

BADANIA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ LUTOWANYCH WYKONANYCH ZE STOPÓW ALUMINIUM

Research of selected properties of aluminum brazed joints

Katarzyna PETA

Streszczenie: W pracy omówiono ważniejsze właściwości połączeń nierozłącznych (lutowanych), wykonanych ze stopów aluminium, stosowanych m.in. w przemyśle motoryzacyjnym. Szczególną uwagę zwrócono na właściwości decydujące o końcowej jakości montowanych wyrobów. Uwzględniając warunki ich pracy, przedstawiono oczekiwania stawiane połączeniom lutowanym w konkretnym zastosowaniu. W tym celu wykonano badania materiałowe wybranych właściwości oraz przedstawiono uzyskane wyniki. Podjęto próbę określenia wpływu operacji lutowania na finalną jakość montowanych wyrobów, w tym głównie na ich trwałość. W końcowej części pracy zaprezentowano wnioski oraz kierunki dalszych badań.

Słowa kluczowe: połączenia montażowe, twardość, stopy aluminium

Abstract: The paper describes an important properties of aluminum inseparable joints (brazed), used in the automotive industry. Particular attention was paid to the characteristics which determine the quality of the final assembled products. Taking into account the conditions of their work, the expectations of brazed joints in the particular application was presented. To this aim the material research of selected properties and obtained results was shown. An attempt to determine the impact of the brazing quality of the product, mainly for their durability was made. In the final part of the paper was presented the conclusions and directions of further research.

Keywords: assembly joints, hardness, aluminum alloys

Wprowadzenie

Stopy aluminium ze względu na swoje właściwości są powszechnie stosowane w przemyśle: motoryzacyjnym, lotniczym, energetycznym i okrętowym. Do ich najważniejszych zalet zalicza się dobrą wytrzymałość w stosunku do gęstości właściwej, odporność korozyjną, przewodność cieplną, obrabialność plastyczną i lutowność [4-6, 9]. Ostatnia właściwość wskazuje na zdolność stopów aluminium do tworzenia trwałych połączeń lutowanych, które są niezastąpionym technicznie i ekonomicznie rodzajem połączeń montażowych nierozłącznych, stosowanym w licznych wyrobach. Występują one m.in. w instalacjach chemicznych, elektrycznych, elementach aparatury próżniowej, elektronicznej, a także w wymiennikach ciepła. Lutowanie znajduje zastosowanie w łączeniu elementów o zróżnicowanych i skomplikowanych kształtach, wymiarach i właściwościach, z zachowaniem dobrej przewodności cieplnej [1, 2, 7, 10].

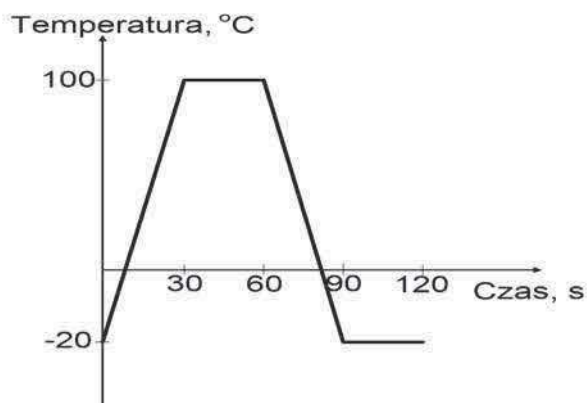
Połączenia lutowane w samochodowych wymiennikach ciepła muszą spełniać szereg wymagań eksploatacyjnych, związanych z warunkami ich pracy. Do podstawowych zalicza się: szczelność, wytrzymałość mechaniczną w warunkach drgań, odporność na korozję oraz szoki cieplne. Ponadto jednym z ważniejszych kryteriów oceny połączeń lutowanych są ich właściwości mechaniczne, określane przez wykonanie pomiarów mikrotwardości. Podczas kontroli jakości wyrobu finalnego pozwalają one na identyfikację krytycznych obszarów

w strefie lutowanych materiałów oraz ocenę poprawności przebiegu operacji lutowania [8].

