

Pasty lutownicze miękkie i twarde – charakterystyka i aplikacja

1. WSTĘP

Lutowanie miękkie i twarde jest jedną z ważniejszych technik wykonywania połączeń nierozłącznych w wytwarzaniu maszyn i urządzeń.

Podstawowymi spoiwami miękkimi, o temperaturach topnienia poniżej 723 K /450°C/, są spoiwa cynowo - ołowione. Powszechność stosowania spoiw Sn-Pb jest wynikiem ich bardzo korzystnych właściwości oraz uniwersalności, gdyż można nimi lutować praktycznie wszystkie metale i stopy przy zastosowaniu wszystkich możliwych metod lutowania. Według danych Urzędu Gospodarki Materiałowej w 1979 r. zużyto w kraju ok. 7000 ton cyny, z czego 3/4 importowano z II obszaru płatniczego. Blisko 30% cyny zużyto do wytwarzania spoiw. Cyna na rynkach światowych jest traktowana jako surowiec strategiczny, a jej cena nieustannie rośnie.

Twarde spoiwa, o temperaturach topnienia powyżej 723 K /450°C/, to przeważnie stopy miedzi. Spośród nich największą wartościowo grupę stanowią spoiwa srebrne, do których produkcji zużywa się ok. 10 ton Ag rocznie. Ceny krajowych spoiw srebrnych nieustannie rosną. Pewną ilość spoiw srebrnych o specjalnym składzie lub postaci importuje się z ZSRR i z II obszaru płatniczego. Światowe ceny srebra nieustannie rosną. Jeżeli w 1950 r. jedna uncja /31,12 g/ srebra kosztowała 0,74 \$, to w 1980 r. już 5,0 \$ USA.

Opracowaniem nowych spoiw miękkich w Polsce zajmuje się kilka placówek naukowych:

- Instytut Spawalnictwa /IS/ i Instytut Metali Nieżelaznych /IMN/ w Gliwicach w zakresie spoiw litych bezcynowych i nisko cynowych /o zawartości <20% Sn/ do lutowania połączeń mechanicznych - prac blacharsko-dekarskich, lutowania chłodnic samochodowych, żarówek, formowania muf kablowych energetycznych i telekomunikacyjnych. Celem tych prac jest wyeliminowanie lub obniżenie zawartości Sn w spoiwach LC30-LC95.
- Instytut Tele- i Radiotechniczny /ITR/ w Warszawie opracowuje lite spoiwa miękkie dla elektroniki o obniżonej o 5-8% zawartości Sn w porównaniu ze spoiwami dotychczas stosowanymi.

- Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych /ITME/ w Warszawie opracowuje i wdraża do produkcji pasty ze spoiw miękkich, wykonane na osnowie spoiw LC20-LC63.

Nie produkuje się wielu postaci i gatunków spoiw twardych. Tak np. nie wytwarza się spoiw o niskiej zawartości srebra /2,5; 5,0; 10% Ag/ na osnowie stopu CuP, stopy LMF i LS15 są wytwarzane jedynie w postaci odlewanych pałeczek, nietechnologicznych, do tej pory nie były wytwarzane proszki i pasty ze spoiw twardych.

IS i IMN w Gliwicach zajmują się przeróbką plastyczną spoiw twardych i opracowaniem nowych gatunków spoiw, np. NiP oraz wytwarzaniem past na bazie spoiw LMF8, LS15F, LS45 i LM60 [9], Politechnika Wrocławska - rozpylaniem Cu, CuP8, stopów do metalizacji natryskowej i opracowaniem past miedzianych i mosiężnych.

ITME będzie dysponował w najbliższym czasie oddziałem produkcji past twardych o zdolności produkcyjnej kilkadziesiąt ton na rok. W Instytucie są opracowywane obecnie pasty twarde bezsrebrowe lub niskosrebrowe, zastępujące spoiwa o zawartości od 5 do 45% Ag.

