

Połączenia lutowane aluminium z miedzią, stalą niestopową i stopową, wykonane spoiwami cynkowymi

Soldered joints aluminum with copper, unalloyed steel and alloy steel made of zinc binders

Streszczenie

Wykonywanie połączeń lutowanych aluminium z innymi metalami, takimi jak: miedź, stal niestopowa i stopowa, związane jest z dużymi trudnościami. Problemy te wynikają głównie ze zróżnicowanych właściwości fizykochemicznych i mechanicznych spajanych materiałów. Ponadto występuje niebezpieczeństwo tworzenia się twardych faz międzymetalicznych powodujących kruchość połączeń lutowanych.

W artykule przedstawiono wyniki prób zwilżalności i rozpuszczalności badanych materiałów spoiwami cynkowymi. Przeprowadzono również badania metalograficzne przy użyciu mikroskopii świetlnej oraz pomiary mikrotwardości i wytrzymałości na ścinanie połączeń lutowanych.

Abstract

The performance of the opposite soldered joints aluminum with other metals, such as: copper, unalloyed steel and alloy steel is linked to major difficulties. These problems arise mainly from diverse physicochemical and mechanical properties of jointing materials. Moreover, there is a danger of creating a hard intermetallic phases causing fragility soldered joints.

The results of wettability trials and surface area of melt zinc solder on tested materials are showed in the article. Also conducts metallographic research using illuminating microscopy and microhardness measurements and for shear strength soldered joints.

Wstęp

Aluminium i jego stopy są materiałami coraz częściej stosowanymi w połączeniach spajanych. Wynika to przede wszystkim z ich dobrej przewodności elektrycznej i cieplnej oraz niewielkiego ciężaru właściwego [1÷3]. Ponadto aluminium charakteryzuje się wysoką odpornością na korozję atmosferyczną oraz dobrą odpornością chemiczną na działanie wodoru, tlenu, siarki, chloru, bromu i fluoru [4].

Lutowanie jest jednak często bardzo trudne z uwagi na zróżnicowane właściwości fizykochemiczne spajanych materiałów. Niska temperatura topnienia aluminium (ok. 660°C) oraz pokrywająca jego powierzchnię szczelna warstwa trudno topliwych tlenków Al_2O_3

(ok. 2050°C) sprawiają, że jest ono znacznie trudniej lutowanym materiałem niż miedź, stal niestopowa i stopowa [2]. Z tego też względu materiały dodatkowe do lutowania z innymi metalami, tj. luty i topniki, dobiera się przede wszystkim do lutowania aluminium. Może to jednak powodować problemy związane ze zwilżalnością i rozpuszczalnością tych lutów na powierzchni miedzi i stali, a w konsekwencji prowadzić do niewłaściwego wypełnienia szczeliny lutowniczej ciekłym lutem, co powoduje pogorszenie jakości połączeń lutowanych [1, 2].

Użyte w badaniach luty cynkowe ze względu na dużą rozpuszczalność aluminium w cynku (układ równowagi fazowej Zn–Al), sięgającą 83,1% wag. Al, determinują ich dobrą zwilżalność i rozpuszczalność na powierzchni aluminium. Istnieje jednak niebezpieczeństwo niedostatecznego zwilżania spoiwami cynkowymi powierzchni pozostałych materiałów stosowanych w badaniach, wynikające z braku tworzenia się roztworów stałych z pierwiastkami tych metali, co z kolei sprzyja powstawaniu faz międzymetalicznych

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Mirski, mgr inż. Tomasz Wojdat – Politechnika Wrocławska.

Tablica I. Skład chemiczny, temperatura topnienia oraz postać stosowanych lutów cynkowych [1, 2]**Table I.** The chemical composition, melting point and the form of used zinc solders [1, 2]

Oznaczenie lutu	Skład chemiczny, % wag.		Zakres temp. topnienia, °C	Postać, wymiary, mm
	Zn	Al		
L-ZnAl2	98	2	382÷407	drut ø 1,6
L-ZnAl4	96	4	382÷387	drut ø 1,6
L-ZnAl15	85	15	382÷450	drut ø 1,0

powodujących znaczne obniżenie właściwości mechanicznych połączeń lutowanych.

Na podstawie obserwacji mikroskopowych oraz pomiarów mikrotwardości złączy lutowanych można wnioskować o pojawieniu się faz międzymetalicznych na granicy połączenia lutów cynkowych z materiałami lutowanymi z aluminium. Tego rodzaju badania umożliwiają określenie szerokości strefy reakcyjnej. Z kolei pomiary mikrotwardości umożliwiają ocenę plastyczności i funkcjonalności połączeń lutowanych. Przyjmuje się, że wraz ze wzrostem twardości strefy reakcyjnej wzrasta kruchość połączeń lutowanych, a co za tym idzie – zmniejszają się ich właściwości mechaniczne.

