

Marceli MAZUR
Barbara BALCEROWSKA
Eugeniusz SZCZOK

WŁASNOŚCI MECHANICZNE ZŁĄCZY SPAWANYCH ZE STOPU PA13 (AlMg4, 5Mn)

Streszczenie. Nowy krajowy stop aluminium PA13 przeznaczony na konstrukcje spawane. Wyniki badań własności mechanicznych doczołowych i krzyżowych złączy spawanych z blach PA13 o grubości $g = 4 - 10$ mm wykonanych metodami TIG i MIG. Wyniki prób udarności i rozdzierania materiału i złączy spawanych oraz wyniki badań metalograficznych.

Wstęp

Aluminiowy stop PA13 (AlMg4,5Mn) jest nowym krajowym stopem przeznaczonym na konstrukcje spawane, produkowanym m.in. dla potrzeb kolejnictwa. Stop ten, odpowiednik zagranicznych stopów AlMg4,5Mn wg DIN 1725 Teil 1 i 5083 wg ASTM-B209, należy do grupy stopów nie utwardzalnych wydzieleniowo. Dodatki wprowadzone do tego stopu mają na celu bądź to podwyższenie własności wytrzymałościowych (Mg), bądź też wzrost plastyczności i odporności korozyjnej (Mn, Cr). Zawartość tych ostatnich pierwiastków jest jednak ograniczona, aby zapobiec powstawaniu w strukturze wlewka grubych wydzieleni fazy międzymetalicznych pogarszających plastyczność stopu [1]. Własności fizyko-chemiczne wyrobów ze stopu AlMg4,5Mn zależą przede wszystkim od stopnia przesylenia ziarn roztworu α magnezem oraz ilości fazy międzymetalicznych. Struktura umocnionego gniotem stopu ulega odprężeniu już w temperaturze 30-50°C, a po odpowiednio długim czasie także w temperaturze pokojowej [2]. Powoduje to niestabilność własności mechanicznych, związaną z rozpadem roztworu stałego α , której zapobiega się poprzez wyżarzanie stabilizujące blach wykonanych na zimno. O własnościach blach decyduje nie tylko skład chemiczny stopu, ale także struktura blach uzyskana w konkretnych warunkach technologicznych [3]. Skład chemiczny stopu i własności mechaniczne blach ze stopu PA13, wg odpowiednich norm, podano w tablicy 1. Z literaturowych danych wynika, że stop AlMg4,5Mn należy do materiałów konstrukcyjnych o dobrej spawalności. Do łączenia tego stopu mogą być w szerokim zakresie stosowane metody spawania w osłonie gazów obojętnych przy użyciu drutów S-AlMg5 i S-AlMg4,5Mn odpowiednio: 5356

i 5183 wg AWS (ASME), przy czym nieco wyższe własności wytrzymałościowe uzyskuje się stosując spoiwo S-ALMg4,5Mn.

W pracy [4] przedstawiono wyniki badań złączy spawanych ze stopu 5083-0 wykonanych na blachach o grubości 44 mm, przy zastosowaniu dwóch technik spawania metodą MIG wielowarstwowego (20 warstw, osłona He + Ar) i wysokoprądowego (2 warstwy, osłona He). Stwierdzono nieco wyższą wartość $R_{0,2}$ złączy spawanych wielowarstwowo, na co wpłynęła drobnoziarnista struktura spoin, natomiast złącza spawane techniką wysokoprądową miały nieco wyższą wytrzymałość i wydłużenie, w wyniku mniejszej porowatości spoin. Istotny wydaje się być wpływ energii liniowej spawania na własności wytrzymałościowe metalu spoiny, gdyż z jej wzrostem obserwuje się spadek wytrzymałości. Tłumaczy się to powiększeniem dendrytów i odstępów między nimi oraz spadkiem zawartości Mg w spoinie, w wyniku parowania i wymieszania stopiwa z metalem rodzimym. Z przedstawionych badań [5] wynika, że spoiny o wytrzymałości R_m powyżej 280 MPa można uzyskać stosując przy spawaniu energię łuku poniżej 20-25 kJ/cm/cm.

Wykonanie złączy próbných

Do wykonania złączy próbných użyto blach ze stopu PA13 o grubościach 4,6 i 10 mm, które dostarczone były w stanach:

- półtwardym (z 4), $g = 4$ mm,
- po gorącym walcowaniu (pg), $g = 6$ i 10 mm.

Ponieważ norma branżowa dotycząca stopu PA13 obejmuje blachy walcowane na zimno w stanach stabilizowanym i rekrytalizowanym, część blach poddano obróbce cieplnej:

- stabilizowaniu (190°C/8 godz.) - $g = 4$ mm, końcowy stan blach, półtwardy stabilizowany (z 4s),
- rekrytalizowaniu (350°C/5 godz) - $g = 6, 10$ mm, końcowy stan blach - rekrytalizowany (r).

Skład chemiczny blach użytych do spawania oraz ich własności mechaniczne podano w tablicy 1.

