

Marcin Bąkała*, Dominik Sankowski*, Andrzej Albrecht*, Rafał Wojciechowski*

Wyznaczanie napięcia powierzchniowego z wykorzystaniem metody maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku zaimplementowanej w wysokotemperaturowym analizatorze lutowności

1. Wprowadzenie

Zasadniczym warunkiem powstania złącza lutowanego jest wypełnienie przez lut szczeliny lutowniczej w określonych warunkach czasu, środowiska i temperatury w trakcie procesu lutowania. Dodatkowo złącza lutowane charakteryzują się stosunkowo niewielką szczeliną lutowniczą, rzędu dziesiątych części milimetra, a ich wypełnienie jest wynikiem działania sił kapilarnych. W celu dokładnej analizy zjawisk powierzchniowych, a w szczególności oddziaływań międzyfazowych, konieczne jest określenie wielkości napięcia powierzchniowego i kąta zwilżania w odrębnych eksperymentach. Zagadnienia te stanowią istotny element w różnych gałęziach przemysłu, w których proces technologiczny polega m.in. na spajaniu materiałów z wykorzystaniem lutowania. Od 2004 roku, na mocy dyrektywy Unii Europejskiej ograniczone jest stosowanie lutów ołowiowo-cynowych, powszechnie stosowanych w przemyśle elektronicznym i elektrotechnicznym. Wynika stąd potrzeba opracowywania nowych lutów oraz systemów pomiarowych lutowności zapewniających uzyskiwanie wyników ilościowych.

W artykule zaprezentowano metodę wyznaczania napięcia powierzchniowego opartą na badaniu maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku uwalnianym w stopionym materiale lutowności. Urządzenie jest w pełni skomputeryzowane, każdy proces jest sterowany i kontrolowany przy użyciu algorytmów zaimplementowanych poprzez dedykowane, opracowane przez autorów artykułu oprogramowanie, co zapewnia precyzyjną regulację wszystkich parametrów eksperymentu.

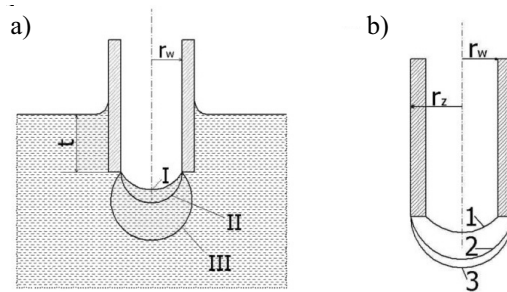
Zaproponowane rozwiązanie stanowi oryginalną koncepcję umożliwiającą przeprowadzenie w pełni zautomatyzowanych, powtarzalnych eksperymentów oraz ich precyzyjną

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka

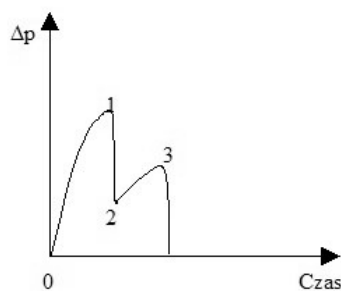
analizę. Gromadzenie wyników eksperymentów w systemie bazodanowym pozwala na porównanie uzyskanych rezultatów dla różnych wariantów parametrów eksperymentu i przyjętych materiałów.

2. Metoda pomiarowa

Prezentowana metoda pomiarowa polega na zanurzeniu kapilary w ciekłym metalu na określone głębokości h . W dalszej kolejności rejestrowane jest ciśnienie wewnątrz formującego się pęcherzyka gazowego pod wpływem doprowadzonego z zewnątrz regulowanego ciśnienia Δp . Kształt powierzchni pęcherzyka gazowego i wartość rejestrowanego ciśnienia zależy od zwilżalności materiału kapilary przez ciekły metal. Na rysunku 1 przedstawiono kolejne przypadki formowania się pęcherzyków gazowych w zależności od zwilżalności materiału kapilary [1, 2, 9].