Materiały stosowane w badaniach

Do prób lutowania zastosowano luty cynkowe z dodatkiem aluminium, którego zawartość w stopie zwykle nie przekracza 15% wag. [1, 2]. Skład chemiczny, temperaturę topnienia oraz postać stosowanych lutów Zn–Al przedstawiono w tablicy I. Oznaczenia lutów podane w tej tablicy są jedynie oznaczeniami skrótowymi i nie są zgodne z normą. Według normy PN EN ISO 3677:2007 oznaczenie np. dla lutu cynkowego o zawartości 4% wag. Al to S-Zn96Al4 [5].

Lutowanie aluminium wymaga stosowania dodatkowo aktywnych topników, opartych głównie na bazie chlorków litu, cyny, cynku i cezu, zdolnych do usunięcia trudno zwilżalnej lutami warstwy tlenków Al_2O_3 [2, 3]. Topniki na bazie litu, cyny i cynku są przeważnie topnikami korozyjnymi powodującymi erozję złącza lutowanego w przypadku niedokładnego usunięcia ich pozostałości po przeprowadzonym procesie lutowania. Żeby tego uniknąć, do prób lutowania wybrano niekorozyjny topnik o handlowej nazwie 192 NX firmy Castolin, zawierający związki cezu, w postaci pasty. Temperatura aktywności topnika 192 NX mieści się w zakresie 420÷470°C [12].

Jako materiału podstawowego do badań użyto aluminium EN AW–1050A wg PN-EN 573-3:2010 o składzie chemicznym podanym w tablicy II [6]. Aluminium EN AW–1050A stosowane jest w przemyśle energetycznym, budownictwie, przemyśle chemicznym

i spożywczym, do produkcji przedmiotów gospodarstwa domowego, opakowań itp. [7].

Do lutowania miękkiego z aluminium wybrano [8÷10]:

- miedź M1E (wg PN-77/H-82120) w stanie miękkim – 60 HBW 2,5/62,5. Miedź M1E zawiera: 99,90% wag. Cu i ogółem 0,1% dopuszczalnych zanieczyszczeń, w tym 0,001% wag. Bi i 0,005% wag. Pb;
- stal niestopową DC01 (wg PN-EN10130:2009) zawierającą: 0,12% wag. C oraz 0,60% wag. Mn, 0,045% wag. P i 0,045% wag. S, reszta Fe;
- stal kwasoodporną X5CrNi18-10 (wg PN-EN 10088:2007) zawierającą: ≤ 0,07% wag. C, ≤ 1,0% wag. Si, ≤ 2,0% wag. Mn, 0,045% wag. P, ≤ 0,015% wag. S, ≤ 0,11% wag. N, 17,5÷19,5% wag. Cr oraz 8,0 ÷ 10,5% wag. Ni, reszta Fe.

Zwilżalność i rozplýwność lutów cynkowych na badanych podłożach

Próby zwilżalności i rozplýwności lutów Zn–Al przeprowadzono na blaszkach o grubości 0,5 mm i powierzchni 50 x 50 mm. Do prób stosowano luty o masie 0,1 g pocięte na odcinki o długości ok. 1 mm, które następnie pokryto topnikiem o masie równej połowie masy lutu. Bezpośrednio przed próbami podłoża lutowane oczyszczono papierem ściernym o ozn. 400 i odtłuszczono rozpuszczalnikiem Nitro.

Próby zwilżalności i rozplýwności przeprowadzono przez nagrzewanie próbek płomieniem propanowo-powietrznym przy użyciu palnika Bunsena. Próbki umieszczono na siatce pokrytej ceramiką ułożoną na trójnogu i podgrzewano płomieniem od dołu. Od momentu stopienia lutu czas nagrzewania wynosił ok. 5 s [2].

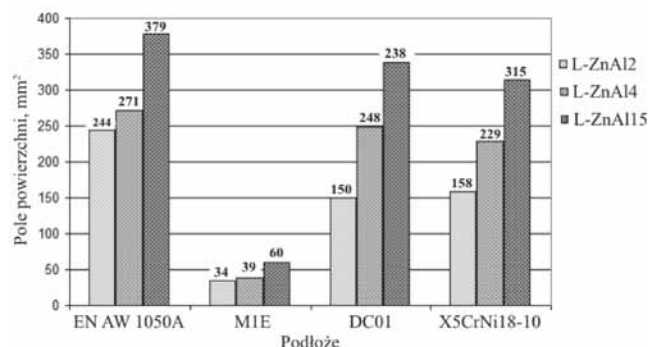
W pomiarach rozplýwności do obliczania pól powierzchni rozplýnięcia się lutów użyto programu optycznego DP – Soft Olympus do obróbki cyfrowej zdjęć z funkcją planimetrowania powierzchni. Wyniki pomiarów rozplýwności lutów Zn–Al na powierzchni badanych metali przedstawiono w tablicy III oraz na rysunku 1. Są to wartości średnie z pięciu pomiarów.