2. SPOIWA MIĘKKIE W POSTACI PAST - STAN TECHNIKI

Dynamiczny rozwój elektroniki stawia nowe wymagania w zakresie automatyzacji i mechanizacji procesów technologicznych. Klasyczne metody lutowania automatycznego elementów charakteryzują się dużym zużyciem spoiw, a niektóre procesy są niemożliwe do zautomatyzowania bez zastosowania spoiw w postaci past lub kształtek. Przewodzące firmy amerykańskie i japońskie opracowały ostatnio wiele spoiw niskotopliwych w postaci past. Zastosowanie ich dało wyraźne efekty ekonomiczne dzięki minimalizacji zużycia spoiw, zwiększenia wydajności urządzeń i rozszerzenia zakresu automatyzacji procesu lutowania, zwłaszcza elementów precyzyjnych.

Pasty lutownicze są to mieszaniny drobno sproszkowanego stopu lutowniczego, tzw. nośnika, który decyduje o własnościach reologicznych pasty i sposobie aplikacji. W skład pasty wchodzi również topniki gwarantujące dobrą zwilżalność spoiwem lutowanych powierzchni. Wymagania materiałów i procesów technologicznych narzucają stosowanie różnych stopów do produkcji past lutowniczych. W grupie spoiw do lutowania miękkiego znajdują się przede wszystkim spoiwa cynowo-ołowiowe o składzie eutektycznym: PbSn 63, PbSn 62 Ag₂; spoiwa cynowo-ołowiowe o obniżonej zawartości cyny PbSn 10, PbSn 20, PbSn 40 oraz spoiwa cynowo-ołowiowe z dodatkami takich metali jak: Ag, Cu, Au. Firmy zachodnie zajmujące się produkcją materiałów lutowniczych oferują całą gamę past miękkich do różnych zastosowań. Firma amerykańska Alpha Metals produkuje pasty lutownicze o różnym poziomie aktywności. Najczęściej stosowanymi topnikami w pastach są topniki z grupy RMA /rosin middle activated/ nie korodujące. Ziarnistość proszku metalu w pastach jest uzależniona od metod aplikacji i wynosi od 30 do 150 μm.

W zależności od charakteru nośnika, pasty mogą być stosowane do nakładania przez sitodruk, szablon, strzykawkę lub innymi metodami.

Nośniki past mogą być utwardzane po nałożeniu pasty, co umożliwia magazynowanie elementów przeznaczonych do lutowania nawet przez rok bez utraty ich własności lutowniczych. Bywają pasty z nośnikami, które po nałożeniu są wilgotne przez 48 - 72 h, co z kolei ułatwia pozycjonowanie elementów elektronicznych [6]. Pasty firmy Alpha Metals są dostępne ze wszystkimi standardowymi stopami lutowniczymi.

Przy produkcji układów hybrydowych pasty lutownicze znalazły szczególne zastosowanie, umożliwiając bowiem wykonywanie połączeń bez wstępnego cynowania płytek podłożowych. Dla tej technologii zostało wyprodukowanych wiele past lutowniczych o własnościach reologicznych umożliwiających nanoszenie pasty metodą sitodruku lub szablonu. Największym producentem past dla techniki hybrydowej jest firma Du Pont.

Firma angielska Multicore produkuje pasty, w których proszki spoiw miękkich charakteryzują się wielkością cząstek od 50-150 μm . Topniki używane w pastach są najczęściej grupy RA lub RMA [7]. Firma RFN Fluifin Classen Metall, specjalizująca się w produkcji spoiw miękkich w różnych postaciach /druty, folie, kształtki/, produkuje spoiwo w postaci pasty Fluitin Weichlötmasse przeznaczone do lutowania elementów elektronicznych na płytkach drukowanych [8] z możliwością nanoszenia przy użyciu stempla. Firma angielska EMCA produkuje pasty wykorzystując spoiwa miękkie o temperaturze topnienia 411 - 763 K /138-490 $^{\circ}\text{C}$ / przeznaczone przede wszystkim do techniki druku sitowego.

Przegląd materiałów dotyczących past lutowniczych, daje nam jedynie ogólny pogląd na rodzaje i asortyment oferowanych past. Z reguły firmy prezentują pasty pod kątem metod aplikacji, a dane techniczne ograniczają się jedynie do rodzaju stopu, charakteru nośnika, sposobu dozowania i mycia po procesie lutowania. Topniki zawarte we wszystkich prezentowanych pastach lutowniczych są sklasyfikowane pod względem aktywności wg normy amerykańskiej QQ S 571.

