМЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Для виконання етапу 8 (див. табл. 1.1) необхідно оформити карти маршрутної технології і карти операційної технології. У [1] дано

приклад оформлення технологічних карт для маршрутно-операційної технології. Інформацію для оформлення карт маршрутної технології слід брати з таблиці підрозд. 7.4 (див. Додаток А). Приклад оформлення карт маршрутної технології наведено у Додатку Б. Необхідно заповнити тільки рядки із службовими символами А і Б. Між операціями, занесеними в технологічні карти, слід залишати один пустий рядок.

Інформацію для оформлення карт операційної технології треба брати з таблиці підрозд. 8.2 Додатка А для оптимального варіанту. Приклад оформлення карт операційної технології наведено у Додатку В. Слід заповнити рядки з символами А, Б, О, Т, а якщо для виконання операції необхідні допоміжні матеріали, то і рядок з символом М. Карту операційної технології треба оформити тільки для оптимального варіанту операції, визначеної в розд. 8 (див. Додаток А).

ДОДАТОК А

ЗРАЗОК ЗМІСТУ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНИ ЗАПИСКИ

1. Призначення електричного вузла, умови роботи.
2. Аналіз технічних умов на складання і контроль.
3. Визначення типу виробництва.
4. Вибір організаційної форми складання.
5. Аналіз технологічності.
 - 5.1. Якісна оцінка технологічності.
 - 5.2. Кількісна оцінка технологічності.
6. Розроблення технологічної схеми складання.
7. Розроблення маршрутної технології.
 - 7.1. Аналіз типового технологічного процесу і виділення необхідних операцій для одиничного технологічного процесу.
 - 7.2. Розроблення операцій одиничного ТП, установлення їх кількості, змісту та рівня механізації.
 - 7.3. Вибір устаткування, пристроїв, інструментів і допоміжних матеріалів.
 - 7.4. Маршрутна технологія одиничного ТП.
8. Розроблення операційної технології.
 - 8.1. Вибір операції для розроблення й оптимізації за трудомісткістю.
 - 8.2. Установлення змісту переходів варіантів виконання операцій і їх нормування.
 - 8.3. Визначення оптимального варіанту виконання операції за трудомісткістю залежно від кількості виробів у партії.
9. Нормування технологічного процесу й уточнення типу виробництва.
10. Розроблення спеціального пристрою.
 - 10.1. Обґрунтування розроблення пристрою.
 - 10.2. Розроблення схеми пристрою.
 - 10.3. Силові розрахунки.
 - 10.4. Розрахунки на точність.
 - 10.5. Опис конструкції пристрою.
 - 10.6. Опис роботи пристрою.

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАД ЗАПОВНЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ

[illegible]

ДОДАТОК В

ПРИКЛАД ЗАПОВНЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ

ГОСТ 3.1118-82

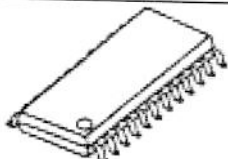
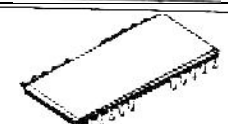
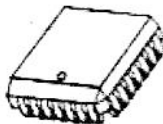
Форма 2

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

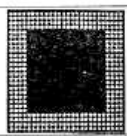
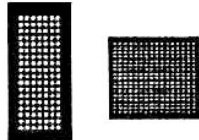
ДОДАТОК Г