Tablica II. Skład chemiczny aluminium EN AW – 1050A [6]**Table II.** The chemical composition of aluminum grade EN AW–1050A [6]

Oznaczenie		Skład chemiczny, % wag.									
PN	EN	Al min	Fe max	Si max	Zn max	Ti max	Mg max	Mn max	Cu max	Ni max	Inne max
A1	EN AW – 1050A	99,5	0,40	0,25	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03

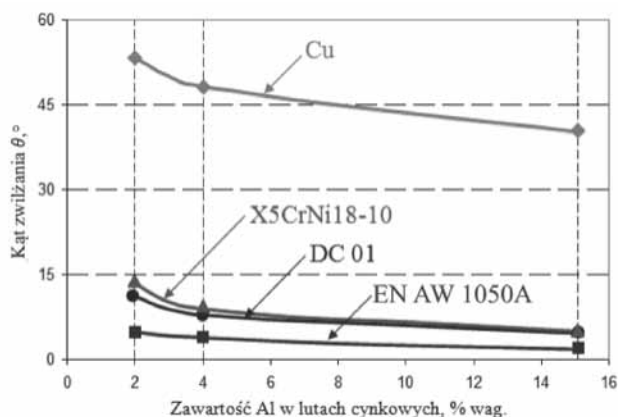
Niezależnie od rodzaju podłoża, na którym przeprowadzono próby, widoczny jest wzrost pól powierzchni rozplywności lutów cynkowych, rosnący wraz ze wzrostem zawartości aluminium w lutcie.

Po dokonaniu pomiarów rozplywności lutów Zn-Al na powierzchni badanych metali, zmierzono kąty zwilżalności. W tym celu próbki przecięto w połowie rozplyniętej kropli lutu i przygotowano zglądy metalograficzne. Sfotografowano je i na tej podstawie określono



Rys. 1. Wyniki próby rozplywności lutów cynkowych na powierzchni badanych metali

Fig. 1. The results of tests surface area of melt zinc solders on the surface of tested metals



Rys. 2. Wpływ zawartości aluminium w lutach cynkowych na zwilżalność badanych podłoży

Fig. 2. The impact of content aluminum in zinc solders on tested substrates wettability

Tablica III. Wyniki prób rozplywności lutów cynkowych na powierzchni badanych metali

Table III. The results of tests surface area of melt zinc solders on the surface of tested metals

Lut	Topnik	Pole powierzchni rozplynięcia się lutu, mm ²			
		aluminium EN AW-1050A	miedź M1E	stal niestopowa DC01	stal stopowa X5CrNi18-10
L-ZnAl2	192 NX	244	34	150	158
L-ZnAl4		271	39	248	229
L-ZnAl15		379	60	338	315

Tablica IV. Wyniki pomiarów zwilżalności lutów cynkowych na badanych podłożach

Table IV. The results of wettability measurements zinc solders on tested substrates

Lut	Topnik	Kąt zwilżania, °			
		aluminium EN AW-1050A	miedź M1E	stal niestopowa DC01	stal stopowa X5CrNi18-10
L-ZnAl2	192 NX	5	59	13	14
L-ZnAl4		4	52	9	10
L-ZnAl15		2	47	6	6

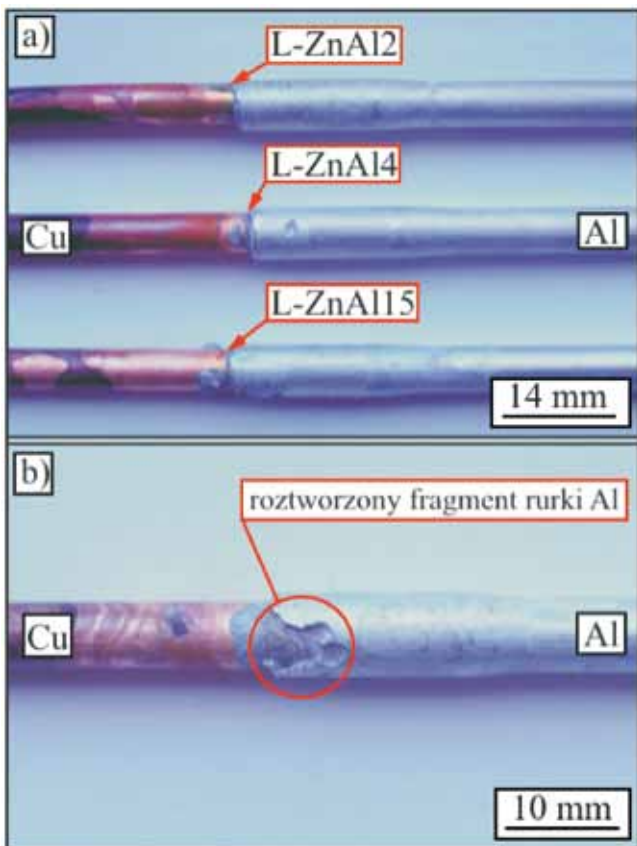
graficznie kąty zwilżania, których wartości zamieszczono w tablicy IV. Są to również wartości średnie z pięciu pomiarów.

