

ZGRZEWANIE ULTRADŹWIĘKOWE BLACH ZE STOPU ALUMINIUM EN AW 5251

Beata Rams
Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa

Wprowadzenie

W procesie zgrzewania ultradźwiękowego do nagrzewania i uplastycznienia elementów łączonych wykorzystuje się energię drgań ultradźwiękowych. Metoda ta pozwala na łączenie metali i ich stopów, również takich, które uważane są za trudnospawalne lub niespawalne. Szczególnie korzystne jest zastosowanie zgrzewania ultradźwiękowego do łączenia materiałów wymagających zastosowania dużych energii w przypadku zgrzewania rezystancyjnego, jak np. aluminium, miedzi i ich stopów.

Jest to metoda łączenia w stanie stałym, w którym proces prowadzony jest w stosunkowo niskiej temperaturze, w obszarze zgrzniętym nie zachodzą duże zmiany fizykochemiczne metalu. Utworzona strefa wpływu ciepła jest bardzo wąska. Drobnonaziernista struktura, zgrzewiny powstała na skutek tarcia i plastycznego odkształcania, poprawia jej własności mechaniczne i plastyczne.

Podczas zgrzewania ultradźwiękowego metali występują posuwisto-zwrotne przemieszczenia materiałów w miejscu zetknięcia sonotrody z górnym elementem, między elementami oraz między elementem dolnym a kowadłkiem. Przy zetknięciu plastycznych powierzchni kowadłka z ciepłem, którego wielkość zależy od: energii mechanicznej zgrzewania, amplitudy i częstotliwości drgań sonotrody, czasu zgrzewania oraz stanu przygotowania powierzchni łączonych elementów.

Najbardziej korzystne z punktu widzenia jakości tworzonego złącza i energochłonności procesu są takie warunki zgrzewania, przy których dostarczona energia zamieniana jest na ciepło w obszarze styku łączonych elementów, czyli w miejscu tworzenia się zgrzniętym. Natomiast bardzo niekorzystne jest kumulowanie się ciepła w obszarze styku sonotroda-materiał oraz materiał-kowadełko, ze względu na adhezyjne przyleganie materiałów zgrzewanych do ich powierzchni, co powoduje utrudnienie w prowadzeniu prawidłowego procesu zgrzewania oraz zakłócenie w płynności produkcji, a uzyskiwane połączenia są niskiej i niewystarczającej jakości.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na stanowisku do zgrzewania ultradźwiękowego metali, znajdującym się w Łukasiewicz - Instytucie Spawalnictwa – rysunek 1, wyposażonego w generator ultradźwiękowy SE-4020 firmy Sirius Electric o częstotliwości drgań 20 kHz i mocy 4 kW oraz sonotrodę o powierzchni roboczej 6 mm x 8 mm. Badania prowadzono na próbkach aluminiowych o wymiarach 100 x 10 mm ze stopu EN AW 5251 o grubościach 1,0 mm i 2,0 mm, zgrzewanych punktowo na zakładkę.

W celu zapewnienia powtarzalnych warunków zgrzewania z powierzchni próbek usunięto warstw tlenków przez szlifowanie mechaniczne. W celach porównawczych wykonano także złącza na próbkach nieszlifowanych.

Badania były prowadzone w następującym zakresie parametrów zgrzewania: amplituda drgań sonotrody (A): 12 - 20 μm, siła docisku sonotrody (F): 49 - 99 daN. Energia zgrzewania (E) dobierana jest w zależności od grubości materiału, a czas (t) jest wartością wynikową. Jakość uzyskanych złączy została oceniona na podstawie badań wytrzymałościowych w próbie ścinania oraz badań metalograficznych.

Za pomocą kamery termograficznej VigoCam v50 firmy VIGO wykonano pomiary temperatury w celu wyznaczenia miejsc, w których wydziela się największa ilość ciepła oraz określono sposób rozchodzenia się ciepła podczas procesu zgrzewania. Badania prowadzono przy założonej średniej emisyjności dla badanego materiału EN AW 5251: $\epsilon = 0,26$. Pomiary temperatury wykonywano w miejscach styku: materiał - sonotroda, materiał - materiał (miejsce zgrzewania), materiał - kowadełko (rys. 2).



Rys. 1. Widok stanowiska do zgrzewania ultradźwiękowego

Rys. 2. Obraz z kamery termograficznej podczas procesu zgrzewania z zaznaczonymi miejscami pomiaru temperatury

