

Wszystko o lutowaniu

część 1

Historia lutowania sięga głębokiej starożytności. Egipcjanie już ponad 2000 lat przed naszą erą umieli łączyć złoto i srebro. Ale prawdziwa epoka lutowania zaczęła się wraz z odkryciem cyny jako materiału łączącego. Poszczególne kultury, najpierw śródziemnomorskie, potem europejskie, stosowały i udoskonalowały różne techniki lutowania ołowiu i brązu. Pozostały po tym liczne świadectwa, głównie w postaci biżuterii i przedmiotów domowego użytku.

Przez długie lata lutowanie było nietłwą sztuką, przekazywaną z pokolenia na pokolenie w rodach rzemieślników. Radykalna zmiana nastąpiła dopiero w XX wieku w efekcie wynalezienia praktycznej lutownicy elektrycznej, co Niemcy przypisują Ernstowi Sachswi, założycielowi znanej do dziś firmy ERSA. Lutowanie przestało być trudne i męczące, stało się dostępne dla każdego. Rozwój technik lutowania, głównie tzw. lutowania miękkiego, był też ściśle związany z rozwojem elektroniki.

Lutowanie miękkie

W procesie lutowania temperatura topnienia materiału łączącego (lutu, lutowia), jest niższa niż materiałów łączonych. Materiały łączone nie ulegają nawet częściowemu stopnieniu. Inaczej jest przy spawaniu, gdzie w procesie łączenia topiony jest nie tylko materiał łączący, ale i częściowo elementy łączone.

Jeśli temperatura topnienia lutu jest niższa niż +450°C, mówimy o lutowaniu miękkim. Jeśli lut topi się w temperaturze powyżej +450°C, mamy do czynienia z lutem i lutowaniem twardym. W elektronice mamy do czynienia wyłącznie z lutowaniem miękkim – elementy elektroniczne lutuje się z pomocą spoiwa (lutu), zwanego potocznie cyną. Ponieważ w procesie lutowania topi się tylko spoiwa, a nie łączone elementy, kluczem do uzyskania wytrzymałego połączenia są właściwości tego spoiwa i warunki procesu.

Lutowanie

Ważną sprawą praktyczną jest zrozumienie istoty procesu lutowania. Dwa elementy miedziane: ścieżka na płycie i końcówka elementu, zostają trwale połączone za pomocą lutu, którego głównym składnikiem jest cyna. W procesie lutowania następuje stopienie lutu i wypełnienie przestrzeni między łączonymi elementami. Co bardzo ważne, nie jest to tylko warstwowe połączenie obcych materiałów, miedzi i cyny. A trwałość połączenia nie wynika z przyklejenia lutu (cyny) do powierzchni miedzi. Otóż roztopiona cyna ma

szczególną właściwość – rozpuszcza nieco miedzi i w efekcie na styku miedź-cyna tworzy się cieniutka warstewka pośrednia z miedzi rozpuszczonej w cynie. Należy podkreślić, że takie rozpuszczanie miedzi w płynnej cynie zachodzi w temperaturze dużo niższej niż temperatura topnienia miedzi (1083°C) i jest możliwe właśnie dzięki specyficznym właściwościom cyny. Po ostygnięciu uzyskuje się cieniutką warstewkę stopu cyny i miedzi, dobrze związaną zarówno z powierzchnią miedzi, jak i cyny. Tworzenie cienkiej warstwy takiego stopu przez oddziaływanie płynnej cyny na miedź (i inne materiały) nazywa się bieleniem, inaczej pobielaniem.

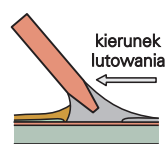
Dopiero pobielanie, czyli rozpuszczenie niezmiernie cienkiej, powierzchniowej warstewki miedzi umożliwia powstanie trwałego, silnego połączenia przez powstanie struktury miedź-stop-lut-stop-miedź. W praktyce oznacza to, że temperatura i czas lutowania muszą być tak dobrane (nie za małe), żeby zdążył zająć proces tego powierzchniowego rozpuszczenia miedzi w cynie.