Rosnąca zawartość Al w lutach cynkowych wpływa również na poprawę zwilżalności badanych podłoży, niezależnie od ich rodzaju, o czym świadczą malejące wartości kątów zwilżania θ (rys. 2). Zwilżalność aluminium oraz stali niestopowej i kwasoodpornej lutami cynkowymi jest bardzo dobra. Wartość kąta zwilżania w żadnym z przypadków nie przekracza 15°. Znacznie gorsza sytuacja występuje w przypadku podłoża miedzianego, które nie jest zwilżane spoiwami cynkowymi w sposób zadowalający, co może powodować problemy podczas wykonywania połączeń Al-Cu.

Badania metalograficzne i pomiary mikrotwardości

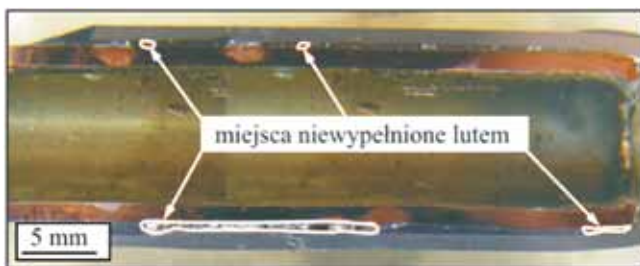
Często stosowane, zwłaszcza w budowie urządzeń chłodniczych, są połączenia rurkowe aluminium z miedzią (rys. 3a). Na rysunku 3 pokazano złącze, w którym w rurkę aluminiową o średnicy 8,0 x 0,9 mm włutowano rurkę miedzianą o średnicy 6,0 x 1,0 mm. Poprawne wykonanie tego typu połączenia przez lutowanie płomieniowe jest w praktyce bardzo trudne. Jest to związane z ograniczoną zwilżalnością miedzi spoiwami cynkowymi, która powoduje znaczne wydłużenie czasu lutowania. Dłuższy czas lutowania powoduje bowiem rozrtwarzanie aluminiowej rurki o grubości ścianki 0,9 mm przez spoiwa cynkowe (rys. 3b).

Z połączeń rurkowych pokazanych na rysunku 3a odcięto złącze lutowane, które następnie przecięto wzdłuż średnicy i przygotowano zglądy metalograficzne. Na rysunku 4 pokazano przekrój poprzeczny złącza lutowanego Al-Cu wykonanego przy użyciu lutu L-ZnAl4. Zaznaczono miejsca niewypełnione lutem, stanowiące poważne zagrożenie dla poprawnego funkcjonowania złącza, głównie dla jego szczelności. Podobna sytuacja występuje w przypadku połączeń wykonanych przy użyciu pozostałych dwóch lutów



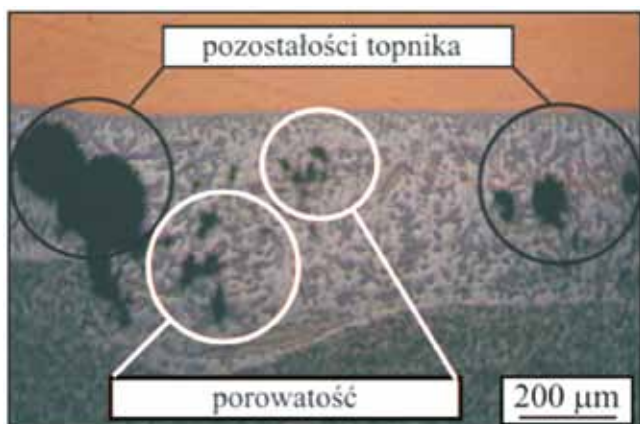
Rys. 3. Połączenia rurkowe Al-Cu wykonane lutami cynkowymi (a) i roztworzony fragment rurki (b)

Fig. 3. Pipe joints Al-Cu made by zinc solders (a) and digest part of pipe (b)



Rys. 4. Makrostruktura połączenia lutowanego Al-Cu wykonanego przy użyciu lutu L-ZnAl4

Fig. 4. Macrostructure soldering joint Al-Cu made using L-ZnAl4 solder



Rys. 5. Niezgodności lutownicze w połączeniu rurkowym Al-Cu wykonanym przy użyciu lutu L-ZnAl4

Fig. 5. Soldering unconformity in tube joint type Al-Cu made using L-ZnAl4 solder

cynkowych: L-ZnAl2 i L-ZnAl15. Jest to prawdopodobnie spowodowane niedostateczną zwilżalnością miedzi spoiwami cynkowymi.

