

Wpływ obróbki powierzchniowej na lutowność stali 410

The influence of surface treatment on the brazeability of the 410 steel

Streszczenie

W pracy określono wpływ obróbki powierzchniowej stali 410 na lutowność przy zastosowaniu lutu na bazie miedzi. Do przygotowania powierzchni wybrano kilka metod: odtłuszczenie, trawienie, szlifowanie, obróbkę strumieniowo-ścierną, niklowanie oraz NicroBlasting®. Lutowność oceniano na podstawie wyników badań rozpląwności lutowia na podłożu stalowym. Dodatkowo zbadano wpływ obróbki powierzchniowej na lutowność odlewów stalowych 410 miedzianym. Przeprowadzono badania na mikroskopie skaningowym oraz wykonano analizę EDS rozkładu pierwiastków w złączu.

Słowa kluczowe: lutowność; rozpląwność; lutowanie twarde; lutowanie stali 410

Abstract

The influence of the surface treatment of steel 410 on brazeability using filler metal based on copper has been determined in this paper. For surface preparation there have been chosen several methods: degreasing, etching, sanding, abrasive blasting, nickel electroplating and NicroBlasting®. Brazeability was evaluated on the basis of the flowability test results on steel surface. In addition, the influence of the surface treatment on the brazeability of steel 410 castings brazed using copper filler metal was investigated. Studies on the scanning electron microscope and EDS analysis of the distribution of elements in the joint were carried out.

Keywords: brazeability; flowability; brazing; the 410 steel brazing

Wstęp

Lutowność to zespół cech decydujący o przydatności oraz podatności materiału na lutowanie. Do jej oceny wykorzystywane są m.in. badania zwilżalności oraz rozpląwności.

Zwilżalność dotyczy zdolności ciekłego lutu do pokrywania materiału rodzimego cienką i nieprzerwaną warstwą. Miarą zwilżalności jest tzw. kąt zwilżania, czyli kąt jaki tworzy powierzchnia lutowiny z powierzchnią materiału rodzimego. Im kąt zwilżania jest mniejszy, tym lepsza jest zwilżalność. Ze zjawiskiem zwilżania związana jest rozpląwność, mierzona jest jako pole powierzchni, na jakie rozpląwa się lutowie [1,2].

Lutowność bezpośrednio wpływa na sprawność procesu produkcyjnego oraz na jakość gotowych wyrobów. Znajomość czynników zewnętrznych oraz parametrów technologicznych wpływających na lutowność pomaga w kontrolowaniu procesu produkcyjnego, pozwala na zwiększanie jego wydajności oraz na obniżanie kosztów.

Jednym z czynników wpływających na lutowność jest stan powierzchni materiału rodzimego. Zastosowanie różnego rodzaju obróbek powierzchniowych pozwala na zwiększenie zwilżalności i rozpląwności lutowia, co niekiedy jest warunkiem koniecznym do poprawnego przeprowadzenia procesu lutowania.

Cel badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu obróbki powierzchniowej stali 410 na rozpląwność lutu

na bazie miedzi. Przeprowadzono także badania mające na celu określenie wpływu obróbki powierzchni na lutowność odlewów stalowych 410 lutem miedzianym.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań była martenzytyczna stal nierdzewna 410 (wg EN 1.4006). Skład chemiczny stali przedstawiono w tabelicy I. Tego gatunku stal jest stosowana do produkcji m.in. zaworów, części pras hydraulicznych, łopatek turbin parowych, części pomp, urządzeń dla przemysłu naftowego i petrochemicznego.

Do badań rozpląwności wybrano lut na bazie miedzi w postaci pasty. Pasty lutownicza składała się z proszku miedzi oraz lepiszcza. Lut zawierał 99,9 % Cu. Temperatura solidus i likwidus wynosiła 1083 °C [4].

Do przeprowadzenia badań rozpląwności zastosowano stalowe płytki o wymiarach 25x25 mm i grubości 0,6 mm, których powierzchnie poddano przygotowaniu różnymi metodami. Zastosowano odtłuszczenie elektrochemiczne w ciekłym roztworze alkalicznym, trawienie roztworem kwasu chlorowodorowego, niklowanie galwaniczne, szlifowanie na papierze ściernym o różnej ziarnistości (120 oraz 240 µm), obróbkę strumieniowo-ścierną luźnym ścierniwem SiC o ziarnistości 120 µm, a także obróbkę kuleczkowania kulami niklowymi – NicroBlasting®. Na przygotowaną powierzchnię stali 410 nakładano taką samą ilość lutu w postaci pasty, a następnie przeprowadzono proces natapiania.

