



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE  
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS  
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference  
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

## ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

### Badania odporności na korozję naprężeniową stopu aluminium typu AlMg5

S. Tkaczyk<sup>a</sup>, M. Kciuk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Zakład Zarządzania Jakością

<sup>b</sup>Zakład Materiałów Nanokrystalicznych i Funkcjonalnych oraz Zrównoważonych Technologii Proekologicznych, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

W pracy przedstawiono wyniki badań odporności na korozję naprężeniową stopu aluminium typu AlMg5. Badania przeprowadzono w oparciu o metodę rozciągania ze stałą szybkością w środowisku korozyjnym (sztuczna woda morska) oraz obojętnym (gliceryna) w temperaturze pokojowej.

#### 1. WSTĘP

Współczesna technika stawia przed materiałami konstrukcyjnymi szereg różnorodnych wymagań w zakresie trwałości i niezawodności konstrukcji, niskiego kosztu i dostępności stosowanych materiałów, dobrych własności wytrzymałościowych, odporności na korozję oraz niewielkiego ciężaru właściwego [1,2].

W inżynierii materiałowej nadal bardzo dużym zainteresowaniem cieszą się stopy aluminium z takimi pierwiastkami stopowymi jak: magnez, krzem, mangan i cynk. Stopy te są materiałami o znacznie wyższych własnościach wytrzymałościowych aniżeli materiał wyjściowy, jakim jest aluminium [3].

Stopy aluminium- magnez (hydronalia), należą do stopów najczęściej stosowanych do budowy średnio obciążonych konstrukcji okrętowych i konstrukcji w przemyśle lotniczym, mają również zastosowanie w przemyśle chemicznym i spożywczym.

W spawanych konstrukcjach okrętowych znalazły zastosowanie prawie wyłącznie stopy typu aluminium – magnez. Zawierają one, oprócz głównego składnika stopowego magnezu w ilości 2-6%, niewielkie ilości dodatków stopowych w postaci manganu, tytanu, chromu, wanadu, cyrkonu oraz zanieczyszczeń głównie w postaci żelaza i miedzi [4].

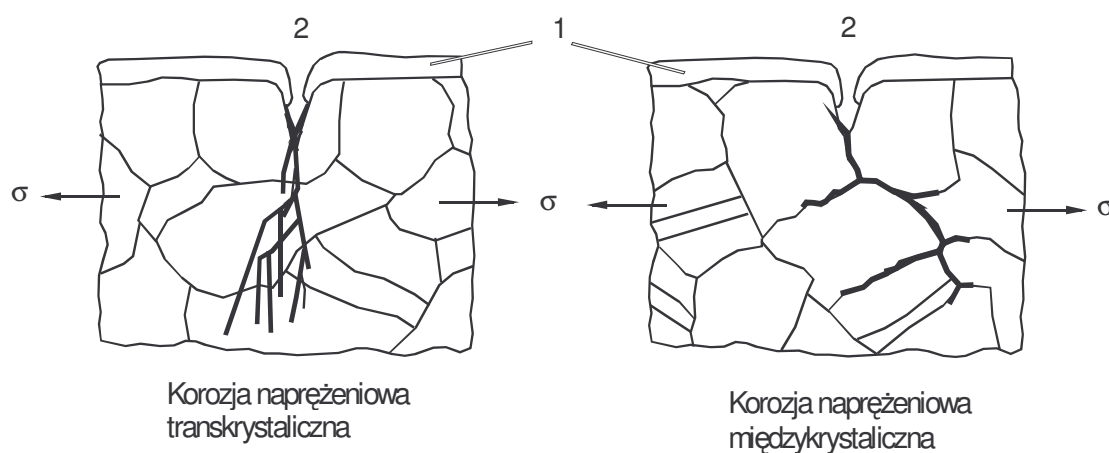
Znaczenie ich dla przemysłu okrętowego okazuje się bardzo istotne, łączą bowiem w sobie szereg ważnych dla tego przemysłu cech: odznaczają się niewielkim ciężarem właściwym, dobrymi własnościami wytrzymałościowymi, odpornością na działanie korozji w wodzie i atmosferze morskiej, dobrą obrabialnością, spawalnością i podatnością na obróbkę plastyczną, mniejszą od stali kadłubowych skłonnością do porastania wodorostami w podwodnej części kadłuba oraz brakiem skłonności do kruchych pęknięć zwłaszcza w temperaturach niższych od 0°C [4].