Zazwyczaj proces pobielania zachodzi podczas właściwego lutowania, ale czasem, nie tylko w elektronice, celowo pobielają się powierzchnie łączonych materiałów przed właściwym lutowaniem. A o prawdziwości przedstawionego twierdzenia, że cyna rozpuszcza miedź, naocznie przekonuje się każdy posiadacz taniej lutownicy z najprostszym grotem miedzianym. Chodzi o popularne „wyżeranie” grotu – z czasem na ładnym miedzianym grocie zawsze pojawiają się wżery i ubytki.

Topnik

Należy bardzo mocno podkreślić, że warunkiem dobrego lutowania jest właśnie wytworzenie wspomnianego stopu miedzi i cyny, a to jest możliwe tylko wtedy, jeśli płynna cyna dobrze zwilży i rozpuści powierzchniową warstewkę miedzi. Tymczasem miedź w powietrzu pokrywa się warstwą tlenku. Na szczęście tlenek ten jest niszczony w wysokiej temperaturze stopionego lutu dzięki obecności tak zwanego topnika. Topnik pełni podwójną rolę: po pierwsze, pomaga usunąć szkodliwe tlenki, po drugie, nie dopuszcza powietrza atmosferycznego do strefy lutowania i tym samym zapobiega tworzeniu się nowego tlenku. **Rysunek 1** pokazuje przekrój strefy połączenia podczas lutowania.

Rys. 1



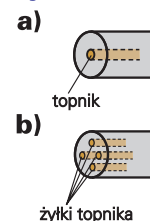
Rolę topnika (ang. flux, niem. fluxmittel) często spełnia kalafonia, uzyskiwana z naturalnej żywicy sosnowej. Dla zwiększenia skuteczności do kalafonii dodawane bywają organiczne albo nieorganiczne aktywatory.

Topnik wchodzi też w skład drutu (spoiwa) lutowniczego, używanego do lutowania ręcznego. Budowa drutu (spoiwa) lutowniczego z pojedynczym rdzeniem topnika pokazana jest na **rysunku 2a**. Druty przeznaczone do ręcznego lutowania zawierają nie jeden rdzeń topnika, tylko kilka, np. 3, 4 lub 5, jak pokazuje **rysunek 2b**. Czym więcej rdzeni (żyłek) topnika, tym lepiej. Wagowo topnik stanowi około 2,5% spoiwa, objętościowo znacznie więcej.

Do lutowania elementów elektronicznych całkowicie wystarczy topnik zawarty wewnątrz drucika „cyny”. Przy mniej typowych pracach, zwłaszcza do pobielania drutów i końcówek, powszechnie dodatkowo wykorzystuje się kalafonię, dostępną w sklepach elektronicznych.

Jednak ani typowy stop lutowniczy z topnikiem w środku, ani kalafonia nie pozwolą polutować wielu metali, np. elementów kadmowanych, chromowanych, niklowanych, a nawet stalowych. Lutowanie tych metali za pomocą cyny jest wprawdzie możliwe, ale nie wystarczy kalafonia z dodatkami – konieczne są bardziej agresywne topniki. Różne silne topniki dostępne są w postaci płynu lub pasty. Zawierają sole (często chlorki) lub kwasy organiczne i nieorganiczne. Wprawdzie pomogą polutować elementy z różnych metali, ale z ich użyciem w elektronice wiąże

Rys. 2



Fot. 1



się poważne ryzyko. Te agresywne substancje mogą z czasem całkowicie zniszczyć połączenie lub lutowane elementy. Dlatego po lutowaniu z użyciem agresywnych topników miejsce połączenia należy starannie oczyścić z resztek topnika. Nie dotyczy to lutowania z użyciem czystej kalafonii.

W procesach montażu elementów SMD pomocne są topniki klasy „No Clean” – w żelu, dostępne w strzykawkach. Demontaż elementów z płyt o lekko utlenionej powierzchni ułatwiają topniki średnioaktywne, wygodnie dozowane z wyposażonych w pędzelek butelek polipropylenowych widoczne na **fotografii 1**.

