



11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Degradacja środowiskowa połączeń stal-aluminium zgrzewanych wybuchowo\*

M. Czechowski

Wydział Mechaniczny, Akademia Morska  
ul. Morska 83, 81-225 Gdynia, Poland

W artykule przedstawiono wyniki badań podatności na korozję naprężeniową połączeń stal/aluminium zgrzewanych wybuchowo. Badania wykonano stosując próbę odkształcenia z małą prędkością ( $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) w powietrzu i sztucznej wodzie morskiej. Mierzono wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie, czas do zniszczenia i energię zniszczenia. Badane połączenia zgrzewane wybuchowo wykazują podatność na degradację własności w środowisku korozyjnym.

## 1. WSTĘP

Do łączenia stali ze stopami aluminium stosuje się w przemyśle okrętowym łączniki zgrzewane wybuchowo. Łączniki te są, po badaniach ultradźwiękowych, wycinane z płyt zgrzewanych wybuchowo i stosowane do spawania [1, 2].

Łączniki posiadają pomiędzy stalą a stopem Al-Mg przekładkę pośredniczącą z czystego aluminium. Wynika to z faktu niemożliwości uzyskania połączenia zgrzewanego wybuchowo bez rozwarstwień, pomiędzy stalą i stopem aluminium, w przypadku, gdy stop ten zawiera więcej niż 1,5 % Mg [1, 2]. Połączenia aluminium- stal w łącznikach zgrzewanych wybuchowo charakteryzują się dobrymi własnościami mechanicznymi umożliwiającymi ich zastosowania w przemyśle okrętowym [1, 2]. Za ich pomocą łączy się nadbudówki z pokładem stalowym, okna z kadłubami i nadbudówkami statków, a także szereg elementów konstrukcyjnych i wyposażenia okrętów [1, 2].

## 2. METODYKA BADAŃ

Badane były złącza stal kat A+Al+AlMg5 zgrzewane wybuchowo. Złącza wykonano na Politechnice Gdańskiej w Katedrze Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa. Ze złączy wycięto próbki gładkie o średnicy  $d=10$  mm prostopadle do powierzchni łącznika. Badania korozji naprężeniowej wykonano stosując próbę odkształcenia z małą prędkością ( $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ), zgodnie z PN-EN ISO 7539-7. Parametrami mierzonymi podczas badań były: czas do zniszczenia –  $T$  [h], uzyskane maksymalne obciążenie –  $F$  [N], energia zniszczenia (powierzchnia wykresu pod krzywą naprężenie-wydłużenie) –  $E$  [ $\text{MJ/m}^3$ ], wydłużenie w momencie zniszczenia próbki –  $\Delta L$  [mm], maksymalne naprężenia rozciągające –  $R$  [MPa].

---

\* Praca finansowana przez Komitet Badań Naukowych w ramach grantu nr 4 T08C 026 22.

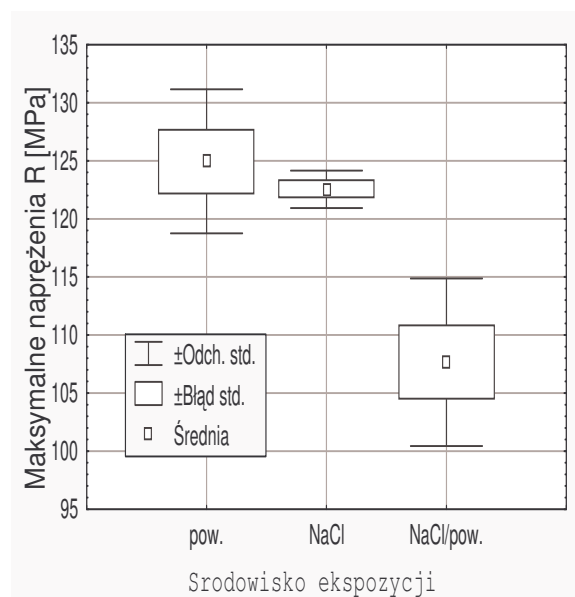
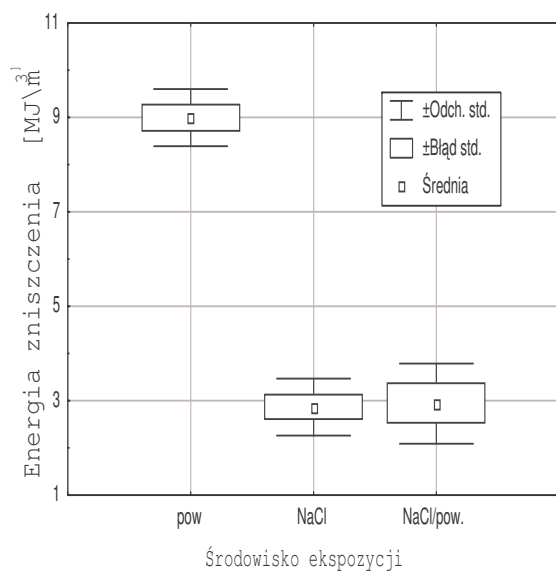
Wykonano trzy serie badań. W pierwszej próbki poddano próbie rozciągania w powietrzu (pow), tak otrzymane wyniki przyjęto jako wartości bazowe. W drugiej serii złącza poddano próbie rozciągania w środowisku korozyjnym - 3,5% wodny roztwór NaCl. Zmiany wartości mierzonych parametrów w stosunku do wartości bazowych przyjęto jako spowodowane sumarycznie procesem korozji oraz naprężeniowego pęknięcia korozyjnego. W ostatniej serii próbki eksponowane były w roztworze korozyjnym bez obciążenia a następnie rozciągane w powietrzu (NaCl/pow); określone tak zmiany własności przyjęto jako efekt czystego procesu korozyjnego.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań złączy stal-AlMg5 zgrzewanych wybuchowo na naprężeniowe pęknięcie korozyjne pokazano dla poszczególnych mierzonych parametrów na rysunkach 1 i 2 w formie ich wartości średnich, obliczonych z 5 pomiarów. Na rysunkach podano także odchylenia i błędy standardowe.

