

Оптимизация на процеса “Безоловно запояване” при дискретното електронно производство

проф. д.т.н Т. Б Таков, Л. М. Маринов, проф. д-р Т. Д. Нешков
Технически университет София

Резюме: Директивата на ЕС за забрана на опасните субстанции и изискванията за съхранение и унищожаване на електронни съоръжения от юли 2006 г. налагат на нашата индустрия преминаването от оловен припой за запояване към безоловни технологии. Това ново предизвикателство и проблемите във връзка с него по примера на няколко предприятия от микроелектрониката са предмет на доклада.

Фокусирано върху оптимизацията на процесите и надеждността на спойката при минимално отразяване върху качеството, производственото време и процента на брак.

Ключови думи: запояване в електрониката, автоматизирано дискретно електронно производство, безтегловно запояване

Въведение

Електронната индустрия в Европа е изправена пред едно от най-големите предизвикателства след стартирането ѝ през 60те години на миналия век. Директивата на Европейския съюз за забрана на опасните субстанции, както и изискванията за съхранение и изхвърляне на електроника и електронно оборудване, влязла в сила през 2006 г. налагат електронната индустрия да премине от оловен припой за запояване към безоловен такъв. Новите безоловни припои и флюсове с техните по-високи температури на запояване и охлаждащи характеристики означават, че данните за процесните параметри, качеството и надеждността на електронните изделия, събирани през годините, повече няма да бъдат актуални. Това води до нови предизвикателства пред европейските производители на електроника и електронни изделия.

В настоящия доклад е споделен натрупаният експериментален опит, приложен при оптимизация на процесите и изследване надеждността на спойката, използвайки наличните до момента безоловни припои и оборудване, като целта е необходимите промени да стават с минимално влияние върху качеството, производственото време и количеството брак. Предоставя се възможност за оказване на техническа помощ и експертна информация на бързо развиващите се електронни предприятия у нас.

1. Методи за запояване, безоловни процеси и процесни параметри

Спояването е метод за свързване на метали, намиращ широко приложение в дискретното електронно производство. Спояването е може да се дефинира като процес на свързване на метали в дадена точка при температура обикновено под 400°C , а при използването на метал с примеси на метал, несъдържащи двувалентно желязо, точката на топене е под тази на базисния метал. Температурата е значително по-ниска и се отличава от тази на заваряване и спояване с мед и цинк.

Металите, които трябва да се свържат, до голяма степен определят и диктуват вида флюс, спойка и метод на спояване. Те обикновено се селектират по специфични свойства: електропроводимост, тежест, плътност, антикорозионни свойства. Леснотата, с която ще се покрие даден метал с припой или ще се запои зависи от активността на флюса, а ако металите са трудни за запояване е необходимо увеличаване на тази активност или дори използването на специфични флюсове и припои. Все пак, изборът на спояващ метод, почистване, флюс и температура на запояване по правило се определят от крайния продукт и неговото приложение [1÷3].

За постигане на добри резултати трябва да се отговори на следните изисквания:

- Дизайн на връзката – тя трябва да е съобразена с всички правила за запояване като се отчитат съответ-

ните ограничения.

- Почистване – металната площадка трябва да е почистена, за да се постигне по-добро омокряне на базисния метал.
- Флюс – нанася се като последен слой върху платката преди спояване
- Правилно подреждане –позициониране на елементите преди запояване, кримпване, занитване.
- Нагриване и избор на вида припой – процесът на запояване трябва да се избере по температура на запояване, като се отчитат и температурните характеристики на електронните компоненти. Трябва да се специфицира и видът припой – процентно съотношение на Sn, съдържание на примеси на Cu, Zn, Al и т. н.
- Замърсяване с флюс – ако същият е антикорозионен, не е необходимо почистване след запояване.

Съвременният напредък в миниатюризацията и необходимостта от надеждност на спойката налагат необходимостта от използването на нови техники и продукти. Благодарение на автоматизираните производствени системи за запояване стана възможно запояването едновременно на стотици електронни елементи с надеждна връзка при намаляване на производствените разходи [4÷7].

Автоматизираното спояване е част от електронната индустрия и правилното разбиране на това обстоятелство е от особено важно значение, за да сме сигурни, че продуктът ще се произвежда със съответната надеждност и качество. Скъпа част от оборудването, машините за запояване позволяват на производителите на електронни изделия да правят по-бързо и икономично стотици чисти и еднакви спойки за време, несъизмеримо с това на ръчното запояване.

2. Безоловен процес и параметри на процеса

Идентифицирането на съществуващите до момента безоловни процеси и техните параметри имат особено важно значение за избора и поставянето на правилните входни параметри при планиране на експеримента и за внедряването на подходящ безоловен процес. При създаването на различни процеси на спояване, според тяхното специфично използване се различават ням колко вида припой и процеси. Спояващите припои основано се разделят на такива, които са с точка на топене по-ниска от тази на стандартния оловен припой SnPb37 и такива с точка на топене по-висока от 183-196⁰ C.