Dr hab. inż. Tomasz Babul, prof. IMP; mgr inż. Adam Kondej; mgr inż. Stefan Kowalski; mgr inż. Michał Baranowski; mgr inż. Konrad Lankiewicz – Instytut Mechaniki Precyzyjnej.

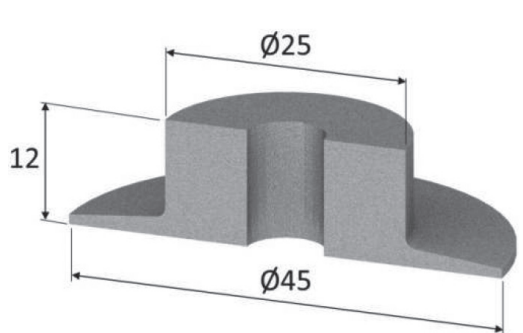
Autor korespondencyjny/Corresponding author: adam.kondej@imp.edu.pl

Tablica I. Skład chemiczny stali 410 [3]

Table I. The chemical composition of the steel 410 [3]

Skład chemiczny [% wag.]						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,09÷0,15	≤0,80	≤0,80	0,04	0,03	12,0÷14,0	≤0,60

W ramach pracy przeprowadzono także badania wpływu obróbki powierzchni odlewów stalowych 410 (rys.1) na lutowość lutem Cu w postaci folii. Wykonano dwa rodzaje próbek. W pierwszym rodzaju powierzchnie odlewów przed lutowaniem przeszlifowano na papierze ściernym. W drugim powierzchnie przed lutowaniem nie zostały obrabiane (stan surowy).



Rys. 1. Odlew stalowy 410, geometria oraz wymiary zewnętrzne
Fig. 1. The 410 cast steel, the geometry and external dimensions

Parametry procesu

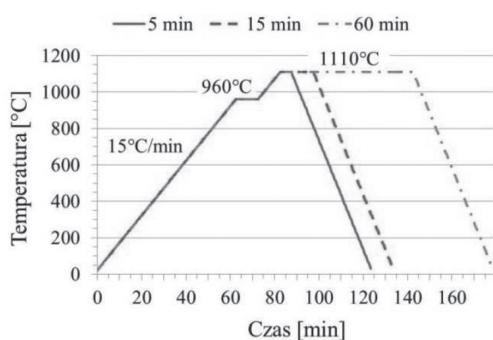
Próby rozpląwności przeprowadzono w piecu próżniowym. Temperatura natapiania wynosiła 1110 °C, wsad nagrzewano z szybkością 15 °C/min, natomiast wielkość próżni wynosiła 10⁻² Pa. Zastosowano trzy czasy natapiania: t₁=5 min, t₂=15 min, t₃=60 min.

Chłodzenie odbywało się razem z piecem. Wykres zmian temperatury w czasie przedstawiono na rysunku 2.

Parametry lutowania odlewów stalowych 410 lutem Cu w postaci folii były takie jak w próbach rozpląwności miedzi oraz zgodne z charakterystyką przedstawioną na rysunku 2, przy czym czas procesu lutowania wynosił 10 minut.

Metodyka badań

Powierzchnie lutowni obserwowano na mikroskopie stereoskopowym Olympus SZX9 przy powiększeniu 6,3x. Obrazy zapisywano cyfrowo, następnie za pomocą programu AnalySIS mierzono pole powierzchni lutowni.



Rys. 2. Wykres zmian temperatury w czasie dla procesu natapiania stali 410 lutem Cu

Fig. 2. The graph of temperature changes during the soaking process of the 410 steel using Cu filler metal

W celu określenia jakości połączenia lutowni z podłożem wykonano zglądy metalograficzne, które poddano obserwacjom na mikroskopie świetlnym. Dla wybranych lutowni Cu wykonano zdjęcia na mikroskopie skaningowym JEOL JSM-7600F oraz przeprowadzono analizę EDS.