КОРПУСИ МІКРОСХЕМ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ

Таблиця Г.1 – Корпуси мікросхем для поверхневого монтажу

Тип корпусу	Короткий опис	Крок виводів, мм	Зовнішній вигляд корпусу
1. Корпуси для мікросхем низького, середнього і високого ступенів інтеграції			
1.1 3 виводами уздовж двох бокових сторін корпусу			
1.1.1 Із стандартним кроком розташування виводів			
SO, SOP, SOL, SOIC	Виводи у вигляді крила чайки або букви “L”	1,27	
SOJ	Виводи у вигляді букви “J”	1,27	
TSOP, Варіант II	Корпус із зменшеною висотою над платою (не більше 1,27 мм), виводи розташовані уздовж довгих сторін корпусу	1,27	
1.1.2 Із зменшеним кроком розташування виводів			
TSOP, Варіант I	Корпус із зменшеною висотою над платою (не більше 1,27 мм), виводи розташовані уздовж коротких сторін корпусу	0,5	
SSOP, SSOL	Корпус SOP із зменшеним кроком розташування виводів	1,00; 0,80; 0,65; 0,50	
NSSOP	Корпус SSOP із зменшеною висотою над платою (не більше 1,27 мм). Стандартизований EIAJ, JEDEC	0,65; 0,50	
TVSOP	Мініатюрний корпус SOP	0,40	
mSOIC	Мініатюрний корпус SOIC	0,65	
1.2 3 виводами уздовж чотирьох сторін корпусу			
1.2.1 Із стандартними розмірами корпусу			
PLCC	Кристалоносій з виводами у формі букви “J”. Стандартизований EIAJ, JEDEC	1,27 0,635	
QPF	Виводи у формі крила чайки уздовж чотирьох сторін корпусу	1,00; 0,80; 0,65	
1.2.2 Із зменшеними розмірами корпусу			
LQFP, TQFP	Корпус QFP із зменшеною висотою над платою (не більше 1,27 мм)	0,80; 0,65	

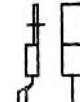
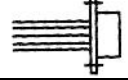
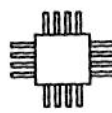
Продовження таблиці Г.1

Тип корпусу	Короткий опис	Крок виводів, мм	Зовнішній вигляд корпусу
MQFP	Корпус QFP з метричним кроком виводів і зменшеною висотою над платою	0,50	
FQFP	Корпус QFP з малим кроком розташування виводів. Стандартизований EIAJ	0,40	
1.3 З матрицею виводів на нижній поверхні корпусу			
BGA	Мікросхема або багато кристальний модуль на подвійній печатній мікроплаті, забезпечений масивом кулькових виводів	1,27; 1,00	
CSP	Корпус з розмірами, що трохи перевищують розміри кристала. Забезпечений масивом кулькових виводів	1,00; 0,50	
2. Корпуси для транзисторів і мікросхем низького ступеня інтеграції			
2.1 З низькою розсіюваною потужністю			
SOT-23	Для діодів, транзисторів, мікросхем з малою кількістю виводів. SOT-23 випускається також у варіанті виконання з п'ятьма (SOT-5, SOT-23-5) або шістьма (SOT-6, SOT-23-6) виводами	0,95	
SOT-143		1,90	
SOT-323		0,65	
SOT-363		0,65	
2.2 З середньою розсіюваною потужністю			
SOT-223	Для транзисторів, мікросхем з малою кількістю виводів (DC/ DC перетворювачів, стабілізаторів напруги)	1,90	
DPAC		4,80	
2.3 З високою розсіюваною потужністю			
D ² PAC	Для транзисторів і мікросхем з підвищеною розсіюваною потужністю, високою напругою живлення. Як правило, це прилади з імпульсними струмами до 100 А	2,54 / 5,08	
D ³ PAC		10,9	

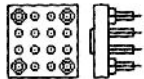
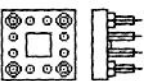
ДОДАТОК Д

ТИПИ І ПІДТИПИ КОРПУСІВ МІКРОСХЕМ

Таблиця Д.1 – Типи і підтипи корпусів мікросхем

Тип	Під-тип	Розміщення виводів відносно встановлювальної площини	Зовнішній вигляд корпусу	Форма проекції тіла корпусу на встановлювальну площину
1	11	Перпендикулярне в один ряд		Прямокутна
	12	Перпендикулярне у два ряди		
	13	Перпендикулярне у три ряди		
	14	Перпендикулярне по контуру прямокутника		
	15	Перпендикулярне в один ряд або відформоване у два ряди		
2	21	Перпендикулярне в два ряди		Прямокутна
	22	Перпендикулярне в чотири ряди у шаховому порядку		
3	31	Перпендикулярне по колу		Кругла
	32			Овальна
4	41	Паралельне з двох протилежних сторін		Прямокутна
	42	Паралельне з чотирьох сторін		
	43	Паралельне, відформоване з двох сторін		
	44	Паралельне, відформоване з чотирьох сторін		
	45	Паралельне, відформоване під корпус з чотирьох сторін		
5	51	Перпендикулярне для бокових площадок виводів з чотирьох сторін		Прямокутна

