

INFLUENCE OF FRICTION STIR WELDING ON IMPACT RESISTANCE OF AlZn5Mg1 ALLOY JOINTS

Krzysztof Dudzik, Mirosław Czechowski

Gdynia Maritime University
Faculty of Marine Engineering
Morska Street 81-87, 81-225 Gdynia
tel.: +48 58 690 15 49, +48 58 690 13 46, fax: +4858 6901399
e-mail: kdudzik@am.gdynia.pl
czecho@am.gdynia.pl

Abstract

The paper presents the research results on impact resistance of friction stir welded aluminum alloy AW 7020 [AlZn5Mg1]. The joints welded by traditional MIG method of the same aluminium alloy were chosen as reference points. Friction Stir Welding (FSW) – a new technology can be successfully used for butt welding of different types of aluminum alloy sheets. The parameters for friction stir welding of sheets made of AlZn5Mg1 [7020] alloy were introduced in the article. Metallographic analysis of bonds showed proper structural construction of the friction stir welded 7020 aluminum alloys. The impact resistance was examined via the Charpy test according to PN-EN 10045-1. During test the hammer angle of deflection β after hitting was noted and next the brake work “L” and impact resistance “U” were determined. The tests were carried out on typical specimens of cuboids shape (55x10x10 mm), with “V” notch. The research was conducted at the temperature of + 20°C. After impact resistance test the failure surface of specimens was analyzed by scanning with electron microscope SEM Philips XL30.

The research of impact resistance showed that the values of 7020 alloy welded by FSW method were higher compared to the properties of 7020 alloy joints welded by traditional MIG method – the average impact resistance was about 18% higher in case of FSW then in MIG.

Keywords: friction stir welding FSW, aluminium alloys, impact resistance, welding MIG

WPLYW ZGRZEWANIA TARCIOWEGO FSW NA UDARNOŚĆ ZŁĄCZY SPAJANYCH STOPU AlZn5Mg1

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań udarności złączy zgrzewanych tarciowo (FSW) stopu AW 7020 (AlZn5Mg1). Jako punkt odniesienia wybrano złącza tego samego stopu spawane tradycyjną metodą MIG. Nową technologię zgrzewania tarcioowego z przemieszczaniem materiału zgrzeiny FSW (Friction Stir Welding) można z powodzeniem stosować do zgrzewania doczołowego blach z różnego rodzaju stopów aluminium. Przedstawiono parametry zgrzewania tarcioowego (FSW) zastosowane do połączenia blach ze stopu AlZn5Mg1 (7020). Analiza metalograficzna wykazała poprawną budowę strukturalną złączy zgrzewanych stopu aluminium 7020.

Badania udarności przeprowadzono metodą Charpy'ego zgodnie z wymaganiami Polskiej Normy PN-EN 10045-1. Podczas badań odczytano kąt wychylenia młota po uderzeniu β a następnie wyznaczono pracę łamania L oraz udarność U. Próbkę do badań udarności wykonano jako standardowe, w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 55x10x10 mm z zalecaną przez normę dokładnością $\pm 0,1$ mm, w których wycięto karb w kształcie litery V. Próbkę przeprowadzono w temperaturze + 20°C. Po badaniach udarności przeprowadzono analizę powierzchni przelomów próbek za pomocą mikroskopu elektronowego (SEM) Philips XL30.

Badania udarności złączy stopu 7020 wykazały wyższą wartość udarności w przypadku zastosowania zgrzewania tarcioowego FSW w porównaniu do tradycyjnej metody spawalniczej MIG - średnio udarność była wyższa o ok. 18%.