Z badanych blach wykonano w pozycji podolnej złącza doczołowe i krzyżowe o długości spoin ok. 330 mm, stosując ręczne spawanie metodą TIG oraz półautomatyczne i automatyczne spawanie metodą MIG. Próby spawania metodą TIG przeprowadzono przy użyciu urządzenia FT1-500 zasilanego z transformatora spawalniczego ETC-500, a w przypadku metody MIG stosowano półautomat RA550 firmy Kemppi lub krajowy automat AS14 zasilany z prostownika EPVc-450. Jako spoiwo w metodzie TIG używany był drut SPA3(S-ALMg5) $\phi 4$ mm, natomiast przy spawaniu metodą MIG stosowano importowane druty AG5 (S-ALMg5) i S-MG45 (S-ALMg4,5Mn), o średnicach 1,2 i 1,6 mm. W celu usunięcia warstwy tlenków, blachy przed spawaniem poddano trawieniu w NaOH, wg

Tablica 1

Skład chemiczny i własności mechaniczne blach ze stopu PA13

Grubość blach mm	Skład chemiczny %								Uwagi
	Mg	Mn	Cr	Si	Fe	Ti	Cu	Zn	
-	4,0-4,9	0,3-1,0	0,05-0,25	max. 0,4	max. 0,4	max. 0,15	max. 0,1	max. 0,2	wg BN-75/0831-05
4	4,24	0,40	0,14	0,14	0,05	0,04	-	-	wg badań kontrolnych
6	3,75	0,41	0,15	0,18	0,27	0,07	-	-	"
10	4,6	0,31	0,11	0,14	0,30	0,06	0,01	0,01	wg atestu
Własności mechaniczne									
Stan		R _m , MPa	R _{0,2} , MPa	A ₅ , %					
1-5	blachy walc. na zimno z4s	min 340	min 270	min 5		wg BN-77/0832-23			
1-5	r	min 270	min 120	min 17					
6-16	blachy walc. na gorąco r	min 270	min 120	min 6		"			
4	z4	360	279	15,6		wg badań kontrolnych			
	z4s	360	292	15,3					
6	pg	315	247	16,7		"			
	r	315	246	18,9					
10	pg	285	145	-		wg atestu			

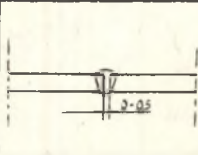
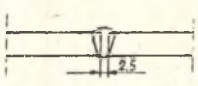
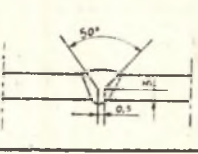
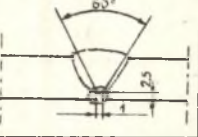
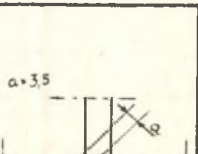
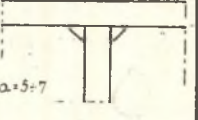
ogólnie stosowanej technologii, a sam proces spawania przeprowadzono w odpowiednim przyrządzie usztywniającym. Szczegółowe warunki technologiczne spawania płyt próbných podano w tablicy 2.

Przebieg i wyniki badań

Płyty próbne po wykonaniu złączy i dokonaniu oględzin zewnętrznych poddano badaniom radiograficznym, a następnie pobrano próbki do badań mechanicznych obejmujących:

Tablica 2

Parametry spawania złączy próbnych

Lp.	Grubość blach mm	Przygotowanie brzegów blach Ilość warstw	Metoda spawania	Rodzaj drutu	Prąd spawania A	Napięcie spawania V	Szybkość spawania cm/min	Przepływ argonu l/min
ZŁĄCZA DOCZOŁOWE								
1	4		MIG-autom.	AG-5	210	21	80	18
2			MIG-półaut.	AG-5	180	21-22	44	14
3			MIG-półaut.	S-MG45	180	21-22	44	14
			TIG	SPA3	220	-	18	12
5	6		MIG-półaut.	AG5	240	28-29	40	16
6			TIG	SPA3	260	-	13	12
7			MIG-autom.	AG5	240-250	24	70	18
8	10		MIG-półaut.	AG5	250/240	26/24	40/40	18/18
9			MIG-półaut.	S-MG45	250/240	26/24	40/40	18/18
10			TIG	SPA3	320/320	-	15/15	14/14
ZŁĄCZA KRZYŻOWE								
11	4		MIG-półaut.	AG5	210	22	44	14
12			TIG	SPA3	250	-	18	12
13	10		MIG-autom.	AG5	270	27	65	20
14			TIG	SPA3	300	-	10	12

- statyczne próby rozciągania złączy,
- próby zginania złączy na trzpieniu o średnicy 2,5 g.

Kształt próbek do próby rozciągania dobrano w oparciu o normę PN-78/M-69710, stosując jednak inny wymiar l_0 w celu określenia $R_{0,2}$ i A_5 złączy. Długość pomiarową próbki l_0 wyznaczono zgodnie z zależnością:

$$l_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}, \text{ mm}$$

gdzie S_0 - przekrój próbek równy 25×25 mm.

Próby rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1195, a próby zginania na maszynie wytrzymałościowej ZD40 zgodnie z normą PN-78/M-69720.

Złącza krzyżowe o szerokości 30 mm poddano badaniom na rozciąganie, wyznaczając wytrzymałość spoin ścinanych zgodnie z normą PN-57/M-69714. W złączach krzyżowych z blach o grubości 4 mm przekrój spoin był większy od przekroju blach, w związku z czym zerwanie występowało w strefie wpływu ciepła. W tym przypadku wytrzymałość złączy obliczono dzieląc siłę niszczącą przez przekrój w miejscu zerwania.

Wyniki badań mechanicznych (średnie wartości z 4-9 pomiarów) złączy doczołowych i krzyżowych podano w tablicy 3.