W miejscach wypełnionych lutem stwierdzono również wiele innych niezgodności lutowniczych w lutowninie, takich jak np.: porowatość czy wtrącenia topnikowe (rys. 5).

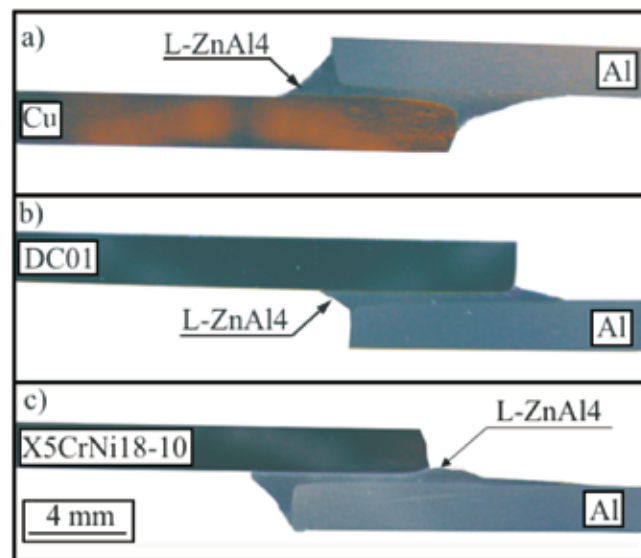
Wykonano również połączenia zakładkowe Al-Cu, Al-DC01 oraz Al-X5CrNi18-10, których przekroje pokazano na rysunku 6. We wszystkich przypadkach na całej długości złącza szczelina lutownicza o szerokości 0,2 mm została wypełniona lutem. Szerokość szczeliny ustalono przy użyciu stalowych drucików dystansowych.

Obserwacjom poddano przede wszystkim strefę pomiędzy lutowniną a lutowanymi materiałami. Na rysunku 7 przedstawiono mikrostruktury połączeń Al-DC01 wykonanych odpowiednio lutami: L-ZnAl2 (a), L-ZnAl4 (b) i L-ZnAl15 (c).

Analizując wyniki badań mikroskopowych, zauważyć można, że wraz ze wzrostem zawartości aluminium w lutach cynkowych wzrasta wielkość ziaren w lutowninie. Może mieć to bezpośredni wpływ na właściwości wytrzymałościowe uzyskanych połączeń lutowanych. Podobna sytuacja ma miejsce także w przypadku połączeń Al-Cu oraz Al-X5CrNi18-10.

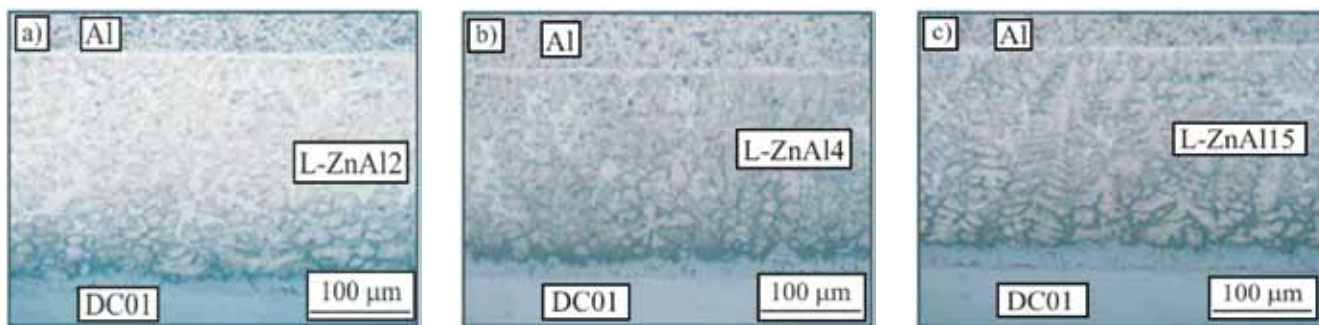
Na przekrojach poprzecznych połączeń lutowanych pokazanych na rysunku 6 dokonano również pomiarów mikrotwardości HV0,025. Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1:2007 Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań. Na rysunku 8 pokazano rozkład mikrotwardości w złączach lutowanych z aluminium.