Продовження таблиці Д.1

Тип	Під-тип	Розміщення виводів відносно встановлювальної площини	Зовнішній вигляд корпусу	Форма проєкції тіла корпусу на встановлювальну площину
	52	Перпендикулярне для бокових площадок виводів з двох сторін		Квадратна
6	61	Перпендикулярне у кілька рядів		Квадратна
	62	Перпендикулярне у кілька рядів зі сторони кришки корпусу		

ДОДАТОК Е

УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПЕЧАТНИХ ВУЗЛІВ (КРАЇНИ СНД)

Найменування технічних характеристик	Значення характеристик					
	КР-1М Одеса	УЗО-4М1 Одеса	УПІ 901	М120.0 01	М120.0 08	ЛПП 901
Продуктивність, вузлів за годину	80	60	60	100	0,2	0,15...1,2
Максимальний розмір вузлів, мм (довжина, шири- на, висота)	360	360	240	450	550	270
	240	240	150	450	500	300
	70	70	40	40	40	45
Кількість ванн	3	2...3	2	3	2	4
Витрата води, дм ³ /хв, не більше	20	-	5	41,6	8,3	35
Споживана потужність, кВт, не більше	7	2,5	0,2	33	12	30
Робоча напруга, В	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
Габаритні розміри, мм (довжина, ширина, висота)	1765	1150	395	7000	950	3200
	670	850	370	1350	850	900
	1075	1200	1500	1330	1800	1400
Маса, кг (без мийного розчину)	200	180	80	1700	700	1700

ДОДАТОК Ж

ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТІВ-УСТАНОВНИКІВ

Параметри		Тип автомата			
		CP20C/CV	CP45F™	CP45FV™	CP60L™
Розміри печатної плати, мм	макси- мум	460×400×4	460×400×4	460×400×4	500×400×4
	міні- мум	50×5×0,4	50×30×0,4	50×30×0,4	50×50×0,4
Тип встановлюваних компонентів		SOP, QFP, chip	QFP, BGA, chip	QFP, CSP, chip	SQP, QFP, BGA, CSP, chip
Час установлення чіп-компонента, с		0,37	0,19	0,19	0,1
Ширина стрічки живильників, мм		8, 12, 16, 24, 32, 44, 56			
Точність установ- лення компонен- тів на плату, мм	chip	±0,1	±(0,08...0,1)	±(0,08...0,1)	±0,065
	QFP	±(0,05... 0,08)	±0,065	±0,04	±0,065
Габарити, мм		1600×1540× ×1408	1660×1540× ×1408	1660×1540× ×1408	1700×1870× ×1470
Маса, кг		1100	1150	1150	2010

