

Marcin Bąkała*, Tomasz Koszmider*

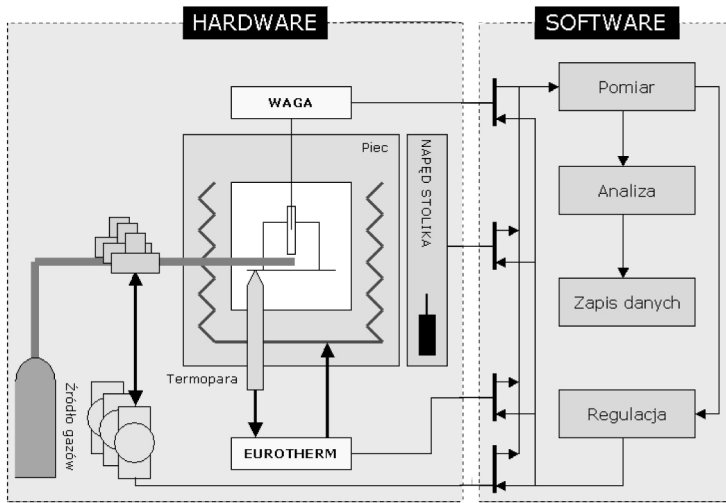
Skomputeryzowany system wyznaczania wybranych parametrów lutowności

1. Wprowadzenie

Lutowność określa przydatność danego materiału do lutowania i jest związana nie tylko z samym materiałem, ale zależy od wielu czynników. Wynikają one z zastosowania danej techniki lutowania, materiałów dodatkowych (lutów, topników), parametrów lutowania. Lutowność zatem wpływa w sposób bezpośredni na jakość gotowych wyrobów, w których wykorzystywana jest ta technologia. Znajomość wielkości wybranych parametrów lutowności determinuje proces produkcji, wpływa na jego szybkość i sprawność, a tym samym obniżenie kosztów. Zagadnienia te stanowią istotny element w różnych gałęziach przemysłu, w których proces technologiczny polega m.in. na spajaniu materiałów z wykorzystaniem lutowania [1]. Od 2004 roku, na mocy dyrektywy Unii Europejskiej ograniczone jest stosowanie lutów ołowiowo-cynowych, szeroko stosowanych dotychczas w przemyśle elektronicznym i elektrotechnicznym. Wynika stąd potrzeba opracowywania nowych lutów oraz systemów pomiarowych lutowności zapewniających uzyskiwanie wyników ilościowych [2, 3]. Dotychczas stosowane klasyczne metody wyznaczania parametrów lutowności są czaso- i kosztochłonne. Istniejące rozwiązania oferowane przez producentów urządzeń określających lutowność nie pozwalają natomiast na uzyskanie wyników ilościowych [4, 5]. W odpowiedzi na zapotrzebowanie w zakresie opracowania zautomatyzowanego systemu do ilościowego wyznaczania parametrów lutowności, zaprojektowano stanowisko badawcze: tester lutowności. Powstało ono w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T10C 040 22 realizowanego w Katedrze Informatyki Stosowanej PŁ w latach 2002–2004 nt: *Model automatycznego testera pomiaru lutowności lutów twardych dla zastosowań przemysłowych* [6].

Schemat blokowy urządzenia przedstawiony jest na rysunku 1.

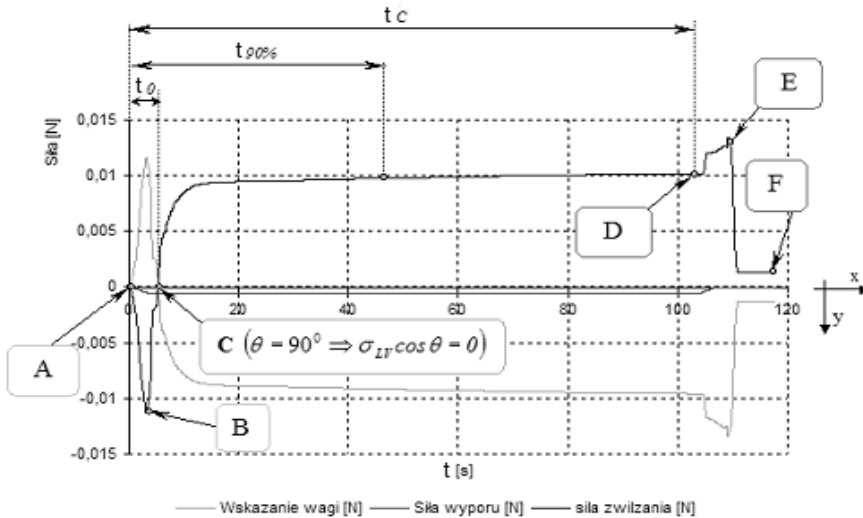
* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego [6]