Zastosowanie tych stopów w budownictwie okrętowym pozwala na znaczne zmniejszenie ciężaru konstrukcji, zwiększenie ich trwałości, zmniejszenie zanurzenia, zapewnia też kadłubom statków niemagnetyczność.

Zagadnienia związane z korozją zasługują obecnie na większą uwagę niż dotychczas ze względu na [5,6]:

- coraz szersze zastosowanie aluminium we wszystkich dziedzinach techniki,
- podwyższoną agresywność korozyjną środowiska naturalnego wskutek wzrastającego zanieczyszczenia powietrza i wody,
- stosowanie coraz lżejszych konstrukcji metalowych wykonanych z elementów o zmniejszonych rozmiarach i tym samym mniej odpornych na korozję, niż stosowane dawniej konstrukcje ciężkie.

Jednym z najbardziej niebezpiecznych rodzajów korozji, któremu ulegają m.in. stopy aluminium jest korozja naprężeniowa, która jest zjawiskiem złożonym i wymagającym współdziałania zarówno naprężeń rozciągających, powstających w wyniku przyłożonego obciążenia lub spowodowanych wewnętrznym stanem naprężeń, jak również środowiska korozyjnego (rys.1) [7].



Rys.1. Schemat korozji naprężeniowej [8]

Stan naprężeń wewnętrznych może być spowodowany obróbką plastyczną lub mechaniczną, naprężeniami odlewniczymi, obróbką cieplną itp.

W następstwie działania korozji naprężeniowej powstają szczeliny rozwijające się prostopadle do kierunku działania naprężeń i ostatecznie prowadzące do pęknięć i rozerwania materiału [5].

Uszkodzenia w warunkach eksploatacji przeważnie są niespodziewane, gdyż zachodzą przy bardzo słabej korozji ogólnej i braku jej wyraźnych śladów. Wobec trudności wczesnego wykrycia zaistniałego zagrożenia, skutki korozji naprężeniowej mogą być ogromne.

Do opracowania metod zwalczania korozji naprężeniowej konieczna jest znajomość jej mechanizmów obejmujących chemiczne i elektrochemiczne reakcje na granicy faz, metal-środowisko oraz zjawiska przebiegające w warstwie powierzchniowej i wewnątrz metalu.

Odporność na pękanie korozyjne, zwłaszcza w warunkach korozji naprężeniowej jest bardzo istotna w przypadku wspomnianego stopu aluminium – obrobionego plastycznie i cieplnie, zwłaszcza biorąc pod uwagę jego zastosowanie w przemyśle okrętowym – środowisku wody morskiej [3,6].

## 2. METODYKA

Materiał wyjściowy do badań stanowił stop AlMg5 w postaci drutu o średnicy 1.99 mm, otrzymany wg przednio opracowanej technologii, a następnie poddany obróbce cieplnej [9]. Skład chemiczny stopu podano w tablicy 1.

Tablica 1 Skład chemiczny stopu AlMg5

Pierwiastek chemiczny, %	Mg	Fe	Mn	Si	Ni	Zn	Cu	Al
	4,37	0,42	0,39	0,18	0,03	0,03	śladowe	reszta

Obróbka cieplna drutów polegała na ich przesycaniu i następnym starzeniu przyspieszonym. Proces przesycania przeprowadzono w trzech temperaturach - 480°C, 520°C i 560°C przez trzy godziny, z następnym oziębianiem w wodzie zimnej w temperaturze 2-5°C. Starzenie przyspieszone przeprowadzono w temperaturze 160°C w czasie 3,6,9,12,24h.

