

Przebieg temperaturowy bezołowiowego profilu lutowniczego oraz badanie wpływu temperatury otoczenia w jego poszczególnych fazach

Piotr Witkowski

Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, Katedra Inżynierii Biomedycznej, ul. Prószkowska 76 (bud. 2), 45-758 Opole

Streszczenie: W artykule omówiono pojęcie profilu lutowniczego wraz z jego fazami oraz zbadano wpływ temperatury otoczenia na jego wykonywalność. Autor przeprowadził eksperyment na dwóch identycznych płytach PCB w różnych temperaturach pomieszczenia, obserwując przebiegi temperaturowe dla poszczególnych faz lutowania.

Słowa kluczowe: PCB, profil lutowniczy, temperatura, lutowanie rozplywowe, obudowa BGA

1. Wprowadzenie

Unijna dyrektywa zwana RoHS I (2002/95/EC) oraz jej uzupełnienie ROHS II, która obowiązuje od 1 lipca 2006 r. zakazuje producentom sprzętu elektrycznego i elektronicznego stosowania niebezpiecznych materiałów, tj. domieszki ołowiu, kadmu, rtęci, chromu (VI) itd. (w produktach przeznaczonych na rynek europejski). Cyna bez domieszki ołowiu ma dość dużą tendencję m.in. do utleniania się i pęknięcia. Proces ten staje się gwałtowniejszy, jeżeli na element działa wysoka temperatura [1–3].

W latach 2005–2008 powstał problem – większość płyt głównych urządzeń typu: laptopy, konsole do gier, karty graficzne wprowadzanych na rynek, miało układy w obudowie BGA z wadą fabryczną, która dotyczyła połączenia krzemowego rdzenia z jego obudową, wskutek czego naprawa była niemożliwa, a usterka powracała maksymalnie w ciągu pół roku po wykonaniu operacji reballingu matrycy układu przez serwisy. Jedyną formą naprawy była wymiana układu na nowy, co wiązało się często z kosztami przekraczającymi wartość urządzenia [3–4].

Był to także problem dla wszystkich producentów laptopów, płyt głównych, konsol do gier, kart graficznych, ponieważ jeśli wada ujawniła się w okresie gwarancji, zmuszeni oni byli do wymiany układu lub całej płyty głównej, a także podjęcia prac nad rozwiązaniem eliminującym ten problem.

Na chwilę obecną dzięki stosowaniu układów poprawionych, układy w obudowie BGA wytrzymują dłuższy okres czasu i czę-



Rys. 1. Zatkanie wylotów powietrza między żebrami radiatora a wentylatorem

Fig. 1. Clogging of air outlets between radiator fins and fan

ściej obserwuje się utlenienie spoiwa pod układem. Nie znaczy to jednak, że problem został definitywnie rozwiązany, gdyż po kilku latach użytkowania połączenie rdzenia układu z obudową ulegają degradacji. Nie jest to jednak okres tak krótki jak w pierwszych czterech latach po wejściu RoHS I [5–7].

Obecnie jednymi z najczęściej występujących usterek, z którymi można się spotkać w serwisach komputerowych, czy konsol do gier są awarie związane ze spoiwem pod układami w obudowie BGA (mostki północne, układy graficzne, oraz procesory zamontowane w technologii BGA). Źródłem tych problemów są często zatkane wyloty powietrza między żebrami radiatora i wyschnięcie pasty termoprzewodzącej, wynikające z braku odpowiedniej konserwacji w postaci regularnej wymiany pasty/podkładek termoprzewodzących na nagrzewających się układach oraz oczyszczenia układu chłodzenia urządzenia, z kurzu co przyspiesza proces degradacji lutowni pod układem, a także niekorzystnie wpływa na połączenie rdzenia obudową układu [8–9].