W badaniach złączy odlewów stalowych 410 lutowanych folią przeprowadzono obserwacje na mikroskopie skaningowym przy różnych powiększeniach, dokonano liniowego i powierzchniowego rozkładu pierwiastków oraz analizę ilościową pierwiastków w mikroobszarach.

Wyniki badań

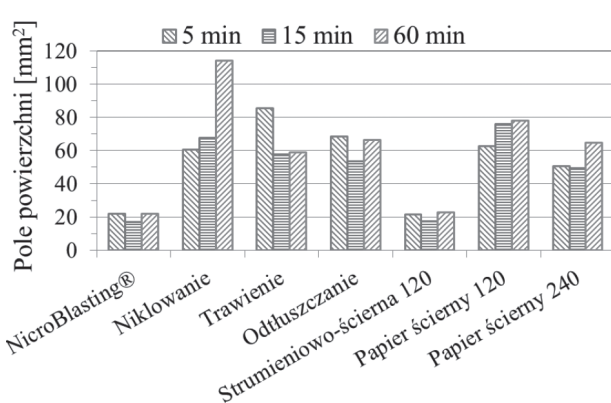
Badania rozpląwności lutu Cu na stali 410

Zdjęcia lutowni Cu otrzymanych dla poszczególnych wariantów obróbki powierzchniowej oraz czasów natapiania przedstawiono w tablicy II.

Tablica II. Rozpląwność lutu Cu na powierzchni stali 410 poddanej przygotowaniu różnymi metodami – zdjęcia poszczególnych lutowni
Table II. The flowability of the Cu on the 410 steel's surface after preparation using various methods - pictures of individual brazes

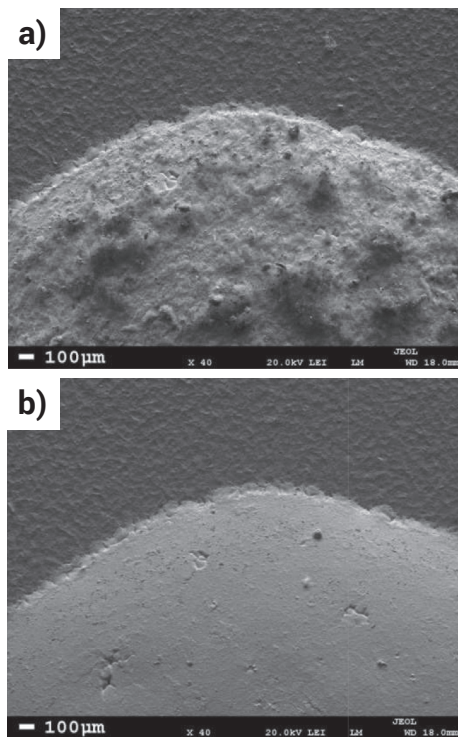
Rodzaj obróbki powierzchniowej	Czas natapiania		
	5 min	15 min	60 min
NicroBlasting®			
Niklowanie			
Trawienie			
Odtłuszczenie			
Strumieniowo-ścierna 120			
Papier ścierny 120			
Papier ścierny 240			

Na wykresie kolumnowym (rys. 3) przedstawiono wpływ rodzaju obróbki powierzchniowej oraz czasu natapiania na rozptylność lutowia Cu. Najlepsze wyniki uzyskano dla niklowania galwanicznego, natomiast najgorsze dla obróbki strumieniowo- ściernej oraz NicroBlasting®. Różnica w polu powierzchni lutownicy między niklowaniem a obróbką NicroBlasting® wynosiła 92,39 mm² (wzrost rozptylności o około 81%) dla czasu natapiania 60 minut. Dla krótszych czasów natapiania lutu Cu najlepsze wyniki rozptylności odnotowano dla innych metod obróbki. Dla czasu 5 minut najkorzystniejszą metodą przygotowania powierzchni było trawienie, natomiast dla czasu 15 minut szlifowanie na papierze ściernym o ziarnistości 120 µm.