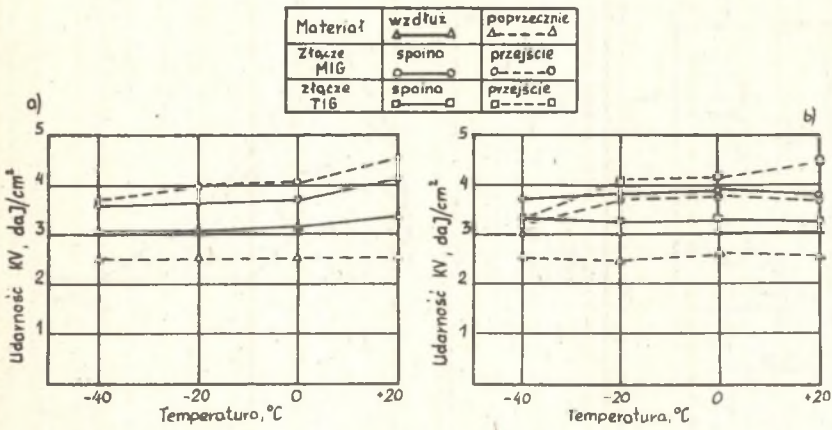
Badanie uderności przeprowadzono w zakresie temp. od $+20^\circ\text{C}$ do -40°C na próbkach z karbem Charpy-V wyciętych z blach o grubości 10 mm w stanie pg i r, blach o grubości 4 mm w stanie z4 i z4s oraz w celach porównawczych z karbem DVM dla blach o grubości 10 mm w stanie pg. próbki do badań wycięto z materiału blach pobranych wzdłuż i poprzecznie do kierunku walcowania oraz ze złączy spawanych metodą TIG i półautomatycznie metodą MIG (drut AG5). W przypadku złączy karby nacinano w spoinie i w przejściu spoiny do materiału rodzimego. Badanie uderności dla blach i złączy o grubości 4 mm przeprowadzono na nietypowych próbkach udernościowych 4×10 mm. We wszystkich przypadkach karb nacinano prostopadle do powierzchni blach. Do badań użyto młota Charpiego typu Izod-Pendell, stosując odzębienie próbek w mieszaninie denaturatu i suchego lodu. Wyniki badań uderności przedstawiono na rys. 1, 2.

Badanie na rozdzieranie przeprowadzono w zakresie temperatur $+20$ do -196°C na próbkach z blach grubości 4 mm w stanie z4 i z4s z karbem naciętym wzdłuż i poprzecznie do kierunku walcowania oraz w zakresie temp. $+20$ do -40°C dla złączy spawanych półautomatycznie metodą MIG (drut AG5). W próbkach spawanych karb nacinano w spoinie i w przejściu spoiny do materiału rodzimego. Do badań użyto maszyny wytrzymałościowej typu WPM prod. NRD. Schemat próby rozdzierania, wymiary próbek oraz miejsce nacięcia karbów pokazano na rys. 3.