Sam proces wymiany spoiwa pod układem jest procesem wieloetapowym i dosyć trudnym; wymagającym specjalistycznych urządzeń oraz wiedzy z zakresu przebiegu profili

Autor korespondujący:

Piotr Witkowski, piotr.witkowski@doktorant.po.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 15.09.2020 r., przyjęty do druku 11.12.2020 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

lutowniczych czy znajomości wytrzymałości temperaturowej wlotowywanego układu (producenci podają go w notach katalogowych) [10].

Niniejszy artykuł przedstawia w pierwszej części definicję profilu lutowniczego oraz jego fazy. W kolejnych opisuje zakres i przebieg przeprowadzonego eksperymentu polegającego na wykonaniu identycznego profilu z uwzględnieniem dwóch temperatur otoczenia, prezentuje wyniki przeprowadzonego badania oraz wnioski, które wyciągnięto po jego przeprowadzeniu.

2. Profil lutowniczy (Soldering profile)

Profiltem lutowniczym (nazywanym również temperaturowym) jest nazywana charakterystyka wzrostu temperatury w stosunku do czasu wykonania procesu lutowania rozplwowego. Dzieli się na cztery fazy: nagrzewanie wstępne (ang. *pre-heat*), wygrzewanie (ang. *soak*), rozplływ (ang. *reflow*) oraz chłodzenie (ang. *cooling*). Istotną rzeczą jest dobranie odpowiedniego profilu do lutowanych elementów w celu zapewnienia ich prawidłowego montażu w procesach serwisowych.

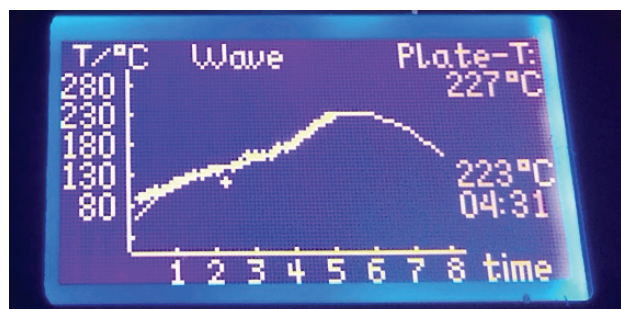
Podczas procesu lutowania serwisowego ważne jest dobranie optymalnej temperatury. Dla każdej z poszczególnych faz należy wziąć pod uwagę, że zbyt nagły wzrost temperaturowy może prowadzić do odkształceń PCB/układu mikroelektroniki, czy uszkodzenia elementów znajdujących się na płycie. Dlatego zalecane jest stopniowe oraz bardzo powolne nagrzewanie płyty. Podczas dobierania profilu lutowniczego należy uwzględnić takie czynniki jak: wytrzymałość temperaturowa układu w obudowie BGA, temperaturę otoczenia, wielkość i grubość płyty PCB, na której znajduje się układ (odprowadzanie ciepła przez jej powierzchnię), stop spoiwa lutowniczego [11–14].

Obecnie stosowane spoiwa lutownicze wraz z ich temperaturą rozplwy przedstawiono w tabeli 1. Przykładowy przebieg profilu lutowniczego na stacji lutowniczej BGA przedstawiono na rysunku 2. Po przyjrzeniu się charakterystyce można bez problemu rozróżnić poszczególne fazy lutowania z pominięciem początku fazy nagrzewania wstępnego do temperatury 100 °C[6].

Tabela 1. Przedstawienie obecnie spotykanych niektórych stopów lutowniczych wraz z ich temperaturą rozplwy [3]

Table 1. Presentation of currently encountered soldering alloys together with their reflow temperature [3]

Stop lutowniczy	Temperatura rozplwy
SnAg3Cu05 (SAC)	217–221 °C
SnAg2Cu08Sb05(CASTIN)	217–221 °C
SnAg3,5	221 °C
SnCu07	227 °C
Sn63Pb37	183–190 °C



