

## Kurs lutowania krok po kroku

Lutowanie, wbrew pozorom wcale nie jest takie łatwe. Żeby wykonać prawidłowe połączenie za pomocą spoiwa trzeba mieć sporo praktyki. Żeby wykonać prawidłowe połączenie, trzeba rozumieć, na czym tak naprawdę polega lutowanie. W elektronice mamy do czynienia z tzw. lutowaniem miękkim (temperatura procesu jest niższa niż  $+450^{\circ}\text{C}$ ), a elementy elektroniczne lutuje się za pomocą spoiwa (lutu), zwanego potocznie cyną.

Lutowanie tym różni się od spawania, że w procesie lutowania topi się tylko spoiwo, a nie łączone elementy, które mają temperaturę topnienia dużo wyższą niż spoiwo (cyna). Dlatego kluczem do uzyskania prawidłowego połączenia są właściwości tego spoiwa i łączonych powierzchni, ale także warunki procesu.

Nie wystarczy tylko roztopić cynę.

Narzędzia do lutowania:



- Zestaw do lutowania



- Lutownica



- Palnik gazowy



- Grot do lutownicy

-  Grot miedziany

-  Cyna

-  Grot do lutownicy

#### Proces prawidłowego lutowania



Trwałość połączenia nie wynika bowiem jedynie z przyklejenia lutu (cyny) do powierzchni miedzi. Otóż mówiąc najprościej, roztopiona cyna rozpuszcza miedź, a ściślej cieniutką wierzchnią warstwę miedzi. To rozpuszczanie miedzi w płynnej cynie jest możliwe właśnie dzięki specyficznym właściwościom cyny i zachodzi w temperaturze dużo niższej niż temperatura topnienia miedzi (aż  $+1083^{\circ}\text{C}$ ).

W prawidłowym połączeniu na styku miedzi i cyny tworzy się bardzo cienka warstwa pośrednia miedzi rozpuszczonej w cynie. O prawdziwości twierdzenia, że cyna rozpuszcza miedź, przekonuje się każdy posiadacz taniej lutownicy z najprostszym grotem miedzianym. Chodzi o tak zwane wyżeranie grota.

Podczas użytkowania na ładnym miedzianym grocie pojawiają się wżery i ubytki, które z upływem czasu robią się coraz głębsze. Wszystko dlatego, że miedź stopniowo rozpuszcza się w cynie.

Należy bardzo mocno podkreślić, że w procesie prawidłowego lutowania niezbędne jest powstanie tej cieniutkiej warstwy stopu miedzi z cyną.

Powstaje wtedy struktura miedź-stop-lut-stop-miedź. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy płynny lut (cyna) dobrze zwilży i rozpuści powierzchniową warstewkę miedzi. W praktyce oznacza to, że warunki lutowania muszą być tak dobrane, żeby nastąpił proces tego powierzchniowego rozpuszczenia miedzi w cynie. Istotną przeszkodą jest jednak fakt, że lutowane elementy, miedziane lub inne, często pokryte są warstewką tlenków lub zanieczyszczeń. Dlatego niezbędny jest...



Topnik

Topnik pełni podwójną rolę:

- w wysokiej temperaturze stopionego lutu pomaga usunąć szkodliwe tlenki,
- nie dopuszcza powietrza atmosferycznego do strefy lutowania i tym samym zapobiega tworzeniu się nowych tlenków.

Wysoka temperatura i obecność topnika powodują oczyszczenie powierzchni miedzi z tlenków i innych zanieczyszczeń. Właśnie dzięki obecności topnika powstaje wspomniana ważna warstewka stopu miedzi z cyną. Rolę topnika (ang. flux, niem. flussmittel) często spełnia kalafonia, uzyskiwana z naturalnej żywicy sosnowej. Często do kalafonii dodawane są tzw. łagodne aktywatory, zwiększające skuteczność topnika.