Metodyka badań

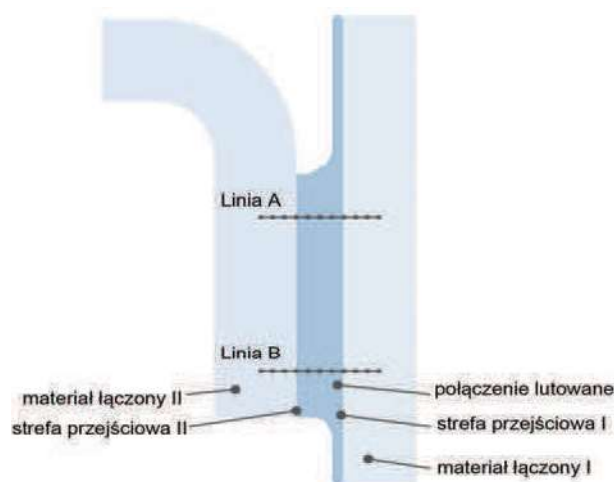
Badaniom trwałości poddano połączenia lutowane w chłodnicach cieczy, które wykonano z taśm na bazie stopu Al-Mn (seria 3xxx), platerowanych lutem Al-Si (seria 4xxx). Materiały te są powszechnie stosowane w produkcji samochodowych wymienników ciepła i lutowane w atmosferze azotu w piecach radiacyjno-konwekcyjnych, składających się ze stref: odtuszczania cieplnego, elektrostatycznego nanoszenia topnika, nagrzewania, lutowania oraz chłodzenia w atmosferze kontrolowanej, a następnie w powietrzu atmosferycznym.

Do oceny trwałości połączeń lutowanych przeprowadzono badanie odporności na szoki cieplne w warunkach przepływu cieczy chłodzącej przez wymiennik ciepła, którego charakterystyki temperaturowo-czasowe przedstawiono na rys. 1. Uwzględniając kryteria oceny wyrobów definiowane przez ich producenta wykonano 1500 takich cykli, a następnie zweryfikowano szczelność połączeń lutowanych przez włączanie powietrza do zanurzonej w wodzie chłodnicy cieczy i identyfikację ewentualnych pęcherzy powietrza. Następnie określono zmiany rozkładu mikrotwardości w strefie łączonych materiałów po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne, stosując metodę Vickersa z obciążeniem 0,246 N, przyłożonym w czasie 5 s [8].



Rys. 1. Schemat rozkładu temperatury cieczy chłodzącej w funkcji czasu podczas badania odporności chłodnic cieczy na szoki cieplne

Fig. 1. Distribution of the coolant liquid temperature as a function of time during the thermal shock test for radiators



Rys. 2. Schemat próbki z zaznaczeniem punktów pomiaru mikrotwardości

Fig. 2. Scheme of sample with microhardness measurement points

Schemat analizowanej próbki oraz położenie punktów odcisków Vickersa przedstawiono na rys. 2. Pomiary mikrotwardości wykonano w pięciu wyodrębnionych strefach próbki, a następnie wzdłuż dwóch linii A i B, aby porównać ich rozkład w dwóch skrajnych obszarach połączenia lutowanego.

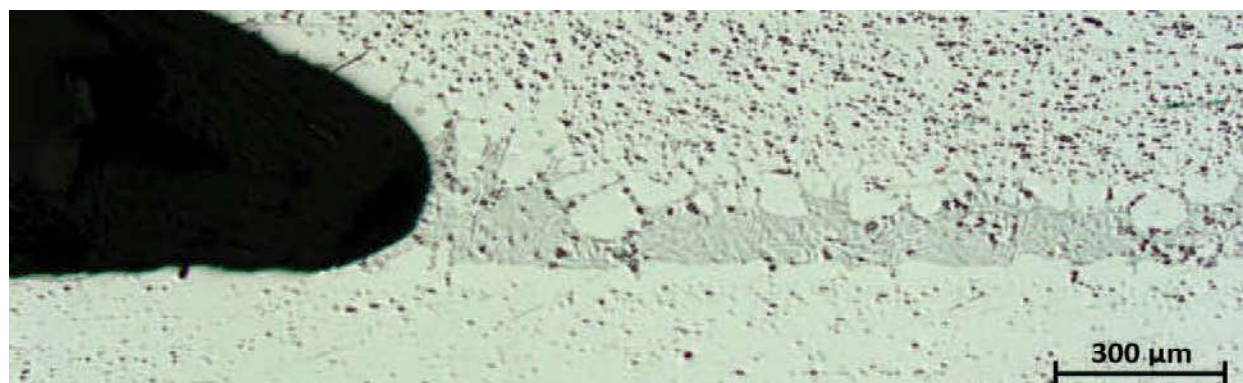
Wyniki badań i ich analiza

W celu oceny trwałości połączeń lutowanych po badaniu odporności na szoki cieplne, poza wizualną oceną uszkodzeń przeprowadzono obserwacje ich mikrostruktury, pomiary szczelności oraz określono rozkład mikrotwardości. Analiza otrzymanych wyników nie wykazała nieprawidłowości w strefach łączonych materiałów, zarówno po procesie wytwarzania, jak i po badaniu odporności na szoki cieplne. Oznacza to znikome prawdopodobieństwo uszkodzenia chłodnicy cieczy podczas eksploatacji, zatem podjęcie działań naprawczych lub zapobiegawczych nie jest wymagane. Na rys. 3 przedstawiono mikrostrukturę połączenia lutowanego