W pracy badano odporność stopu AlMg5 na korozję naprężeniową. Wykorzystano metodę stałej szybkości rozciągania.

Badania odporności korozyjnej analizowanego stopu przeprowadzono metodą porównawczą - porównując wyniki z testów korozyjnych uzyskanych w ośrodku korozyjnym (sztucznej wodzie morskiej) z wynikami uzyskanymi dla ośrodka obojętnego (gliceryny).

Skład chemiczny roztworu korozyjnego przedstawiał się następująco:

- 3 % roztwór chlorku sodu NaCl,
- roztwór buforowy o składzie: 0.5 N roztwór octanu sodu CH<sub>3</sub>COONa i 0.5 N roztwór kwasu octowego CH<sub>3</sub>COOH, którego zadaniem było utrzymanie stałego pH na poziomie 3.5,
- 30 % roztwór nadtlenu wodoru H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Kryterium porównawcze stanowiła intensywność naprężeń  $\kappa\sigma$ . Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1195 umożliwiającej rozciąganie próbek ze stałą szybkością rozciągania 0.02 mm/min. Zastosowano próbki cylindryczne o długości pomiarowej 60 mm.

Bezpośrednio przed badaniami odtłuszczono je w alkoholu etylowym przy pomocy płuczki ultradźwiękowej, po czym umieszczano je w naczynku korozyjnym. Po zamocowaniu próbek w uchwytach urządzenia naczynie napełniano gliceryną bądź roztworem sztucznej wody morskiej.

Ocenę uszkodzeń korozyjnych prowadzono za pomocą mikroskopu skaningowego DSM 940 firmy Opton oraz w mikroskopie XL-30 firmy PHILIPS. Do uzyskania obrazów przełamów wykorzystano detekcję elektronów wtórnych (SE) oraz elektronów wstecznie rozproszonych (BSE). W badaniach stosowano napięcie przyspieszające w zakresie 15-20 kV i powiększenia do 20000x.

### 3. WYNIKI

Wyniki badań odporności stopu AlMg5 na korozję naprężeniową zestawiono w tablicy 2. Badaniom korozyjnym poddano próbki po przeprowadzonej obróbce cieplnej polegającej na przesycaaniu w różnych temperaturach a następnie starzeniu przyspieszonym w czasie 3,6,9,12,24h.

Po przeprowadzeniu przesycaania w temperaturze 480°C wartość współczynnika  $k\sigma$  wynosiła 0,902. W wyniku dalszego starzenie przyspieszonego zauważyć można stały wzrost współczynnika  $k\sigma$ , którego maksymalną wartość osiągnięto po 12h starzenia i wynosiła ona 1. Wydłużenie czasu starzenia do 24h spowodowało spadek jego wartości do 0,969.

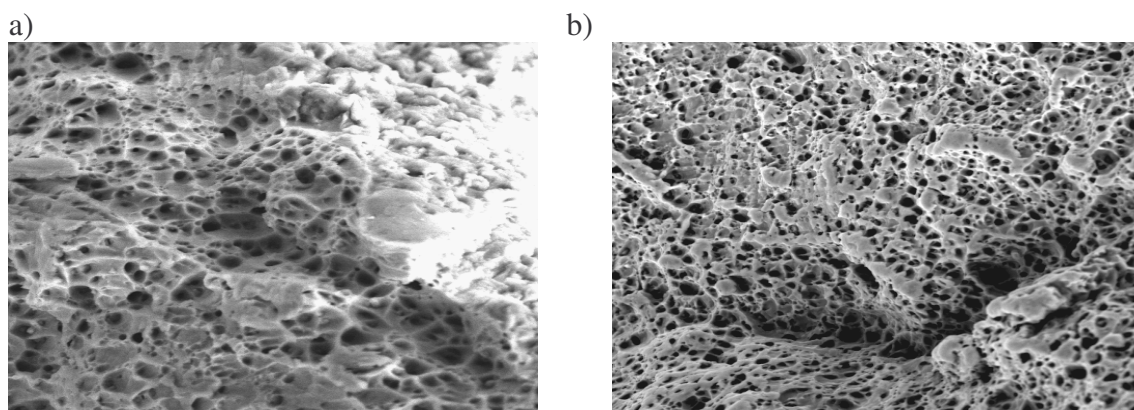
Z powyższymi wynikami korelują wyniki prób korozyjnych próbek przesycaanych w temperaturach 520°C ( $k\sigma$ -0,91) i 560°C ( $k\sigma$ -0,925) i następnie starzonych w czasie 3,6,9,12 i 24h. Największą wartość współczynnika  $k\sigma$  uzyskano dla próbek starzonych przez 12h. Dalsze starzenie powodowało spadek wartości wskaźnika kryterialnego  $k\sigma$ .