Badania metalograficzne wykazały, że podczas wykonywania połączeń lutowanych z aluminium, na skutek oddziaływania lutu cynkowego, powierzchnia aluminium ulega roztwarzaniu. Na granicy połączenia

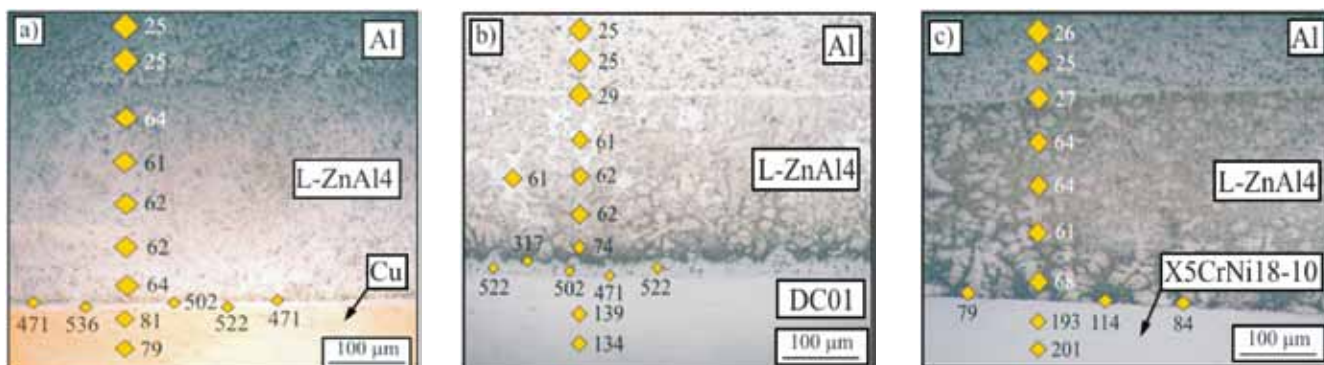


Rys. 6. Złącza zakładkowe: a) Al-Cu, b) Al-DC01, c) Al-X5CrNi18-10, wykonane lutem L-ZnAl4

Fig. 6. Muff joints: a) Al-Cu, b) Al-DC01, c) Al-X5CrNi18-10, made using L-ZnAl4 solder



Rys. 7. Mikrostruktura połączeń Al–DC01 wykonanych lutami: L-ZnAl2 (a), L-ZnAl4 (b) i L-ZnAl15 (c), w stanie nietrawionym
Fig. 7. The microstructure of the joints type Al–DC01 made by solders: L-ZnAl2 (a), L-ZnAl4 (b) and L-ZnAl15 (c), able to not digest



Rys. 8. Rozkład mikrotwardości HV_{0,025} w złączach Al–Cu (a), Al–DC01 (b) i Al–X5CrNi18-10 (c), wykonanych lutem L-ZnAl4
Fig. 8. The distribution of microhardness HV_{0,025} in joints Al–Cu (a), Al–DC01 (b) and Al–X5CrNi18-10 (c), made by L-ZnAl4 solder

lutowny na osnowie Zn z miedzią M1E oraz stałą niestopową DC01 powstaje w lutowninie stosunkowo twarda strefa reakcyjna o szerokości odpowiednio 7÷14 µm i 12÷21 µm, mogąca powodować kruchość połączeń lutowanych. Twardość strefy reakcyjnej na granicy połączenia lutów Zn z miedzią M1E mieści się w zakresie 471÷536 HV_{0,025}, a na granicy ze stałą niestopową w zakresie 317÷522 HV_{0,025}. Strefę reakcyjną mogą stanowić fazy międzymetaliczne z układu: Al–Cu i Al–Fe [11]. Identyfikacja faz wymaga jednak przeprowadzenia analizy XRD metodą dyfrakcji rentgenowskiej.

Na granicy połączenia lutów ze stałą kwasoodporną X5CrNi18-10 nie stwierdzono występowania strefy reakcyjnej.

Statyczna próba ścinania połączeń różnoimiennych

Do statycznej próby ścinania złączy lutowanych przygotowano próbki przedstawione na rysunku 9. Złącza wykonano przez nagrzewanie płomieniem propanowo-powietrznym, przy użyciu lutów L-ZnAl2, L-ZnAl4 i L-ZnAl15.

Szerokość zakładki wynosiła 5,0 mm, złącza ścinało w uchwycie z wkładkami dystansowymi, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej firmy Instron, model 3369. Prędkość przesuwu belki poprzecznej maszyny

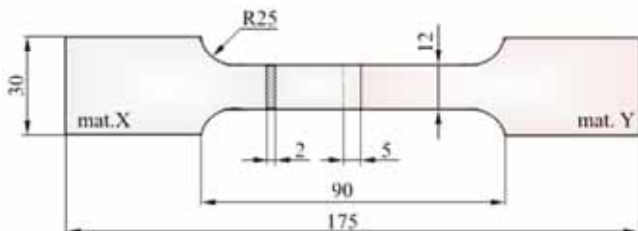
wynosiła 0,2 cm/min, a zakres obciążeń do 50 kN. Wykonano trzy rodzaje różnoimiennych połączeń lutowanych: Al–Cu, Al–DC01 oraz Al–X5CrNi18-10 – po pięć próbek dla każdego rodzaju lutu.