w analizowanym obszarze. Obserwacje mikroskopowe strefy łączonych materiałów nie wykazały wad struktury, w tym nieciągłości, pęknięć, wtrąceń lub pęcherzy gazowych.

Pomiary mikrotwardości wykonano po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne. Odciski Vickersa wykonano w obszarach łączonych materiałów, połączenia lutowanego oraz przejściowych (dyfuzyjnych). W tab. przedstawiono średnią arytmetyczną z trzech pomiarów wykonanych w każdym obszarze, a na rys. 4 wykres rozkładu mikrotwardości w funkcji odległości od osi połączenia lutowanego.

Uzyskano zbliżony rozkład mikrotwardości po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne. W miejscu połączenia lutowanego jej wartość jest większa od tej w materiale łączonym, co wynika z obecności krzemu jako składnika stopowego w warstwie lutu, który zwiększa twardość i jednocześnie wytrzymałość stopu. Uzyskane wartości mikrotwardości dla linii A i B są porównywalne, co oznacza zbliżony rozkład właściwości mechanicznych na długości analizowanego połączenia

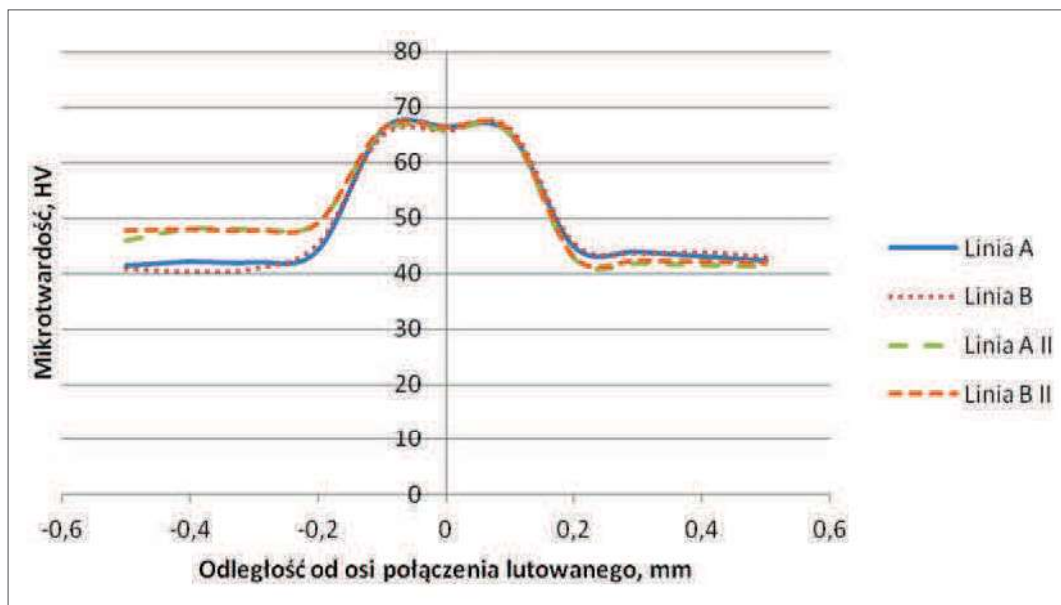


Rys. 3. Mikrostruktura połączenia lutowanego po badaniu odporności na szoki cieplne

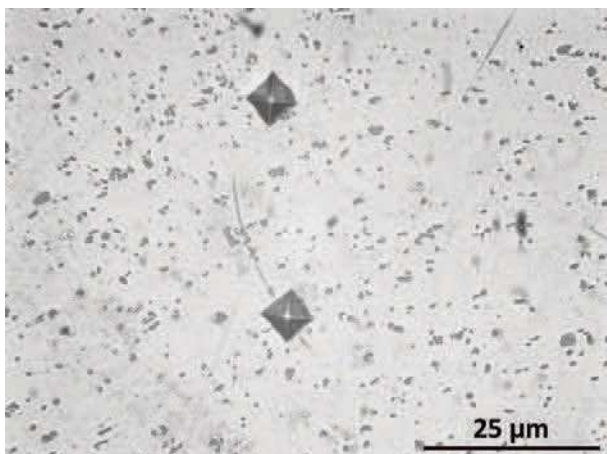
Fig. 3. The microstructure of brazed joint after thermal shocks test