Rys. 1. Schemat formowania się pęcherzyka gazowego u ujścia kapilary w ciekłym metalu w przypadku zwilżania (a) i nie zwilżania kapilary (b) [1]



Rys. 2. Teoretyczny przebieg ciśnienia dla niezwilżalnej kapilary

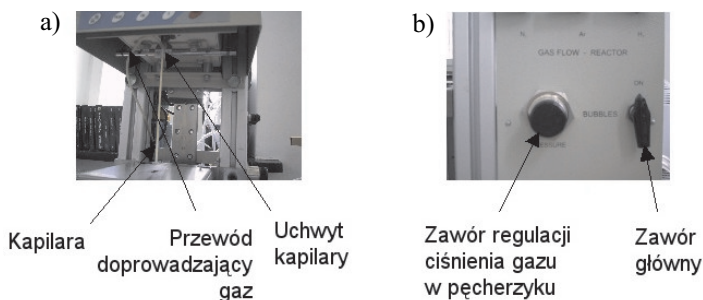
Gdy materiał kapilary jest zwilżany przez ciekły metal, na wykresie (rys. 2) rejestrowane jest tylko jedno maksimum. W tym przypadku pęcherzyk będzie styczny do wewnętrznej ścianki kapilary (pozycja II). Przy dalszym narastaniu ciśnienia, następuje wzrost objętości i zmniejszenie krzywizny pęcherzyka, aż do momentu jego oderwania się od kapilary (pozycja III) [4]. Przy użyciu kapilar ceramicznych, które nie są zwilżalne przez

większość metali i ich stopów, należy uwzględnić fakt, iż na wykresie pojawią się dwa maksima ciśnienia 1 i 3 z rysunku 2. Stan 1 odpowiada granicznemu kątowi zwilżania materiału kapilary przez ciekły lut przy wartości ciśnienia Δp , stan 2 – przemieszczenie pęcherzyka na zewnętrzną krawędź kapilary, co równoznaczne jest ze spadkiem ciśnienia panującego wewnątrz pęcherzyka i zmniejszeniem jego krzywizny. Stan 3 odpowiada ciśnieniu, przy którym następuje oderwanie pęcherzyka od kapilary [3, 5, 6].