В настоящата разработка са използвани процеси с точка на топене 216-217⁰ C – SnAg, SnAgCu, SnCu. Разглеждат се дизайна и спецификата на компонентите на печатни платки и самите платки.

Според типа електронно производство и типовете компоненти се дефинират:

- Максимално позволена температура на запояване;
- Максимално време при най-висока температура;
- Най-голям допустим температурен градиент при загряване;
- Най-голям допустим температурен градиент при охлаждане;
- Допустимо съдържание на олово.

Наред с видовете припой и компоненти, трябва да се дефинират и видовете процеси.

При автоматичното запояване се обособяват няколко основни групи процеси според метода на запояване:

- Reflow запояване
- Спойка „вълна”
- Селективно запояване.

2.1. Reflow системи

В практиката са добре познати и разпространени 2 вида от тези системи:

- С инфрачервен температурен трансфер
- С конвекционално нагриване

При инфрачервените системи основен недостатък е осигуряването на малко ΔT , което се проявява в още по-голяма степен, когато температурата трябва да се повиши. Много от наличните в момента системи са относително къси и имат проблеми с оловните процеси, при които трябва да се осигури специфичен стабилен температурен профил за дълъг период от време. Затова е немислимо ситуацията да се подобри чрез използ-

ване на алтернативни видове припой, изискващи по-високи температури.

Една от целите на настоящата работа беше да установи до каква степен ΔT играе важна роля при безоловните процеси и дали процесът на запояване ще се нуждае от инертна атмосфера. Трябва да се отбележи също, че новите спояващи пасти са със значително по-високо съдържание на смола, което налага управлението на температурата да се провежда в затворен обем с цел минимизиране на замърсяванията, което става още по-наложително.

Въпреки, че *reflow* процесът представлява най-общо „управление на температурния трансфер“, все още често се използват *конвекционални* системи, които не могат да се справят с безоловните технологии. Много от наличните системи са именно от този тип. Вентилационните мотори и нагревателите не са способни да се справят с по-високите пикови температури за по-дълъг период от време, като едновременно с това повишените процесни температури изискват много по-ефективен енергиен трансфер.

Изискването нагревателните зони вече да са разположени както в горната, така и в долната част на системата са придружени с изискването за циркулация на въздух или газ. Това от своя страна изисква използването на тангенторни вентилатори, осигуряващи ефективен компонентно-чувствителен температурен трансфер.

Предимство на конвекционалните системи е способността им да поддържат по-ниски температури, т. е. те са системи „мулти-пик“, осигуряващи по-гъвкав температурен профил. Това е от особено значение за безоловните процеси и особено за намаляване на температурния стрес върху компонентите по време на запояване. По-ниските температури са доста по-близки до температурите, при които използваният например стъклотекстолитов материал променя съдържанието си, което предразполага към появата на проблеми с огъването и трансформацията на печатните платки. Това автоматично налага използването на помощни корди.

Изходът на системата и свързаната с него охлаждаща система е от особено значение за кристалната решетка на спойката. Все още съществува липса на информация за постигане на желаните температурни стойности, но въпреки всичко е ясно, че за различните видове припой, различните стойности на охлаждащата температура оформят различна кристална структура.

2.2. Спойка „вълна“

От металургична гледна точка, времето за контактуване с припой /спойката е в течно състояние/, температурата на преднагриване и времето, за която се достига определят осъществяването на спояването. Термичният стрес би трябвало да е възможно най-кратък, а предварително нанесеният флюс – нагрят до желаните стойности. Температурният цикъл – от преднагриване до пълно втвърдяване на припоя при двустранна печатна платка за оловен процес на запояване „спойка вълна“ е както следва:

- Време за преднагриване – 100 сек.
- Време за контактуване с припой – 4 сек.
- Време за втвърдяване – 5 сек.
- Време за между начало на контактуване с припой до начало на втвърдяване – 15 секунди.

Същността на машините тип „спойка вълна“ се определя от основни елементи като:

- Конвейер
- Флюксор
- Преднагриване
- Спояваща вълна
- Изход – охлаждане

3. Методи за анализ, оценка и оптимизация

Изискванията на клиента и високата конкурентоспособност налагат използването на методики за оптимизация и математически модели за дефиниране на точни параметри при автоматизираното запояване, доколкото това е възможно.

Методите анализ, оценка и оптимизация включват:

- Анализ на възможните грешки и тяхното влияние /FMEA/

- Статистически контрол на процесите /SPC/
- Дизайн на експеримента /DoE/

3.1. Анализ на възможните грешки и тяхното влияние /FMEA/

Превантивно-ориентиран метод за подобряване на качеството. Прилага се при пресмятане на риска от грешка при продуктите (FMEA за конструкции) или при производствения процес (FMEA за процеси).