2. Przebieg pomiaru

Przebieg eksperymentu zanurzeniowego z wykorzystaniem testera lutowności, przedstawiony na rysunku 2, ilustruje rzeczywisty proces rejestrowany przez urządzenie. Przebieg zmian siły zwilżania w funkcji czasu z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi zamieszczono także na rysunku 2. W punkcie A w czasie $t = 0$ s ma miejsce zetknięcie powierzchni czołowej próbki z lutem. Początkowa ujemna wartość siły zwilżania wynika ze zmiany wartości kąta zwilżania θ i wartości siły wyporu. Na prezentowanej charakterystyce w punkcie B, kąt zwilżania θ osiąga wartość maksymalną, a zatem siła zwilżania F – wartość minimalną. Punkt C odpowiada wartości kąta zwilżania $\theta = 90^\circ \rightarrow \sigma_{LV} \cos \theta = 0$. Odpowiada to chwili, gdy $t = t_0$ [s]. Wartość siły zwilżania osiągnięta w punkcie D odpowiada wartości granicznej kąta zwilżania θ dla badanego układu dla $t = t_C$ [s]. Dodatkowy parametr to $t_{90\%}$, który odzwierciedla wymagany okres czasu do osiągnięcia przez siłę zwilżania F_k 90% wartości granicznej określonej w punkcie D. Etap zawarty pomiędzy punktami D–E, odzwierciedla wynurzanie próbki i wyciąganie menisku połączonego z powierzchnią czołową próbki ponad powierzchnię lustra lutownia. W punkcie E następuje zerwanie menisku cieczy i obserwowany jest spadek wartości sił zwilżania. W punkcie F następuje koniec eksperymentu. W trakcie przeprowadzania szeregu eksperymentów z różnego rodzaju lutami uzyskano kilka przebiegów charakterystyk zwilżalnościowych. Ich kształt zależy od szeregu parametrów, takich jak: rodzaj i skład lutu, temperatura eksperymentu, sposób przygotowania podłoża itp. Istotę zjawiska zwilżania można opisać za pomocą kilku kryteriów jakościowych, które wyznaczone zostały na podstawie krzywych zwilżania z rysunku 2.



Rys. 2. Przebieg parametrów rejestrowanych przez urządzenie w trakcie eksperymentu
Objaśnienia w tekście

Do najważniejszych kryteriów zalicza się dwie wielkości:

- 1) maksymalną graniczną wartość siły zwilżania osiągniętą w punkcie D,
- 2) czas zwilżania (tj. czas potrzebny do uzyskania dodatniej wartości siły zwilżania t_0).

Wyższa wartość siły zwilżania oraz krótszy czas zwilżania wpływają na poprawę zwilżalności. Opisywane parametry nie są wszakże jedynymi, które można oszacować z przebiegu charakterystyki siły zwilżania w funkcji czasu. Również kształt krzywej zwilżania jest bardzo istotny.

Krzywa ta opisywana jest przez dwa parametry:

- 1) czas potrzebny do osiągnięcia 90% granicznej wartości siły zwilżania ($t_{90\%}$),
- 2) przez stosunek czasu ($t_{90\%}$) do czasu trwania testu (t_C).

Dla wartości ilorazu czasu $t_{90\%}$ i t_C dążącego do zera, krzywa przyjmuje kształt zbliżony do prostokąta, tj. krzywa gwałtownie rośnie do osiągnięcia maksymalnej granicznej wartości siły zwilżania. Im mniejsza wartość opisywanego powyżej ilorazu ($t_{90\%}$ i t_C), tym lepsze warunki zwilżania, co w efekcie daje możliwość zredukowania czasu zwilżania bez konieczności znaczącego zmniejszania wartości siły zwilżania. Wartość stosunku $t_{90\%}$ i t_C mniejsza niż 0,5 oznacza, że 90% maksymalnej siły zwilżania F_k może być osiągnięte w czasie o połowę krótszym od wyznaczonego t_C . Graniczna siła zwilżania podzielona przez różnicę ($t_{90\%} - t_0$) jest także bardzo istotna w opisie zjawiska zwilżania. Dowolna wartość większa niż 0,01 wskazuje na nagłe zwilżanie, przy założeniu dużej wartości siły zwilżania. Wartości mniejsze niż 0,01 oznaczają bardzo powolne zwilżanie, oraz zakładaną małą wartość siły zwilżania.