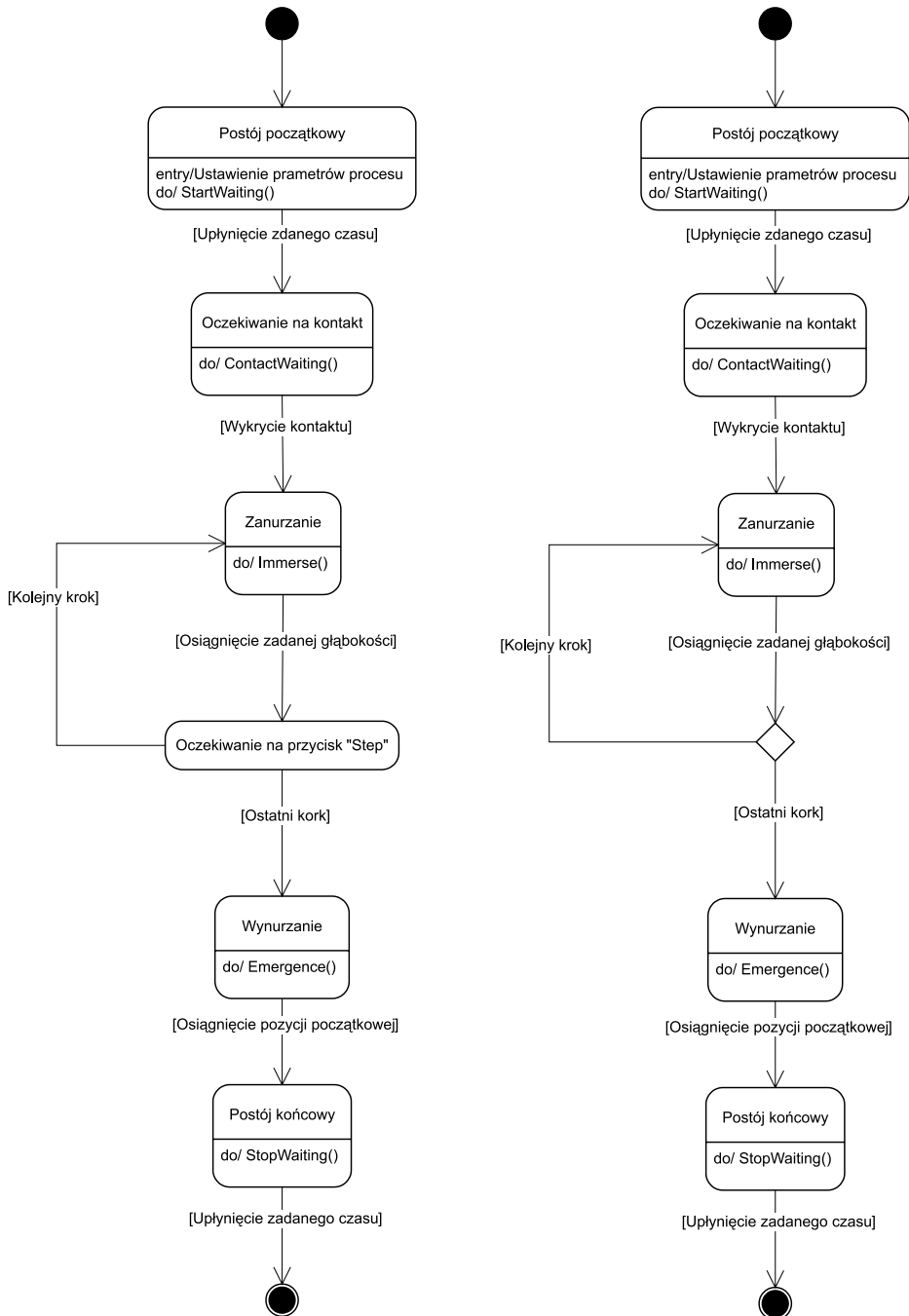
3. Urządzenie pomiarowe

Opracowany przez interdyscyplinarny zespół „Wysokotemperaturowy analizator lutowości” jest urządzeniem do automatycznego pomiaru własności fizykochemicznych metali i ich stopów [7]. Opracowane rozwiązanie bazuje na określaniu wartości napięcia powierzchniowego ciekłego lutu, za pomocą metody maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku. Analizator umożliwia przeprowadzanie badań w zakresie temperatur do 1000°C, w obecności gazowej atmosfery ochronnej bądź redukcyjnej. Projektowanie eksperymentów odbywa się w oparciu o predefiniowane szablony, co znacząco skraca okres przygotowania eksperymentów. Możliwość wizualizacji wyników na wykresach i w tabelach w czasie rzeczywistym ułatwia pracę z systemem i interpretację uzyskanych wyników. Pozyskane w przeprowadzonych doświadczeniach wyniki podlegają analizie i zapisywane są w systemie bazodanowym. Zaimplementowane rozwiązanie umożliwia porównanie uzyskanych wyników przy różnych parametrach eksperymentu oraz dokonanie zestawień wyników dla różnych materiałów lutowia. Oprogramowanie testera wyposażone jest w wydajny system raportowania prezentujący wyniki przeprowadzonych eksperymentów [7].

Metodologia eksperymentu pomiaru napięcia powierzchniowego z wykorzystaniem metody maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku bazuje na obserwacji zmian ciśnienia w kapilarze zanurzonej w ciekłym lutowiu w czasie rzeczywistym. Układ pomiarowy stanowi ceramiczna kapilara podwieszona na uchwycie wagi (rys. 3). Próba rozpoczyna się zanurzeniem kapilary na odpowiednią głębokość. Po osiągnięciu określonej wielkości zanurzenia, za pomocą zaworu zwiększane jest ciśnienie gazu wewnątrz kapilary.