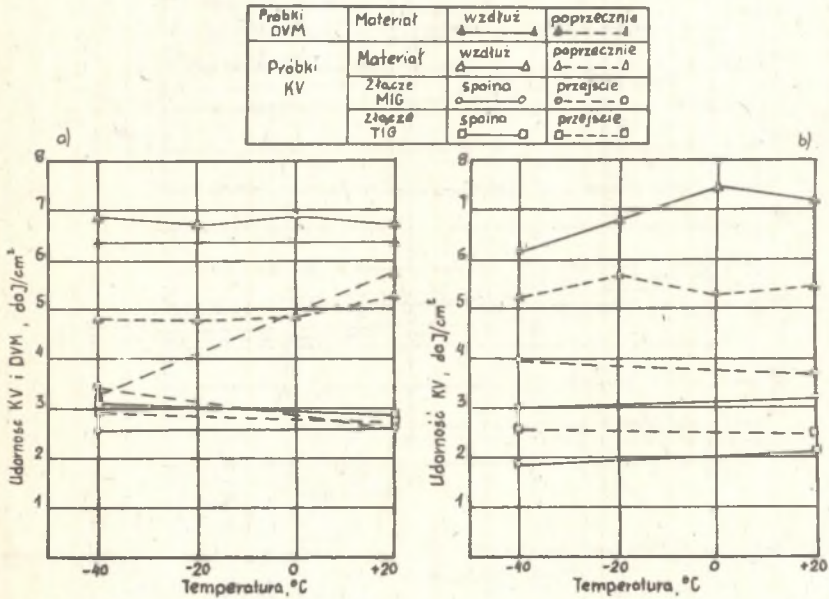
Tablica 3

Własności mechaniczne złączy spawanych

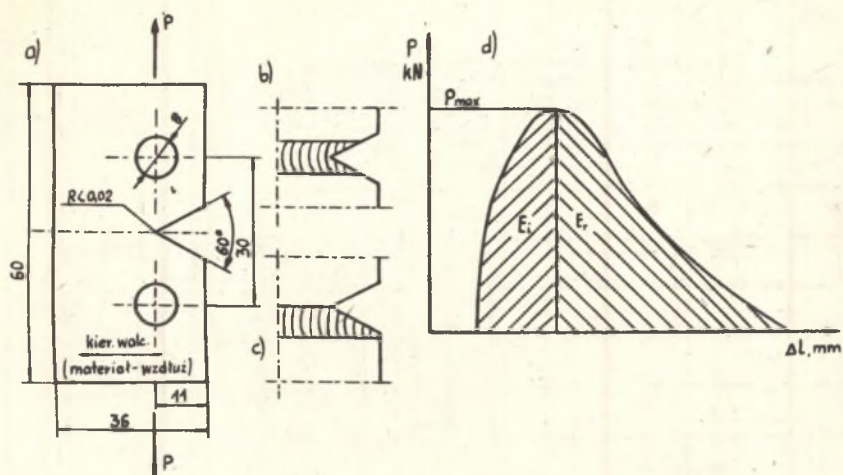
Gru- bość blach mm	Stan	Metoda spawania	Ro- dzaj drułu	Własności wytrzyma- łościowe			Kąty gięcia, ϕ trzp = 2,5 g	
				R _m MPa	R _{0,2} MPa	A ₅ %	Rozcią- ganie lica spoiny	Rozcią- ganie grani spoiny
ZŁĄCZA DOCZOŁOWE								
4	z4	MIG-autom.	AG5	267	204	-	140	140
		MIG-półaut.	S-MG45	270	224	11,2	150	120
		TIG	SPA3	275	153	-	150	150
	z4s	MIG-autom.	AG5	266	217	-	180	150
		TIG	SPA3	267	160	-	180	180
6	pg	MIG-autom.	AG5	260	189	-	180	70
		MIG-półaut.	SM-MG45	253	187	12,3	150	90
		TIG	SPA3	272	142	-	150	150
	r	MIG-autom.	AG5	259	149	-	180	170
		TIG	SPA3	263	143	-	170	130
10	pg	MIG-półaut.	S-MG45	247	182	15,6	-	-
ZŁĄCZA KRZYŻOWE								
Gru- bość blach mm	Stan	Metoda spawania	Rodzaj drułu	Wytrzymałość spoin MPa	Wytrzymałość złączy MPa	Uwagi		
4	z4s	MIG- półaut.	AG5	143	-	ścięcie spoin		
				-	289	zerwanie w SWC w odl. 3-7 mm od brzegu spo- iny		
		TIG	SPA3	-	284	zerwanie w SWC w odl. 10-12mm od brzegu spo- iny		
10	pg	MIG-autom.	AG5	149	-	ścięcie spoiny		
		TIG	SPA3	137	-	ścięcie spoin		



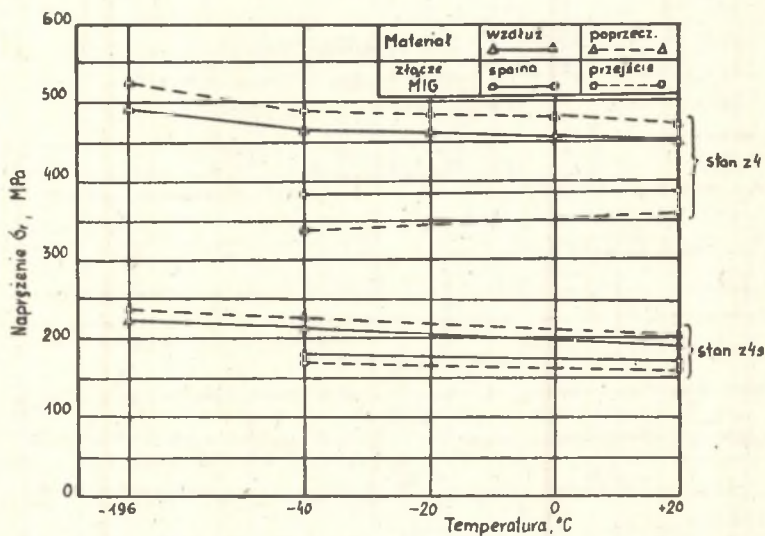
Rys. 1. Wyniki badań uderności materiału i złączy spawanych ze stopu PA13 w stanie z4 (a) i w stanie z4s (b). Grubość blach $g=4$ mm



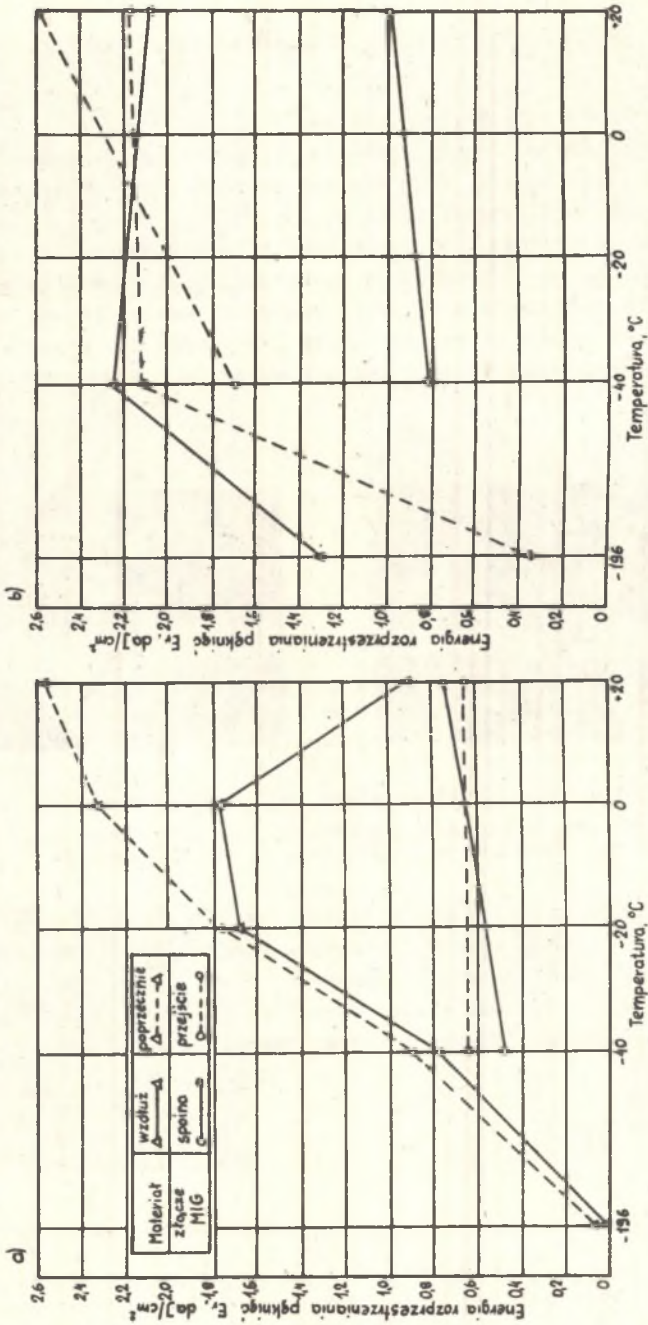
Rys. 2. Wyniki badań uderności materiału i złączy spawanych ze stopu PA13 w stanie pg (a) i w stanie r (b). Grubość blach $g=10$ mm