Ale nawet niektóre topniki na bazie kalafonii zawierające agresywne dodatki trzeba starannie zmyć, żeby usunąć resztki topnika – jeśli zostanie choć trochę, po kilku latach potrafią całkowicie zniszczyć połączenie, powodując korozję połączenia, ścieżek miedzianych i końcówek elementów. Często wcześniej, przed całkowitym zniszczeniem połączenia pojawią się inne problemy: niektóre topniki są higroskopijne. Resztki pozostawione w okolicach punktu lutowniczego powodują ich rozprzestrzenianie się i wytwarzanie tak zwanych *dendrytów*. Podobnie jak ich pierwowzory, mogą niejako rosnąć pomiędzy punktami lutowniczymi, elementami i ścieżkami. Wilgoć będzie wtedy powodować niekontrolowaną upływność między punktami i ścieżkami płytki – prąd popłynie przez wspomniane dendryty. Oczywiście może to okresowo zakłócać prawidłowe działanie urządzenia.

Ryzyko to jest bardzo poważne, dlatego bardzo ostrożnie należy podchodzić do „cudownych” topników, zwłaszcza o nieznanym składzie, otrzymywanych od znajomych mechaników samochodowych, blacharzy, dekarzy i innych nieelektroników. Pozostawiając resztki takich topników na płytce drukowa-

nej, na stykach czy końcówkach elementów, można sobie narobić wielkich kłopotów. Aby ich uniknąć, należy starannie usunąć resztki topnika za pomocą odpowiedniego rozpuszczalnika. W praktyce wybór rozpuszczalnika może być niełatwy, bo niektóre topniki można skutecznie zmyć wodą, inne alkoholem, a do jeszcze innych potrzebne są specyficzne rozpuszczalniki.

Typowym, często stosowanym preparatem jest IsoClean (**fotografia 2**) znanej firmy Micro Care. Jest to

Fot. 2



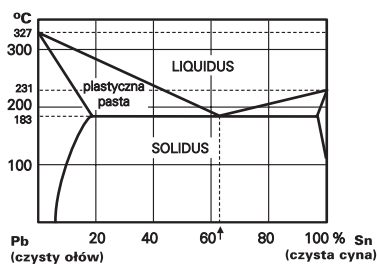
uniwersalny, bardzo efektywny preparat usuwający topniki na bazie kalafonii oraz topniki klasy „No Clean”. IsoClean wraz z bardzo bogatym wyborem podobnych środków oraz materiałów pomocniczych i przyborów (zmarzaacze, sprężone powietrze, dozowniki, pałeczki, ściereczki, igły, itp.) dostępny jest w firmie RENEX, która oferuje także wiele rodzajów topników i past lutowniczych.

Należy więc unikać nieznanymi topników, a jeśli ścieżki i końcówki elementów nie chcą się połączyć, nie należy od razu sięgać po agresywny topnik, tylko usunąć rzeczywistą przyczynę: mechanicznie oczyścić zbyt silnie utlenione końcówki, odtłuścić ścieżki, itp. Generalnie do ręcznego lutowania elementów elektronicznych nie jest potrzebny żaden inny topnik oprócz zwyczajnej kalafonii.

Stop lutowniczy – „cyna”

Lut zwany też lutowiem znany jest jako „cyna”. W określeniu tym jest ziarno prawdy, ponieważ cyna (symbol chemiczny Sn) stanowi główny składnik stopu: 60...63%. Reszta to ołów (Pb). Dla praktyki wykres z **rysunku 3** nie ma wielkiego znaczenia, jednak warto zwrócić uwagę na pewne ważne informacje. Po pierwsze temperatura topnienia ołowiu wynosi 327°C, a cyny 231°C. Jednak stop cyny i ołowiu ma dziwne właściwości, zależnie od zawartości obu składników. Przy zawartości cyny od 19,5 do 98% dla stopu charakterystyczna jest temperatura 183,3°C. Po przekroczeniu tej temperatury stop mięknie. I tu objawia się interesująca zależność. O ile w tej temperaturze stop mięknie, nie znaczy to, że staje się ciekły. Tylko stop o stosunku cyny i ołowiu równym 63%/37% staje się ciekły w temperaturze powyżej 183,3°C. Jest to tak zwany stop eutektyczny.