Połączenia Al–Cu charakteryzowały się stosunkowo małą wytrzymałością na ścinanie. W żadnym z przypadków niezależnie od zastosowanego rodzaju lutu wytrzymałość połączeń Al–Cu nie przekraczała 30 MPa. Charakter złomu po przeprowadzonych próbach wskazywał na zniszczenie adhezyjne złącza od strony miedzi (oderwanie się lutu od miedzi) (rys. 10). Jest to spowodowane występowaniem faz międzymetalicznych na granicy połączenia miedzi z lutownią oraz niezadowalającą zwilżalnością miedzi lutami cynkowymi.

Żeby określić wytrzymałość połączeń Al–DC01, należało zmniejszyć o połowę szerokość zakładki, ponieważ przy szerokości zakładki wynoszącej 5,0 mm zerwanie połączenia następowało w strefie wpływu ciepła w aluminium (rys. 11). W wyniku termicznego oddziaływania płomienia propanowo-powietrznego podczas lutowania nastąpił 25% spadek wytrzymałości na rozciąganie aluminium EN–AW 1050A z ok. 100 MPa do 75 MPa.

Zmniejszenie o połowę szerokości zakładki pozwoliło na określenie wytrzymałości połączeń lutowanych Al–DC01, których wytrzymałość w zależności od rodzaju zastosowanego lutu mieści się w zakresie 42÷50 MPa. Jest ona niespełna dwukrotnie większa niż w przypadku połączeń lutowanych Al–Cu, pomimo

iz na granicy połączenia lutownicy z obydwo ma meta- lami tworzy się strefa reakcyjna o zbliżonej twardości. Niemal dwukrotnie większa wytrzymałość połączeń Al-DC01 w porównaniu z wytrzymałością połączeń Al-Cu może zatem wynikać ze znacznie lepszych właściwości lutowniczych, takich jak zwilżalność i rozplýwność lutów cynkowych na powierzchni stali niestopowej DC01 w porównaniu do zwilżalności i rozplýwności lutów Zn na powierzchni miedzi M1E. W przypadku połączeń Al-DC01 charakter złomu



Rys. 9. Kształt i wymiary złącza zakładkowego do statycznej próby ścinania

Fig. 9. The shape and dimensions of the muff joint to the static cutting test



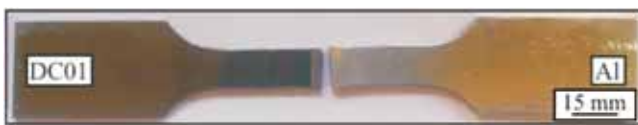
Rys. 10. Przykładowy złom po statycznej próbie ścinania złącza zakładkowego typu Al-L-ZnAl4-Cu

Fig. 10. An example of scrap after static attempt cutting muff joints type Al-L-ZnAl4-Cu



Rys. 11. Zniszczenie złącza zakładkowego Al-DC01 w przypadku zbyt dużej szerokości zakładki wynoszącej 5,0 mm

Fig. 11. The destruction of muff joint Al-DC01 in the case of too much width of the solder slit amount to 5,0 mm



Rys. 12. Przykładowy złom po statycznej próbie ścinania złącza zakładkowego typu Al-L-ZnAl4-DC01

Fig. 12. An example of scrap after static attempt cutting muff joints type Al-L-ZnAl4-DC01

Wnioski

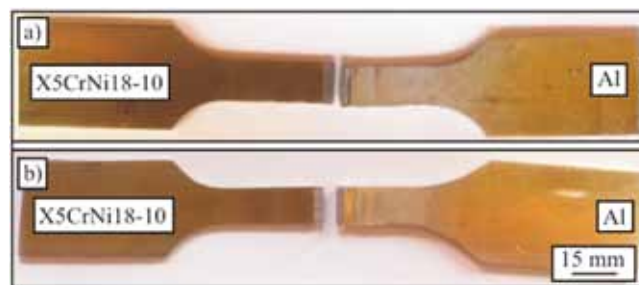
Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- zwilżalność lutami cynkowymi aluminium, stali stopowej i kwasoodpornej jest bardzo dobra, o czym świadczą małe wartości kątów zwilżania nieprzekraczające 15°;

otrzymanego po próbach wytrzymałości na ścinanie był również adhezyjny, dekohezja występowała po stronie stali (rys. 12).

W przypadku połączeń Al-X5CrNi18-10 pomimo zmniejszenia szerokości zakładki o połowę do 2,5 mm nie można było ustalić wytrzymałości złącza lutowanego, ze względu na brak strefy reakcyjnej na granicy połączenia stali kwasoodpornej z lutownicą zerwanie złącza następowało w aluminium w strefie wpływu ciepła. W celu ustalenia wytrzymałości połączenia zmniejszono szerokość zakładki z 2,5 mm do 2,0 mm. W przypadku połączeń wykonanych lutami L-ZnAl2 i L-ZnAl4 wytrzymałość połączeń lutowanych z Al mieściła się w zakresie 52+58 MPa, a zniszczenie złącza miało charakter adhezyjny (rys. 13a). Natomiast wytrzymałość połączeń wykonanych przy użyciu lutu L-ZnAl15 wynosiła niespełna 65 MPa, a zniszczenie połączenia występowało na skutek dekohezji lutownicy (rys. 13b).