Rys. 3. Schemat próby rozdierania (a). Próbki z karbem osi spoiny (b) i z karbem w przejściu (c) oraz schematyczny wykres otrzymany w wyniku tej próby (d)



Rys. 4. Wykres naprężeń maksymalnych $\bar{\sigma}_r$ w zależności od temperatury, stop PA13, $g = 4$ mm



Rys. 5. Energia rozprzestrzeniania pęknięć materiału i złączy spawanych w zależności od temperatury. Spawanie półautomatyczne metodą MIG. Grubość blach $g = 4$ mm, stop PA13
 a) blachy w stanie z, b) blachy w stanie z4s

Jako wynik prób przyjęto:

- maksymalne naprężenie niszczące próbkę,

$$\sigma_r = \frac{4 \cdot P_{max}}{S}$$

gdzie S - przekrój próbki w miejscu karbu

- energię rozprzestrzeniania pęknięcia, E_r (pole pod krzywą - rys. 3d).

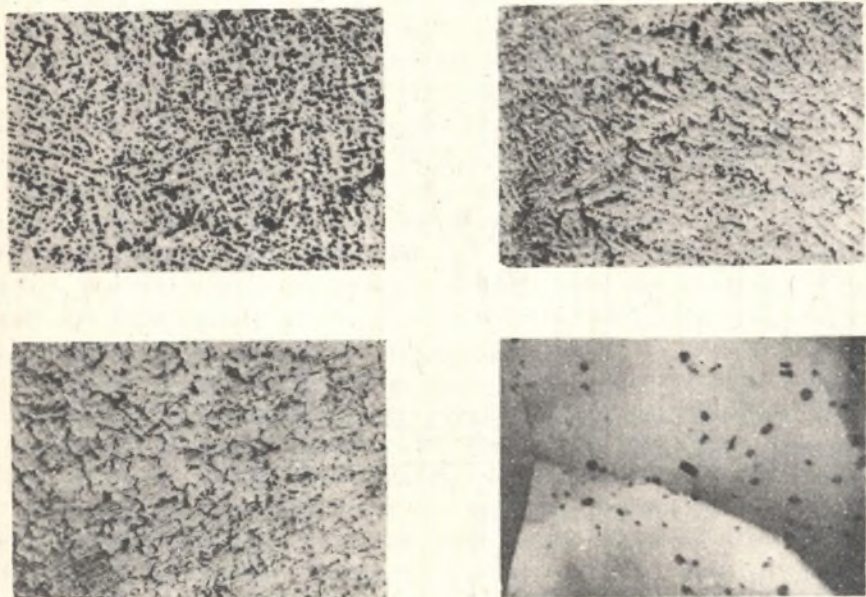
Obliczone wartości σ_r i E_r (średnie 2-3 pomiarów) dla materiału i złączy spawanych metodą MIG przedstawiono na rys. 4 i 5.

Wybrane złącza doczołowe i krzyżowe poddano obserwacji makroskopowej i mikroskopowej. Zgłady makroskopowe próbek, przygotowane w sposób standardowy, trawiono odczynnikiem Adlera i roztworem wodnym kwasów HF + HCl + HNO₃, natomiast zgłady mikroskopowe 1% roztworem HF. Cienkie folie polewowano elektrochemicznie w odczynniku o składzie 90% C₆H₁₄O₆ + 10% HClO₄.



Rys. 6. Makrostruktury złączy ze stopu PA13 spawanych metodą MIG (druć AG5)
a) złącze doczołowe, materiał w stanie pg, g = 6 mm, pow. 2x, b) złącze krzyżowe, materiał w stanie z4s, g = 4 mm, pow. 2x

Makro i mikrostruktury niektórych złączy przedstawiono na rys. 6 i 7. W zakresie badań metalograficznych dokonano również oceny fraktograficznej przełomów próbek po badaniach udarności i rozdzierania (rys. 8). W uzupełnieniu badań przeprowadzono pomiary twardości na przekrojach złączy doczołowych i krzyżowych. Typowe rozkłady twardości w złączach pokazano na rys. 9.

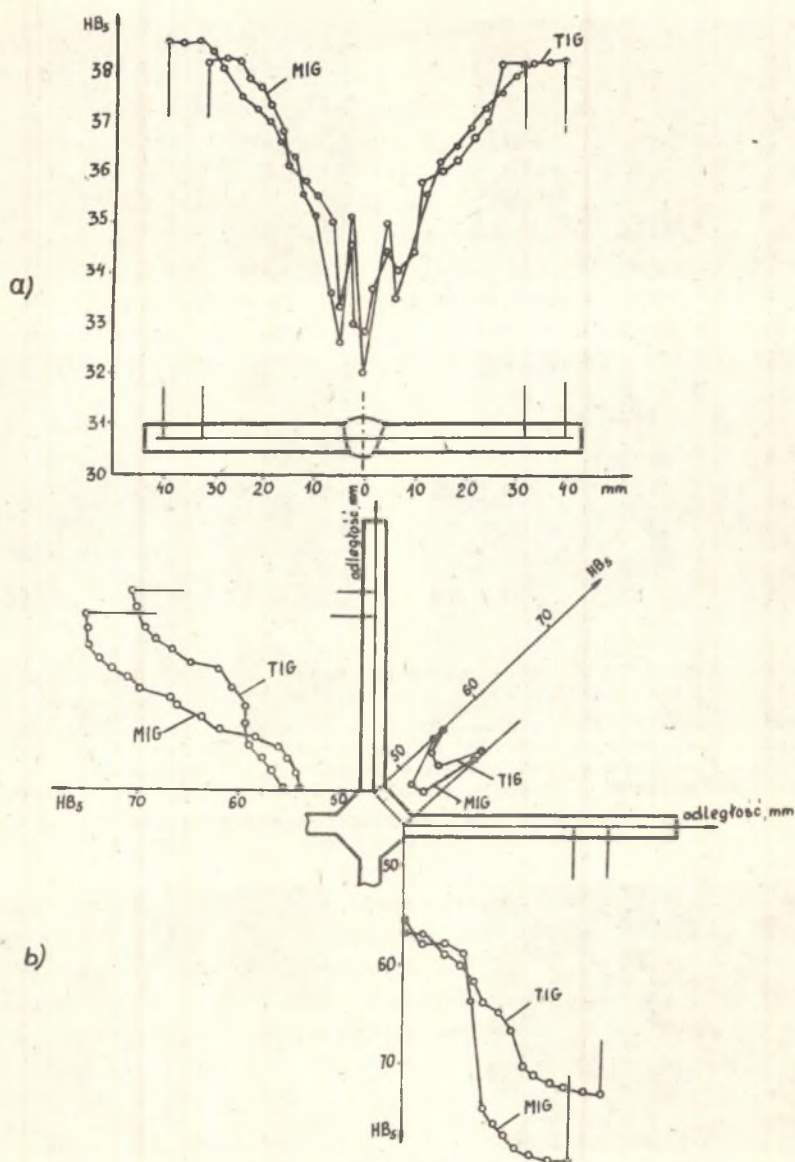


Rys. 7. Mikrostruktury złącza spawanego metodą MIG ze stopu PA13 ($g=6$ mm, stan pg). Na tle roztworu stałego α wydzielenia faz β (Al_3Mg_2) i Al_6Mn
 a) spoina - wydzielenia faz na granicach dendrytów, pow. 300x, b) linia wtopienia, pow. 300x, c) strefa wpływu ciepła w pobliżu linii wtopienia, pow. 300x, d) strefa wpływu ciepła w pobliżu linii wtopienia, liczne drobne wydzielenia faz β i Al_6Mn na granicach i wewnątrz ziarn roztworu stałego α , pow. 12 000x (cienka folia)



Rys. 8. Przełomy próbek stopu PA13 po próbach udarowości (a) i rozdzierania (b)

a) przełom spoiny - transkryształiczny ciągliwy, temp. badania $-40^{\circ}C$, pow. 1000x, b) przełom spoiny - transkryształiczny ciągliwy temp. badania $-40^{\circ}C$, pow. 300x



Rys. 9. Rozkład twardości na przekroju złączy ze stopu PA13

a) złącze doczołowe, $g=6$ mm, stan p_g, b) złącze krzyżowe, $g=4$ mm, stan z_{4S}

Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania doczołowych i krzyżowych złączy spawanych ze stopu PA13 pozwoliły określić ich podstawowe własności mechaniczne. Stwierdzono, że w złączach doczołowych niezależnie od metody spawania (MIG, TIG), rodzaju użytego spoiwa (AG5, S-MG45 i SPA3) i stanu wyjściowego blach (z4, z4s, pg, r) wytrzymałość na rozciąganie złączy jest zbliżona i wynosi 250-270 MPa - tablica 3. W porównaniu do materiału rodzimego wytrzymałość złączy jest niższa, przy czym to obniżenie wytrzymałości jest największe dla blach silnie umocnionych przez zgniot. Tak więc wytrzymałość złączy jest równa wytrzymałości materiału w stanie rekrytalizowanym. W zasadzie dla złączy spawanych, ze względu na niejednorodność materiału nie określa się granicy plastyczności i wydłużenia względnego, jednakże uwzględniając żądanie zleciodawcy, wartości te określono, zdając sobie sprawę z ich orientacyjnego charakteru. Dla wszystkich stanów wyjściowych blach stwierdzono wyższe wartości $R_{0,2}$ złączy spawanych metodą MIG w porównaniu do spawania metodą TIG. Wytłumaczyć to można znacznym zwiększeniem strefy wpływu ciepła w złączach wykonanych metodą TIG. Złącza doczołowe charakteryzują się dobrymi własnościami plastycznymi, na co wskazują wyniki próby zginania, przy czym nieco lepsze własności plastyczne posiadają złącza wykonane z materiału w stanie stabilizowanym lub rekrytalizowanym. Wytrzymałość statyczna ścinanych spoin pachwinowych w złączach krzyżowych niezależnie od metody spawania (TIG, MIG) jest zbliżona i wynosi 140-150 MPa, ze względu na użycie spoiw tego samego typu S-AlMg5. Uzyskana wartość wytrzymałości przekracza minimalne wymagania (117MPa) dla spoin pachwinowych, spawanych drutem 5356 wg [6]. W przypadku złączy krzyżowych z grubymi spoinami pachwinowymi zerwanie występuje w strefie wpływu ciepła złączy, a wytrzymałość takich złączy określona jest wytrzymałością materiału w stanie rekrytalizowanym.

Wyniki badań udarności (rys. 1 i 2) potwierdzają dane literaturowe, że w przypadku stopów Al nie występuje spadek udarności w miarę obniżania temperatury. W badanym zakresie temperatur od +20°C do -40°C nieco wyższą udarnością charakteryzują się próbki pobrane wzdłuż kierunku walcowania w porównaniu do próbek pobranych poprzecznie, zaś stan materiału blach nie wpłynął wyraźnie na poziom udarności próbek. W złączach spawanych najniższą udarnością charakteryzują się spoiny, przy czym ich udarność oceniana na próbkach z karbem Charpy-V jest na ogół wyższa niż 2,0-2,5 daJ/cm². W przypadku stopów Al badania udarności nie pozwalają na ocenę odporności na działanie karbu, lecz niekiedy do tego celu są wykorzystywane. Wg RPN przepisów [7] dla stopu AlMg4,5Mn, w zakresie temperatur +50°C do -196°C udarność DVM blach o grubości poniżej 30 mm powinna być wyższa niż 3 daJ/cm². Można przypuszczać, że ze względu na podobny poziom udarności próbek z karbem Charpy-V i DVM (rys. 2b) kryterium to będzie spełnione i udarność spoin, szczególnie przy spawaniu metodą MIG, nie będzie niższa niż

2,5 do 3,0 daJ/cm². Dla stopów Al próby rozdzierania są znacznie bardziej miarodajne niż badania udarności przy ocenie odporności metalu na rozwój pęknięć. Analizując uzyskane wyniki badań (rys. 4) można stwierdzić, że dla stopu PA13 w stanie stabilizowanym wartości naprężenia rozdzierania są ponad dwa razy niższe niż dla stopu w stanie utwardzonym (z4). W podobny sposób kształtuje się również naprężenie σ_r dla spoin. Bardziej istotna jednak, z punktu widzenia zachowania się badanych tworzyw w niskich temperaturach, wydaje się być wielkość energii rozprzestrzeniania pęknięć E_r (rys. 5). O wyższych własnościach plastycznych stopu PA13 w stanie stabilizowanym szczególnie wyraźnie mogą świadczyć wielkości energii E_r w temperaturach -40°C do -196°C, które w przypadku materiału niestabilizowanego osiągają znacznie niższe wartości. Porównując wartości E_r można stwierdzić, że najwyższą odpornością na rozprzestrzenianie się pęknięć charakteryzuje się materiał rodzimy, następnie przejście spoiny, zaś najniższą - spoina. Badania metalograficzne złączy spawanych ze stopem PA13 pozwoliły ujawnić zmiany strukturalne w obszarach o niższych, w stosunku do materiału rodzimego, własnościach wytrzymałościowych. Obszarami tymi są spoina i strefa wpływu ciepła. W obszarach SWC nagrzewanych do temperatur wyższych od 100-150°C zachodzą procesy zdrowienia i rekrytalizacji wpływające zarówno na strukturę jak i własności wytrzymałościowe złączy.

Struktura złączy (spoiny i SWC) wykonanych z blach w stanie dostawy i wyżarzonym, składa się z roztworu stałego i faz międzymetalicznych β (Al_3Mg_2) i Al_6Mn . Na przekroju złączy stwierdzono znaczne zróżnicowanie w rozmieszczeniu ilości faz międzymetalicznych. W spoinach wydzielania faz występowały na granicach ziarn dendrytów, natomiast w linii wtopienia na granicach i wewnątrz ziarn roztworu stałego α - (rys. 7). Wydzielania faz β (Al_3Mg_2) i Al_6Mn miały w tych obszarach charakter siatkowy.

Obszary SWC charakteryzowały się globulityczną postacią wydzieleni, rozmieszczonych na granicach ziarn (rys. 7c). Zanik siatkowej postaci wydzieleni na granicach ziarn roztworu stałego α spowodowany został krótkotrwałym oddziaływaniem wysokich temperatur cyklu spawania. Stopień poprzerywania siatki na granicach ziarn i powstanie wydzieleni o charakterze globulitycznym był najsilniejszy w strefach przyspoinowych i malał w miarę oddalania się od spoiny. Wyraźną postać globulityczną wydzieleni faz stwierdzono w złączach wykonanych z blach poddanych przed spawaniem wyżarzaniu stabilizującemu. Mniejszy stopień poprzerywania siatki wydzieleni w SWC wystąpił w złączach wykonanych z blach w stanie dostawy. Znaczne zróżnicowanie w ilości, wielkości oraz postaci wydzieleni faz wpływa na własności wytrzymałościowe złączy spawanych, w których mają miejsce procesy rekrytalizacji, powodujące zwiększenie wielkości ziarna roztworu stałego α oraz przejście siatkowej postaci wydzieleni faz w globulityczną. Obszary te charakteryzuje znaczny spadek twardości (rys. 9). Należy jednak podkreślić, że spadek ten jest mniejszy w złączach wykonanych z blach w stanie dostawy. Badania makroskopowe złączy doczołowych i krzyżowych spawanych metodą

TIG ujawniły bardziej gruboziarnistą niż w złączach spawanych metodą MIG strukturę spoin. Badania fraktograficzne przełomów próbek udarnościowych i po próbach rozdzierania wykazały zarówno dla materiału rodzimego jak i spoin, w całym zakresie temperatur plastyczny charakter przełomów (rys.8). Stwierdzono jedynie pewne zróżnicowanie w wielkości ziarna i regularności przełomów spoin wykonanych metodami TIG i MIG. Przełomy spoin w złączach spawanych metodą TIG były bardziej gruboziarniste i charakteryzowały się znaczną nieregularnością.

W przełomach po próbie rozdzierania zaobserwowano znaczne różnice wynikające ze stanu umocnienia materiału. W przypadku materiału stabilizowanego przełomy próbek rozdzieranych równolegle i prostopadle do kierunku odkształcenia plastycznego wykazywały znaczną plastyczność, o czym świadczy wyraźne przewężenie w płaszczyźnie zerwania. Przełomy próbek niestabilizowanych przebiegały ukośnie pod kątem do powierzchni próbek. Spoiny posiadały przełomy poszarpane na całej powierzchni. Natomiast przełomy próbek z karbem w przejściu charakteryzowały przebieg nieregularny z inicjacją pęknięcia w linii wtopienia.

Wnioski

1. Wytrzymałość na rozciągania złączy doczołowych ze stopu PA13 niezależnie od metody spawania (MIG, TIG) i rodzaju spoiwa (S-AlMg5, S-AlMg4,5 Mn) jest zbliżona i wynosi 250-270 MPa. Złącze spawane metodą MIG charakteryzują się jednak wyższą wartością umownej granicy plastyczności.
2. W złączach krzyżowych wytrzymałość ścinanych spoin pachwinowych wynosi ok. 140 MPa, zaś w przypadku grubych spoin pachwinowych wytrzymałość złączy określona jest wytrzymałością zmiękzonego materiału w strefie wpływu ciepła.
3. Stop PA13 jak i złącza spawane z tego stopu prawie nie wykazują spadku udarności w zakresie temperatur od +20 do -40°C.
4. Materiał rodzimy i doczołowe złącza spawane metodą MIG, ze stopu PA13 w stanie stabilizowanym, w porównaniu do stanu niestabilizowanego charakteryzują się wyższą odpornością na rozprzestrzenianie pęknięć.
5. Wielkość, postać oraz ilość wydzieleni faz w spoinach i SWC złączy zależy od metody spawania oraz stanu stopu PA13 przed spawaniem.
6. Rozkład twardości w złączach spawanych posiada charakter zróżnicowany, przy czym najniższą twardość obserwuje się w strefie wpływu ciepła.

LITERATURA

- [1] Galanty A.: Własności i zastosowanie stopów Al w budowie wagonów kolejowych ze szczególnym uwzględnieniem stopu AlMg₄,5Mn - Referat wygłoszony na konferencji Stopy Al w budowie taboru kolejowego, Swidnica 18.01.1978.
- [2] Brenner P.: Aluminium, nr 36, 1960, s. 589.
- [3] Galanty A.: Rudy i Metale Niezelazne, nr 1, 1963, s. 12.
- [4] Zinkham R.A., Ashton R.F.: Fracture of 5083-O aluminium LNG weldments, Aluminium, nr 7, 1974, s. 462.
- [5] Kuriyama Y. i inni: Fracture characteristics of thick aluminium alloy 5083/5183 welds, Dok. MIS nr IX-882-74.
- [6] "Welding Alcoa Aluminum" - wydawnictwo Aluminum Company of America, Pittsburg 1972.
- [7] "Technische Kennwerthe der Legierungen AlMg₄,5Mn und AlMg₄Mn" - wydawnictwo f-ny Kaiser Aluminium Europe INC, Werk Koblenz.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СПЛАВА PA13 (AlMg₄, 5 Mn)

Р е з ю м е

Новый отечественный алюминиевый сплав PA13 предназначен для сварных конструкций. В работе представлены механические свойства стыковых соединений, свариваемых из листов сплава PA13 толщиной 4-10 мм вольфрамовым и плавящимся электродом в среде аргона. Работа содержит результаты испытаний ударной вязкости и на разрыв материала и сварных соединений, а также результаты металлографических исследований.

THE MECHANICAL PROPERTIES OF PA13 (AlMg₄, 5Mn) ALLOY WELDED JOINTS

S u m m a r y

The recently developed Polish Aluminium alloy PA13 for welded structures. The results of mechanical properties examination of welded butt and cruciform joints made of plates of 4 to 10 mm thickness.

The joints were made using MIG and TIG welding methods. The results of impact and tear tests as well as metallographical examination.