Wyniki badań i dyskusja

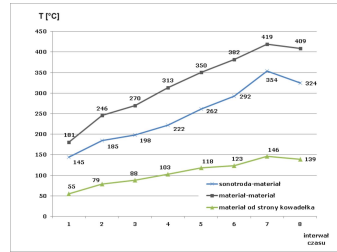
Wpływ parametrów zgrzewania na jakość złączy dla próbek dla grubości 1,0 mm szlifowanych przed zgrzewaniem, przedstawiono w tabeli 1. Wyniki badań wskazują, że zastosowanie niskiej energii zgrzewania poniżej 450 Ws, pomimo prawidłowo prowadzonego procesu zgrzewania, nie zapewniło uzyskania dobrej jakości złączy. Dopiero zgrzewanie przy energii (E) powyżej 450 Ws, przy zastosowaniu optymalnych parametrów zgrzewania, pozwoliło na uzyskanie dobrej jakości złączy - wytrzymałość powyżej 100 daN, jednak spowodowało to gwałtowny wzrost wydzielonego ciepła. Wzrasta wtedy zarówno temperatura pomiędzy materiałami zgrzewanymi jak i temperatura pomiędzy materiałem zgrzewanym a końcówką roboczą sonotrody, powodując tym samym zakłócenie procesu poprzez adhezyjne przyleganie materiału zgrzewanego do końcówki roboczej sonotrody. Takie zjawisko „przyklejania się” materiału zgrzewanego do końcówki roboczej sonotrody nie tylko zakłóca ciągłość procesu zgrzewania ale także powoduje, że uzyskiwane złącza charakteryzują się niską i niepoważną jakością.

Przy zgrzewaniu aluminium o grubości 2,0 mm do uzyskania prawidłowego połączenia potrzebne jest zastosowanie energii zgrzewania wyższej niż 1000 Ws. Badania wykazały, że proces prowadzony przy energii powyżej 800 Ws prowadzi już do pojawienia się efektu „przyklejania się” materiału zgrzewanego do końcówki roboczej sonotrody, a uzyskane złącza są słabej jakości. Prowadzenie prawidłowego procesu przy podwyższonej energii, przy której uzyskuje się połączenia o wysokiej jakości, jest więc utrudnione.

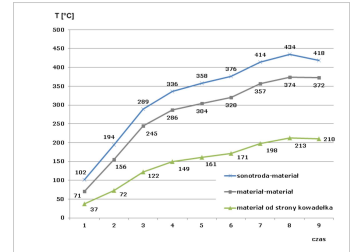
Pomiary temperatury prowadzone w trakcie procesu zgrzewania ultradźwiękowego stopów aluminium pokazały, że nie tylko szybko nagrzewa się miejsce łączenia materiałów ale także następuje szybki wzrost temperatury w miejscu styku sonotroda – materiał zgrzewany, a uzyskiwana temperatura często osiąga wartość zbliżoną lub wyższą niż w miejscu łączenia materiałów.

Dodatkowo przeprowadzone badania wpływu przygotowania powierzchni przed zgrzewaniem pokazały, że przy łączeniu elementów wcześniej przygotowanych przez szlifowanie temperatura szybciej rośnie w miejscu zgrzewania niż w miejscu styku materiał-sonotroda (rys. 3). Natomiast w przypadku zgrzewania elementów nieszlifowanych temperatura w miejscu styku sonotroda - materiał wzrastała szybciej niż w miejscu zgrzewania i często osiągała wartość maksymalną wyższą od wartości maksymalnej temperatury uzyskanej w miejscu łączonych materiałów (rys. 4). To właśnie nadmierne wydzielanie się ciepła w miejscu styku sonotroda - materiał zgrzewany, powoduje problem „przyklejania się” materiału zgrzewanego do sonotrody.

W związku z tym podjęto próbę zmodyfikowania metody zgrzewania ultradźwiękowego stopów aluminium tak, aby zapobiec „przyklejaniu się” sonotrody do materiału zgrzewanego – stopu aluminium. W tym celu wykonano badania z użyciem dodatkowej folii miedzianej o grubości 0,1 mm którą umieszczono pomiędzy materiałem zgrzewanym (stopem aluminium) a końcówką roboczą sonotrody.



Rys. 3. Pomiar temperatury podczas zgrzewania stopów EN AW 5251 (2,0mm) dla próbek szlifowanych. Parametry zgrzewania: E = 1520 Ws, A = 16 μm, F = 82 daN



Rys. 4. Pomiar temperatury podczas zgrzewania stopów EN AW 5251 (2,0 mm) dla próbek nieszlifowanych. Parametry zgrzewania: E = 1520 Ws, A = 16 μm, F = 82 daN

Folia miedziana miała za zadanie zapobieganie „przyklejaniu się” materiału zgrzewanego – stopu aluminium - do końcówki roboczej sonotrody, nie zakłócając przy tym procesu zgrzewania. Zastosowanie folii pozwoliło na prowadzenie procesu przy znacznie wyższych energiach zgrzewania, co wpłynęło korzystnie na zwiększenie wytrzymałości złączy, zapewniło ich powtarzalność oraz pozwoliło na prowadzenie serijnego procesu zgrzewania bez zakłóceń spowodowanych „przyklejaniem się” materiału zgrzewanego do sonotrody.

Jakość wybranych złączy aluminiowych przy których zastosowano folię miedzianą podczas procesu zgrzewania oceniono na podstawie badań metalograficznych. Badania wykonano dla złączy przy których uzyskano wysoką wytrzymałość. Wyniki badań pokazały ciągłość metaliczną w obszarze zgrzewania. Przykładowe badanie makroskopowe przedstawiono na rysunku 5.