Słowa kluczowe: zgrzewanie tarcioowe FSW, stopy aluminium, udarność, spawanie MIG

1. Wprowadzenie

Przepisy towarzystw klasyfikacyjnych określają ściśle wymagania stawiane materiałom wykorzystywanym w przemyśle okrętowym. Wśród regulowanych kryteriów można wyróżnić takie jak: własności wytrzymałościowe, odporność korozyjna czy odporność na obciążenia udarowe. Od kilku lat prowadzone są badania spawalnych stopów aluminium utwardzanych wydzieleniowo oraz umacnianych przez zgniot na zimno, przeznaczonych na lekkie spawane konstrukcje okrętowe [1-3]. Wzrost zainteresowania konstruktorów stopami aluminium do budowy kadłubów statków i okrętów podyktowany jest przede wszystkim możliwością znacznego obniżenia jego masy. Pozwala to na zwiększenie wyporności jednostki pływającej, a przy zachowaniu wyporności na zwiększenie nośności albo prędkości.

Wśród spawalnych stopów aluminium do przeróbki plastycznej najpopularniejsza pozostaje wciąż grupa stopów układu Al-Mg (seria 5xxx), o dobrej spawalności i względnie dobrych własnościach w warunkach eksploatacyjnych. Zaletą tych stopów jest ich względna niewrażliwość na korozję warstwową i korozję naprężeniową, wadą – mała wytrzymałość złączy spawanych, nieprzewyższająca 300 MPa. W latach 90-tych duże zainteresowanie wzbudziły stopy układu Al-Zn-Mg (seria 7xxx). Charakteryzują się one wyższymi właściwościami wytrzymałościowymi od właściwości wytrzymałościowych stopów Al-Mg. Wadą stopów Al-Zn-Mg jest skłonność do korozji naprężeniowej i warstwowej. Praktycznie wszystkie złącza spawane tradycyjnymi metodami MIG lub TIG, stopów tej grupy nie posiadają wystarczającej odporności na korozję naprężeniową lub korozję warstwową i dlatego wciąż jedynymi materiałami na kadłuby jednostek lekkich pozostają stopy grupy 5xxx Al-Mg.

Łączenie aluminium i jego stopów metodami spawalniczymi jest utrudnione ze względu na jego specyficzne własności. Główne trudności, jakie występują podczas spawania stopów aluminium wynikają z: dużego powinowactwa aluminium do tlenu i powstawania trudno topliwego (2060°C) tlenku Al_2O_3 , wysokiej przewodności cieplnej, dużej rozszerzalności stopów aluminium, dużego skurczu odlewniczego (przyczyna odkształceń i naprężeń spawalniczych), znacznymi spadkami wytrzymałości w temperaturach spawania, utraty w czasie spawania pierwiastków stopowych takich jak magnez, cynk czy lit. Wymienione pokrótce główne trudności związane ze spawaniem stopów aluminium skłaniają do poszukiwania innych metod łączenia tych materiałów. Taką alternatywę łączenia doczołowego blach stanowi metoda zgrzewania tarcowego FSW.

Technologia zgrzewania tarcowego z przemieszaniem materiału zgrzeiny FSW (Friction Stir Welding) została opracowana i opatentowana w 1991r. w Instytucie Spawalnictwa (TWI) w Cambridge w Wielkiej Brytanii. W metodzie tej do nagrzewania i uplastyczniania materiału zastosowano narzędzie z obrotowym trzpieniem umieszczone w miejscu łączenia dociśniętych blach. Po wprawieniu w ruch obrotowy narzędzia z trzpieniem, nagrzaniu ciepłem tarcia i uplastycznieniu materiału blach w bezpośrednim jego sąsiedztwie, następuje wolne przesuwanie się całego układu wzdłuż linii styku. FSW jest metodą zgrzewania w stanie stałym, dotychczas głównie stopów aluminium, miedzi oraz stali nierdzewnych. Główną zaletą tej metody jest łatwość uzyskiwania złączy o wysokich, powtarzalnych własnościach [4, 5, 6]. Ponieważ jest to metoda zgrzewania w stanie stałym (poniżej temperatury topnienia materiału) własności wytrzymałościowe złączy uzyskane tą metodą mogą być wyższe, niż uzyskane technikami spawania łukowego (MIG, TIG). Jest to szczególnie ważne biorąc pod uwagę fakt, iż często blachy ze stopu aluminium są poddawane obróbce cieplnej. Z tego powodu tradycyjne metody spawalnicze, doprowadzając duże ilości ciepła, wprowadzają istotne zmiany w strukturze materiału łączonego (szczególnie w strefie wpływu ciepła). Powoduje to znaczne zmniejszenie własności wytrzymałościowych połączeń spajanych, ale przede wszystkim, drastyczny spadek odporności na korozję (naprężeniową i warstwową), szczególnie w agresywnym środowisku, jakim jest woda morska.