Wyniki statycznej próby ścinania przedstawiono w tabelicy V. Są to wartości średnie z 5 pomiarów.



Rys. 13. Przykładowy złom po statycznej próbie ścinania złącza zakładkowego typu Al-L-ZnAl4-X5CrNi18-10 (a) i Al-L-ZnAl15-X5CrNi18-10 (b)

Fig. 13. An example of scrap after static attempt cutting muff joints type Al-L-ZnAl4-X5CrNi18-10 (a) and Al-L-ZnAl15-X5CrNi18-10 (b)

Tabela V. Wyniki statycznej próby ścinania złącza zakładkowych, wykonanych przy szerokości szczeliny 0,2 mm

Table V. The results of the static cutting of the opposite muff joints, made with width of solder slit 0,2 mm

Lut	Wytrzymałość na ścinanie R_t , MPa		
	Al-M1E	Al-DC01	Al-X5CrNi18-10
L-ZnAl2	22,0	41,3	52,4
L-ZnAl4	24,6	44,8	57,8
L-ZnAl15	27,4	48,7	64,6

- miedź M1E ma ograniczoną zwilżalność lutami cynkowymi, co powoduje problemy z wypełnieniem szczeliny lutowniczej podczas wykonywania rurkowych połączeń typu Al-Cu;
- wraz ze wzrostem zawartości Al w lutach Zn wzrasta wielkość ziaren w lutownicy;

- na granicy połączenia lutów cynkowych z miedzią M1E i stalą DC01 tworzą się twarde strefy reakcyjne mogące powodować kruchość połączeń lutowanych;
- wytrzymałość na ścinanie połączeń Al-Cu jest niespełna dwukrotnie mniejsza od wytrzymałości połączeń Al-DC01, pomimo iż na granicy połączenia pomiędzy tymi metalami a lutownicą tworzą się strefy reakcyjne o zbliżonej twardości;
- wytrzymałość na ścinanie połączeń Al-X5Cr-Ni18-10 wykonanych przy użyciu lutu L-ZnAl15 jest największa spośród badanych połączeń, a dekohezja występuje w lutowninie.

Literatura

- [1] Mirski Z., Granat K., Drzeniek H., Piwowarczyk T., Wojdat T.: Lutowanie miękkie aluminium z miedzią, Przegląd Spawalnictwa, nr 11/2009, s. 15-19.
- [2] Mirski Z., Granat K., Drzeniek H., Piwowarczyk T., Wojdat T.: Badanie zwilżalności lutów cynkowych na powierzchni aluminium i innych metali, Przegląd Spawalnictwa, nr 9/2010, s. 48-53.
- [3] Pocica A., Nowak A.: Technologia lutowania aluminium z miedzią, Spajanie, nr 1/2005, s. 9-12.
- [4] Pilarczyk J.: Poradnik inżyniera, Spawalnictwo, Tom 2, WNT, Warszawa 2005.
- [5] PN EN ISO 3677:2007 Spoiwa do lutowania miękkiego, twardego i lutospawania – Oznaczenie.
- [6] PN EN 573-3:2010 Aluminium i stopy aluminium – Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie – Część 3: Skład chemiczny i rodzaje wyrobów.
- [7] www.metale-kolorowe.eu
- [8] PN-77/H-82120 Miedź – Gatunki.
- [9] PN EN10130:2009 Wyroby płaskie walcowane na zimno ze stali niskowęglowych do obróbki plastycznej na zimno – Warunki techniczne dostawy.
- [10] PN EN 10088:2007 Stale odporne na korozję – Część 1: Gatunki stali odpornej na korozję.
- [11] Sękowski K., Piaskowski J., Wojtowicz Z.: Atlas struktur znormalizowanych stopów odlewniczych, WNT, Warszawa 1972.
- [12] www.castolin.com

Rapid Weld

Wysokowydajny proces spawania materiałów o dużych grubościach

qineo



Blachy o grubości 8 i 10 mm połączone w procesie Rapid Weld

Urządzenia serii Qineo oferują szeroką gamę procesów pozwalających na wysokowydajne, powtarzalne i precyzyjne spawanie. Proces Rapid Weld wykorzystywany jest, gdy wymagane są duże wartości stopienia i optymalne głębokości penetracji, przy wysokich prędkościach spawania. Jest szczególnie polecany w sektorach, takich jak przemysł ciężkich konstrukcji stalowych, przemysł stoczniowy i budowa zbiorników.

CLOOS
Polska

Cloos Polska Sp. z o.o., ul. Stawki 5, 58-100 Świdnica, tel: (74) 851 86 60, fax (74) 851 06 61
Internet: www.cloos.pl, e-mail: firma@cloos.pl