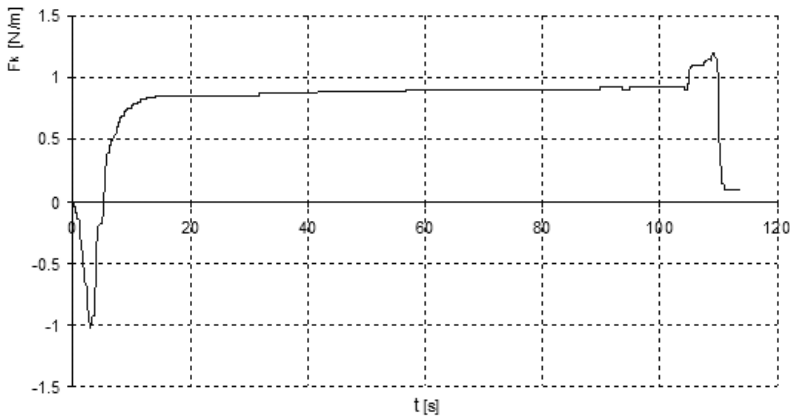
3. Wyniki pomiarów dla lutu miedziano-fosforowego z dodatkiem srebra L-Ag5P

Tester posiada panel umożliwiający zarówno zaplanowanie nowego eksperymentu, jak i skorzystanie z istniejącego szablonu zapisanego w istniejącej i na bieżąco aktualizowanej bazie danych. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry eksperymentu.

Tabela 1
Parametry eksperymentu zanurzeniowego dla lutu L-Ag5P

Temperatura:	70°C
Czas aktywacji powierzchni:	20 s
Czas zanurzenia próbki w lucie:	100 s
Czas postoju próbki nad lustrem lutowia po zakończeniu eksperymentu:	5 s
Prędkość przemieszczania tygla (w kierunku do góry) od momentu wykrycia kontaktu:	5 mm/s
Prędkość zanurzenia:	0,5 mm/s
Prędkość wynurzenia próbki (ruchu tygla w kierunku do dołu):	10 mm/s
Głębokość zanurzenia:	3 mm

Przebieg zmian siły zwilżania F_k [N/m] w funkcji czasu ukazano na wykresie (rys. 3).



Rys. 3. Charakterystyka siły zwilżania w funkcji czasu lutu L-Ag5P na podłożu miedzianym. Wartości graniczna $F_G = 0,9238$ N/m zostaje osiągnięta po czasie 104 s

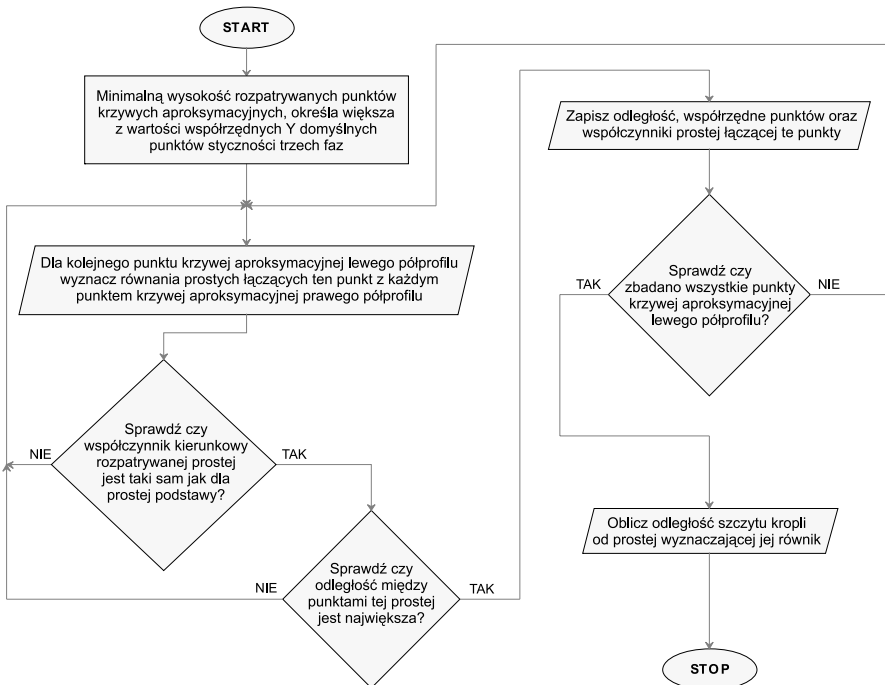
W czasie $t = 0$ s następuje kontakt powierzchni czołowej płytki z kapielą stopionego lutu. Początkowo wartość F_k szybko maleje i osiąga minimum $F_k = -1,0143$ N/m po czasie $t = 3,468$ s. Koniec etapu pogrążania próbki na głębokość $z_b = 3$ mm następuje po $t = 4,265$ s dla której wartość $F_k = -0,7442$ N/m. Czas $T_0 = 5,562$ s to chwila, dla której ką