Zastosowanie zgrzewania tarcowego do łączenia stopów aluminium w budownictwie okrętowym, jest możliwe pod warunkiem uzyskania własności, które będą spełniały wymagania

stawiane przez armatorów i konstruktorów statków. W zależności od specyfiki zastosowań danej jednostki pływającej wymagane są indywidualne cechy, jakie muszą być spełnione przez materiał zastosowany do jej budowy. Jednym z takich kryteriów jest odporność na obciążenia udarowe. Materiał konstrukcyjny używany do tak odpowiedzialnych zastosowań jak elementy wzmacniające kadłuba czy nawet całe konstrukcje statków, musi charakteryzować się dobrymi własnościami udarowymi, na które może być narażony (np. uderzenia w obiekty znajdujące się w wodzie). Celem prezentowanej pracy było określenie udarowości złączy zgrzewanych FSW stopu AlZn5Mg1 (AW-7020) w porównaniu ze złączami wykonanymi tradycyjną metodą MIG tego samego stopu.

2. Metodyka badań

Do badań użyto stop aluminium EN AW-7020 T6. Skład chemiczny stopu podano w Tab. 1.

Tab. 1. Chemical composition of 7020 aluminum alloy
Tab. 1. Skład chemiczny badanego stopu aluminium

Skład chemiczny (% mas.)									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
0,30	0,35	0,10	0,24	1,30	0,14	4,70	0,08	0,07	reszta

Złącza doczołowe blach o grubości $g = 10$ mm wykonano metodą FSW. Blachy zgrzewano dwustronnie przy takich samych parametrach.

Schemat zgrzewania tarcowego z przemieszaniem materiału zgrzeiny (FSW) pokazano na Rys. 1 natomiast parametry przedstawiono w Tab. 2.

Tab. 2. FSW parameters of 7020 aluminum alloy sheets
Tab. 2. Parametry zgrzewania FSW blach ze stopu 7020

Wymiary trzpienia			Kąt nachylenia narzędzia α [°]	Prędkość obrotowa trzpienia V_n [obr/min]	Prędkość liniowa zgrzewania V_z [mm/min]
D [mm]	d [mm]	h [mm]			
25	10	5,8	88,5	450	180

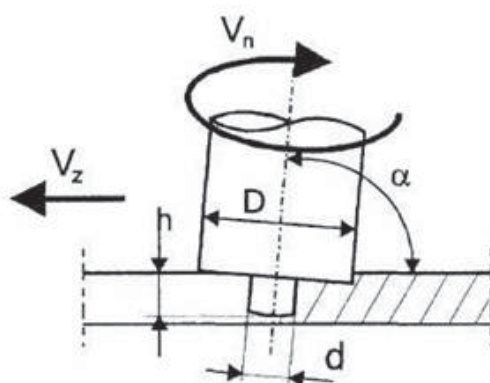


Fig. 1. The diagram of FSW
Rys. 1. Schemat zgrzewania FSW [7]

Badania budowy strukturalnej zgrzeiny wykazały jej poprawną budowę bez widocznych nieciągłości w obszarze materiału odkształconego plastycznie.