ДОДАТОК 3

АВТОМАТИ-УСТАНОВНИКИ ТМП НА ПЕЧАТНІ ПЛАТИ

Таблиця 3.1 – Автомати-установники

Тип автомату	Фірма, країна	Концепція, метод монтажу	Кількість монтажних блоків	Точність установлення, мм	Продуктивність, тисяч компонентів за годину	Тип КМП	Спосіб пакування	Максимальна кількість живильників
Omniplace 4618 A Omniplace 4621 A Onserter 11 4712 B Ultraplace 4715 A	Universal instruments USA	Ротор		-	1,5	CHIP, SOT, SOIC	Стрічка	-
				0,1	5	Усі типи	Усі види	-
			4 позиції	-	10	CHIP, SOT	Стрічка, 8 мм	64
			10 позицій	-	12	CHIP	Стрічка, 12 мм	128
OCM 8500 OCM 8400 П	Okano Electric Co. Японія	Лінійка	3 головки	0,2	3,2	-	Стрічка, 12 мм	44
	33							
SM-0064	Amistar	Ротор	6 позицій	-	11	-	Стрічка, 8 мм	64
Val-Placer 210C	CKD/CK Technologies		8 позицій		10,286	-	Стрижень, стрічка, 32 мм	60
MPS-118 MPS-500 MPS-2500	Dyna /Pertremica Ltd.		10 позицій	-	-	-	Стрічка, 44 мм	150
					5,4			
					12,5			
CP – 11	Fuji Machine Manufacturing, Японія	Лінійка	12 позицій	-	14,4	-	Стрічка, 32 мм	150
FEP – 20			-	0,02	10	Усі типи	-/-, 12 мм	100
FCP			-	-	14	CHIP, SOT	-/-, 8 мм	20
FCP – 11			-	-	5	CHIP, SOT	-/-, 24 мм	-
MCM I	North America Philips, SMD Technology Inc., США		-	-	10	CHIP, SOT	-/-, 24 мм	32
MCM II–35A			-		30		-/-, 32 мм	96
MCM III			8 головок		46		-/-, 12 мм	32
MCM VI			-		10		-/-, 32 мм	32
MCM VII			120 головок		15		-/-, 32 мм	112

Продовження таблиці 3.1

Тип автомату	Фірма, країна	Концепція, метод монтажу	Кількість монтажних блоків	Точність установлення, мм	Продуктивність, тисяч компонентів за годину	Тип КМП	Спосіб пакування	Максимальна кількість живильників
МК 1 МК 2 МКН MQ1 MQ2	Panasonic, Японія	Ротор	10 позицій, 2 позиції (4 позиції)	-	12,857	CHIP, SOT	Стрічка, 32 мм	100
					27,7			136
					12,857			50
					12,414			100
					18			119
Quad Star 1400	Quad Systems	Лінійка	4 позиції	-	18	-	Стрічка, 12 мм	132
TCM - 60	Sanyo/ Sensbey, США, Японія	Ротор	18 позицій	-	14,4	-	Стрічка, 32 мм	100
TCM - 41			10 позицій		10,2		-//-, 12 мм	70
CX - 4040 RX - 4060 CX - 1020	TDK, Японія	Ротор, лінійка	120 позицій, 10 головок	-	-	CHIP, SOT	Стрічка, 12 мм	-
					12			60
					10,3			20
Netplace	Netco Automation США	х-у робот	2 головки	-	5	CHIP, PLCC	Стрічка	-
MS - 72 / 90 HS - 180	Siemens	-	-	0,075	-	PLCC	-	-
PPM - 7	Zevatech Inc, США	-	-	-	-	PQFP QFP	-	-

ДОДАТОК І

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ УСТАНОВОК ДЛЯ ПАЯННЯ

Фірма-виробник	Модель установки	Спосіб паяння	Максимальний розмір плати, см	Максимальна швидкість конвеєра, м/хв	Вартість базової системи, дол. США
Electrovert	Century 2000	Паяння хвилею	49,8*	6	100 000
Fuji	FHL	Лазерне	35,6×45,7	10 пайок/с	150 000
HTC-DynaPert	IL – 18	ПФ	45,7×45,7	2,4	85 000
Hollis	Type II	Хвилею та ПФ	25,4×30,5	3,6	125 000
	GBS Mark III	Хвилею/подвійною хвилею	40,6*	3,6	42 000
	SPS	Подвійною хвилею та розплавленням дозованого припою	40,6*	3,6	125 000
Panasonic	REF	ІЧ нагрівання	25,4×38,7	1,2	100 000
RTC	SMD 6000	ІЧ нагрівання	61*	3,6	42 700
Sanyo	TFM I	ІЧ нагрівання	25,4×33	1,8	100 000
Sensbey	Gemini 400 FM	Подвійною хвилею	40,6*	3,6	130 000
TDK	RF 4000	УФ/ІЧ нагрівання	25,4×33	Немає даних	
Treiber	700 CCS	Хвилею/подвійною хвилею	50,8*	3,6	100 000
Universal-Soltec	Maxi	Паяння хвилею	45,7*	2,9	26 000
Vitronics	SMD 700	ІЧ нагрівання	55,9*	1,8	70 000
Zevatron	MPS 300	Хвилею/подвійною хвилею	50,8×30,5	5,4	55 000