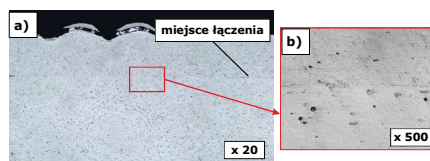
E [Ws]	A [μm]	F [daN]	t [s]	P _{av} [daN]	σ	Uwagi
EN AW 5251 (1,0 mm) + EN AW 5251 (1,0 mm)						
320	16	49	0,35	51	13	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
	16	57	0,40	50	17	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
	16	66	0,35	90	15	Przyklejanie próbki do sonotrody
430	16	74	0,35	102	33	Przyklejanie próbki do sonotrody
	16	82	0,25	93	21	Przyklejanie próbki do sonotrody
460	16	74	0,30	117	44	Przyklejanie próbki do sonotrody
	18	57	0,35	85	19	Przyklejanie próbki do sonotrody
	12	66	0,60	70	18	Przyklejanie próbki do sonotrody
490	18	57	0,50	88	28	Przyklejanie próbki do sonotrody
	20	57	0,48	71	18	Przyklejanie próbki do sonotrody
490	14	74	0,63	77	11	Przyklejanie próbki do sonotrody
520	16	74	0,45	92	28	Przyklejanie próbki do sonotrody
	16	82	0,40	95	16	Przyklejanie próbki do sonotrody
630	16	82	0,40	145	33	Przyklejanie próbki do sonotrody
	20	82	1,60	160	117	Przyklejanie próbki do sonotrody

P_{av} - siła ścinająca

Tabela 1. Wytrzymałość złączy zgrzewanych przy różnych parametrach zgrzewania

A [μm]	F [daN]	E [Ws]	t [s]	P _{av} [daN]	σ	Uwagi
EN AW 5251 (1,0 mm) + EN AW 5251 (1,0 mm) + Cu (0,1mm)						
16	74	640	0,60	79	18	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
16	74	850	0,65	115	13	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
16	74	960	0,69	130	15	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
EN AW 5251 (2,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm) + Cu (0,1mm)						
12	82	1520	1,52	125	15	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
16	82	1520	1,32	113	12	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
20	82	1520	1,08	140	17	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
EN AW 5251 (1,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm) + Cu (0,1mm) Materiał umieszczony od strony sonotrody: EN AW 5251 (1,0 mm)						
16	57	1440	1,33	145	29	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
16	66	1440	1,04	173	12	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
16	82	1440	0,88	209	8	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
20	57	1440	1,28	116	19	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania
20	82	1600	1,60	117	15	Prawidłowo prowadzony proces zgrzewania

Tabela 2. Wytrzymałość złączy zgrzewanych przy zastosowaniu folii miedzianej dla różnych parametrów zgrzewania



Rysunek 5. Badania makroskopowe złącza zgrzewanego: EN AW 5251 (1,0 mm) + EN AW 5251 (2,0 mm) + Cu (0,1mm), dla próbek szlifowanych. Parametry zgrzewania: A = 16 μm, F = 82 daN, E = 1440 Ws; a) makrostruktura (x20), b) mikrostruktura (x500).

Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:
- Pomiary temperatury wykonane podczas zgrzewania stopów aluminium wykazały wydzielanie się dużej ilości ciepła nie tylko pomiędzy materiałami zgrzewanymi, ale także pomiędzy materiałem zgrzewanym a końcówką roboczą sonotrody.
- Podczas procesu zgrzewania elementów ze stopu aluminium przygotowanych przez mechaniczne usunięcie tlenków przed procesem zgrzewania zaobserwowano wydzielanie się dużej ilości ciepła w miejscu łączenia się materiałów, natomiast przy zgrzewaniu elementów nieprzygotowanych wyższą temperaturę uzyskano w miejscu styku materiału zgrzewanego z końcówką roboczą sonotrody, niż pomiędzy materiałami zgrzewanymi.
- Kumulowanie się dużej ilości ciepła w miejscu styku sonotrody z materiałem zgrzewanym powoduje niekorzystne zjawisko adhezyjnego przylegania materiału zgrzewanego do końcówki roboczej sonotrody, co utrudnia prowadzenie ciągłości procesu oraz obniża jakość uzyskanych złączy.
- Zastosowanie folii miedzianej w procesie zgrzewania ultradźwiękowego stopów aluminium zapewnia stabilizację prowadzonego procesu i pozwala na uzyskanie wysokiej i powtarzalnej jakości złączy.
- Zgrzewanie aluminium na próbkach przygotowanych przed procesem zgrzewania, przez mechaniczne usunięcie tlenków, pozwala na uzyskanie wyższej jakości złącza niż w przypadku zgrzewania na próbkach nieprzygotowanych - w stanie dostawy.



Kontakt:
mgr inż. Beata Rams
Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa
ul. Bł. Czesława 16-18
44-100 Gliwice
tel.: +48 32 33 58 239
www.is.lukasiewicz.gov.pl
beata.rams@is.lukasiewicz.gov.pl

63. MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA SPAWALNICZA

18-20 PAŹDZIERNIKA 2022 r. | KATOWICE



www.konferencja.is.gliwice.pl

www.expwelding.pl



SPAWALNICTWO W SIECI NOWYCH MOŻLIWOŚCI