Rys. 2. Przebieg fabrycznie ustawionego profilu lutowniczego dla spoiwa bez domieszki ołowiu przedstawiony na stacji BGA Puhui T-890
Fig. 2. The course of the factory set soldering profile for lead-free binder shown at BGA Puhui T-890 station

3. Fazy profili lutowniczych

Faza *preheat* jest pierwszą fazą procesu lutowania układów w obudowie BGA. Jej przedział temperaturowy zaczyna się od temperatury początkowej płyty PCB, a kończy na 150 °C. Faza musi być powolna i stopniowa, gdyż zbyt gwałtowne podgrzanie może prowadzić do odkształceń płyty na późniejszych etapach lutowania. W jej ramach wokół układu nakładany jest topnik (najlepsza efektywność około 140 °C). W zależności od typu stacji lutowniczej uruchamiana jest też górna grzałka stacji np.: dla Puhui T-890 jest to temperatura 80–100 °C, natomiast dla Jovy Systems Re-7500 jest to temperatura około 150 °C, czyli początek fazy *soak*.

Faza *soak* zaczyna się po zakończeniu fazy podgrzewania wstępnego i trwa do osiągnięcia temperatury od 150 °C do około 180 °C (w zależności od wykonywanego profilu lutowniczego). W tej fazie kluczowe jest działanie topnika polegające na usunięciu tlenków, korozji czy innych zanieczyszczeń jak również zwilżenie powierzchni i przygotowanie do fazy lutowania właściwego. Ma też na celu wyrównanie temperatur układu – płyta PCB.

Faza *reflow* jest kluczowa dla układu i trwa do osiągnięcia temperatury rozplwy spoiwa. Śledząc przebiegi, można w jej końcówce zaobserwować zatrzymanie się temperatury w momencie osiągnięcia punktu rozplwy. Działanie to, ma na celu rozplływ wszystkich kulek lutowni pod układem oraz zapobiegnięcie wyrwania pól lutowniczych podczas jego podnoszenia. Celem poprawy efektów lutowania, układ, przed osiągnięciem temperatury rozplwy, można jeszcze podłączyć topnikiem.

Faza *cooling*, to ostatnia faza mająca na celu równomierne i powolne chłodzenie płyty po zakończonym procesie wylutu/wlutu. Wówczas zostają wyłączone dolne i górne grzałki stacji, a stacja zostaje przełączona w tryb chłodzenia. Na przebiegu obserwuje się natomiast spadek temperatury $-\Delta T$ (°C)[10].

4. Przebieg eksperymentu

W eksperymencie użyto stanowiska pomiarowego wyposażonego w stację lutowniczą do układów BGA Jovy Systems RE-7500. Dobór stacji wynikał z faktu, iż stacja zapewnia pełną kontrolę nad profilem w wyniku czego można było zbadać czas osiągania ustalonych dla profilu pułapów temperaturowych. Specyfikacja stacji przedstawia się następująco:

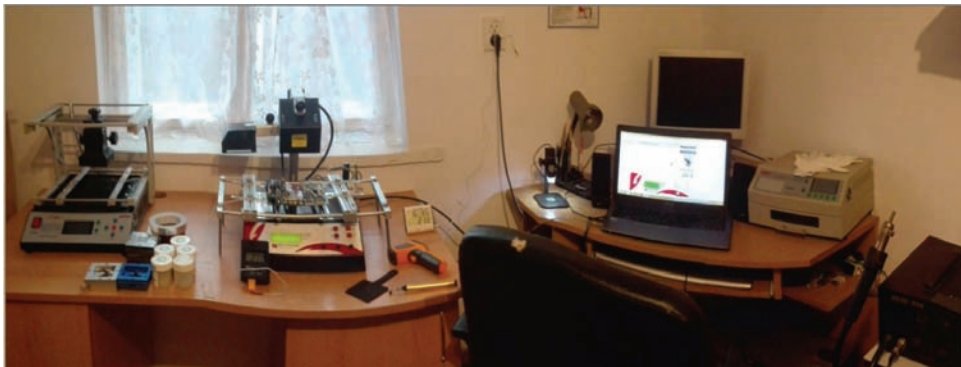
- moc dolnej grzałki 600 W (możliwe sterowanie mocą w trzech trybach: Preheat 390 W, Reflow 450 W, Fast Reflow 540 W),
- moc górnej grzałki 300 W (możliwe sterowanie mocą w dwóch trybach: Reflow 225 W, Fast Reflow 270 W),
- komputer, z poziomu którego odbywało się sterowanie stacją oraz rejestrowano przebieg temperaturowy dla poszczególnych faz lutowania,
- termometr BLOW TH103 rejestrujący aktualną temperaturę otoczenia zgodny z normami opartymi na dyrektywie 2014/30/EU, o czym informuje producent urządzenia.