* - максимальна ширина

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Заболотний В.А. Проектування технологічних процесів складання електронних пристроїв, приладів і систем керування літальних апаратів: навч. посібник до курс. проектування / В.А. Заболотний. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1997. – 45 с.
2. Грачов А.О. Конструювання електронно-обчислювальної апаратури на основі поверхневого монтажу: навч. посібник / А.О. Грачов, Ю.Г. Лега, А.А. Мельник, Л.І. Панов. – К.: Кондор, 2005. – 384 с.
3. Павловский В.В. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА / В.В. Павловский, В.И. Васильев, Т.Н. Гутман. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учеб. для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др. / под общ. ред. В.А. Шахнова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.
5. Достанко А.П. Технология производства ЭВМ: учеб. / А.П. Достанко, М.И. Пикуль, А.А. Хмыль. – Мн.: Вышэйш. шк., 1994. – 347 с.
6. Коваленко П.И. Технология сборки и испытаний авиационных приборов: учеб. пособие / П.И. Коваленко, И.Г. Корицкий, В.Г. Юрьева. – Х.: Харьк. авіац. ін-т, 1988. – 93 с.
7. Монтаж на поверхность: Технология. Контроль качества / В.Н. Григорьев, А.А. Казаков, А.К. Джингарадзе и др. / под общ. ред. И.О. Шурчкова. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 184 с.
8. ТТП. Изготовление субблоков и узлов на печатных платах. ЛЫ.10088.00029, 1984. – 130 с.
9. ТТП. Сборка, электромонтаж и покрытие лаком узлов и блоков на печатных платах. ТТПС-096, 1995. – 15 с.
10. ТТП. Промывка печатных плат в спирто-бензиновой смеси. ТТП-467, 1979. – 34 с.
11. ОСТ 92-1047-82. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Типовые технологические операции очистки элементов, монтажных проводов, печатных плат, узлов, блоков и приборов. – Взамен ОСТ 92-1657-77; введ. 01.10.83. – 1983. – 45 с.
12. ОСТ 92-1046-82. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Типовые технологические операции подготовки печатных плат к сборке и монтажу блоков и узлов. – Взамен ОСТ 92-1657-77; введ.

01.10.83. – 1983. – 50 с.

13. Оборудование для формовки выводов компонентов навесного монтажа // Радиоконструкции. – 2006. – № 4 (34). – С. 33 – 37.

14. ОСТ4 ГО.054.264. Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Подготовка электрорадиоэлементов к монтажу. Типовые технологические операции. – Взамен ОСТ4 ГО. 054.087; введ. 01.07.82. – 1982. – 80 с.

15. ОСТ4 ГО.054. 267. Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Пайка электромонтажных соединений. Типовые технологические операции. – Взамен ОСТ4 ГО.054.089; введ. 01.07.82. – 1982. – 238 с.

16. ОСТ 1.80555-85. Аппаратура радиоэлектронная. Подготовка электрорадиоэлементов с осевыми проволочными выводами на оборудовании комплекса «УНИВЕРСАЛ». Типовые технологические процессы; введ. 01.07.86. – 1986. – 42 с.

17. ОСТ 1.80554-84. Аппаратура радиоэлектронная. Подготовка и монтаж на платы интегральных микросхем с планарными выводами на оборудовании комплекса «УНИВЕРСАЛ». Типовые технологические процессы. – Введ. 01.07.86. – 1986. – 104 с.