Do porównania wykorzystano złącza doczołowe blach o grubości $g = 12$ mm, z tego samego stopu (7020), spawane metodą MIG. Preparatyka złączy spawanych została wykonana zgodnie

z procedurami wymaganymi przez przemysł okrętowy. Cięcie i ukosowanie brzegów (na Y) wykonano za pomocą obróbki mechanicznej. Powierzchnie rowka i leżące w jego bezpośrednim sąsiedztwie, przed spawaniem zostały oczyszczone z tlenków za pomocą wirujących szczotek ze stali nierdzewnej, a następnie odtłuszczone benzyną ekstrakcyjną. Do spawania zastosowano drut ze stopu AlMg5 w gatunku Nertalic AG5 firmy SAF, natomiast jako gazu osłonowego użyto argonu o czystości 99,99%. Parametry spawania blach przedstawiono w Tab. 3.

Tab. 3. MIG welding parameters of 7020 aluminum alloy sheets
Tab. 3. Parametry spawania metodą MIG blach ze stopu 7020

Średnica drutu elektrodowego [mm]	Natężenie prądu spawania [A]	Ilość warstw	Zużycie argonu [m ³ /h]
1,6	190-230	4 + podpawanie	16-18

Spoiny zostały sprawdzone metodą defektoskopii rentgenowskiej i nie wykazały wad spawalniczych.

Badania udarności przeprowadzono metodą Charpy'ego zgodnie z wymaganiami Polskiej Normy PN-EN 10045-1. Podczas badań odczytano kąt wychylenia młota po uderzeniu β a następnie wyznaczono pracę łamania L oraz udarność U. Próbki do badań udarności wykonano jako standardowe, w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 55x10x10 mm z zalecaną przez normę dokładnością $\pm 0,1$ mm, w których wycięto karb w kształcie litery V. Próbkę przeprowadzono w temperaturze +20°C.

Dane charakterystyczne zastosowanego w badaniach młota Charpy'ego przedstawiono w Tab. 4.

Tab. 4. Characteristic of Charpy hammer
Tab. 4. Wielkości znamionowe młota Charpy'ego

Masa tarczy	m = 9,375 kg
Ramię młota	l = 0,825 m
Kąt wychylenia w położeniu 1	$\alpha = 160^\circ$

3. Wyniki badań

Wyniki badań udarności próbek pobranych zgodnie z warunkami doświadczenia zestawiono w Tab. 5.

Tab. 5. Results of impact resistance test by Charpy method
Tab. 5. Zestawienie wyników badań udarności metodą Charpy'ego

Oznaczenie próbki	Metoda spajania	Kąt β [°]	Praca łamania L [J]	Udarność [J/cm ²]	Udarność średnia [J/cm ²]
Z1	FSW	120	33,36	26,69	27,31
Z2	FSW	120	33,36	26,69	
Z3	FSW	118	35,68	28,54	
M1	MIG	123	29,97	23,98	23,11
M2	MIG	126	26,70	21,36	
M3	MIG	123	29,97	23,98	

Przedstawione wyniki jednoznacznie wskazują, iż próbki zgrzewane, wykazały większą udarność niż próbki spawane. Różnica ta wynosi ok. 18%.

Widok próbek po badaniach udarności został przedstawiony poniżej. Rys. 2a przedstawia widok ogólny próbki zgrzewanej metodą FSW natomiast Rys. 2b widok powierzchni uzyskanego przełomu tej samej próbki w skali makroskopowej.