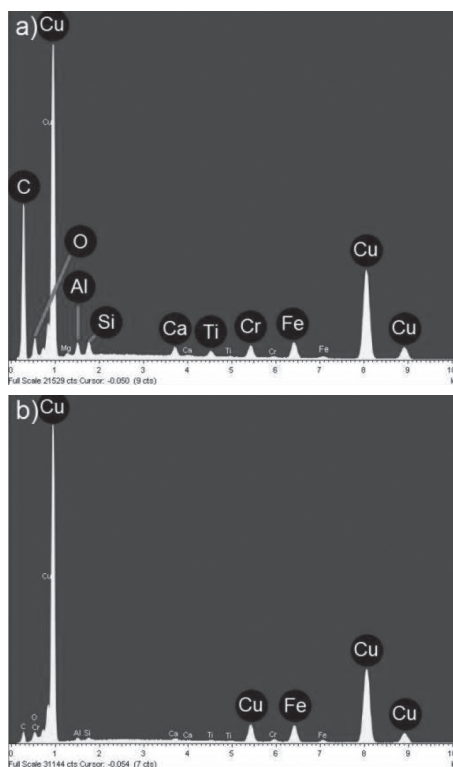


Rys. 3. Wykres zależności rozptylności lutu Cu na powierzchni stali 410 od rodzaju obróbki powierzchniowej oraz czasu natapiania
Fig. 3. The graph of dependency between the Cu flowability on the 410 steel's surface and the type of surface treatment as well as the soaking time

Na powierzchni lutownicy Cu zaobserwowano ciemne zanieczyszczenia. Przeprowadzone badania skaningowe (rys. 4 i 5) wykazują, że na powierzchni lutownicy osadził się węgiel.



Rys. 4. Widok powierzchni lutownicy Cu: a) powierzchnia z widocznym proszkiem węgla, b) powierzchnia po przetarciu, bez proszku węgla
Fig. 4. The view of the Cu braze surface: a) surface with visible carbon powder, b) the surface after wiping, without carbon powder

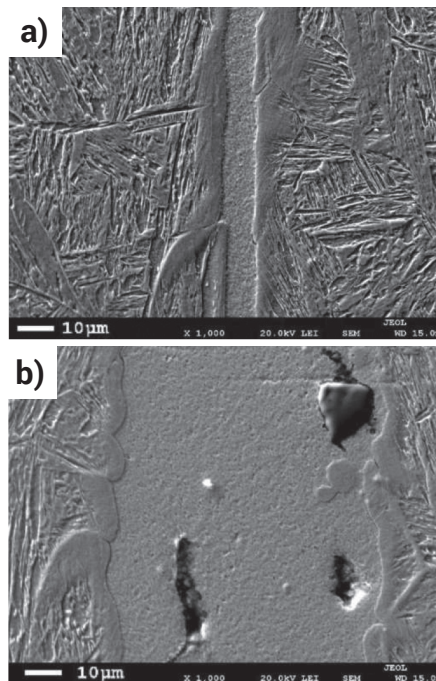


Rys. 5. Widma EDS z analizy powierzchni lutownicy Cu: a) widmo EDS z powierzchni pokrytej proszkiem węgla, b) widmo EDS z czystej powierzchni, bez proszku węgla

Fig. 5. EDS spectra of the analysis of Cu braze surface: a) EDS spectrum of the surface coated with carbon powder, b) EDS spectrum of the pure surface without carbon powder

Lutowanie miedzią odlewów stalowych 410

Na rysunku 6a przedstawiono obraz SEI (Secondary Electron Image) złącza odlewów stalowych 410, których powierzchnie przed lutowaniem lutem Cu zostały przeszlifowane.



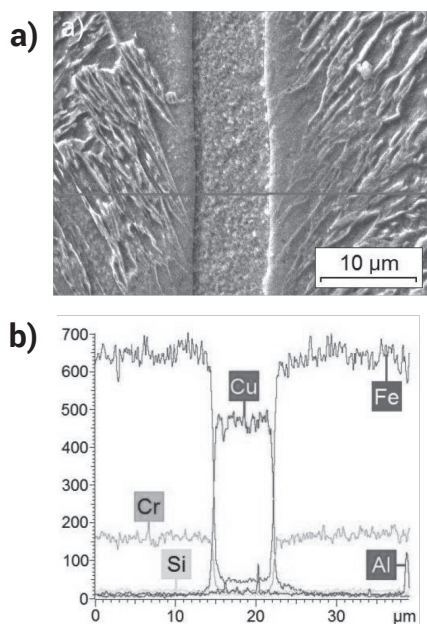
Rys. 6. Obraz SEI złącza odlewów stalowych 410, których powierzchnie przed lutowaniem lutem Cu: a) zostały przeszlifowane, b) nie zostały poddane obróbce powierzchniowej

