ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 55 Nr kol. 446

Marceli Mazur

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

WTRĄCENIA TLENKOWE W SPOINACH ALUMINIOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań dotyczących oznaczenia oraz identyfikacji wtrąceń tlenkowych w stopiwie aluminiowym oraz w spoinach punktowych i złączach doczołowych. Podano własności mechaniczne spoin aluminiowych, wykonanych w osłonie argonu metodami TIG i MIG dla różnego przygotowania powierzchni blach spawanych.

Wstęp

Jedną z głównych przyczyn utrudniających spawanie aluminium jest jego duże powinowactwo do tlenu. Znajdujące się na powierzchniach łączonych brzegów tlenki uniemożliwiają swobodne łączenie ciekłego metalu, stąd podstawowym zadaniem przy spawaniu aluminium jest usunięcie istniejących tlenków powierzchniowych i niedopuszczenie do ponownego utlenienia w tym miejscu. Zadanie to jest spełnione podczas spawania aluminium w osłonie gazów obojętnych i dzięki zachodzącemu w tych warunkach czyszczącemu działaniu łuku. W wyniku niedostatecznej osłony ciekłego metalu przed dostępem powietrza, jak i nieskutecznej akcji czyszczenia łukowego, mogą niekiedy pojawić się w spoinach wtrącenia tlenkowe. W przeprowadzonych badaniach próbowano oznaczyć zawartość wtrąceń tlenku Al_2O_3 w stopiwie aluminiowym, zidentyfikować te wtrącenia, a także sprawdzić możliwość występowania błonek tlenkowych w złączach aluminiowych.

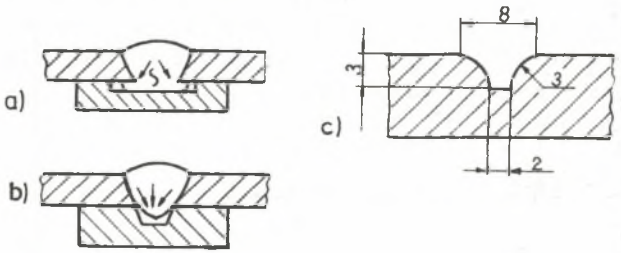
Wtrącenia tlenkowe w spoinach aluminiowych

W związku z wysoką temperaturą topnienia tlenku aluminium nie zachodzi jego roztopienie w procesie spawania. Również redukcja aluminium z jego tlenku w warunkach spawania jest praktycznie niemożliwa. Z tego też względu uważa się, że podczas spawania aluminium w warunkach niedokładnego usunięcia przed spawaniem tlenków z powierzchni łączonych krawędzi mogą wystąpić w spoinach wady w postaci wtrąceń tlenkowych. Wtrącenia takie mogą wystąpić nawet wtedy, gdy osiągnięte zostało prawidłowe stopienie [1]. Ogólnie stwierdza się, że wtrącenia tlenkowe występują w spoinach w postaci cienkiej błonki trudno wykrywalnej. Wtrącenia te osłabiając ciągłość

fizyczną spoiny wywierają niekorzystny wpływ na własności połączeń spawanych. Wpływ tych wad na własności złącza potęgowany jest ograniczoną możliwością ich wykrywania. Wtrącenia tlenkowe w spoinach aluminionych są w większości przypadków niewykrywalne metodami radiograficznymi i z reguły oceniane w przypadku wtrąceń liniowych, jako porowatość liniowa, brak wtopienia lub brak przetopu, zaś wtrącenia innego kształtu klasyfikowane są jako pęcherze podłużne lub żużle pasmowe [2, 3]. Taki sposób oceny jest uzasadniony faktem łącznego występowania wymienionych wad i wtrąceń tlenkowych.

Uważa się, że przy spawaniu metodą TIG zaznacza się większa skłonność do tworzenia się w spoinie wtrąceń tlenkowych, a przy spawaniu metodą MIG większa skłonność do porowatości spoin [3]. Zmniejszeniu stopnia zanieczyszczenia spoin wtrąceniami tlenkowymi sprzyja penetracja przez łuk jeziorka metalu przez stosowanie skoncentrowanych źródeł ciepła (spawanie plazmowe i łukiem trójfazowym) a także odpowiednie przygotowanie łączonych brzegów blach [4]. Sądzi się także, że spawanie łukiem impulsowym zapewnia otrzymanie bardziej czystych metalurgicznie spoin z mniejszą ilością wtrąceń tlenkowych [5, 6]. Jako środki zapewniające uniknięcie lub zmniejszenie zagrożenia pojawienia się wtrąceń tlenkowych w spoinach stosowane są następujące metody:

- obróbka powierzchni spoiwa i spawanych materiałów w celu otrzymania możliwie najcieńszej warstewki tlenków powierzchniowych z minimalną zawartością wilgoci,
- stosowanie podkładek o odpowiednim kształcie rowka oraz odpowiednie ukosowanie brzegów blach, szczególnie przy spawaniu stopów Al-Mg,
- stosowanie topników sprzyjających usuwaniu tlenków z powierzchni nie podlegających czyszczącemu działaniu łuku.