Do ręcznego lutowania klasycznych elementów elektronicznych na płytkach całkowicie wystarczy topnik zawarty wewnątrz drucika „cyny”. Przy innych pracach, na przykład przy pobielaniu drutów i końcówek, często dodatkowo wykorzystuje się kalafonię, powszechnie dostępną w sklepach elektronicznych.

Do lutowania małych elementów SMD wykorzystywane są łagodne topniki w postaci pasty lub płynu, jak np.: RF800. W procesach montażu elementów SMD pomocne są też topniki w postaci żelu, dostępne także w małych strzykawkach.

Stop lutowniczy – „cyna”

Do lutowania ręcznego wykorzystuje się druty „cyny” o średnicy 0,25...3mm zawierające omówione wcześniej żyłki topnika. Dziś do ręcznego lutowania klasycznych elementów na płytkach drukowanych wykorzystuje się zwykle drut o średnicy 1mm, a do małych elementów SMD – drut o średnicy 0,5...0,7mm.

Cyna stosowana do lutowania jest najczęściej stopem. Do tej pory powszechnie wykorzystywany był stop cyny z ołowiem. W takim klasycznym lutowiu zawartość cyny (symbol chemiczny Sn) wynosi 60% albo 63%. Reszta to ołów (Pb).

Warto wiedzieć, że temperatura topnienia stopu lutowniczego LC63 czy LC60 wynosi tylko 183°C, czyli jest znacznie niższa niż temperatura topnienia czystej cyny (231°C), a tym bardziej ołowiu: 327°C.

Warto wiedzieć, że stop o zawartości 63% cyny i 37% ołowiu to tak zwany stop eutektyczny.

Przy innych proporcjach cyny i ołowiu stop też mięknie w temperaturze 183°C, ale nie staje się w tej temperaturze płynny, tylko mięknie i robi się plastyczny. Płynny staje się w nieco wyższej temperaturze. Natomiast stop eutektyczny staje się płynny już w temperaturze 183°C.

Obecność ołowiu nie tylko obniża temperaturę topnienia, ale też polepsza liczne parametry stopu (spoiwa). Właśnie przy zawartości ołowiu około 40% najkorzystniejsze są też inne właściwości, jak choćby przewodność elektryczna, wytrzymałość, twardość i plastyczność.

#### Ołów szkodliwy dla zdrowia

Niestety, ołów jest wysoce szkodliwy dla zdrowia. Między innymi zaburza pracę mózgu (zaliczony jest do neurotoksyn), co może objawiać się obniżeniem jego sprawności i niekorzystnymi zmianami osobowości. Jest kancerogenny i powoduje niedokrwistość. Tymczasem praktycznie wszystkie urządzenia elektroniczne wcześniej czy później trafiają na wysypiska śmieci i zawarty w nich ołów, w postaci azotanu ołowiu, tworzącego się pod wpływem kwaśnych dreszczów, może przedostać się do gleby i wód gruntowych.

Nie wchodząc w dalsze szczegóły, można przypomnieć, że Parlament Europejski wydał dyrektywę o redukcji szkodliwych substancji (RoHS – Reduction of Hazardous Substances). Miała ona wejść w życie 1 lipca 2004, ostatecznie obowiązuje od 1 lipca 2006. Krótko mówiąc, nowy sprzęt elektryczny i elektroniczny wprowadzany obecnie na rynek Unii Europejskiej nie może zawierać ołowiu. Wcześniej podobne zakazy zaczęły obowiązywać w Japonii. Wprawdzie rząd USA nie wprowadził podobnych ustawowych ograniczeń, jednak przepisy obowiązujące w Japonii i Unii Europejskiej wymuszają przejście na technikę bezołowiową także wszystkich producentów z Ameryki i Azji, którzy chcą eksportować swoje wyroby na rynki europejskie i japoński.

#### Lutowanie bezołowiowe

Producenci sprzętu musieli zrezygnować ze stosowanych od kilkadziesiąt lat stopów cyny i ołowiu i przejść na lutowanie bezołowiowe. Stąd określenia Pb-free i Lead-free. Nie było to takie proste i oznaczało poważne zmiany w procesie produkcji sprzętu elektronicznego.