Fig. 6. The SEI image of the joint of 410 steel's castings: a) which had their surfaces sanded before brazing using Cu filler metal, b) which didn't have any surface treatment

Widoczne jest całkowite wypełnienie szczeliny lutowniczej oraz brak niezgodności w postaci pustek, wtrąceń. Wielkość szczeliny lutowniczej wynosiła około 10 μm .

Na rysunku 6b przedstawiono obraz SEI złącza odlewów, których powierzchnie przed lutowaniem były w stanie surowym. Widoczne jest całkowite wypełnienie szczeliny lutowniczej, przy czym w lutownicy występują niezgodności. Wielkość szczeliny lutowniczej wynosiła około 68 μm i jest niemal siedmiokrotnie większa niż w przypadku złącza, w którym powierzchnie odlewów przed lutowaniem zostały przeszlifowane.

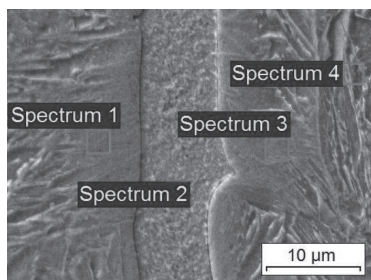
Dla złącza odlewów poddanych obróbce powierzchniowej wykonano liniowy rozkład pierwiastków na granicy staliwo 410-Cu-staliwo 410 (rys. 7a). Wyniki przedstawiono na wykresie liniowym (rys. 7b).



Rys. 7. Obraz SEI złącza odlewów stalowych 410, których powierzchnie przed lutowaniem lutem Cu zostały przeszlifowane, z zaznaczoną linią mikroanalizy EDS (a) oraz rozkładami liniowymi pierwiastków (b)

Fig. 7. The SEI image of the joint of 410 steel castings, which had their surfaces sanded before brazing using Cu filler metal, with the marked microanalysis EDS line (a) and linear distributions of elements (b)

Ilościowa analiza pierwiastków w mikroobszarach potwierdziła, iż lutownina Cu jest wolna od zanieczyszczeń i wtrąceń. Niewielkie ilości innych pierwiastków w lutownicy wynikają z dyfuzyjnego charakteru połączenia. Na rysunku 8 zamieszczono obraz SEI z zaznaczonymi obszarami wykonywanych analiz ilościowych, natomiast w tabelicy III przedstawiono wyniki.



Rys. 8. Obraz SEI granicy staliwo 410-Cu-staliwo 410 z zaznaczonymi obszarami wykonywanych analiz ilościowych. Złącze odlewów stalowych 410, których powierzchnie zostały przeszlifowane przed lutowaniem

Fig. 8. The SEI image of the 410 cast steel-Cu-410 cast steel boundary with the marked areas of EDS analysis. The joint of 410 steel castings, which had their surfaces sanded before brazing

