

Charakterystyka spoin lutowniczych w montażu komponentów elektronicznych dużej mocy uzyskanych z wykorzystaniem nowych stopów bezołowiowych

mgr inż. Maciej Sobolewski

Streszczenie

Wprowadzone do przemysłu europejskiego na początku XXI w. wymagania prawne dotyczące redukcji zastosowania substancji niebezpiecznych, wymusiły zastosowanie w montażu urządzeń elektronicznych lutowniczych stopów bezołowiowych. Zaproponowane początkowo lutowia, wykonane przede wszystkim na bazie cyny, srebra, miedzi (SAC), w niektórych rozwiązaniach okazały się pod wieloma względami gorsze, od wcześniej stosowanego stopu cyny, ołowiu. Z tego względu producenci materiałów lutowniczych zaproponowali dla przemysłu elektronicznego stopy nowej III generacji o ulepszonych właściwościach.

W rozprawie opisano badania zmierzające do opisanie właściwości nowych stopów lutowniczych oraz stworzenia rekomendacji do wdrożenia produkcyjnego, przy minimalizacji ryzyka biznesowego. Badania przeprowadzono dla wybranych nowych, ale dotychczas niezwyfikowanych w praktyce produkcyjnej, bezołowiowych stopów dostępnych na rynku: REL61, REL22, SB6NX58, HRL-1 oraz LMPA-Q odnosząc się do rezultatów uzyskanych w takich samych warunkach eksperymentalnych dla stopów odniesienia, tj. SAC305 oraz Sn36Pb2Ag. W części badawczej rozprawy doktorskiej określono skład chemiczny badanych lutów stosując trzy metody dla weryfikacji uzyskanych wyników: optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem iskrowym, fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii oraz skaningowej mikroskopii elektronowej z dyspersją energii promieniowania rentgenowskiego. Dokonano również charakterystyki mikrostrukturalnej badanych stopów w zależności od ich składu. Metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej wyznaczono zakresy temperatur topnienia, krystalizacji lutów dokonując wstępnej selekcji wybranych stopów, odrzucając te które mogą generować wyższe ryzyko wdrożeniowe. Następnie stosując ulepszoną metodę leżącej kropli wykonano pomiary zwilżalności wybranych lutów na podłożu miedzanym. Kroplę spoiwa przeciśnięto dla oczyszczenia przez grafitową kapilarę w warunkach wysokiej próżni przy

jednoczesnym równomiernym ogrzewaniu kapilary, podłoża do zadanej temperatury eksperymentu. Zmierzono czas rozplwu na podłożu oraz kąt zwilżania między lutowiem, miedzianym podłożem.

Wykazano, że dla wszystkich badanych materiałów wyznaczone kąty zwilżania przyjmują akceptowalne z punktu widzenia technologicznego wartości. Metodą skaningowej mikroskopii elektronowej określono morfologię, mikrostrukturę, skład chemiczny powierzchni kropli oraz przekroju poprzecznego strefy reakcji. W modelowym eksperymencie przeprowadzono pomiary przewodności cieplnej spoiny lutowniczej wytworzonej pomiędzy miedzianymi powierzchniami, wykluczając wpływ ilości, rozmieszczenia wad, pu-stek oraz rodzaju zastosowanego spoiwa na zmierzone wartości. W głównej części badawczej pracy wykonano kompleksową charakterystykę mikrostrukturalną spoin wraz określeniem składu chemicznego produktów reakcji podłoże/lutowie oraz identyfikacją faz z zastosowaniem skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Próbkę wybranego komponentu elektronicznego dużej mocy przygotowano z wykorzystaniem nowych lutowi III generacji: REL61, REL22 oraz HRL-1 oraz stopów odniesienia, SAC305, Sn36Pb2Ag. Połączenia wykonano w oparciu o projekt elektronicznego sterownika dużej mocy produkowanego w zakładzie Fideltronik. Montaż, lutowanie urządzenia dokonano w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem 2 rodzajów obwodów drukowanych, różniących się pokryciem ochronnym, OSP, ENIG. Uzyskane próbki podzielono na 3 grupy: referencyjną (uzyskaną zaraz po procesie lutowania), poddaną starzeniu izotermicznemu oraz cyklom temperaturowym. Uzyskane wyniki pozwoliły na wskazanie miejsca występowania uszkodzeń spoin wykonanych z użyciem badanych lutowi. Na tej podstawie sformułowano rekomendacje dla wybranych stopów lutowniczych, a następnie rozpoczęto proces ich wdrażania do praktyki produkcyjnej grupy Fideltronik.

Abstract

Regulatory requirements for the reduction of the use of hazardous substances, implemented in European industry at the beginning of the 21st century, necessitated the use of lead-free solders in the assembly of electronic devices. The initially proposed solders, with composition based on tin, silver and copper, marked as SAC, proved to be inferior in some respects to the previously used tin-lead alloy. For this reason, manufacturers of soldering materials have proposed new 3rd generation alloys with improved properties for the electronics industry. The dissertation describes research aimed at describing the properties of a new solder alloys and making recommendations for production implementation, while minimizing business risks. The research was conducted for selected new, but so far unverified in production practice, lead-free

alloys available on the market: REL61, REL22, SB6NX58, HRL-1 and LMPA-Q referring to the results obtained under the same experimental conditions for reference alloys, such as SAC305 and Sn36Pb2Ag. In the experimental part of the dissertation, the chemical composition of the investigated solders was determined using three methods to verify the results obtained: optical emission spectrometry with spark excitation, energy dispersive X-ray fluorescence and energy dispersive X-ray scanning electron microscopy. The microstructural characterization of the alloys depending on their composition was also carried out. The melting and crystallization temperature ranges of the alloys were determined using differential scanning calorimetry, and a preliminary selection of selected alloys was made, rejecting those which might generate higher implementation risks. Then, using the improved lying drop method, the wettability of the selected solders on the copper substrate was measured. A drop of the solder was squeezed for cleaning through a graphite capillary under high vacuum while heating the capillary and substrate equally to the set experimental temperature. The spread time of melted alloy on the substrate and the wetting angle between the drop and the copper substrate were measured. It was shown that for all the tested materials, the determined wetting angles assumed acceptable values from a technological point of view. The morphology, microstructure and phase composition of the drop surface and the reaction zone cross-section were determined using scanning electron microscopy. Moreover, in a model experiment, the thermal conductivity of the solder joint formed between copper surfaces was measured, showing no influence of the number and distribution of defects and voids and the type of solder used on the measured values. In the main research part of the study, a comprehensive microstructural characterization of the welds was carried out, together with determination of the chemical composition of the substrate/solder reaction products and phase identification using scanning and transmission electron microscopy. Samples of a selected high-power electronic component were prepared using new third-generation solders: REL61, REL22 and HRL-1 and reference alloys, SAC305 and Sn36Pb2Ag. The samples were made based on the design of a high-power electronic controller manufactured at Fideltronik.

The assembly and soldering of the device was done under industrial conditions using 2 types of printed circuit boards, differing in protective coating, OSP and ENIG. The obtained samples were divided into 3 groups: reference (obtained after the soldering process), isothermally aged and temperature cycled.

As a result of the analysis, the locations of defects in soldered joints made with the studied solders were identified. Based on this, recommendations were formulated for selected new solder alloys, and the process of their implementation into the production practice of the Fideltronik group was initiated.

[Recenzja: prof. dr hab. inż. Haliny Garbacz](#)

[Recenzja: dr. hab. Tomasza Goryczki](#)

[Recenzja: dr. hab. inż. Tomasza Koziół](#)