

Maciej NOWAKOWSKI  
Instytut Technologii Bezwiórowych  
Politechnika Warszawska

#### LUTY KOMPOZYTOWE NA BAZIE STOPÓW Sn-Pb UMACNIANYCH WYDZIELENIAМИ Ni

**Streszczenie.** Opracowano metodę wytwarzania lutów o budowie kompozytowej na bazie stopów Sn-Pb, umacnianych wydzieleniami Ni. Określano ich własności technologiczne i wytrzymałościowe.

#### WPROWADZENIE

Dla konkretnego układu "lut-materiał łączony", wytrzymałość złącza zależy m.in. od wielkości szczeliny lutowniczej między łączonymi powierzchniami. Optymalna wielkość tej szczeliny dla lutów Sn-Pb wynosi 0,07-0,3 mm [1]. Stosowanie większych szczelin grozi osłabieniem połączenia, jest jednak wielokrotnie spotykane np. w pracach remontowych. Wiadomo ponadto, że wytrzymałość złącza lutowanych rośnie proporcjonalnie ze stosowaniem lutów o coraz wyższych temperaturach topnienia [2]. W przypadku, gdy wymagana jest stosunkowo wysoka wytrzymałość połączenia, z jednoczesną koniecznością ograniczenia temperatury procesu lutowania (obawa uszkodzenia części, przegrzania materiału itp.), zadanie takie jest trudne, a niekiedy niemożliwe do wykonania. Rozwiązaniu tych i podobnych problemów związanych z lutowaniem służy stosowanie złącza lutowanych o budowie kompozytowej. Przez analogię do konstrukcyjnych materiałów kompozytowych, złącze lutowane o budowie kompozytowej składa się z dwóch komponentów:

- plastycznej osnowy (matrycy) decydującej o własnościach plastycznych złącza i zwilżającej łączone powierzchnie,
- elementów wzmacniających (zbrojenia), zwiększających ilość fazy stałej w złączu i wpływających na zwiększenie wytrzymałości.

Osnowę złącza stanowi tradycyjny lut miękki lub twardy, zaś elementy wzmacniające mają postać cząstek lub włókien, najczęściej metalicznych, przy czym ich temperatura topnienia jest wyższa od temperatury topnienia osnowy. Złącze o budowie kompozytowej można uzyskać w dwojaki sposób:

- umieszczenie elementów wzmacniających w szczelinie złącza i następane lutowanie tradycyjnym spoiwem,
- lutowanie spoiwem zawierającym elementy wzmacniające.

W Zakładzie Spawalnictwa ITB PW przeprowadzono badania, mające na celu opracowanie metody wytwarzania lutów kompozytowych i ocenę ich własności technologicznych oraz własności złącza wykonanych tymi spoiwami.

## MATERIAŁ DO BADAŃ

Założono, że podstawowym materiałem badań jest spoiwo cynowo-ołowiowe o składzie eutektycznym LC63. Dla uzyskania szerszych informacji związanych ze zjawiskami zachodzącymi w procesie wytwarzania lutów kompozytowych, przeprowadzono badania także dla spoiw o zawartości cyny 40 i 90 % (LC40 i LC90). Jako materiału stanowiącego elementy wzmacniające (tzw. wypełniacz) użyto proszku Ni o czystości 99,94%. Wybór niklu jest wynikiem uprzednich analiz opierających się na zasadach projektowania konstrukcyjnych materiałów kompozytowych.

## METODYKA BADAŃ

Zakres badań obejmował prace doświadczalne, w wyniku których opracowano oryginalną metodę wytwarzania lutów kompozytowych, oraz badanie własności uzyskanych spoiw i badania złączy. Badania spoiw wykonano zgodnie z Polską Normą [3] i poszerzono je o badania mikrostrukturalne i analizę fazową przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego. W wyniku tych prac wybrano spośród wykonanych spoiw te, które posiadają najlepsze własności technologiczne i pozwalają na uzyskanie optymalnych własności złączy.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

### 1. Wytwarzanie lutów kompozytowych

Opracowana metoda wytwarzania lutów kompozytowych polega na powstawaniu elementów wzmacniających w drodze ich wydzielania z fazy ciekłej. W tym celu materiały wyjściowe, tzn. tradycyjny lut stanowiący osnowę i materiał tworzący, tzw. wypełniacz, nagrzewa się jednocześnie, w warunkach zapewniających ochronę płynnej kąpieli przed dostępem powietrza do temperatury wyższej niż temperatura topnienia najtrudniej topliwego komponentu. Następnie, w wyniku szybkiego chłodzenia, uzyskuje się materiał kompozytowy o osnowie na bazie lutu, z wydzielonymi w jego objętości elementami wzmacniającymi. Do badań wykonano spoiwa na bazie tradycyjnych spoiw LC40, LC63 i LC90, zaś wypełniacz w postaci proszku Ni stanowił 1,3,5,10, 15% objętości spoiwa. Topienie wykonano w kapsułach próżniowych wykonanych z kwarcu, nagrzewając wsad do temp. ok. 1550°C. Chłodzenie prowadzono w różnych warunkach, rozpoczynając od wolnego chłodzenia w powietrzu, poprzez chłodzenie w formie stalowej, aż do szybkiego chłodzenia w wodzie. Przykłady uzyskanych struktur przedstawiono na rys. 1. W efekcie analizy uzyskanych obrazów mikroskopowych stwierdzono wyraźne występowanie dwóch tendencji:

- zależność kształtu wydzielen od procentowej zawartości wprowadzonego wypełniacza,
- zależność wielkości wydzielen od szybkości chłodzenia.