Tabela. Wyniki pomiarów mikrotwardości w strefie łączonych materiałów
 Table. The results of the microhardness measurements in joined materials area

Miejsce pomiaru	Wyniki mikrotwardości po lutowaniu		Wyniki mikrotwardości po badaniu odporności na szoki cieplne	
	Linia A	Linia B	Linia A	Linia B
Materiał łączony I	42,1	40,9	48,0	47,8
Strefa przejściowa I	45,3	44,8	49,2	49,2
Połączenie lutowane	66,5	65,8	65,9	66,4
Strefa przejściowa II	43,8	43,1	42,8	43,0
Materiał łączony II	43,5	43,6	41,6	42,2



Rys. 4. Rozkład mikrotwardości w strefie lutowanych materiałów
 Fig. 4. Distribution of microhardness in brazed materials area



Rys. 5. Odciski Vickersa w strefie łączonego materiału
 Fig. 5. Vickers indentation in assembled material area

lutowanego [3]. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe odciski, otrzymane po pomiarach mikrotwardości metodą Vickersa.

Podsumowanie

Mikrotwardość jest jedną z głównych właściwości mechanicznych, której pomiary wykonywane są w celu określenia odporności materiału na odkształcenia trwałe, powstające pod wpływem działania sił skupionych. Ich zaletą jest niewielkie uszkodzenie materiału oraz możliwość oszacowania innych właściwości mechanicznych, m.in. wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności. Znajomość właściwości materiałów, w tym twardości w strefie łączonych materiałów oraz zjawisk zachodzących podczas lutowania pozwala na jego usprawnianie oraz lepsze sterowanie systemem kontroli jakości wyrobów finalnych. Przeprowadzone badania potwierdziły, że wartość mikrotwardości nie zmienia się po badaniu odporności na szoki cieplne, czyli w warunkach imitujących

pracę samochodowych chłodziaczy cieczonej. Istnieje zatem niewielkie prawdopodobieństwo ich uszkodzenia w trakcie eksploatacji w wyniku przepływu cieczonej cieczonej o temperaturze od -20°C do 100°C.

LITERATURA

- [1] Ambroziak A. i in. 2009. „Lutowanie twarde aluminium i jego stopów”. *Przegląd Spawalnictwa* (2): 10–14.
- [2] Dai W. et. al. 2012. “Torch brazing 3003 aluminum alloy with Zn-Al filler metal”. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 22, 30–35.
- [3] Dai W. et. al. 2012. “Microstructure and Properties of 6061 Aluminum Alloy Brazing Joint with Al-Si-Zn Filler Metal”. *Materials Transactions*, vol. 53 (9): 1638–1643.
- [4] Dudzik K. 2011. “Mechanical properties of 5083, 5059 and 7020 aluminium alloys and their joints welded by MIG”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 18 (3): 73–77.
- [5] Dudzik K. 2011. „Wpływ spawania na rozkład twardości w złączu spawanym na przykładzie stopu AW-7020”. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* (71): 32–37.
- [6] Hua L., J. Hua. 2011. “The Metallographic Structure and Mechanical Properties of the Brazing Weld of 3003 Aluminum Alloy”. *Advanced Material Research*, vol. 287–290, 3098–3101.
- [7] Ma C. et. al. 2011. “Correlation between brazed joint elevated strength, microstructure and brazing processing parameter of Inconel superalloy”. *Acta Metallurgica Sinica*, vol. 24 (3), 205–212.
- [8] „Metaloznawstwo”, pod red. J. Hucińskiej, Politechnika Gdańska, 1995.
- [9] Pokova M., M. Cieslar, J. Lacaze. 2011. “Enhanced AW3003 Aluminum Alloys for Heat Exchangers”. *WDS'11 Proceedings of Contributed Papers, Part III*, 141–146.
- [10] Rudawska A., P. Trebik. 2012. „Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych i lutowanych blach stalowych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 45–49.

mgr inż. Katarzyna Peta – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.p.peta@doctorate.put.poznan.pl