3. KRAJOWE PASTY LUTOWNICZE NA BAZIE SPOIW MIĘKKICH

W Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych opracowano technologię proszkowania spoiw cynowo-ołowiowych, a otrzymane drobnoziarniste proszki wykorzystano do wytwarzania past lutowniczych.

Asortyment rodzajowy produkowanych w ITME past obejmuje:

- pasty na bazie spoiwa cynowo-ołowiowego o składzie autektycznym /PbSn63/ z nośnikami kalafoniowymi.

W grupie tej znajduje się pasta LC63Ka1 przeznaczona do lutowania miedzi i jej stopów. Pasta znalazła zastosowanie do lutowania podzespołów i elementów w sprzęcie elektronicznym, szczególnie na płytkach obwodów drukowanych;

- pasty na bazie spoiwa PbSn62Ag2 przeznaczone do lutowania układów hybrydowych grubowarstwowych na podłożach srebrnych i palladowo - srebrnych;

Reologia past umożliwia nanoszenie ich metodą druku sitowego /pasta PbSn62Ag2ka2/ lub szablonu /pasta PbSn62Ag2ka3/;

- pasta na bazie spoiwa AuSn20, przeznaczona do hermetyzacji obudów ceramicznych układów scalonych;
- pasty na bazie spoiw o obniżonej zawartości cyny LC20 i LC40 z udziałem nośników kalafoniowych i bezkalafoniowych o różnym stopniu aktywności. Wśród nich znajduje się pasta LC40 Kwa 1 do lutowania doprowadników prądu do mosiężnych i niklowanych trzonek żarówek.

W grupie past z nośnikami bezkalafoniowymi znajdują się pasty wysokoaktywne do lutowania lub pobielania stali. Jako przykłady zastosowań tych past można podać pobielanie blach karoseryjnych przed operacją szpachlowania spoiwem litym /pasta LC20 wa 3/ oraz pobielanie panewek stalowych lub lutowanie stali nierdzewnej /pasty LC40 wa 1 i LC40 wa 2/. Nanoszenie past lutowniczych na lutowane powierzchnie czy elementy odbywa się różnymi metodami. Może być to nakładanie ręczne przy użyciu łopatek lub strzykawek. Stosuje się je tam, gdzie dokładne umieszczenie spoiwa i grubość warstwy nie ma większego znaczenia. W procesie montażu elementów na płytkach drukowanych pastę można nanosić przy użyciu odpowiednio zaprojektowanego stempla na wszystkie punkty lutownicze jednocześnie /przykładem pasta LC63ka1/. W technice grubowarstwowej stosowanie past lutowniczych wiąże się z nakładaniem ich metodą sitodruku z użyciem sit 80 - 120 mesh. Metoda sitodruku pozwala na uzyskiwanie równomiernych warstw pasty i nadaje się szczególnie przy produkcji masowej. Inną z technik nakładania jest szablon. Stosuje się go zwykle tam, gdzie jest wymagana gruba warstwa spoiwa.

Istnieje wiele metod lutowania, których wybór w przypadku stosowania past jest uzależniony m.in. od konstrukcji układu elektronicznego, odporności elementów na wysokie temperatury czy też możliwości adaptacji technologii do nowej postaci spoiwa.

Lutowanie pastami na bazie spoiw eutektycznych prowadzi się najczęściej w gorącym powietrzu lub na gorącej płycie /lutowanie taśmowe/. Spoiwa o wyższej temperaturze topnienia /LC20 lub LC40/ wymagają wyższych temperatur lutowania, możliwych do uzyskania, np. w płomieniu palnika.

4. SPOIWA TWARDE NISKO- I BEZSREBROWE W POSTACI PAST

W krajach uprzemysłowionych od kilku lat są prowadzone intensywne prace nad wytwarzaniem i stosowaniem spoiw srebrooszczędnych. W ZSRR np. opracowano technologię wytwarzania spoiw na osnowie stopu CuP w postaci drutów, taśm, folii i proszków, które z powodzeniem zastępują spoiwa srebrne o zawartości 15 - 45% Ag [1].