Dla niewielkich zawartości procentowych wypełniacza (1-5%), kształt i układ wydzieleni wzmocniających mają charakter nieuporządkowany. Dla średnich zawartości wypełniacza (ok. 10%) faza umacniająca ma kształt iglasty, a jej ukierunkowanie zgodne jest z kierunkiem odprowadzania ciepła. Przy większych zawartościach wydzielenia przyjmują kształt zwarty, przy jednoczesnym równomiernym rozłożeniu ich w osnowie. Stwierdzono przy tym, że cyna jest elementem stabilizującym układ iglasty. Powolne chłodzenie sprzyja powstawaniu wydzieleni rozrozdrowianych, gruboiglastych, natomiast szybkie chłodzenie w wodzie daje efekt znacznego rozdrobnienia wydzieleni. Mikroanaliza rentgenowska wykazała, że wydzielenia zbudowane są z rdzenia niklowego pokrytego warstwą związków międzymetalicznych niklu z cyną, przy czym grubość tej warstwy zależy od szybkości chłodzenia.

## 2. Własności technologiczne lutów kompozytowych

### a) Temperatura topnienia

Określenie temperatury topnienia lutów, a dokładniej, temperatury topnienia osnowy wykonano przy użyciu termopary żelazo-konstantan, rejestrując krzywą krzepnięcia. Stwierdzono, że dla zawartości wypełniacza 1-5%, temperatura topnienia jest wyższa o ok.  $7^{\circ}\text{C}$ , zaś dla zawartości  $15^2$  o ok.  $16^{\circ}\text{C}$  w stosunku do temperatury topnienia lutu stanowiącego osnowę.

### b) Zwilżalność

Badania wykonano na powierzchniach miedzianych czystych i wstępnie cynowanych. Posługiwano się w tym celu testerem lutowności zapewniającym jednakowe warunki próby. Jako kryterium oceny przyjęto wielkość kąta zwilżania, określoną na poprzecznym przekroju próbki. Przykład zglądu metalograficznego próbki po próbie zwilżania przedstawia rys.2. Wykonane badania pozwoliły podzielić badane spoiwa na 3 grupy:

- spoiwa rozplývające się po powierzchni miedzi w sposób nie różniący się od spoiw tradycyjnych,
- spoiwa, w których występuje pewne ograniczanie rozplývania się osnowy,
- spoiwa z ograniczonym wyraźnie rozplýwaniem się osnowy.

Zjawisko ograniczenia zwilżalności wynika z faktu, że wydzielenia umacniające, tworząc przestrzenną sieć utrzymującą płynną osnowę hamują jej tendencje do rozplýnięcia. Jedynie część osnowy znajdująca się najbliżej powierzchni próbki ma możliwość rozplýnięcia się. Mimo pewnych ograniczeń w rozplýwaniu się osnowy we wszystkich przypadkach uzyskane kąty zwilżania są mniejsze od  $75^{\circ}$ , co oznacza że wszystkie z badanych spoiw mają dobrą zwilżalność. Wyraźną poprawę zwilżalności uzyskano przy stosowaniu powierzchni wstępnie cynowanych.

### c) Własności mechaniczne złączy

Badanie własności mechanicznych złączy wykonano zgodnie z normą dla

połączeń elektrycznych i mechanicznych. Badanie złączy w połączeniach elektrycznych dało jedynie wynik jakościowy, bowiem we wszystkich przypadkach przy próbie ścinania zniszczenie próbki występowało poza złączem. Ocenę ilościową uzyskano przy ścinaniu złączy w połączeniach mechanicznych. Próbki wykonano z miedzi. Badania wykonano na próbkach umożliwiającym uzyskanie efektu czystego ścinania, zaś metodyka badań była następująca:

- ustalenie optymalnej wielkości szczeliny dla tradycyjnego lutu LC63,
- określenie wytrzymałości złączy w funkcji zawartości procentowej wypełniacza Ni w spoiwie, dla próbek ze szczeliną określoną uprzednio,
- określenie optymalnej wielkości szczeliny dla wybranego gatunku lutu.

Rys.3 przedstawia zależność między zawartością procentową wydzieleni a uzyskaną wytrzymałością złączy. Dla spoiwa LC63 z 10% zawartością wypełniacza, uzyskano wzrost wytrzymałości o ok. 40% w porównaniu z wytrzymałością złączy lutowanych czystym spoiwem LC63. Z kolei stwierdzono, że dla spoiwa LC63 z 5% zawartością wypełniacza optymalna wielkość szczeliny wynosi 0,5 mm.