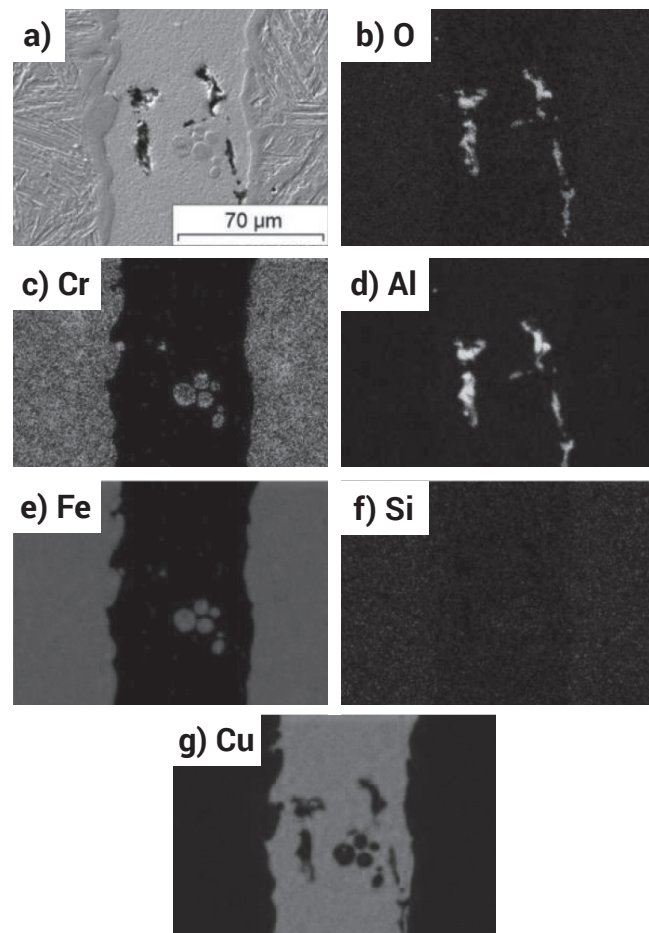
Tablica III. Wyniki mikroanalizy ilościowej dla obszarów zaznaczonych na rysunku 8 (w % wag.)

Table III. Results of quantitative microanalysis for the areas marked in figure 8 (in wt.%)

	Al	Si	Cr	Fe	Cu
Spectrum 1	0,25	0,76	12,37	84,04	2,58
Spectrum 2	1,67	-	0,64	4,09	93,60
Spectrum 3	-	0,72	12,28	85,15	1,85
Spectrum 4	0,29	0,75	12,55	86,42	-

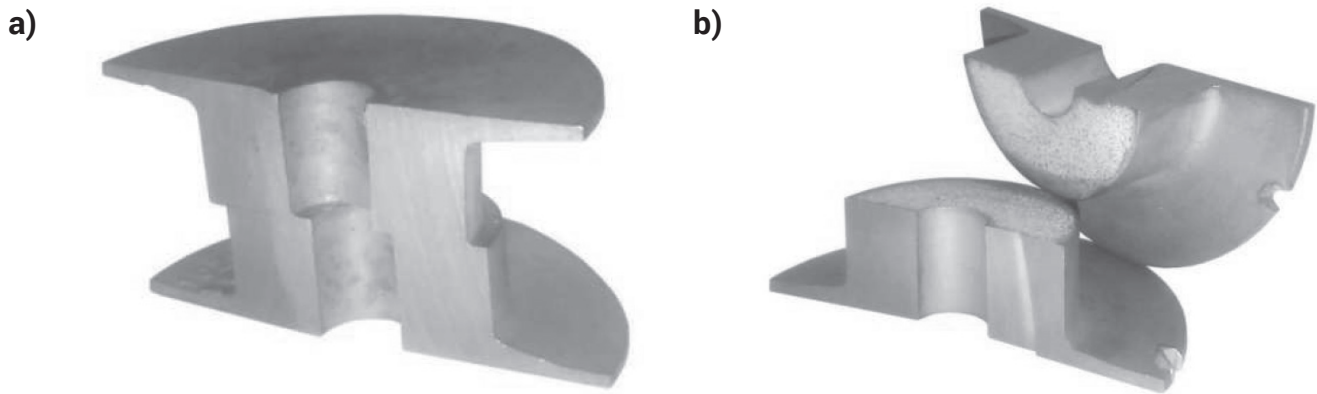
Rysunek 9 zawiera rozkłady powierzchniowe pierwiastków na granicy staliwo 410-Cu-staliwo 410 dla złącza odlewów, których powierzchnie przed lutowaniem były w stanie surowym. Obrazy wskazują na obecność w lutownicy miedzianej faz zawierających takie pierwiastki jak tlen, chrom, glin oraz żelazo. Jasne, sferyczne, obszary (widoczne na rys. 6b) są bogate w chrom i żelazo. Ciemne, podłużne obszary (rys. 9a i 10a) posiadają dużą zawartość glinu oraz tlenu, co potwierdziły również wyniki liniowej mikroanalizy EDS (rys. 10b).