W Departamencie Górnictwa USA opracowano spoiwa bezsrebrne na osnowie stopu CuMn do lutowania stali i miedzi [2]. We Francji wdrożono spoiwa o zawartości srebra od 0,4 do 21% Ag i temperaturach topnienia 873 - 973 K /600 - 700°C/ [3]. W Japonii zamiast spoiwa o zawartości 72% Ag zastosowano zmodyfikowane spoiwo zawierające 35% Ag [4].

W ITME opracowano kilka gatunków spoiw niskosrebrowych i bezsrebrowych w postaci past lutowniczych do lutowania miedzi, mosiądzu i stali. Pasty te zastępują spoiwo lite Agphor /CuP6Ag5/ produkcji francuskiej do lutowania połączeń elektrycznych oraz spoiwa LS 40 K i LS 45 do lutowania połączeń mechanicznych.

Pasty te stanowią zawiesiny proszków stopów na osnowie CuP lub CuMn o ziarnistości $<400 \mu\text{m}$, w neutralnym nośniku z dodatkiem wg potrzeb topników chlorkowych, borowych lub fluoroborowych o różnej aktywności. Reologia past może być dobrana wg potrzeb.

4.1. Badania własności technologicznych złączy lutowanych pastami

- Zbadano trzy grupy past, różniące się składem chemicznym spoiw:
- a/ miedziano-fosforowe niskosrebrowe PT-MF3a i PT-MF3b zawierające 15% srebra oraz cynę i nikiel oraz PT-MF5 zawierający dodatki stopowe: 10% srebra, cynę i nikiel.
 - b/ miedziano-fosforowe bezsrebrowe PT-MF6, zawierające cynę i antymon oraz PT-MF8 zawierające dodatki stopowe: cynę i nikiel.
 - c/ miedziano-manganowe bezsrebrowe PT-MM15 zawierające dodatki stopowe: cynę, nikiel i krzem.

Temperatura lutowania pastami w grupie a i b wynosi 973 - 1023 K /700-750°C/, zaś pastę PT-MM15 ok. 1073 K /800°C/. Pasty miedziano-fosforowe są przeznaczone do lutowania miedzi i jej stopów, zaś pasta miedziano-manganowa do lutowania stali.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na ścinanie złączy lutowanych poszczególnymi pastami.

Tabela 1. Wytrzymałość złączy na ścinanie

Lp.	Pasta	Wytrzymałość MPa	Pasta badana LS 40 K %	Metale złączone
1	LS 40 K	169,1	100	Cu - St
2	PT - MF 3	106,2	62,8	Cu - St
3	PT - MF 5	112,0	66,2	M63-M63
4	PT - MF 6	103,5	61,2	Cu - Cu
5	PT - MF 8	58,8	35,0	Cu - Cu
6	PT - MM 15	222,5	131,6	Cu - St

Wytrzymałość złączy lutowanych pastami na osnowie spoiw miedziano-fosforowych wynosi od 35 do 66% wytrzymałości złączy lutowanych spoiwem LS40K, zaś złączy lutowanych pastą na osnowie stopu miedziano-manganowego jest o przeszło 30% większa. Pasty PT-MF 3, PT-MF 6

i PT-MF 8 są przeznaczone do lutowania połączeń elektrycznych /np. wyprowadzeń silników elektrycznych/ gdzie wymagana wytrzymałość mechaniczna złącza nie jest wysoka i wynosi 8 MPa; złącza te powinny mieć przewodność elektryczną, porównywalną ze złączami lutowanymi spoiwem Agphor 5 /LS5F/.

Przewodność spoiw wchodzących w skład past w porównaniu z przewodnością Agphoru podano w tabeli 2.

Tabela 2. Przewodność elektryczna spoiw x/

Lp.	Spoiwo	Przewodność MS/m	Przewodność spoiwo badane - - Agphor %
1	Agphor	3,8	100
2	MF - 3	2,67	70,3
3	MF - 6	2,2	57,9
4	MF - 8	1,97	51,8

W wielu przypadkach przewodność elektryczna nowych spoiw jest wystarczająca. Jeżeli jednak jest wymagana większa przewodność złącza lutowanego pastą należy zwiększyć powierzchnię złącza.

Przeprowadzono również badania porównawcze złączy stal-miedź /St3-MO0B/ lutowanych pastami LS40K i PT-MM15 na zmienne obciążenia odzerowe. Wyniki badań własności zmęczeniowych wskazują na zbliżone własności wskaźnika Zrj dla obydwu rodzajów złączy.