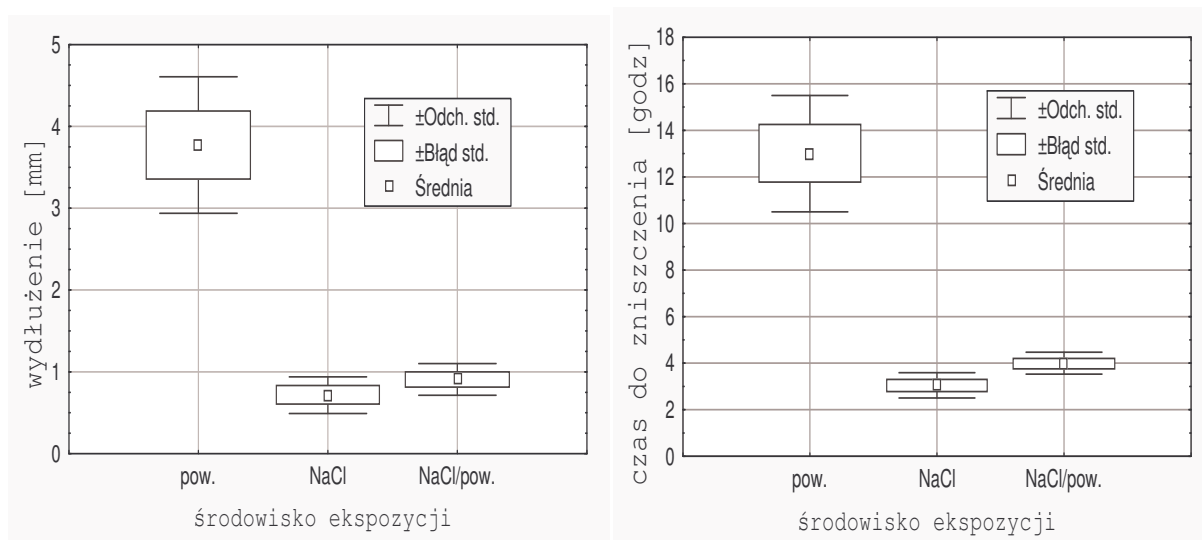
Rozerwanie próbek rozciąganych w powietrzu nastąpiło w aluminium, natomiast próbki eksponowane w 3,5% wodnym roztworze NaCl pękały w zgrzeinie pomiędzy stalą a aluminium. Obserwacje przełomów na mikroskopie skaningowym wykazały plastyczny charakter niszczenia próbek badanych w powietrzu oraz przełomy korozyjne po ekspozycji w sztucznej wodzie morskiej. Przykładowe obrazy obserwowanych przełomów przedstawiono na rys. 3.

Maksymalne siły oraz maksymalne naprężenia występujące w trakcie rozciągania próbek eksponowanych w powietrzu i 3,5% NaCl nie różnią się znacząco, co potwierdza fakt o małym wpływie tych parametrów na ocenę podatności na naprężeniowe pęknięcie korozyjne [3].