Функциите на един FMEA се състои в това, още на етапа на проектирането да се пресметнат систематично потенциалните възможности за грешки в продукта, респ. процесите. Поставя се въпросът за евентуалните причини и тяхното въздействие. Вероятността за появата на такива грешки, нейното отражение върху функционалността на продукта (въздействие върху клиента) и вероятността за откриването на тази грешка, преди продуктът да стигне до клиента, се обобщава от *рисково число*. За целта се разработва FMEA таблица, в която се включват следните колони: обект и неговите функции, потенциално състояние на отказ, потенциално влияние на отказ, трудност (S), причини за потенциален отказ, вероятност (O), текущ контрол, откриване (D) и рисково число (RPN). Стойността на рисковото число се определя по следната формула:

$$RPN = S \times O \times D$$

С помощта на величината на рисковото число и нейните съставни могат да се извеждат коригиращи мерки за изпитания на конструкцията, процеса и качеството, така чрез гледаните потенциални грешки да не се отразят негативно върху клиента.

Методът използва експертни данни, т. е. опитни стойности на известни подобни конструкции и процеси. Методът FMEA изисква системно разглеждане и изпитване на нови конструкции и нови процеси, и с това помага на конструкторите и технолозите, но може да се прилага и при преработка на вече съществуващи конструкции и процеси.

3.2. Статистически контрол на процесите /SPC/

Техниката е разработена в САЩ през 1924 г. от W. A. Stewart. При този метод се анализират контролни проби и съевременно се разпознават нарушения в производствения процес, които водят до повишаване дела на дефектните части. SPC е помощно средство за установяване на системните влияния, като например промени в суровината, счупване на инструменти или грешка от неопитен сътрудник. Един процес е „под статистически контрол“, когато единствената причина за разсейването са случайни влияния. В този случай процесът е предвидим относно постоянно качество, производителност и разходи. Предпоставка за въвеждане на SPC са възможностите за всеобхватен анализи управляемост на процеса. Използвайки т. нар. „контролни карти“ представляващи диаграми за променливи величини, се включва зависимостта между оста Y, която най-често е процентът от ординатата X, която е време (ден, час и т. н.). Всяка диаграма има два компонента:

В контролната карта се нанасят съответните гранични стойности /долна LWL и горна UWL граници/. Централна линия PCL, която се намира на равни разстояния от двете граници.

Недостатък на метода е, че за измерими величини се предполага нормално разпределение на характеристиките. Това условие, обаче, не е изпълнено при много от характеристиките на качеството, така че е необходимо да се разработят подходящи контролни карти, служещи и за контролиране на ненормално разпределени характеристики.

3.3. Дизайн на експеримента /DoE/.

DoE е експериментална техника, чрез която на база опити и тестове може да се повлияе върху подобряване на процеса и резултатите като функция от него /подобряване на изхода/. Математическите модели, заложили в DoE, позволяват решаването на разнообразни задачи, като на базата на избрани фактори с определени нива и конкретни, измерими стойности /количествени и качествени/ се генерират опити, съкратени значително по брой, в някои случаи дори до около 90%. т. е., без да се изпробват всички възможни комбинации се генерира система от опити, които ще дадат съответния резултат.

На база на получените резултати се определя кой от избраните фактори е значим и каква е неговата най-добра стойност /количествена или качествена/.

За дефиниране на правилата за изпълнение на DoE с цел подобряване на процеса е от съществено значение за разбирането на причините и дефиниране на експерименталните фактори, влияещи върху крайния резултат.

4. Заключение

В резултат на проведените задълбочени анализи и получените резултати може да се обобщи, че за правилното поставяне на безоловен процес в съответствие със световните изисквания се изисква:

- Ново оборудване, което да е пригодно да поддържа по-високи температури за по-дълъг период от време;
- оборудване, което да е пригодно за запояване в условията на инертна среда;
- избор на базов материал на платка FR4 с HAL или ImSn-метализация, освен при специални изисквания;
- въвеждане на гъвкавост при използване на различни видове флюс;
- редовна проверка за примеси във ваната и постоянен контрол на температурния профил при автоматизираното запояване.

При удовлетворяване на изискванията се очаква значително подобряване на качеството, което ще повлияе позитивно върху производствената дейност на всяка фирма от областта на електронното производство.

Литература:

1. QS 9000 SPC Reference Manual, Third Edition, 2001
2. QS 9000 FMEA Reference Manual, Third Edition, 2001
3. Martin, M. F. Solder Solution & Applications, 1989
4. www.qualityamerica.com – SPC Concepts
5. www.isixsigma.com – DoE Concepts
6. www.smartgroup.com – Lead-free Soldering Concept
7. www.seho.de – Soldering Machine Concept