zwilżania $\theta = 90^\circ$. Wartość graniczna siły zwilżania $F_G = 0,9238 \text{ N/m}$ zostaje osiągnięta po czasie $t_C = 105 \text{ s}$. Dodatkowy parametr to $t_{90\%} = 13,152 \text{ s}$, który odzwierciedla wymagany okres czasu do osiągnięcia przez siłę zwilżania $F_{k90\%}$ wartości granicznej. Zestawienie pozostałych wyznaczonych parametrów zawiera tabela 2.

Tabela 2
Parametry eksperymentu zanurzeniowego dla lutu L-Ag5P

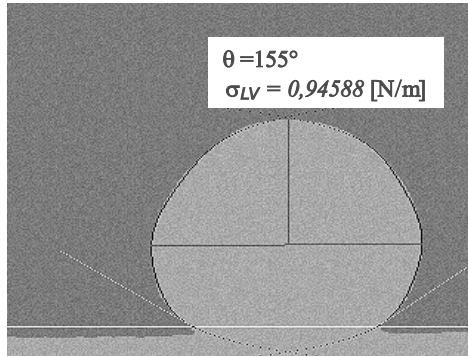
t_0 [s]	5,562
$t_{90\%}$ [s]	13,152
t_C [s]	105
F_G [N/m]	0,9238
$t_{90\%} / t_C$ [s]	0,125
$t_{90\%} - t_0$ [s]	7,563
$F_G / (t_{90\%} - t_0)$ [N/ms]	0,1221

W celu wyznaczenia charakterystyki kąta zwilżania w funkcji czasu konieczna jest znajomość wartości napięcia powierzchniowego badanego lutu. Aby osiągnąć wyznaczony cel, przeprowadzono eksperymenty na urządzeniu Thermo-Wet wyposażonym w nowy algorytm wyznaczania parametrów geometrycznych kropli (rys. 4).



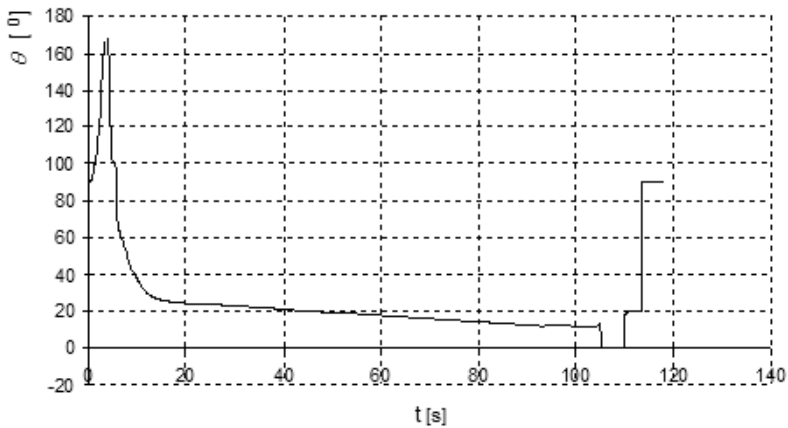
Rys. 4. Schemat blokowy algorytmu wyznaczania parametrów geometrycznych kropli

W wyniku przeprowadzonego doświadczenia ustalono wartość napięcia powierzchniowego na $\sigma_{LV} = 0,94588 \text{ N/m}$. Widok przetworzonego obrazu próbki z zaznaczonymi liniami aproksymującymi profil kropli ukazano na rysunku 5.



Rys. 5. Widok przetworzonego obrazu próbki L-Ag5P na niezwilżalnym podłożu Al_2O_3