W grę weszły też dodatkowe czynniki, jak choćby: koszt spoiwa, który nie powinien być znacząco wyższy od stopu ołowiowego, temperatura topnienia – podobna jak w popularnym stopie 63Sn37Pb, kompatybilność z istniejącymi elementami i technologiami lutowania automatycznego, łatwość ewentualnych napraw (powtórne lutowanie) oraz brak szkodliwego wpływu na środowisko teraz i w przyszłości.



**Wprawdzie naukowcy już od lat zajmują się tym tematem, przebadali i opracowali nowe stopy lutownicze, ponad 100 zostało opatentowanych, a niektóre otrzymały własne nazwy handlowe. Niestety, dotychczas nie udało się znaleźć stopu, który wykazywałby wszystkie zalety „starych” stopów ołowiowych.**

Przede wszystkim popularne stopy bezołowiowe mają wyższą temperaturę topnienia, powyżej 220°C. Aby nie uszkodzić delikatnych elementów SMD, konieczna jest bardzo staranna kontrola termiczna procesu lutowania.

Temperatura i czas lutowania nie mogą być za niskie, by nastąpiło pełne przetopienie spoiwa i prawidłowe związanie końcówki elementu z punktem lutowniczym. Temperaturą, czas lutowania i szybkość zmian temperatury nie mogą być zbyt wysokie, by nie nastąpiło uszkodzenie czy nawet obniżenie niezawodności elementów.

Konieczne trzeba też wiedzieć, że nowe spoiwa bezołowiowe mają gorszą tzw. zwilżalność (wettability). Stop ołowiowy w obecności topnika rozpląwa się po płytce i końcówce, tworząc ładne, gładkie i błyszczące połączenie. Stopy bezołowiowe nie rozpląwają się i wiążą z miedzią tylko w miejscu, gdzie zostały nałożone i zwykle połączenia wyglądają brzydko.

W grę wchodzi też jeszcze inne wady stopów bezołowiowych. W każdym razie lutowanie bezołowiowe to zło konieczne, wymuszone przepisami.

Jak lutować klasyczne elementy?

Lutowanie przebiega szybko, łatwo i bez kłopotów, jeśli klasyczne elementy (z przewlekanyymi końcówkami) są nowe, mają czyste, niezaśniedziałe końcówki i jeśli są montowane na fabrycznych płytkach, których punkty lutownicze są pobielone, czyli pocynowane.

Podczas lutowania końcówek elementów przewlekanych należy koniecznie grzać końcówkę elementu, a nie pole lutownicze. Pole lutownicze jest już pocynowane, czyli zwilżone cyną.

Najważniejszą sprawą okazuje się dobre rozgrzanie końcówki elementu, by cyna ją dobrze zwilżyła. Po wykrępowaniu końcówek elementów wkłada się je w otwory płytki, kładzie płytkę "do góry nogami" i lutuje końcówki.

Rozgrzany grot lutownicy należy przyłożyć do końcówki elementu 1...2mm nad płytką. Dopiero po rozgrzaniu końcówki elementu należy dotknąć końcem drutu lutowniczego do tej końcówki, a wtedy lut i topnik roztopi się i szybko spłynie z końcówki na punkt lutowniczy.

Temperatura i ilość lutu

Temperatura grotu podczas lutowania klasycznych elementów powinna wynosić około 350°C. Mniej więcej taką temperaturę zapewniają popularne lutownice o mocy 25...40W. Coraz więcej osób posiada stacje lutownicze z płynną regulacją temperatury i wtedy należy zacząć od ustawienia temperatury w zakresie 320...350°C.

Niektórzy obniżają temperaturę do 200...250°C wiedząc, że takie temperatury występują w procesie automatycznego lutowania i że klasyczny lut Sn63Pb37 staje się płynny w temperaturze 183°C.

Inni boją się, że temperatura ponad 300°C uszkodzi lutowane elementy.