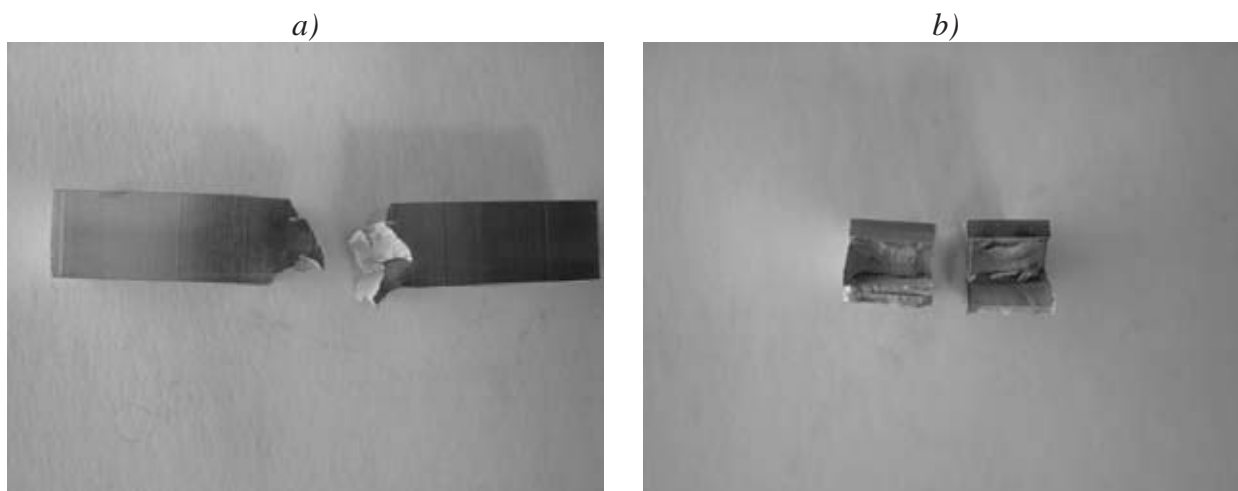


Fig. 2. General sight of FSW specimen after impact resistance test
Rys. 2. Widok ogólny próbki zgrzewanej FSW po próbie udarności

Na Rys. 3a i 3b przedstawiono odpowiednio widok ogólny próbki spawanej metodą MIG oraz widok powierzchni uzyskanego przełomu tej samej próbki w skali makroskopowej.



Fig. 3. General sight of MIG specimen after impact resistance test
Rys. 3. Widok ogólny próbki spawanej MIG po próbie udarności

4. Badania fraktograficzne

Analiza powierzchni przełomu badanych próbek wykonano za pomocą mikroskopu elektronowego skaningowego (SEM) Philips XL30.

Na Rys. 4 a, 4b, 4c przedstawiono widok przełomu próbki spawanej metodą MIG po badaniu udarności. Na Rys. 4a widoczne w górnej części dno karbu. Rys. 4b i 4c przedstawia to samo miejsce, ale w większym powiększeniu. Struktura przełomu z licznymi kraterami o postrzępionych krawędziach wskazuje na plastyczny charakter pęknięcia.

Na Rys. 5a, 5b, 5c przedstawiono widok przełomu próbki zgrzewanej tarciovo metodą FSW po badaniu udarności. Rysunki przedstawiają to samo miejsce w środku próbki w różnych powiększeniach. Struktura przełomu wskazuje na transkrystaliczny charakter pęknięcia.

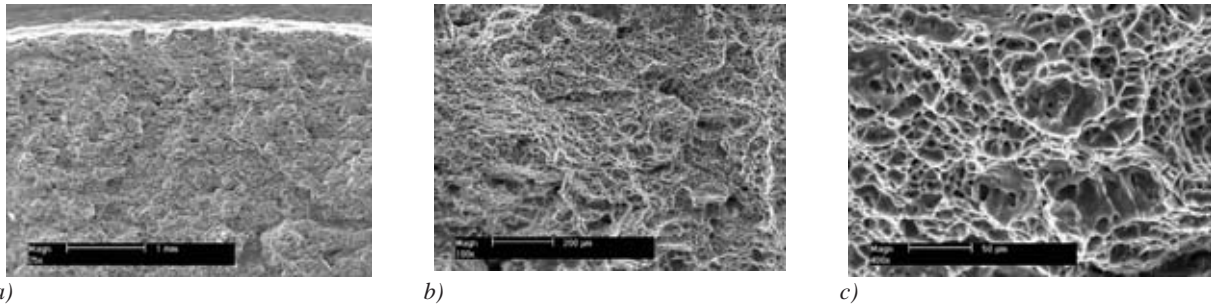


Fig. 4. A view of a fracture after impact resistance test – specimen welded by MIG
Rys. 4. Widok przelomu po próbie udarowości – próbka spawana metodą MIG