Tablica 2

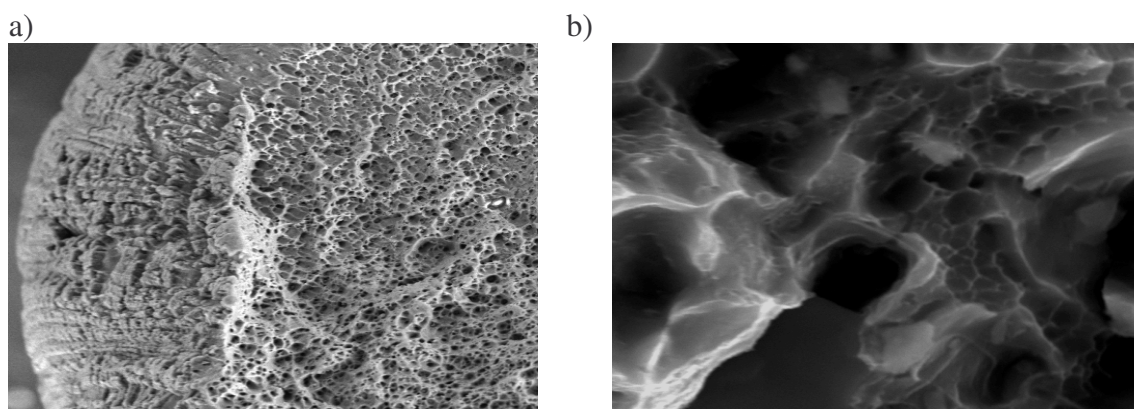
Wyniki badań odporności stopu AlMg5 na korozję naprężeniową

Rodzaj obróbki cieplnej	Ośrodek obojętny	Ośrodek korozyjny	Współczynnik $k\sigma$
	Siła zrywająca, kN	Siła zrywająca, kN	
Stan wyjściowy	0.75	0.73	0.973
Przesycaanie 480°C	0.688	0.621	0.902
Starzenie 3h	0.653	0.600	0.918
Starzenie 6h	0.671	0.640	0.954
Starzenie 9h	0.689	0.641	0.929
Starzenie 12h	0.66	0.66	1
Starzenie 24h	0.644	0.624	0.969
Przesycaanie 520°C	0.775	0.705	0.910
Starzenie 3h	0.810	0.750	0.926
Starzenie 6h	0.740	0.710	0.959
Starzenie 9h	0.729	0.692	0.948
Starzenie 12h	0.79	0.79	1
Starzenie 24h	0.783	0.771	0.985
Przesycaanie 560°C	0.763	0.706	0.925
Starzenie 3h	0.802	0.761	0.949
Starzenie 6h	0.772	0.759	0.983
Starzenie 9h	0.860	0.836	0.972
Starzenie 12h	0.862	0.862	1
Starzenie 24h	0.795	0.776	0.976