**Niestety, takie rozumowanie jest z gruntu błędne!**

Po pierwsze nie uwzględnia faktu, że klasyczne przewlekane elementy elektroniczne są tak budowane, żeby z powodzeniem przeszły proces ręcznego lutowania w temperaturze 350...370°C.

Po drugie, znacznie ważniejsze, temperatura 200...250°C jest za niska, żeby w krótkim czasie usunąć tlenki i rozpuścić w cynie warstewkę miedzi.

**A przecież to właśnie jest warunkiem trwałego lutu!**

Okazuje się, że w rzeczywistości większe niebezpieczeństwo przegrzania klasycznego elementu grozi wtedy, gdy temperatura grotu jest zbyt niska, poniżej 300°C. Wtedy, aby usunąć tlenki, prawidłowo zwilżyć i związać łączone elementy, należałoby grzać końcówkę kilka sekund – i właśnie wtedy grozi przegrzanie. Zbyt

krótkie lutowanie w takiej niższej temperaturze nie umożliwi dobrego zwilżenia miedzi cyną i powstaną tak zwane zimne luty nietrwałe, bardzo zawodne połączenia.

Generalnie przy montażu typowych, przewlekanych elementów na jedno czy dwustronnej płycie drukowanej należy ustawić w stacji, temperaturę około 320...370°C i przeznaczyć na wykonanie jednego połączenia 1 sekundę, maksymalnie 2 sekundy. Natomiast lutując przewody do końcówek tranzystorów i diod mocy, można zwiększyć temperaturę do 370...400°C, uwzględniając fakt że grubsze wyprowadzenia szybciej odprowadzają ciepło i obniżają temperaturę w miejscu lutowania, W przypadku lutowania bardziej prymitywnych elementów, np. styków i przewodów, zwłaszcza tych grubszych, można jeszcze bardziej zwiększyć temperaturę, nawet do 400...420°C.

Dobrze wykonane połączenie można łatwo poznać po kształcie lutu i po kolorze. Przy odpowiednio wysokiej temperaturze cyna zwilża łączone elementy i sama rozpląwa się po powierzchni końcówki i punktu lutowniczego, dając wklęsłą, jasną, błyszczącą powierzchnię lutu. Prawidłowe luty wykonane "starym" stopem ołowiowym nie mogą mieć żadnych ostrych krawędzi, złamań czy sopli. Natomiast nowe spoiwa bezołowiowe dają brzydsze luty, i to jest normalne.

## **Zimny lut**

Warunkiem powstania prawidłowego połączenia jest czystość łączonych powierzchni, obecność topnika oraz odpowiednio wysoka temperatura, dopiero to umożliwia rozpuszczenie warstewki miedzi w cynie. Jeśli czas lutowania będzie za krótki, a temperatura lutowania za niska, wtedy elementy nie zostaną dostatecznie rozgrzane, cyna nie zwilży łączonych powierzchni i powstanie nietrwały, tak zwany zimny lut. Taki zimny lut, nawet jeśli z początku zapewnia połączenie, z czasem "puści"; a efektem będą najpierw trzaski i szumy oraz przerwy w pracy urządzenia, a po jakimś czasie dalszego utleniania wystąpi przerwa i urządzenie całkowicie przestanie działać.

Aby nie powstał zimny lut, trzeba rozgrzać łączone elementy do odpowiednio wysokiej temperatury, ale niestety to nie wszystko, Praktyka pokazuje, że równie ważną sprawą jest odpowiednie przygotowanie łączonych elementów.

Warto wiedzieć, że do roli skutecznego środka usuwającego izolację z drutów nawojowych (DNE) doskonale nadaje się... tabletki aspiryny, która jednak po rozgrzaniu wydziela silnie gryzący dym, którego absolutnie nie należy wdychać. Jeśli więc trzeba usunąć lakier izolacyjny z końcówek przewodów, zamiast skrobać lakier nożem. można łatwo oczyścić i pobielić tę końcówkę lutownicą w tabletki aspiryny.