Za materiał badawczy posłużyły dwie identyczne płyty, wyposażone w procesor X806416-005 (XENON) w obudowie FCBGA (ang. *flip chip ball grid array*), wykonany w technologii 65 nm oraz układ graficzny o oznaczeniu X02056-010 w obudowie FCBGA wykonany w technologii 65 nm. Badanie polegało na prześledzeniu przebiegów w poszczególnych fazach profilu lutowniczego, w dwóch odmiennych temperaturach otoczenia. Demontowany był zamontowany fabrycznie układ graficzny osadzony na płycie za pomocą spoiwa bezołowiowego. Proces przebiegał w dwóch temperaturach otoczenia: T1 = 13,4 °C oraz T2 = 28,3 °C. Zdjęcie stanowiska pomiar-

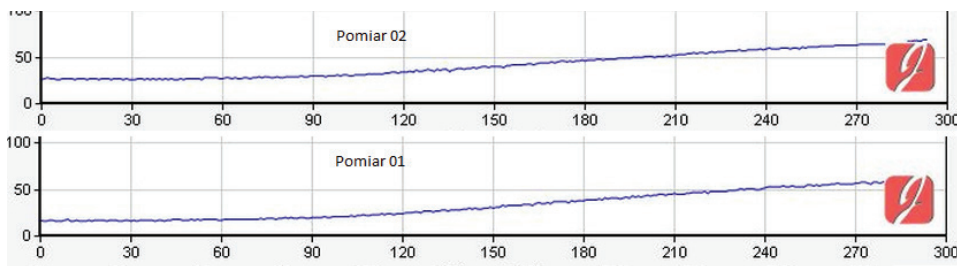
Tabela 2. Wyniki eksperymentu wraz z obliczeniami

Table 2. Results of the experiment with calculations

	<i>Preheat/Soak</i>	<i>Soak/Reflow</i>	<i>Reflow/Cooling</i>
Czas T1 (min)	~20 min	~21 min 15 s	~23 min 55 s
Czas T2o (min)	~13 min 40s	~15 min 30 s	~17 min 20 s
Temp. przejścia (°C)	150 °C	183 °C	217 °C
T1(min) – T1(s)	20 min = 1200 s	1 min 15 sek = 75 s	2 min 40 s = 160 s
T2o (min) – T2o(s)	13 min 40 s = 820 s	1 min 50 sek = 110 s	1 min 50 s = 110 s
$\Delta (T1, T2) \text{ } ^\circ\text{C}$	150 °C	33 °C	34 °C
t1o – t2o	~6 min 20 s	~5 min 45 s	~6 min 35 s
T1o Δ T(°C/s)	0,125 °C/s	0,44 °C/s	~0,212 °C/s
T2o Δ T(°C/s)	~0,182 °C/s	0,3 °C/s	~0,309 °C/s