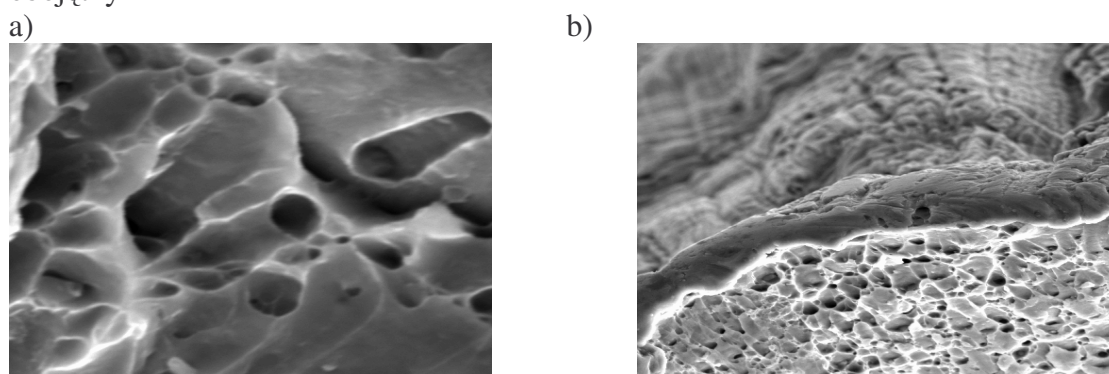
Zerwane próbki poddano następnie obserwacjom w elektronowym mikroskopie skaningowym. Próbki wykazywały typowy przełom ciągliwy (rys. 2-4).



Rys.2 a) Próbka po przesycaniu w temperaturze 480°C – ośrodek korozyjny, b) Przełom fraktograficzny próbki AlMg5 przesycanego w 480°C i starzonego w 160°C/12h -ośrodek obojętny



Rys.3 a) Próbka po przesycaniu w temperaturze 520°C – ośrodek korozyjny, b) Przełom fraktograficzny próbki AlMg5 przesycanego w 520°C i starzonego w 160°C/12h -ośrodek obojętny



Rys.4 a) Próbka po przesycaniu w temperaturze 560°C – ośrodek korozyjny, b) Przełom fraktograficzny próbki AlMg5 przesycanego w 560°C i starzonego w 160°C/12h -ośrodek obojętny

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stopu AlMg5 można stwierdzić, że przeprowadzona obróbka cieplna wpływa na zwiększenie odporności korozyjnej stopu w porównaniu ze stanem wyjściowym.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że stop aluminium AlMg5 wykazuje odporność na pękanie korozyjne w warunkach korozji naprężeniowej w roztworze sztucznej wody morskiej w analizowanych warunkach.

#### LITERATURA

1. Wranglén G.: Podstawy korozji i ochrony metali. WNT, Warszawa, 1985.
2. Tokarski M.: Wczesne stadium starzenia wysokomagnezowych stopów aluminium z magnezem, Wiadomości Hutnicze, XLV, Nr 10, 1989.
3. Cudny K.: Własności stopów aluminium stosowanych w budownictwie okrętowym, AMW, Gdynia, 1989.
4. Bujniwicz Z., Cudny K., Wincza M.: Stopy aluminium w budownictwie okrętowym, Gdansk 1971.
5. Tkaczyk St., Kciuk M.: Odporność na korozję naprężeniową stopu aluminium AlMg5, Materiały Konferencyjne AMME'00, Gliwice-Sopot- Gdańsk, 2000.
6. Flis J.: Wodorowe i korozyjne niszczenie metali, PWN Warszawa 1979.
7. Bidas S.: Korozja aluminium i jego stopów cz. 2, Systemy technologie obiekty, Nr 9, 1999.
8. Podyplomowy kurs dla inżynierów spawalników dla uzyskania certyfikatu kompetencji Europejskiego Inżyniera Spawalnika, EWE AK 09/99, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 1999.
9. Tkaczyk S., Wiślak A., Tokarski M.: Mat. III MSC, Włocławek 1987.