Przeprowadzone badania pozwalają na wysunięcie wniosków. Dla otrzymania złącza o żądanej wytrzymałości mechanicznej i przewodności elektrycznej duże znaczenie ma stopień zwilżenia złącza spoiwem oraz szerokość szczeliny lutowniczej. Również stosowany sposób lutowania /gazowe, piecowe, indukcyjne, oporowe/ decyduje o ekonomiczności i technologiczności lutowania pastami. Najlepsze wyniki wg kolejności przy lutowaniu pastami osiąga się stosując lutowanie piecowe, indukcyjne i oporowe, a stosunkowo największe trudności występują przy lutowaniu palnikiem /wydmuchiwanie pasty ze złącza/.

Jednym z warunków pełnego powodzenia przy lutowaniu pastami jest również stała szerokość szczeliny lutowniczej. Dla różnych szczelin muszą być stosowane pasty o różnej reologii.

Do rozwiązania pozostaje również zagadnienie wytwarzania dozowników past. Obecnie pasty muszą być nakładane ręcznie łopatką lub pędzlem. W krajach RWPG producentem dozowników past jest NRD. Pomimo ww. mankamentów istnieje obecnie możliwość opracowania i wyprodukowania past twardych o znacznie niższych kosztach wytwarzania w porównaniu ze spoiwami srebrnymi.

x/ Badania przewodności wykonał mgr inż. A. Krygiel w Zakładzie Z-3 ITME

Wykonane nimi złącza spełniają stawiane im wymagania eksploatacyjne. Pasty każdorazowo winny być dobierane do elementów lub urządzeń pod kątem wymagań stawianych złączu, stosowanych materiałów i technologii.

5. PODSUMOWANIE

Przy stosowaniu wysokowydajnych, zmechanizowanych procesów lutowania stosowanie spoiw w postaci past lutowniczych nabiera coraz większego znaczenia.

Przedstawiony asortyment krajowych past lutowniczych produkcji ITME zaspokaja aktualne potrzeby przemysłu. Pasty te opracowane zostały zgodnie z wymaganiami ich użytkowników.

W opracowaniu są aktualnie pasty na bazie spoiw o obniżonej zawartości cyny o około 10%, których parametry techniczno-eksploatacyjne są porównywalne ze spoiwami eutektycznymi. W planach opracowań na najbliższe lata znajdują się pasty niskocynowe dla przemysłu maszynowego.

W ostatnim dziesięcioleciu rozpoczęto opracowanie i wytwarzanie past twardych do lutowania. Największy rozwój dotyczy past na osnowie stopu CuP do lutowania miedzi i jej stopów. Wytwarzane są również pasty z miedzi, mosiądzów i brązów oraz stopów Ag-Cu-Zn do lutowania stali, pasty ze stopów niklowych do lutowania stopów żarowytrzymałych i nierdzewnych. Opracowane w ITME pasty twarde pozwalają w wybranych przypadkach zastąpić spoiwa srebrne, stosowane dotychczas. Obniża to w znacznym stopniu koszty lutowania. Złącza wykonane opracowanymi w ITME pastami spełniają stawiane im wymagania eksploatacyjne.

LITERATURA

1. Red. Rossosiński, Ekonomia materiałów w technologicznych procesach paki, JES, Kier. 1983, s. 120.
2. Rept. Invest. Bur. Mines US Dept. Inter. nr 8783 s. 16, 1983.
3. Gaz aujourd'hui, 107 r 12, s. 440 - 445, 1983.
4. Precious Metals, Toronto, s. 185 - 199, 1983.
5. Kerner R., Mikro - Lotpasten und ihre Anwendung, Verbindungstechnik, nr 5, 23 - 26, 1975
6. Mackay C.A., Solder Creams and How to Use Them, Electronic Production, Feb. 1981.
7. Prospekty firmy Multicore Solders LTD
8. Prospekty firmy Fluitin Classen Metall
9. Chuchro, E. i inni, Spoiwa do lutowania twardego w postaci past, Przegląd Spawalnictwa, 37, nr 6, 1985.

/Tekst dostarczone 1986.04.28/