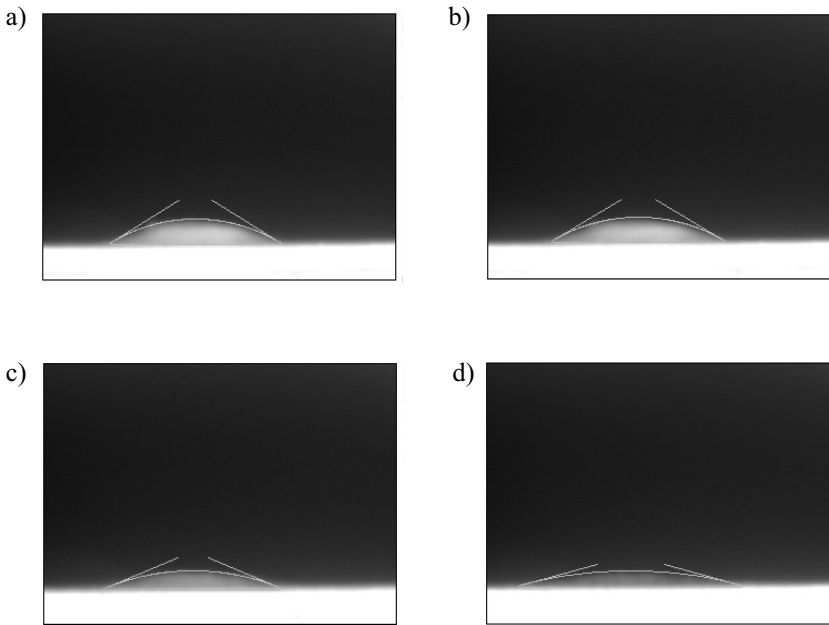
Wyznaczona wartość napięcia powierzchniowego wynosi $\sigma_{LV} = 0,94588 \text{ N/m}$. Na podstawie wartości siły zwilżania F_k w funkcji czasu z rysunku 3 i napięcia powierzchniowego $\sigma_{LV} = 0,9423 \text{ N/m}$ wyznaczono charakterystykę kąta zwilżania w funkcji czasu (rys. 6). Ustalono, iż po czasie 104 s wartość graniczna kąta zwilżania wynosi $\theta_0 = 11,7^\circ$.



Rys. 6. Charakterystyka kąta zwilżania w funkcji czasu dla lutu L-Ag5P na podłożu miedzianym. Wartość graniczna kąta zwilżania wynosi $\theta_0 = 11,7^\circ$ po czasie 104 s

W celu weryfikacji wyników uzyskanych metodą płytkową zrealizowano pomiar kąta zwilżania opisywanego lutu L-Ag5P na podłożu miedzianym. Na rysunku 7 przedstawiono widok rozplývającego się lutu na podłożu miedzianym z zaznaczonymi liniami aprok-

symulującymi kształt próbki i wyznaczonymi kątami zwilżania θ kolejno: rys. 7a $\theta = 31,50$, rys. 7b $\theta = 300$, rys. 7c $\theta = 230$, rys. 7d $\theta = 12,50$. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu ustalono wartość graniczną kąta zwilżania równą $\theta_0 = 12,50$.



Rys. 7. Widok rozplywającego się lutu L-Ag5P na podłożu miedzianym
Objaśnienia w tekście

4. Wnioski

Wykonane eksperymenty udowodniły, że zaimplementowana w systemie testera lutowności metoda płytkowa może być wykorzystywana do badań parametrów określających lutowność w szerokim zakresie temperatur do 1000°C . Zaletą otrzymanych w ten sposób wyników pomiarów i obliczeń jest ich powtarzalność, wynikająca z pełnej automatyzacji systemu pomiarowego. Wyznaczone parametry umożliwiają dobór lutu dla danego materiału lutowanego, topnika lub atmosfery ochronnej dla danego zestawu materiałów lutowany – lut. Uzyskane wyniki dowodzą, iż możliwe jest zastosowanie zaproponowanej koncepcji wyznaczania wybranych parametrów lutowności w wysokich temperaturach. Przeprowadzone badania wskazują, że metoda płytkowa jest odpowiednia do wyznaczania i optymalizacji parametrów lutowania w danym układzie lut–materiał podłoża. Celowe jest zatem poszukiwanie nowych form automatyzacji pomiaru lutowności zapewniającego uzyskanie wyników ilościowych.

Literatura

- [1] Ferenc K, Nita Z., Sobiś T., *Spawalnictwo*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1999.
- [2] Mirski Z., *Wpływ szczeliny na własności mechaniczne połączeń lutowanych*. Przegląd Spawalnictwa, nr 1–2, 1999.
- [3] Włosiński W., *The joining of advanced materials*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2000.
- [4] Sankowski D., Strzecha K., Kołodziejcki H., Albrecht A., Wojciechowski R., Bąkała M., *Skomputeryzowany system pomiaru lutowności w wysokich temperaturach*. XXXVI Międzyuczelniana Konferencja Metrologów oraz Konferencja Grantowa MKM, 2004.
- [5] Schwartz M., *Brazing of the Engineering Technologist*. London, Chapman and Hall 1995.
- [6] Sankowski D., Senkara J. i in., *Model automatycznego testera pomiaru lutowności lutów twardej dla zastosowań przemysłowych*. Projekt badawczy KBN nr 4 T10C 040 22.