Na rysunku 11 przedstawiono złącza odlewów po próbie udarowości, która polegała na uderzeniu złącza obciążnikiem. Złącze z odlewów, których powierzchnie przeszlifowano wykazało wytrzymałość i odporność na uderzenie (rys. 11a). Natomiast złącze, w którym powierzchnie odlewów były w stanie surowym zostało zniszczone – nastąpiło całkowite rozdzielenie elementów łączonych (rys. 11b).



Rys. 9. Obraz SEI złącza odlewów stalowych 410, których powierzchnie przed lutowaniem lutem Cu nie zostały poddane obróbce powierzchniowej (a) oraz rozkłady powierzchniowe pierwiastków (b-g)

Fig. 9. The SEI image of the joint of 410 steel castings, which didn't have any surface treatment before brazing using Cu filler metal (a) and surface distributions of the elements (b-g)



Rys. 10. Zlutowane odlewy ze stali 410 po próbie udarnościowej: a) odlewy, których powierzchnie przed lutowaniem przeszlifowano, b) odlewy, których powierzchnie przed lutowaniem nie zostały poddane obróbce powierzchniowej
Fig. 10. Brazed 410 steel castings after impact test: a) castings, which had their surfaces sanded before brazing, b) castings, which didn't have any surface treatment before brazing

Podsumowanie

Badania rozpląwności lutu Cu na stali 410 ujawniły, że dla różnych czasów natapiania miedzi najlepsze wyniki uzyskano dla różnych metod przygotowania powierzchni. Dla najkrótszego czasu (5 minut) najskuteczniejszą metodą było trawienie powierzchni stali. Dla czasu 15 minut największe pole powierzchni lutownicy odnotowano dla próbki poddanej szlifowaniu na papierze ściernym o ziarnistości 120 μm . Dla najdłuższego czasu natapiania (60 minut) najlepsze wyniki otrzymano dla próbki po niklowaniu galwanicznym. Największą rozpląwność uzyskano dla próbki niklowanej po natapianiu pastą Cu przez 60 minut. Dla tego przypadku odnotowano wzrost pola powierzchni lutownicy o około 81% w stosunku do najgorszego wyniku.

W badaniach rozpląwności miedzi na powierzchni stali 410 zaobserwowano na powierzchni lutownicze zanieczyszczenia, które zostały zidentyfikowane jako węgiel. Jest to prawdopodobnie produkt reakcji wypalania lepiszcza, wchodzącego w skład zastosowanej pasty miedzianej.

Lutowność decyduje o możliwości uzyskania połączenia o wymaganych właściwościach przy zastosowaniu danej metody oraz spoiwa. Wpływa ona także na jakość gotowych wyrobów, np. na wytrzymałość złącza. Złącze odlewów stalowych 410, których powierzchnie zostały przygotowane przed lutowaniem wykazało odporność na uderzenia. Natomiast złącze odlewów, których powierzchnie były w stanie surowym zostało w próbie udarnościowej zniszczone. W tym przypadku obróbka powierzchni, polegająca na szlifowaniu na papierze ściernym, spowodowała zmniejszenie chropowatości powierzchni odlewów (a tym samym wpłynęła na zmniejszenie szczeliny lutowniczej) oraz usunięcie zanieczyszczeń. W wyniku tego uzyskano złącze o dobrej jakości i wymaganej wytrzymałości.

Artykuł powstał na podstawie wyników badań wykonanych w ramach projektu PBS pt. „Opracowanie wzorcowych technologii dla procesów lutowania próżniowego stali wysokostopowych i superstopów niklu lutami na bazie Ni oraz Cu części stosowanych w silnikach lotniczych” finansowanego przez NCBiR.

Literatura

- [1] Lankiewicz K., Baranowski M., Babul T., Kowalski S.: „The Study of the Impact of Surface Preparation Methods of Inconel 625 and 718 Nickel-Base Alloys on Wettability by BNi-2 and BNi-3 Brazing Filler Metals”, Archives of Metallurgy and Materials, Volume 60, Issue 1, 2015, s. 159-165.
- [2] Baranowski M., Jakubowski J.: „Lutowność wybranych nadstopów niklu”, Przegląd Spawalnictwa, vol. 86, nr 7, 2014, str. 3-8.
- [3] www.askotech.com.pl
- [4] www.aimtek.com