Rys. 3. Instalacja pomiarowa: a) mocowanie kapilary; b) zawory

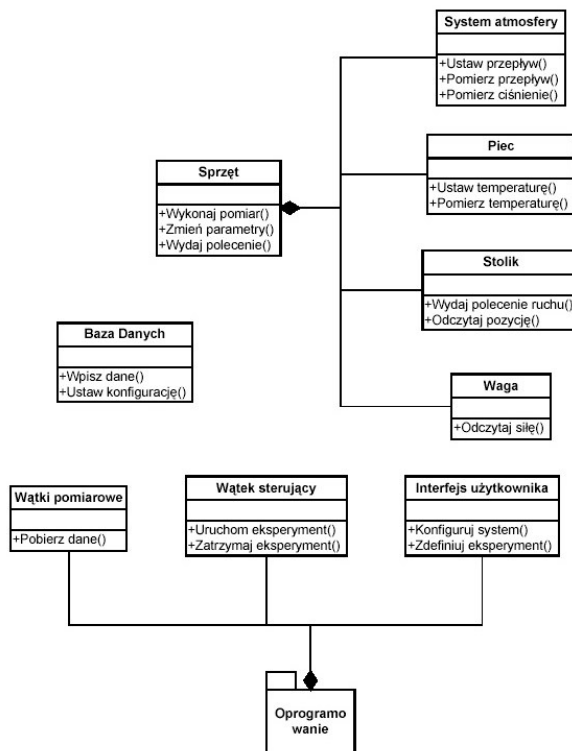


Rys. 4. Diagramy stanów eksperymentu bąbelkowego

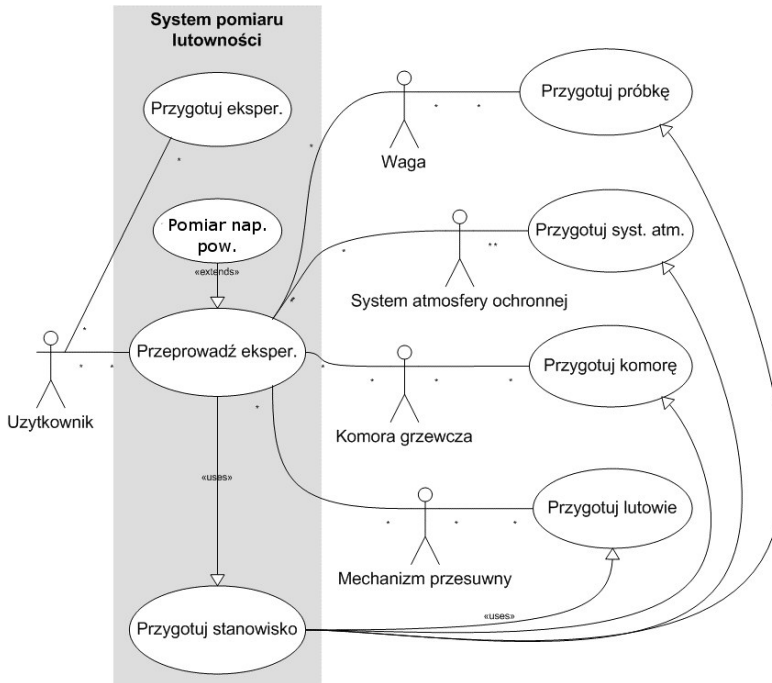
W momencie oderwania od powierzchni czołowej kapilary pęcherzyka gazu rejestrowany jest znaczący spadek ciśnienia. Natomiast maksymalne tzw. ciśnienie graniczne jest podstawą do wyznaczenia wartości napięcia powierzchniowego ciekłego łątu. Program eksperymentu przewiduje powtarzanie próby ciśnieniowej na kilku głębokościach. Diagramy stanów eksperymentu pomiaru napięcia powierzchniowego z wykorzystaniem metody maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku dla jednej i kilku głębokości zanurzenia ilustruje rysunek 4.

4. Oprogramowanie analizatora lutowności

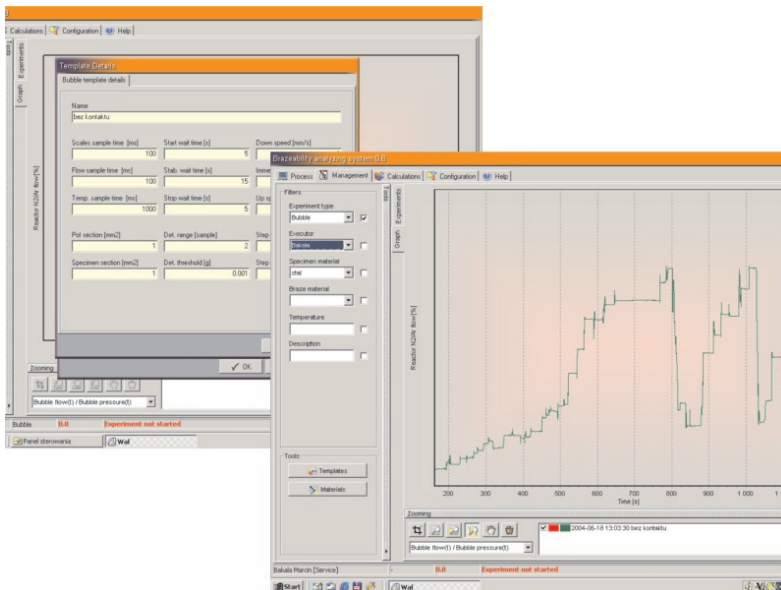
Oprogramowanie analizatora lutowności posiada budowę modułową, zapewniającą łatwą skalowalność systemu i możliwość dopasowania do potrzeb użytkownika. Architektura systemu składa się z warstwy sprzętowej zapewniającej komunikację z urządzeniami składowymi analizatora lutowności (waga, regulator temperatury, system napędowy) przez interfejsy szeregowy, warstwy repozytorium umożliwiającej składowanie danych w systemie bazodanowym oraz warstwy interfejsu użytkownika zapewniającej komunikację z użytkownikiem końcowym. Pracę systemu koordynuje moduł zarządzający. Abstrakcyjne klasy oprogramowania analizatora lutowności oraz podstawowe przypadki użycia systemu zilustrowano na rysunkach 5 oraz 6.