18. ГТП. Групповой технологический процесс формовки ЭРИ. ГТП-3.12.100.94. – 205 с.

19. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: учеб. для вузов / И.П. Бушминский, О.Ш. Даутов, А.П. Достанко и др. / под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. – М.: Радио и связь, 1989. – 624 с.

20. Паяльное оборудование: каталог. – К.: Радиоаматор, 2007. – 76 с.

21. ОСТ4 ГО.054.265. Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Установка электрорадиоэлементов на печатные платы. Типовые технологические операции. – Взамен ОСТ4 ГО.054.088; введ. 01.07.86. – 1986. – 67 с.

22. ОСТ 92-1044-82. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Типовые технологические операции сборки и монтажа блоков и узлов с применением микросхем и микросборок в корпусном исполнении на печатных платах. – Взамен ОСТ 92-1657-77; введ. 01.10.83. – 1983. – 148 с.

23. ОСТ 92-1043-82. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Типовые технологические операции сборки и монтажа блоков и узлов с применением дискретных элементов на печатных платах. – Взамен ОСТ 92-1657-77; введ. 01.10.83. – 1983. – 60 с.

24. ОСТ 92-9389-80. Установка электрорадиоэлементов на печатные платы радиоэлектронной аппаратуры. Технические требования. – Введ. 01.10.82. – 1982. – 55 с.

25. ОСТ4 ГО.054.089. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры. Пайка монтажных соединений. Типовые технологические процессы. – Введ. 01.10.82. – 1982. – 117 с.

26. ТТП. Пайка печатных плат на установке УПВ-903. ТТП-504, 1983. – 42 с.

27. ОСТ4 ГО.060.010 – ОСТ4 ГО.060.056. Инструмент и типовая технологическая оснастка для сборочно-монтажных работ и производства радиоэлектронной аппаратуры. – Введ. 01.07.76. – 1976. – 300 с.

28. ОСТ4 ГО.050.012. Научная организация труда. Нормативы времени (элементные). Нормирование монтажных работ. – Введ. 01.11.73. – 1973. – 119 с.

29. Нормативы времени для технического нормирования электромонтажных работ в приборном производстве. Дифференцированные и укрупненные нормативы. – М., 1980. – 136 с.

30. Укрупненные нормативы времени на слесарно-сборочные работы в приборном производстве. – М., 1987. – 82 с.

31. Отраслевые нормативы времени на слесарно-сборочные работы при производстве электрических аппаратов напряжением до 1000 В. – М., 1981. – 179 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
1 ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	4
2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА.....	5
3 ВИБІР ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ ФОРМИ СКЛАДАННЯ.....	6
4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ.....	7
4.1 Якісна оцінка технологічності.....	7
4.2 Кількісна оцінка технологічності.....	12
5 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ СКЛАДАННЯ.....	13
6 РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	20
7 РОЗРОБЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	43
8 ОФОРМЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	46
ДОДАТОК А. Зразок змісту основної частини записки.....	48
ДОДАТОК Б. Приклад заповнення маршрутної технологічної карти.....	49
ДОДАТОК В. Приклад заповнення операційної технологічної карти.....	50
ДОДАТОК Г. Корпуси мікросхем для поверхневого монтажу.....	51
ДОДАТОК Д. Типи і підтипи корпусів мікросхем.....	53
ДОДАТОК Е. Устаткування для очищення (країни СНД).....	55
ДОДАТОК Ж. Характеристики автоматів-установників.....	56
ДОДАТОК З. Автомати-установники ТМП на печатні плати.....	57
ДОДАТОК І. Техніко-економічні показники установок для паяння.....	59
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	60

Заболотний Віталій Анисимович

Заболотний Олександр Віталійович

Книш Валентин Олександрович

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Редактор С.П. Гевло

Зв. план, 2008

Підписано до друку 04.07.2008

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 3,6. Обл.-вид. арк. 4,06. Наклад 10 прим. (електронне видання). Замовлення 302. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

“Харківський авіаційний інститут”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр “ХАІ”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu