

**Wojciech Jurczak**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

## **WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO SPOIW NA ELEKTROCHEMICZNE PĘKANIE POD NAPRĘŻENIEM ZŁĄCZY SPAWANYCH STOPU $AlZn5Mg2CrZr$**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań elektrochemicznego potencjału stacjonarnego i odporności na korozję naprężeniową (KN) złączy spawanych stopu  $AlZn5Mg2CrZr$  (modyfikacja PA47) przeznaczonego na wysokoobciążone spawane konstrukcje okrętowe. Odporność na KN złączy spawanych określono na podstawie stopnia obniżenia właściwości mechanicznych  $K_{Rm}$  (1) i  $K_{A5}$  (2) pod wpływem osiowego rozciągania i wody morskiej (3,5% NaCl). Badania uzupełniono wyznaczeniem potencjałów stacjonarnych materiału rodzimego i złączy spawanych przy zmianie naprężeń wywołanych obciążeniem.

Zastosowanie spoiwa  $SAIMg5Zn2Zr0,4$  zapewnia najlepsze właściwości wytrzymałościowe złączy spawanych, a spoiwo  $SAIMg5Zr0,4$  wykazuje najlepszą odporność na KN złączy spawanych stopu  $AlZn5Mg2CrZr$ .

### **WSTĘP**

Problemy korozyjne spawanej aluminiowej nadbudówki okrętu projektu 620 zmusiły inżynierów i konstruktorów do poszukiwania nowych kierunków i rozwiązań przy stosowaniu wysokowytrzymałych spawalnych stopów Al-Zn-Mg. Zastosowanie stopu  $AlZn5Mg1$  (PA47) do budowy dużej nadbudówki wymienionej jednostki pływającej pokazało słabe strony tego materiału dopiero podczas eksploatacji, co częściowo było wynikiem zastosowania nieprawidłowej technologii prostowania [7], ale także dużej podatności PA47 na korozję w środowisku wody morskiej. Stopy Al-Zn-Mg mają najwyższe właściwości wytrzymałościowe spośród wszystkich stopów aluminiowych stosowanych dotychczas w budownictwie okrętowym oraz

bardzo cenną właściwość umacniania wydzieleniowego strefy wpływu ciepła (SWC) złączy spawanych wskutek przesycaenia i naturalnego (samorzutnego) starzenia po spawaniu. Modyfikując skład chemiczny PA47 przez dodanie Zr, Cr, ograniczenie Mn i zwiększenie sumarycznej zawartości Zn+Mg opracowano stop AlZn5Mg2CrZr o wyższych właściwościach mechanicznych i korozyjnych od stopu PA47 [5].

Zwiększając w stopach Al-Zn-Mg zawartość Zn+Mg >5%, podwyższono właściwości wytrzymałościowe, ale tym samym nastąpił wzrost podatności na korozję, także naprężeniową [4]. Dodatek Cr i Zr powoduje wzrost odporności na korozję [1]. Skład chemiczny spoiwa podobnie wpływa na odporność korozyjną złączy spawanych stopu układu Al-Zn-Mg. Dodatkowymi parametrami decydującym o właściwościach mechanicznych i odporności korozyjnej złączy spawanych są szerokość strefy wpływu ciepła (SWC), która w dużej mierze zależy od warunków spawania (metody, parametrów) i grubości spawanych blach.

Łączenie elementów konstrukcji okrętowych wykonanych ze stopów układu Al-Zn-Mg odbywa się przez spawanie. W wyniku procesu spawania (MIG, TIG) powstaje w złączu spawanym SWC, której wymiary są stosunkowo duże (3 – 5 razy większe od SWC złączy spawanych stali) i jest to zarazem najsłabszy obszar (ogniwo) pod względem odporności korozyjnej [3]. Ciepło spawania powoduje, że w obszarze SWC powstaje struktura charakteryzująca się dużą podatnością na korozję i znacznym obniżeniem właściwości wytrzymałościowych w stosunku do właściwości materiału rodzimego (30 – 50%) [2].

Korozja stopów aluminium w środowisku morskim to przede wszystkim korozja elektrochemiczna, w której gęstość prądu korozyjnego jest proporcjonalna do mierzonego potencjału elektrochemicznego i decyduje o intensywności procesów korozyjnych. Pomiar potencjału stacjonarnego spawanego materiału, spoiwa i złącza spawanego umożliwia właściwy dobór spoiwa do spawanego materiału. Spoiwo nie może być anodą (mieć bardziej elektroujemnego potencjału w stosunku do potencjału spawanego materiału) w ogniwie korozyjnym. Zmiany potencjału elektrochemicznego pokazują wpływ metody spawania i grubości spawanych blach na odporność korozyjną badanego stopu.

## SKŁADY CHEMICZNE BADANEGO STOPU I SPOIW

Do badań zastosowano blachy walcowane na gorąco nowo opracowanego stopu AlZn5Mg2CrZr o grubości 6 i 12 mm z dwóch różnych wytopów przemysłowo-

wych (ozn.507 i 635). Skład chemiczny i warunki obróbki cieplnej badanych wytopów podano w tabeli 1. Wlewki o wymiarach 145 x 450 mm odlewane były metodą półciąglą (temp. odlewania ok. 700 °C). Wlewki pocięto na długość 750 mm i homogenizowano w temperaturze 480 °C w czasie 12 godzin. Temperatura nagrzewania wlewków do walcowania wynosiła 440 – 460 °C Wykonano 12 – 14 przepustów walcarki dla blachy o g = 12 mm, a dla g = 6 mm 20 – 24 przepustów. Odwalcowane blachy pocięto na wymiar i przekazano do obróbki cieplnej tb [4].

Tabela 1. Skład chemiczny blach ze stopu AlZn5Mg2CrZr tb [4]

Nr wytopu	Skład chemiczny [%]											Nr partii i atestu
	Zn	Mg	Cr	Zr	Ti	Fe	Si	Cu	Mn	Ni	Al	
507	5.13	1.9	0.16	0.15	0.071	0.27	0.15	0.08	0.057	0.006	reszta	1086
635	4.81	1.9	0.17	0.12	0.016	0.31	0.21	0.09	0.06	0.006	reszta	1085
tb; <b>przesylenie</b> – nagrzewanie do 480 °C przez 50 min, <b>studzenie</b> gorącą wodą min. 70 °C												
<b>naturalne starzenie</b> 0 – 4 dni 20 °C, <b>dwustopniowe sztuczne starzenie</b> – 95 °C/8 h + 150 °C/8 h												

Spawanie płyt próbnych wykonano przy użyciu spoiw podanych w tabeli 2. Spoiwa wykonano w Instytucie Metali Nieżelaznych Oddziału Metali Lekkich w Skawinie. Ich skład chemiczny podano w tabeli 2.

Tabela 2. Skład chemiczny spoiw użytych do spawania płyt próbnych ze stopu AlZn5Mg2CrZr [4]

Rodzaj spoiwa	Oznaczenie spoiwa	Zawartość składników [%]									
		Mg	Zn	Zr	Mn	Cr	Be	Cu	Fe+Si	Al	
SAIMg5Ti0,1	SPA20	5.25	0,1 Ti	–	0.73	0.13	0.08	0.02	0.44	reszta	
SAIMg5ZnZr0,2	CZ	4.9	2,1	0.19	–	–	–	poniżej		reszta	
SAIMg5Zr0,4	Z	4.8	–	0.38	–	–	–	dopuszczalnej		reszta	
SAIMg5Zn2Zr0,4	SZ	5.00	2.1	0,43	–	–	–	granicy		reszta	
Materiał rodzimy o składzie podanym w tabeli 1. ozn. R											

Poprawność przygotowania i wykonania złączy spawanych zgodnie z technologią spawania aluminiowych konstrukcji okrętowych zweryfikowano badaniami radiologicznymi. Do badań użyto próbki płaskie 3 x 10 mm wycięte z blach o grubości 6 i 12 mm w kierunku poprzecznym do kierunku walcowania, a w przypadku próbek złączy spawanych – w kierunku poprzecznym do kierunku walcowania i spawania płyt próbnych. Parametry spawania podano w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry spawania metodą TIG

Metoda spawania	Rodzaj połączenia	Grubość płyt próbnych [mm]	Średnica elektrody [mm]	Średnica drutu spawalniczego [mm]	Prąd spawania [A]	Napięcie spawania [V]	Wydatek argonu [dm <sup>3</sup> /min]
A	Doczołowe bez ukosowania krawędzi	6	5	5 – 6	~300	12 – 15	8,8 – 11
R	Doczołowe z ukosowaniem	12	5	5 – 6	~400	12 – 15	10,1 – 13,2
A	krawędzi	12			~625		

A – automatyczna, R – ręczna

### WYZNACZANIE POTENCJAŁÓW STACJONARNYCH BADANYCH MATERIAŁÓW I ICH ZŁĄCZY SPAWANYCH

Elektrochemiczny potencjał stacjonarny zwany własnym dla stopu AlZn5Mg2CrZr wyznaczono w 3,5% roztworze wodnym NaCl w temperaturze 20 °C w stosunku do nasyconej elektrody kalomelowej i elektrody chlorosrebrowej. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wartości elektrochemicznych potencjałów stacjonarnych materiałów rodzimych i złączy spawanych wykonanych przy użyciu spoiw o różnym składzie chemicznym

Lp.	Materiał rodzimy/wytop	Grubość blach [mm]	Elektrochemiczny potencjał stacjonarny stopu	
			względem elektrody chlorosrebrowej [mV]	względem nasyconej elektrody kalomelowej [mV]
1	AlZn5Mg2CrZr	6	-0,930	-0,560
2	<b>507</b>	12	-0,824	-0,535
3	AlZn5Mg2CrZr	6	-0,910	-0,605
4	<b>635</b>	12	-0,855	-0,559
Wartości potencjałów stacjonarnych dla próbek wykonanych zgodnie z podaną technologią wytwarzania i obróbką cieplną (patrz tabela 1.)				
Lp.	Materiał spoiwa	Oznaczenie spoiwa	Potencjał stacjonarny spoiwa	
			względem elektrody kalomelowej [mV]	względem elektrody chlorosrebrowej [mV]
1	SAlMg5Ti0,1	SPA20	-0,730	-0,520
2	SAlMg5ZnZr0,2	CZ	-0,812	-0,667
3	SAlMg5Zr0,4	Z	-0,590	-0,325

4	SAIMg5Zn2Zr0,4	SZ		-0,690	-0,488
5	SAIZn5Mg2CrZr	R		-0,855	-0,559
Spoiwa w postaci drutu o różnych średnicach wykonane metodą ciągnięcia					
Lp.	Złącze spawane stopu AlZn5Mg2CrZr ze spoiwem	Grubość blach [mm]	Metoda spawania	Potencjał stacjonarny złącza spawanego	
				względem elektrody kalomelowej [mV]	względem elektrody chlorosrebrowej [mV]
1	SPA20	12	TIG ręcznie	-0,936	-0,570
2	CZ	12		<b>-0,825</b> -0,810	<b>-0,514</b> -0,831
3	Z	12		<b>-0,820</b> -0,808	<b>-0,528</b> -0,681
4	SZ	12		<b>-0,850</b> -0,824	<b>-0,536</b> -0,830
5	R			<b>-0,835</b>	<b>-0,520</b>
6	SPA20	6	TIG automatycznie	-0,973	-0,646
<b>Wytłuszczone wartości dotyczą złączy spawanych wykonanych z nadlewami</b>					

Elektrochemiczne potencjały stacjonarne wyznaczono dla dwóch rodzajów elektrod odniesienia – kalomelowej (zalecanej do stosowania w r.w NaCl) i powszechnie stosowanej elektrody chlorosrebrowej. Według danych literaturowych różnica potencjałów między elektrodą odniesienia kalomelową i chlorosrebrową wynosi około 0,3 mV. Potwierdzeniem tego są uzyskane wyniki badań.

Rozpatrywanie podatności na korozję z i bez naprężenia obciążającego należy podzielić na materiał rodzimy i jego złącza spawane. Materiał rodzimy stopu AlZn5Mg2CrZr wytopu 507 ma większą sumaryczną zawartość Zn+Mg o 0,3% od wytopu 635 i dlatego wykazuje jednocześnie bardziej elektroujemny potencjał własny, a tym samym jest bardziej podatny na korozję. Badania wykazały, że przeróbka plastyczna badanego stopu ma także wpływ na wartość potencjału własnego – im mniejsza grubość blach, tym bardziej elektroujemny potencjał własny. Przy większych zgniotach pod wpływem walcowania powstają w blachach badanego stopu podwyższone naprężenia. Wpływ naprężeń i zwiększona zawartości Zn+Mg w wytopie 507 spowodowały największą podatność na korozję w wodzie morskiej blach tego wytopu dla grubości  $g = 6$  mm. Technologia wytwarzania badanego stopu wpływa głównie na jego potencjał stacjonarny w wyniku wywołania naprężeń własnych.

Podobne właściwości wykazuje materiał spoiwa złączy spawanych. Skład chemiczny spoiw (pręty o różnych średnicach) ma decydujący wpływ na wartość

potencjału własnego. Większa zawartość Zn w spoiwie powoduje, że potencjał własny jest bardziej elektroujemny. Dodatek Zr zmniejsza elektroujemność potencjału własnego. Zauważono niewielki wpływ średnic drutów spawalniczych na wartości potencjałów, tym niemniej, im mniejsza średnica (przy tym samym składzie chemicznym spoiwa), tym bardziej elektroujemny potencjał.

Zaobserwowano znaczny wpływ metody spawania (TIG ręcznie i automatycznie) na wartość potencjału stacjonarnego złączy spawanych dla tych samych spawanych blach i tych samych spoiw (skład chemiczny i średnica drutu spoiwa). Można to tłumaczyć zmianami struktury materiałów użytych do wykonania złączy spawanych pod wpływem temperatury spawania. Im dłuższe (przy metodzie ręcznej) oddziaływanie temperatury na spawany materiał, tym szersza strefa wpływu ciepła (SWC), której właściwości zależne są także od grubości spawanych blach. Zautomatyzowanie procesu spawania minimalizuje wpływ temperatury na łączone materiały i zawęża SWC powstałego złącza spawanego. Stąd takie złącza spawane charakteryzują się mniejszym elektroujemnym potencjałem.

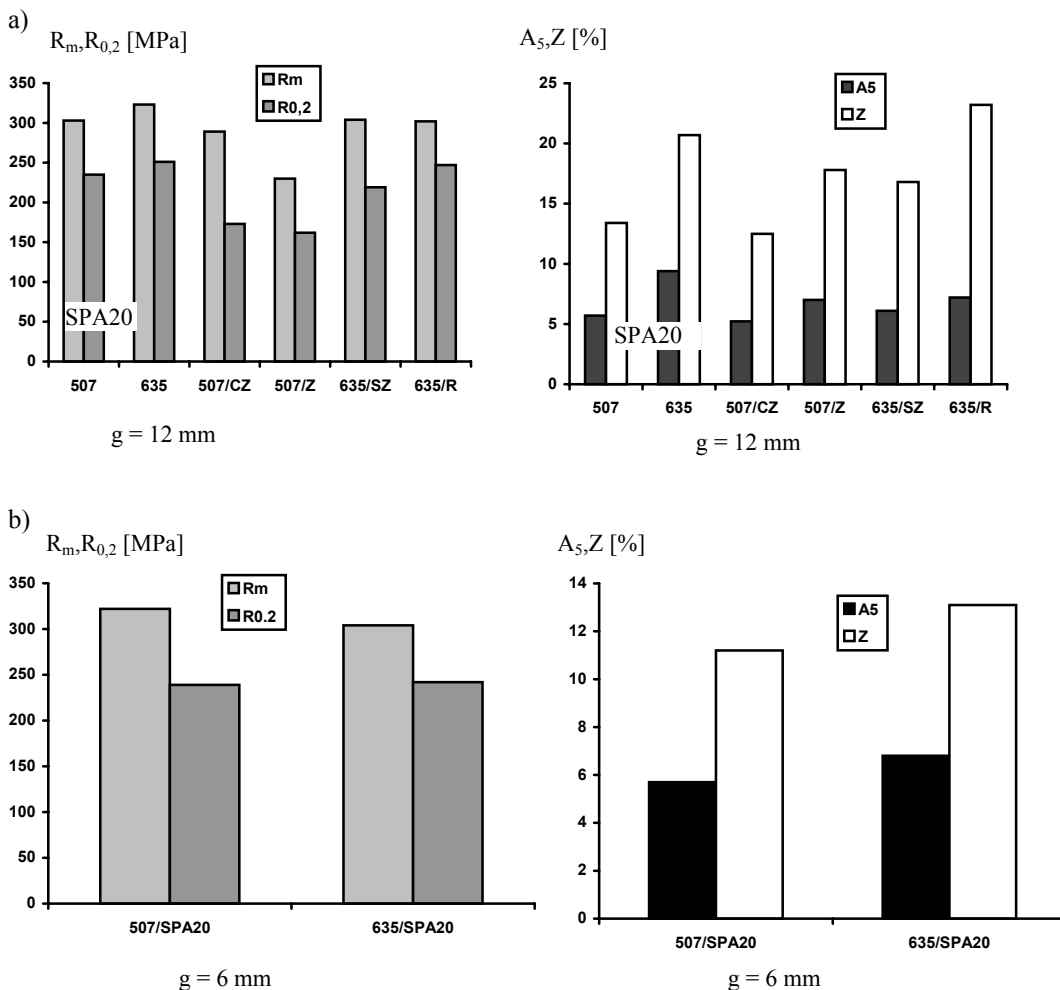
Temperatura spawania powoduje, że potencjał elektrochemiczny złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr bez względu na rodzaj zastosowanego spoiwa jest zbliżony do wartości potencjału elektrochemicznego spawanego materiału.

### **BADANIE WPŁYWU SKŁADU CHEMICZNEGO SPOIW NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PRZED EKSPOZYCJĄ KOROZYJNO-NAPRĘŻENIOWĄ ZŁĄCZY SPAWANYCH**

Stop AlZn5Mg2CrZr (wytopy 507 i 635) został poddany spawaniu spoiwami o różnych składach chemicznych. Spawanie przeprowadzono metodą TIG ręcznie i TIG automatycznie. Właściwości mechaniczne złączy spawanych wykonanych przy użyciu spoiw: SAlMg5Ti0,1 (ozn. SPA20), SAlMg5Zn2Zr0,2 (ozn. CZ), SAlMg5Zr0,4 (ozn. Z), SAlMg5Zn2Zr0,4 (ozn. SZ), SAlZn5Mg2CrZr (ozn. R) przedstawiono na rysunku 1.

Stop AlZn5Mg2CrZr, którego wytopy 507 i 635 różniły się sumaryczną zawartością Zn+Mg o 0,3%, przy spawaniu tym samym spoiwem SPA20 wykazuje zbliżone właściwości mechaniczne złączy spawanych (rysunek 1b).

Zastosowanie spoiwa SAlMg5Zr o zawartości cyrkonu od 0,2 do 0,4% spowodowało nieznaczne obniżenie właściwości mechanicznych złączy spawanych w stosunku do złączy wykonanych przy użyciu SPA20.



Rys. 1. Właściwości mechaniczne złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr przed ekspozycją korozyjno-naprężeniową: a – wytop 507 i 635 o  $g = 12$  mm spawane TIG ręcznie spoiwem: SAlMg5Mg5Ti0,1 (SPA20); SAlMg5Zn2Zr0,2 (CZ); AlMg5Zr0,4 (Z); SAlMg5Zn2Zr0,4 (SZ); SAlZn5Mg2CrZr (R); b – wytop 507 i 635 o  $g = 6$  mm spawane TIG automatycznie spoiwem SPA20

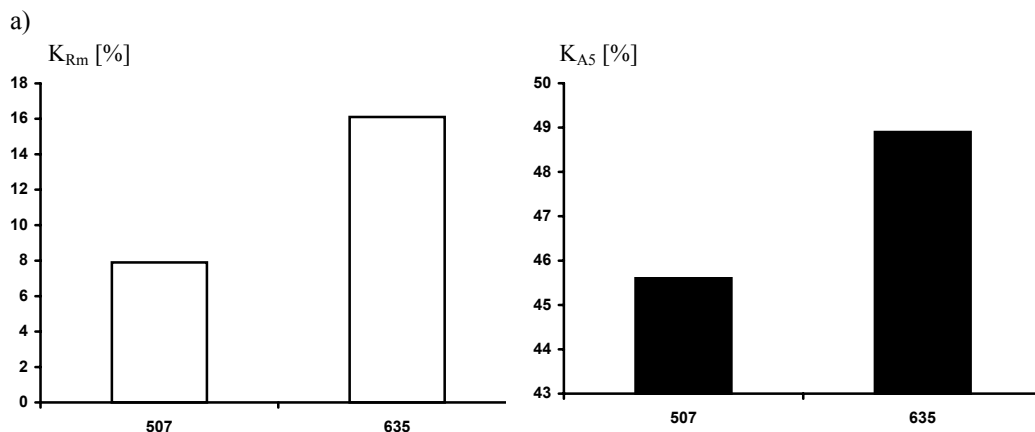
Przy zawartości  $Zr = 0,2\%$  w spoiwie SAlMg5Zr właściwości plastyczne złączy spawanych wytopu 507 są zbliżone do właściwości plastycznych złączy spawanych wykonanych przy użyciu SPA20, jednak nieznacznie obniżają się właściwości wytrzymałościowe:  $\Delta R_m = -14$  MPa  $\Delta R_{0,2} = -52$  MPa. Zwiększanie zawartości Zr do 0,4% powoduje, że różnice te pogłębiają się i wynoszą:  $\Delta R_m = -73$  MPa i  $\Delta R_{0,2} = -13$  MPa, ale wzrastają nieznacznie właściwości plastyczne  $\Delta A_5 = +1,3\%$ ,  $\Delta Z = +4,2\%$ .

Wprowadzenie do spoiwa SAlMg5 0,4% Zr oraz 2% Zn (SAlMg5Zn2Zr0,4) powoduje wzrost własności mechanicznych o  $\Delta R_m = +74$  MPa,  $\Delta R_{0,2} = +57$  MPa, przy zachowaniu tych samych właściwości plastycznych w stosunku do złączy spawanych przy użyciu SAlMg5Zr0,4. Tak więc cynk w materiale spoiwa podnosi własności mechaniczne złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr.

Jeżeli do spawania stopu AlZn5Mg2CrZr wytopu 635 użyto jako spoiwa materiału rodzimego, wówczas własności mechaniczne zmniejszają się odpowiednio o:  $\Delta R_m = -20$  MPa,  $\Delta R_{0,2} = -40$  MPa,  $\Delta A_5 = -1,8\%$ ,  $\Delta Z = +2,5\%$  w stosunku do własności mechanicznych złączy spawanych wykonanych przy użyciu spoiwa SPA20. Jednak spawanie materiałem rodzimym sprawiło wiele kłopotów technologicznych. Brak przetopu, wtrącenia niemetaliczne oraz duża podatność na gorące pęknięcia spawalnicze sprawiły, że ten rodzaj spoiwa nie nadaje się do spawania stopów układu Al-Zn-Mg. Potwierdzeniem tego są wcześniejsze wyniki badań prezentowane w pracach [1, 4].

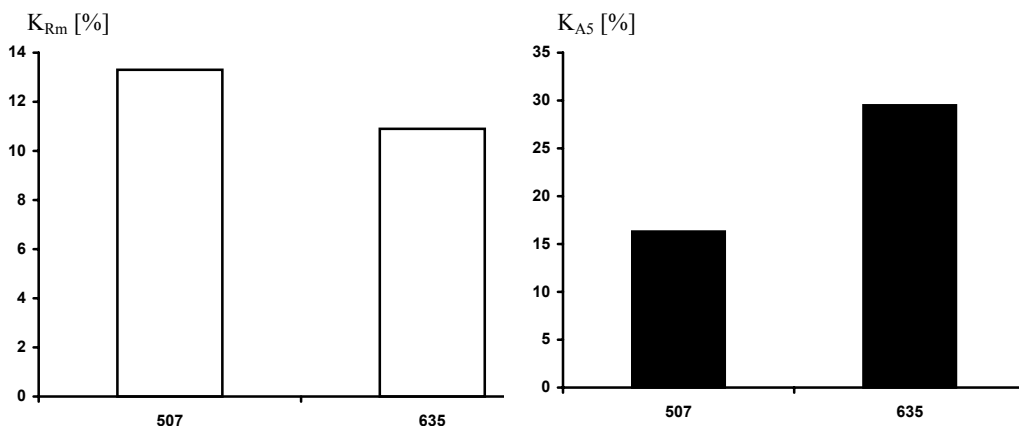
## BADANIE WPŁYWU SKŁADU CHEMICZNEGO SPOIW NA ODPORNOŚĆ KOROZYJNĄ ZŁĄCZY SPAWANYCH

Próbki złączy spawanych poddano ekspozycji korozyjno-naprężeniowej w 3,5% NaCl w czasie  $t = 1500$  h przy stałym naprężeniu rozciągającym wynoszącym  $\sigma_0 = 0,8 R_{0,2}$  w temperaturze  $20$  °C. Wpływ ekspozycji korozyjno-naprężeniowej na właściwości mechaniczne badanych złączy przedstawiono na rysunkach 2. i 3.

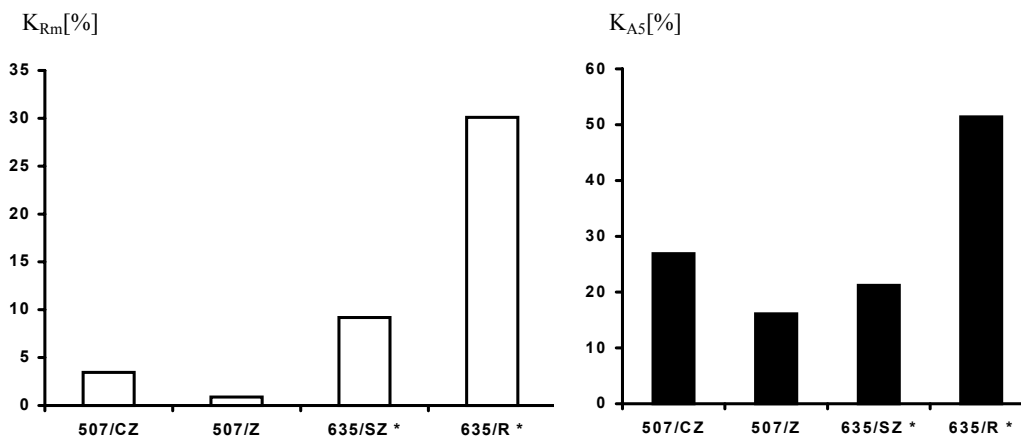




b)



Rys. 2. Średnie procentowe zmniejszenie wydłużenia plastycznego  $K_{A5}$  i wytrzymałości na rozciąganie  $K_{Rm}$  po ekspozycji korozyjno-naprężeniowej złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr wykonanych przy użyciu SPA20: a – wytop 507 i 635 o g = 12 mm TIG ręcznie; b – wytop 507 i 635 o g = 6 mm TIG automatycznie



Rys. 3. Średnie procentowe zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie  $K_{Rm}$  i wydłużenia plastycznego  $K_{A5}$  po ekspozycji KN złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr wykonanych przy spawaniu różnymi spoiwami blach o g = 12 mm metodą TIG ręcznie (\*3 z 5 badanych próbek uległo pęknięciu przed t = 1500 h)

Stopień obniżenia właściwości mechanicznych badanych próbek złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr wyznaczono wg wzorów:

$$K_{R_m} = \frac{1}{n} \sum \frac{R_{mo} - R_{mk}}{R_{mo}} 100 \% ; \quad (1)$$

$$K_{A_5} = \frac{1}{n} \sum \frac{A_0 - A_k}{A_0} 100 \% , \quad (2)$$

- gdzie:  $R_{mo}$  – wytrzymałość na rozciąganie przed ekspozycją korozyjną;  
 $R_{mk}$  – wytrzymałość na rozciąganie po ekspozycji korozyjnej;  
 $n$  – liczba próbek;  
 $A_0$  – wydłużenie plastyczne materiału przed ekspozycją korozyjną;  
 $A_k$  – wydłużenie plastyczne materiału po ekspozycji korozyjnej;  
 $K_{R_m}$  – średnie procentowe zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie po ekspozycji korozyjnej;  
 $K_{A_5}$  – średnie procentowe zmniejszenie wydłużenia plastycznego po ekspozycji korozyjnej.

Większa zawartość Zn+Mg w wytopie 507 w stosunku do PA47 lub wytopu 635 spowodowała obniżenie odporności na korozję naprężeniową złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr. Jednoczesne działanie środowiska korozyjnego oraz obciążenia wywołujące naprężenie obniżają własności plastyczne średnio o około 30% oraz wytrzymałościowe średnio o około 20%. Reasumując, można stwierdzić, że skład chemiczny spawanego materiału rodzimego ma wpływ na korozję naprężeniową złączy spawanych. Wyniki badań KN przeprowadzone dla złączy spawanych wytopów 507 i 635 oraz różnych spoiw wykonanych metodą TIG ręcznie z blach o  $g = 12$  mm przedstawiono na rysunku 3b. W wyniku ekspozycji korozyjno-naprężeniowej otrzymano następujące obniżenie własności mechanicznych:

- dla wytopu 507 spawanego przy użyciu spoiw:

SAlMg5Ti0,1	$K_{R_m} = -18,9\%$	$K_{A_5} = -52\%$
SAlMg5Zn2Zr0,2	$K_{R_m} = -4,5\%$	$K_{A_5} = -26,9\%$
SAlMg5Zr0,4	$K_{R_m} = -1\%$	$K_{A_5} = -15,9\%$

- dla wytopu 635 spawanego przy użyciu spoiw:

SAlMg5Ti0,1	$K_{R_m} = -10,9\%$	$K_{A_5} = -29,5\%$
SAlMg5Zn2Zr0,4	$K_{R_m} = -9,2\%$	$K_{A_5} = -21,4\%$
	(na 5 badanych próbek 3 uległy zniszczeniu)	
SAlZn5Mg2CrZr	$K_{R_m} = -30,2\%$	$K_{A_5} = -51,4\%$
	(na 5 badanych próbek 3 uległy zniszczeniu)	

Należy stwierdzić, że ze wzrostem zawartości cyrkonu w spoiwach rośnie odporność korozyjno-naprężeniowa złączy spawanych. Sumaryczny wzrost zawartości cynku (SAlMg5Zn2Zr0,4) i magnezu (SAlZn5Mg2CrZr) pomimo obecności cyrkonu w materiale spoiwa powoduje radykalne obniżenie odporności korozyjno-naprężeniowej.

## WNIOSKI

Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań korozji naprężeniowej (metodą obniżenia właściwości mechanicznych i pomiaru elektrochemicznego potencjału) złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr można sformułować następujące wnioski:

1. W stopach układu Al-Zn-Mg ze wzrostem sumarycznej zawartości cynku i magnezu zmniejsza się ich odporność korozyjno-naprężeniowa w 3% r.w NaCl przy  $\sigma_0 = 0,8R_{0,2}$  w czasie  $t = 1500$  h. Podobnie wzrost zawartości tych pierwiastków w materiale spoiwa powoduje obniżenie odporności korozyjno-naprężeniowej złączy spawanych. Dodatek cyrkonu do materiału spoiwa podwyższa odporność korozyjno-naprężeniową złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr. Zr jako modyfikator zmniejsza różnicę potencjałów korozyjnych między roztworem stałym  $\alpha$  a powstałymi fazami międzymetalicznymi, przez co zmniejsza się intensywność wydzielania wodoru odpowiedzialnego za kruche pęknięcia korozyjne w środowisku morskim [5]. Zwiększając zawartość Zr z 0,2% do 0,4% w SAlMg5Zr, obniża się podatność na korozję naprężeniową złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr.
2. Największą podatność na korozję naprężeniową wykazuje stop AlZn5Mg2CrZr, którego potencjał stacjonarny jest bardziej elektroujemny wskutek:
  - zwiększenia sumarycznej zawartości Zn+Mg w materiale rodzimym;
  - zwiększenia zawartości Zn w materiale spoiwa;
  - zwiększenia naprężeń własnych w materiale spawanym (mniejsze grubości blach) i spoiwie (mniejsze średnice prętów), natomiast potencjał elektrochemiczny złączy spawanych stopu AlZn5Mg2CrZr bez względu na rodzaj zastosowanego spoiwa i metody spawania jest zbliżony do wartości potencjału elektrochemicznego spawanego materiału.

### Zalecenie technologiczne

Najwyższą odporność na korozję naprężeniową przy zachowaniu najwyższych właściwości wytrzymałościowych uzyskuje złącze spawane stopu AlZn5Mg2CrZr

wykonane metodą TIG automatycznie wielowarstwowo ( $g = 12$  mm), przy czym warstwy wewnętrzne (bez kontaktu z elektrolitem – wodą morską) należy wykonać spoiwem SAlMg5Zn2Zr0,4, a zewnętrzne – SAlMg5Zr0,2.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Czechowski M., Zieliński A., Jurczak W., *Stress corrosion creaking of same aluminum alloys and their welded joints. Environmental degradation of engineering materials*, „EDEM-99”, Jurata 20 – 21.09.1999.
- [2] Davis J. R., *Aluminum and Aluminum Alloys*, Ohaio 1994.
- [3] Davis J. R., *Corrosion of Aluminum, and Aluminum Alloys*, [in:], *The Materials Information Society ASM International*, chap. 2, *Understanding the Corrosion Behavior of Aluminum*, ed. J. R. Davis, 1999.
- [4] For AlZn5Mg2CrZr alloy report IMN-OML No 4550/91, 36 OML/91, for tested binders report IMN-OML No 6914002/OM.
- [5] Jurczak W., *Wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na własności mechaniczne i odporność korozyjną stopów układu Al-Zn-Mg przeznaczonych na spawane konstrukcje okrętowe*, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska 1998.
- [6] Kowarsch A., Zaczek Z., *Spawanie konstrukcji okrętowych*, Biblioteka Okrętownictwa, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1984.
- [7] Sprawozdanie Instytut Metali Nieżelaznych z badań nadbudówki okrętu pr. 620, Skawina 1987.

## ABSTRACT

The paper presents the results of investigations into stationary electrochemical potential and resistance to stress-related corrosion (KN) of welded joints of alloy AlZn5Mg2CrZr (modification PA47) designed for high-loaded welded ship structures. Resistance to KN of the welded joints was determined on the basis of the degree of decrease in mechanical properties  $K_{Rm}$  (1) i  $K_{A5}$  (2) under the impact of axial stretching and sea water (3,5% NaCl). The investigations were supplemented by determining stationary potentials of native material and joints welded at change in stresses induced by load.

The binder SAlMg5Zn2Zr0.4 ensure the best resistance of welded joints and the binder SAlMg5Zr0.4 shows the best resistance to KN of welded joints of alloy AlZn5Mg2CrZr.

Recenzent dr hab. inż. Lesław Kyzioł