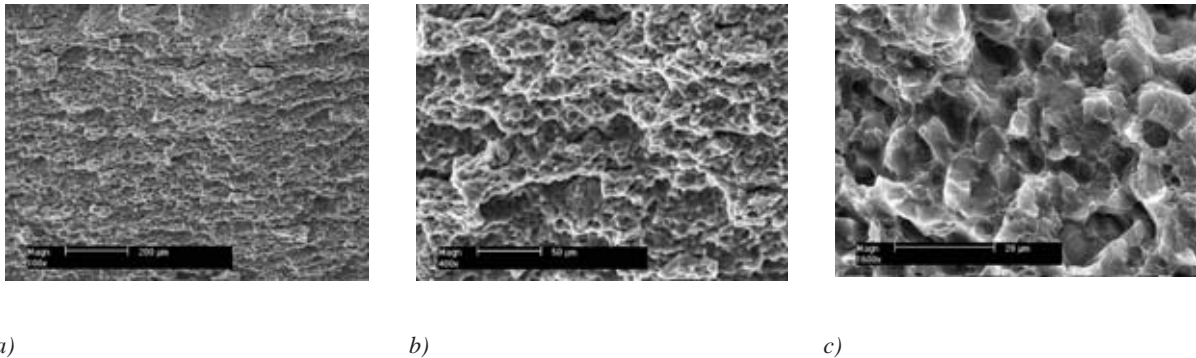


Fig. 5. A view of a fracture after impact resistance test – specimen welded by FSW
Rys. 5. Widok przelomu po próbie udarowości – próbka zgrzewana tarciovą metodą FSW

5. Podsumowanie i wnioski

Badania udarowości złączy stopu 7020 wykazały wyższą wartość udarowości w przypadku zastosowania zgrzewania tarciovego FSW w porównaniu do tradycyjnej metody spawalniczej MIG. Średnio udarowość była wyższa o ok. 18% (Tab. 5) na korzyść próbek zgrzewanych. Stosunkowo wysoka wartość udarowości w przypadku złączy wykonanych metodą FSW może być spowodowana plastycznym oddziaływaniem narzędzia - mieszaniem materiału zgrzeiny.

Wykonane po badaniach udarowości zdjęcia powierzchni przelomów, wykazały, iż próbki spajane zarówno metodą MIG jak i FSW, pękały plastycznie. Dodatkowo można stwierdzić brak porowatości i pęknięć w złączach.

Literatura

- [1] Anderson, T., *New developments within the Aluminium Shipbuilding Industry*, Svetsaren, Vol. 58, No. 1, 2003.
- [2] Bugłacki, H., *Wpływ technologii spawania na odporność korozyjną stopów Al-Zn-Mg*, International Conference On “:Environmental Degradation of Engineering Materials”, Politechnika Gdańska, pp. 260-267, Jurata 1999.
- [3] Cudny, K., Puchaczewski, N., *Stopy metali na kadłuby okrętowe*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1995.
- [4] Czechowski, M., *Własności złączy doczołowych blach ze stopów Al-Mg spajanych różnymi metodami*, Materiały i Technologie, Politechnika Gdańska, Nr 1(1), s. 16-19, Gdańsk 2003.
- [5] Czechowski, M., Pietras, A., Zadroga, L., *Własności stopów aluminium serii 5000 zgrzewanych tarciovą nową technologią FSW*, Inżynieria Materiałowa, Nr 6, s. 264-266, 2003.
- [6] Czechowski, M., Zieliński, A., *Effect of cathodic polarization on failure and degradation of mechanical properties of some aluminium alloys*, Scripta Metallurgy Materials, Vol. 30, 1994.
- [7] Pietras, A., Zadroga, L., Łomozik, M., *Charakterystyka zgrzeiny utworzonej metodą zgrzewania z mieszaniem materiału zgrzeiny (FSW)*, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, Nr 3, 2003.