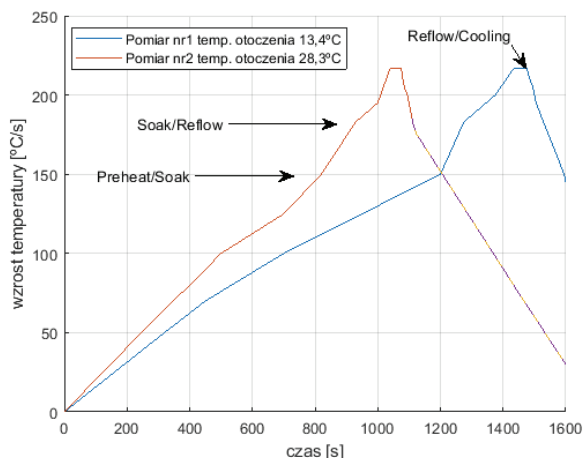


Rys. 3. Zdjęcie stanowiska pomiarowego
Fig. 3. Photo of the measuring station



Rys. 4. Różnica między przebiegami dla dwóch pomiarów
Fig. 4. The difference between the runs for two measurements

rowego zostało przedstawione na rysunku 3. Pomiar ze stacji z wyraźną różnicą temperatur przedstawia rysunek 4. Przebieg eksperymentu zobrazowano na wykresie (rys. 5).



Rys. 5. Przebieg eksperymentu
Fig. 5. Experiment progres

W Tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń, w których uwzględniono kolejno: czas przejścia między poszczególnymi fazami dla obu pomiarów [Czas T1 (min), Czas T2o (min)], temperatura przejścia z jednej fazy lutowania do następnej [Temp. przejścia (°C)], zamianę czasu z minut na sekundy [T1(min) = T1(s), T2o(min) = T2o(s)], wzrost temperatury między fazami [$\Delta (T1, T2) \text{ } ^\circ\text{C}$], różnicę czasu między poszczególnymi pomiarami dla każdej z faz [t1o – t2o] oraz wzrost temperatury w °C/s [T1o Δ T(°C/s), T2o Δ T(°C/s)]. Po wykreśleniu przebiegów na podstawie zebranych wyników oraz analizie danych, widać wyraźną różnicę między czasem wykonania obydwu przebiegów, która wynosiła około 6 min. Można też zaobserwować szybszy wzrost temperatury w czasie, co przekłada się na czas uzyskania profilu.

5. Wnioski

Temperatura otoczenia ma istotny wpływ na wykonywalność profili temperaturowych na stacjach BGA. Eksperyment wykazał, że różnica w wykonaniu tego samego profilu wynosiła w przybliżeniu 6,5 minuty. Po obliczeniu wzrostu Δ T(°C/s) zauważono stosunkowo niski wzrost temperaturowy wynikający ze specyfikacji stacji lutowniczej. Podczas wykonywania obu cykli nie zaobser-

wowano wystąpienia zjawisk: delaminacji obudowy układu (ang. *popcorning*) czy odkształceń płyty PCB. Eksperyment pokazał iż technik wykonujący wymianę spoiwa lub całego układu w obudowie BGA powinien zadbać, aby temperatura w laboratorium, szczególnie w okresie zimowym, nie była zbyt niska. Co może przyczynić się do zbyt powolnej wymiany ciepła między chłodnym powietrzem a wygrzewaną płytą drukowaną.