Rys. 3



Przy innych proporcjach cyny i ołowiu występuje faza pośrednia: stop mięknie w temperaturze 183,3°C, ale nie staje się cieczą, tylko ma konsystencję plastyczną. Dopiero w jakiejś wyższej temperaturze następuje przejście w fazę ciekłą. Stop eutektyczny od

razu przechodzi ze stanu stałego do ciekłego, bez pośredniego stanu plastycznego i to w temperaturze +183,3°C.

Do rozmaitych zastosowań wykorzystuje się stopy o różnej zawartości cyny i ołowiu. W elektronice stosuje się zazwyczaj albo stop eutektyczny (63% Sn, 37%Pb), albo stop 60% Sn i 40% Pb. Warto zauważyć, że przejście w fazę ciekłą następuje wtedy w temperaturze poniżej 200°C, co oznacza, że taki stop ma znacznie niższą temperaturę topnienia niż użyte składniki (Sn –231°C, Pb – 327°C). Fałszywy byłby jednak wniosek, że dodatek ołowiu ma jedynie na celu obniżenie temperatury topnienia. Obecność ołowiu polepsza liczne parametry stopu (spoiwa). Właśnie przy zawartości ołowiu około 40% korzystne są też inne właściwości, jak choćby przewodność elektryczna, wytrzymałość, twardość i plastyczność.

Na krajowym rynku najczęściej spotyka się spoiwa oznaczone:

LC63 (stop eutektyczny)

LC60 (60% Sn, 40%Pb)

a także spoiwa z niewielkim dodatkiem srebra czy miedzi

LC63S1 (62,5% Sn, 36%Pb, 1,5% Ag)

LC60M2 (60% Sn, 38%Pb, 2% Cu)

Do lutowania ręcznego wykorzystuje się druty zawierające omówione wcześniej żyły topnika. Dostępne są wielordzeniowe druty, nazywane potocznie cyną lub drutem cynowym, o średnicy 0,25mm...3mm. Kiedyś standardem były druty o średnicy 2mm i 1,5mm. Obecnie do lutowania płytek drukowanych wykorzystuje się zwykle drut o średnicy 1mm, a do maleńkich elementów SMD drut o średnicy 0,5...0,7mm.

Lutowanie automatyczne

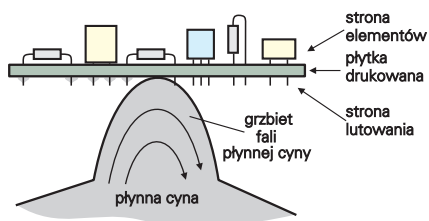
Od kilkudziesięciu lat wykorzystuje się klasyczne lutownice elektryczne. Te i inne lutownice ręczne zostaną omówione w następnym śródtytułe. Pojawienie się płytek drukowanych umożliwiło automatyzację procesu lutowania przez tak zwane **lutowanie na fali**. Pojawiły się tzw. agregaty lutownicze. **Fotografia 3** pokazuje automat do lutowania na fali. Wbrew prostym wyobrażeniom nie chodzi jedynie o to, by płytki przesuwające się pomału na taśmie montażowej zostały tylko

Fot. 3



zanurzone dolną stroną w ciekłej cynie. Nieprzypadkowo mówi się o lutowaniu „na fali” (ang. *wave soldering*, niem. *Wellenloeten*). W kadzi znajduje się roztopiona cyna, pompa (lub pompy) porusza cynę i na jej powierzchni tworzy się fala. Chodzi o grzbiet fali. W zależności od rozwiązania, fala może być pojedyncza lub podwójna. Dolna powierzchnia płytki z punktami lutowniczymi nie jest więc zanurzana w nieruchomej płynnej cynie, tylko wprowadzana w grzbiet fali. Płytkę pomału (ok. 3m/min) przesuwają na taśmie i czoło fali kolejno lutuje elementy, jak pokazują w uproszczeniu rysunek 4.