Rys. 5. Abstrakcyjne klasy oprogramowania analizatora lutowności



Rys. 6. Przypadki użycia systemu analizatora lutowności



Rys. 7. Panel sterujący oraz wizualizacja zmian ciśnienia w pęcherzyku

5. Parametry procesu pomiarowego

Wykonanie właściwego eksperymentu poprzedzone jest zdefiniowaniem podstawowych parametrów procesu, to jest: prędkości dojazdowej wózka z tygłem w kierunku do kapilary, prędkości i głębokości zanurzenia kapilary, czasu postoju na zdefiniowanych głębokościach. Przykładowy wygląd panelu wprowadzania parametrów eksperymentu oraz przebieg rejestrowanego ciśnienia w pęcherzyku dla zwilżalnej kapilary zamieszczono na rysunku 7. Do wyznaczenia napięcia powierzchniowego przyjmuje się uśrednioną graniczną wartość ciśnienia z jednego cyklu pomiarowego.

6. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano metodę wyznaczania napięcia powierzchniowego opartą na badaniu maksymalnego ciśnienia w pęcherzyku uwalnianym w stopionym materiale lutowia. Metoda stanowi alternatywę do podejścia bazującego na określaniu napięcia powierzchniowego metodą leżącej kropli [7, 8]. Przedstawiono koncepcję i sposób realizacji eksperymentu pomiarowego w aspekcie budowy urządzenia, jak i funkcjonowania aplikacji. Obecnie prowadzone są prace weryfikujące poprawność działania aplikacji sterującej, jak i przyjętych założeń merytorycznych.

Literatura

- [1] Adamson A.W., Gas A.P., *Physical Chemistry of Surfaces*. John Wiley & Sons, 1997.
- [2] Aksay I.A., Hoge C.E., Pask J.A., *Wetting under chemical equilibrium and non – equilibrium conditions*. J. Phys. Chem., 78, 1974, 1178–1183.
- [3] Allen C.B., *Liquid Metals – Chemistry and Physics*. INC, 1972, 161–212.
- [4] Ambrose J.C., Nicholas M.G., Stoneham A.M., *Brazing and Soldering*, 14, 30, 1988.
- [5] Aniello M., Morrow N.R., *Point – by – Point Method of Determining Contact Angles from Dynamic Wilhelmy Plate Data for Oil/Brine/Solid Systems*. Journal of Colloid and Interface Science, 1995, 172.
- [6] Radomski T., Ciszewski A., *Lutowanie*. WNT, Warszawa, 1985.
- [7] Sankowski D. i in., *Projekt badawczy KBN nr 4 T10C 04022: Model automatycznego testera pomiaru lutowalności lutów twardych dla zastosowań przemysłowych*. Sprawozdanie, Łódź, 2004.
- [8] Sankowski D. i in., *Projekt badawczy KBN nr 8 T10C 00514: Automatyczne pomiary napięcia powierzchniowego i kąta zwilżania materiałów w wysokich temperaturach*. Sprawozdanie, Łódź, 2000.
- [9] Tyrkiel E., *Termodynamiczne podstawy materiałoznawstwa*. PWN, Warszawa, 1987.