#### d) Inne własności lutów

W trakcie przeprowadzonych badań stwierdzono, że spoiwa o mniejszych zawartościach wypełniacza (do 5%) zachowują się w czasie lutowania w sposób nie różniący się od zachowania spoiw tradycyjnych. Spoiwa te mogą być więc stosowane w sposób uniwersalny. Przy większych zawartościach wypełniacza w lutcie staje się widoczne, że te rodzaje spoiw, mając ograniczoną zwilżalność, powinny znaleźć zastosowanie w przypadkach, gdzie możliwe jest stosowanie kształtek lutu umieszczonych w złączu. Stwierdzono bowiem, że badane spoiwa można przerabiać plastycznie, uzyskując folie walcowane lub wyciskać w postaci drutu. Lutowanie ręczne przy użyciu lutownicy umożliwia stosowanie spoiw o zawartości do 5% wypełniacza w procesie ręcznego montażu w elektronice. Rys.4 przedstawia zgięt metalograficzny złącza wyprowadzenia elementu elektronicznego z otworem metalizowanym płytki drukowanej, wykonanego przy użyciu lutu LC63 z 5% zawartością wypełniacza Ni.

#### WNIOSKI

1. Stosowanie lutów kompozytowych na osnowie Sn-Pb wzmocnianych wydzieleniami niklu daje możliwość uzyskania wzrostu wytrzymałości złączy, przy niezmiennych parametrach procesu lutowania (temperatura, czas).
2. W przypadku lutowania spoinami kompozytowymi można stosować większe szczeliny lutownicze bez obawy obniżenia wytrzymałości złącza.



## LITERATURA

- [1]. H.H. Manko. Solders and Soldering. New York, 1979
- [2]. N.F. Łaszko, S.W. Łaszko. Pajka metaliów. Maszynostrojenije, Moskwa, 1967
- [3]. PN-76/M-6902. Spawalnictwo. Spoiwa cynowo - ołowiowe. Metody badań.

THE COMPOSITE SOLDERS BASED AT TIN-LEAD ALLOYS REINFORCED BY Ni  
DISENGAGEMENTS

## SUMMARY

A method of producing solders with composite structure, based on thin-lead alloys, reinforced by Ni disengagements has been worked up. Their technological and mechanical properties have been stated.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ОЛОВЯННО-СВИНЦЕВЫЕ ПРИПОИ  
АРМИРОВАННЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯМИ Ni

## РЕЗЮМЕ

В настоящей работе был разработан метод изготовления оловянно-свинцевых припоев обладающих композиционной структурой, армированных выделениями Ni. Были определены технологические и прочностные свойства.

Recenzent

Doc.dr inż. J.Dziubiński



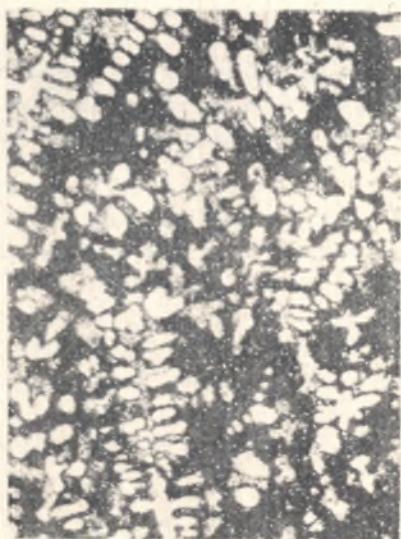
a



b



c



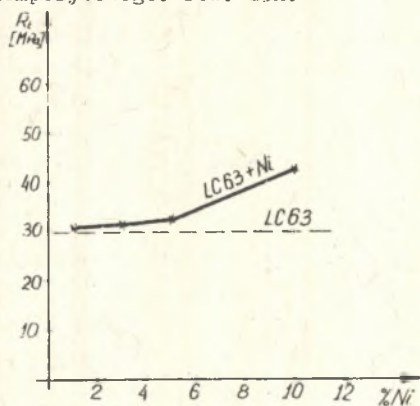
d

Rys.1. Przykłady struktur lutów kompozytowych na osnowie spoiwa LC63 uzyskanych w różnych warunkach chłodzenia. Zawartość wypełniacza Ni ok. 15 %. Pow.250x.  
a) szybkie chłodzenie w wodzie,  
b,c,d) wolne chłodzenie w powietrzu i w formie stalowej.





Rys.2. Przekrój próbki służącej do oceny zwilżalności lutu kompozytowego. Pow. 25x.



Rys.3. Wytrzymałość na ścinanie połączeń lutowanych spoiwami kompozytowymi w funkcji zawartości procentowej wypełniacza Ni.



Rys.4. Mikrostruktura złącza lutowanego wyprowadzenia elementu elektronicznego przy użyciu lutu LC63 z 5% zawartością wypełniacza. Pow. 120x.