Rys. 4



W przypadku fali podwójnej pierwszy grzbiet pełni rolę końcówki, drugi dokonuje właściwego lutowania. A wcześniej płytka (lub wybrane fragmenty) poddawana jest działaniu płynnego topnika. W procesie lutowania bywa też wykorzystywany tzw. nóż powietrzny. Lutowanie za pomocą agregatów z falą wymaga uwzględnienia szeregu dalszych czynników, które nie występują przy przylutowaniu ręcznym, między innymi zdarza się, że proces odbywa się nie w powietrzu, tylko w gazie obojętnym. Lutować na fali można nie tylko elementy przewlekane według rysunku 4, ale też elementy SMD, wstępnie przyklejone do płytki właśnie od strony lutowania. Choć w trakcie lutowania przez chwilę w pełni są całkowicie zanurzone w płynnej cynie, nie ulegają one uszkodzeniu ze względu na stosunkowo niską temperaturę lutu (rzędu 240...250°C).

Obecnie elementy przewlekane niemal całkowicie ustąpiły miejsca małym elementom SMD. Do lutowania płytek zawierających wyłącznie elementy SMD zamiast lutowania na fali stosuje się powszechnie tak zwane **lutowanie rozpliwowe** (ang. *reflow soldering*, niem. *Reflow-Loeten*). Automaty montażowe najpierw selektywnie nakładają na płytkę pastę lutowniczą. Potem umieszczane są elementy. Pasta lutownicza zawiera klej, topnik oraz sproszkowany lut. Bardzo szeroki wybór urządzeń, dzięki którym możliwe jest stworzenie mniej lub bardziej zaawansowanych linii produkcyjnych, oferuje amerykańska firma Automated Production Systems (RENEX), i obejmuje maszyny umożliwiające m.in.: przycinanie i kształtowanie wyprowadzeń elementów i układów, nanoszenie masek, pasty lutowniczej i kleju na płytki drukowane, umieszczanie elementów i układów na płyt-



Fot. 4

Fot. 5



kach, lutowanie oraz prace serwisowe i pomocnicze. Wśród automatów APS niezwykle ciekawie prezentuje się seria L, reprezentowana na **fotografii 4** przez L60 – wyposażoną w aż 96 podajników, która zapewnia układanie wielu rodzajów elementów (0201, 0402, 0603, 0805, 1206, MELF, SO-28 do SO-8, SOT, SOIC, (fine pitch) QFP, BGA, large PLCC, socket i innych) z dokładnością $\pm 0,001''$ ($\pm 25,4\mu\text{m}$), przy maksymalnej wydajności 4800 cph (chip per hour). Bardzo istotnym elementem systemów APS jest dołączone w pełni konfigurowalne oprogramowanie.

W przedstawiony sposób elementy są wstępnie przyklejane na swoich właściwych miejscach, ale nie mają jeszcze połączenia elektrycznego. Po podgrzaniu do temperatury topnienia lutu, pasta lutownicza topi się i wiąże trwale końcówki elementów z punktami lutowniczymi, a klej i topnik wypływają na boki. Do właściwego lutowania służy więc piec, mający możliwość precyzyjnej regulacji temperatury. **Fotografia 5** pokazuje piec firmy APS. Taki piec do lutowania rozpliwowego nie zawiera cyny. Do podgrzewania wykorzystuje się podczerwień, coraz częściej

jednak stosowane jest podgrzewanie gorącym powietrzem (bądź lepiej gazem obojętnym). Lutowanie rozpliwowe ma wiele zalet w porównaniu z lutowaniem na fali. Wymaga jednak znacznie bardziej precyzyjnej kontroli temperatury, ponieważ wszystkie elementy przez stosunkowo długi czas wystawione są na działanie wysokiej temperatury rzędu 250°C. Aby uniknąć stresów cieplnych, żeby nie rozhermetyzować obudowy i nie uszkodzić struktury i połączeń, trzeba ściśle wypełnić zalecenia podawane w katalogach przez producentów elementów (szybkość grzania, czas lutowania, czas i szybkość chłodzenia).

Przy lutowaniu ręcznym sytuacja jest korzystniejsza: przez sekundę czy dwie grzejemy tylko końcówkę i temperatura struktury i całej obudowy jest znacznie niższa od 250°C i nie zdąży się przegrzać. Przykładowo w układach scalonych w klasycznych obudowach (np. DIL) struktura jest połączona z końcówką za pomocą cieniutkiego złotego drucika.

Ciąg dalszy w następnym numerze EdW.

Zbigniew Orłowski