Bibliografia

1. Chung S., Kwak J.B., *Comparative Study on Reliability and Advanced Numerical Analysis of BGA Subjected to Product-Level Drop Impact Test for Portable*, "Electronics", Vol. 9, No. 9, 2020, DOI: 10.3390/electronics9091515.
2. Petrosyants K.O., Ryabov N.I., *Quasi-3D Thermal Simulation of Integrated Circuit Systems in Packages*, "Energies" Vol. 13, No. 12, 2020, DOI: 10.3390/en13123054.
3. Dziurdzia B., *Ball Grid Array failure diagnosis*, „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania”, Vol. 52, Nr 3, 2011, 61–65.
4. Bissuel V., Joly F., Monier-Vinard E., Neveu A., Daniel O., *Thermo-Fluidic Characterizations of Multi-Port Compact Thermal Model of Ball-Grid-Array Electronic Package*, "Energies", Vol. 13, No. 11, 2020, DOI: 10.3390/en13112968.
5. Li Y., Fu G., Wan B., Jiang M., Zhang W., Yan X., *Failure Analysis of SAC305 Ball Grid Array Solder Joint at Extremely Cryogenic Temperature*, "Applied Sciences", Vol. 10, No. 6, 2020, DOI: 10.3390/app10061951.
6. Friedel K., *Bezołowiowe technologie montażu elementów elektronicznych na płytkach obwodów drukowanych*, „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania”, Vol. 46, Nr 9, 2005, 32–34.
7. Gain A.K., Zhang L., *Nanoindentation Creep, Elastic Properties, and Shear Strength Correlated with the Structure of Sn-9Zn-0.5nano-Ag Alloy for Advanced Green Electronics*, "Metals", Vol. 10, No. 9, 2020, DOI: 10.3390/met10091137.
8. Schmid M., Bhogaraju S.K., Liu E., Elger G., *Comparison of Nondestructive Testing Methods for Solder, Sinter, and Adhesive Interconnects in Power and Opto-Electronics*, "Applied Sciences", Vol. 10, No. 23, 2020, DOI: 10.3390/app10238516.
9. Rauter L., Zikulnig J., Sinani T., Zangl H., Faller L.-M., *Evaluation of Standard Electrical Bonding Strategies for the Hybrid Integration of Inkjet-Printed*, "Electronic Materials", Vol. 1, No. 1, 2020, 2–16; DOI: 10.3390/electronicmat1010002.
10. Witkowski P., *The Use of IR Soldering Stations in the Process of Disassembling in BGA Packaging*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 24, Nr 2, 2020, 59–62, DOI: 10.14313/PAR_236/59.
11. Terek P., Kukuruzović D., Kovačević L., Miletić A., Terek V., Škorić B., Panjan P., Čekada M., *The Influence of CrAlN Coating Chemical Composition on Soldering Resistance in Contact with Al-Si-Cu Alloy*, "Materials Proceedings", Vol. 2, No. 28, 2020, DOI: 10.3390/CIWC2020-06837.
12. Liu M., Yang W., Ma Y., Tang C., Tang H., Zhan Y., *The electrochemical corrosion behavior of Pb-free Sn-8.5Zn-XCr solders in 3.5 wt.% NaCl solution*, "Materials Chemistry and Physics", Vol. 168, 2015, 27–34, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2015.10.003.
13. Atieh A.M., Abedalaziz T.J., AlHaza'a A., Weser M., Al-Kouz W.G., Sari M.S., Alhoweml I., *Soldering of Passive Components Using Sn Nanoparticle Reinforced Solder Paste: Influence on Microstructure and Joint Strength*, "Nanomaterials", Vol. 9, No. 10, 2019, DOI: 10.3390/nano9101478.
14. Bukat K., Hackiewicz H., *Lutowanie bezołowiowe*, BTC, Warszawa 2007.

Temperature Course of the Lead-Free Soldering Profile and the Study of the Influence of Ambient Temperature in its Individual Phases

Abstract: The paper discusses the concept of soldering profile and its phases and examines the influence of ambient temperature on its workability. The author carried out an experiment on two identical PCBs at different room temperatures, observing the temperature waveforms for individual soldering phases.

Keywords: PCB, soldering profile, temperature, reflow soldering, BGA package

mgr inż. Piotr Witkowski

piotr.witkowski@doktorant.po.edu.pl
ORCID: 0000-0002-2293-6462

Absolwent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej na kierunku: Informatyka. Obecnie doktorant II roku studiów III stopnia na kierunku: Elektrotechnika Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe: przetwarzanie sygnałów, informatyka śledcza, obserwacja zjawisk zachodzących podczas procesów związanych z serwisowaniem elektroniki użytkowej.