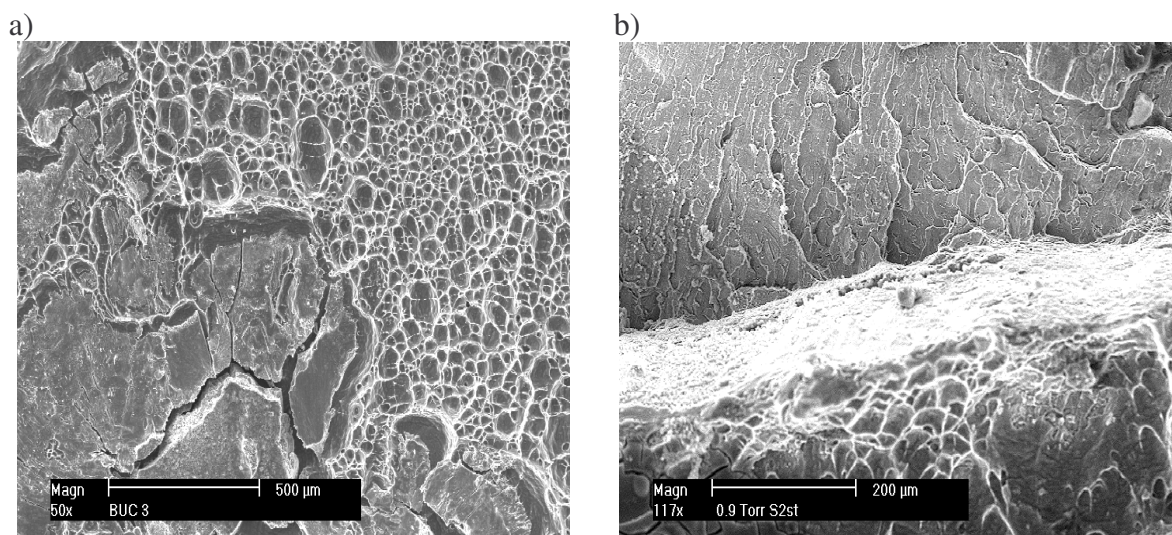


Rys. 1. Wpływ środowiska na energię zniszczenia oraz maksymalne naprężenia rozrywające elementów zgrzewanych wybuchowo.

Inne mierzone parametry: energia zniszczenia próbki, czas do zniszczenia i wydłużenie bezwzględne próbki w momencie zniszczenia zmalały o 60÷80 % w trakcie próby odkształcania w sztucznej wodzie morskiej (rys.2), co świadczy o pewnej podatności elementów zgrzewanych wybuchowo na pęknięcie korozyjne. Najślabszym ogniwem wydaje się tu być zgrzeina pomiędzy stalą a aluminium, gdzie występowały pęknięcia naprężeniowo korozyjne podczas ekspozycji w 3,5 % NaCl.



Rys. 2. Wpływ środowiska na czas do zniszczenia i wydłużenie elementów zgrzewanych wybuchowo



Rys. 3. a) Próbka zniszczona w powietrzu, przełom w aluminium ciągły, widoczne fragmenty stali z mikropęknięciami, b) Próbka zniszczona w 3,5% NaCl, powierzchnia przełomu zgrzeiny z widocznym uskokiem (falą)

#### 4. PODSUMOWANIE

Z rezultatów przeprowadzonych testów wynika, że badane łączniki zgrzewane wybuchowo wykazują pewną podatność na degradację własności w środowisku korozyjnym, co uwidacznia się głównie poprzez zmniejszenie plastyczności. Przeprowadzone badania metalograficzne wykazały, że inicjacja pęknięcie, podczas próby odkształcenia z małą prędkością w 3,5 % wodnym roztworze NaCl, następuje w zgrzeinie na granicy stal-aluminium. Podczas rozciągania złączy w powietrzu rozerwanie o charakterze plastycznym następuje w czystym aluminium. Główną przyczyną degradacji mierzonych wielkości jest korozja elektrochemiczna, korozja naprężeniowa w procesie niszczenia odgrywa minimalną rolę.

#### LITERATURA

1. W. Walczak: Krajowa Konferencja, Politechnika Gdańska, WM, Jurata, 1997
2. W. Walczak: Zgrzewanie wybuchowe metali. WNT, Warszawa, 1989
3. A. Zieliński: Krajowa Konferencja, Politechnika Gdańska, WM, Jurata, 1997