Rys. 1. Schemat wypływu metalu i tlenków do rowka przy spawaniu na płaskiej podkładce (a) i podkładce z głębokim rowkiem (b) oraz profil rowka podkładki do spawania blach o grubości 4-6 mm (c) [10]

Czyszczenie drutów do spawania odbywa się zwykle metodami mechanicznymi lub chemicznymi, a jakość przygotowania powierzchni drutów posiada istotny wpływ na jakość spoin. Wg Millera [7] obecność smarów na powierzchni drutu ma większy wpływ na jakość spoin niż cienkie warstewki tlenków.

Autorzy pracy [8] za najlepszy sposób przygotowania drutu do spawania uważają chemiczne polerowanie, między innymi ze względu na najmniejszą zawartość wodoru w warstwie powierzchniowej i minimalną grubość warstwy tlenku.

Spośród różnych metod przygotowania powierzchni blach do spawania za najlepszą uważa się suchą obróbkę mechaniczną np. szybkościowe frezowanie z prędkością 15 000 obrotów na minutę [3, 9]. W pracy [10] jako optymalne przy spawaniu stopu AlMg6 zalecane są podkładki z głębokim rowkiem o kształcie przedstawionym na rys. 1. Podkładki te zapewniają wprowadzenie wtrąceń tlenkowych do przetopu i w odróżnieniu od podkładek płaskich wykluczają tworzenie się nacieków stopiwa od strony grani. Odpowiednie ukosowanie brzegów blach [4] posiada istotny wpływ na obecność wtrąceń tlenkowych w spoinie.

Jednym ze sposobów sprzyjających usuwaniu tlenków jest nałożenie na powierzchnie blach przed spawaniem metodą TIG odpowiednich topników. Np. do spawania stopu AlMg6 stosowany jest topnik o składzie 63% LiF i 37% AlF_3 lub 37% LiF i 63% AlF_3, nanoszony na powierzchnie w postaci dyspersyjnej zawiesiny w alkoholu [10]. Z uwagi na brak danych dotyczących korozji złączy spawanych topniki te jednak nie są szerzej stosowane. Czasem przy spawaniu stopu AlMg6 metodą TIG dla ograniczenia mikrowtrąceń tlenkowych w grani spoiny nanosi się na ukosowane brzegi blach cienką warstewkę grafitu [10].

Badania własne

Badanie stopiwa

Dla uzyskania stopiwa o różnej zawartości wtrąceń tlenkowych metodami TIG i MIG wykonano napoiny stosując do spawania aluminiowy drut elektrodowy SA1 o średnicy 1,6 mm w stanie dostawy oraz druty tego samego gatunku o odpowiednio przygotowanych powierzchniach (tablica 1). Próby napawania w osłonie Ar metodą MIG przeprowadzono przy użyciu półautomatu EMd-450, natomiast do spawania metodą TIG wykorzystano automat AS13a-500. Stopiwo układano wielowarstwowo na trawionych płytach aluminiowych A1 o grubości 15 mm, uzyskując napoiny o przekroju 25 x 15 mm (rys. 2). Ułożenie stopiwa metodą MIG, w przypadku stosowania drutu anodowanego okazało się niemożliwe z uwagi na dużą oporność powierzchniowej warstwy tlenków.

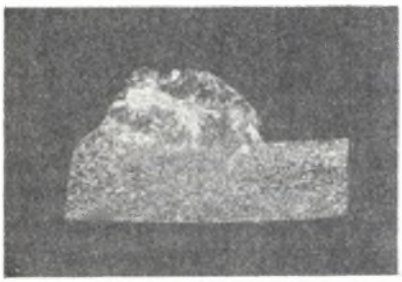
Ilościowego oznaczenia zawartości Al_2O_3 w ułożonym stopiwie dokonano metodą bromo-metanolową. Metoda ta pozwala na oznaczenie tylko zawartości tlenku α-Al_2O_3 powstającego przy wysokich temperaturach, ponieważ powłoki tlenkowo-anodowe utworzone przy niskich temperaturach ulegają rozpuszczeniu w roztworze bromu i metanolu. Z wykonanych napoin do analizy chemicznej pobrano próbki w kształcie prostopadłościanu o masie ok. 5 g. Próbki te po obróbce mechanicznej trawiono w roztworze kwasu azotowego i

Tablica 1

Zawartość wtrąceń Al_2O_3 w stopiwie aluminiowym ułożonym w osłonie argonu

Lp.	Metoda spawania	Przygotowanie drutu	Zawartość wagowa Al_2O_3 w stopiwie, %				
			nr pomiaru				średnia
			1	2	3	4	
1	MIG	Stan dostawy	0,070	0,062	0,074	0,057	0,066
2	MIG	Trawienie	0,084	0,056	0,060	0,072	0,068
3	MIG	Gotowanie w wodzie 6 godz.	0,054	0,042	0,040	0,058	0,0485
4	TIG	Stan dostawy	0,019	0,0094	0,016	0,019	0,016
5	TIG	Anodowanie (15 μm)	0,041	0,036	0,020	0,036	0,033
6	Aluminium A1 g = 15 mm		0,0025	0,0032	0,0038	0,0040	0,0034

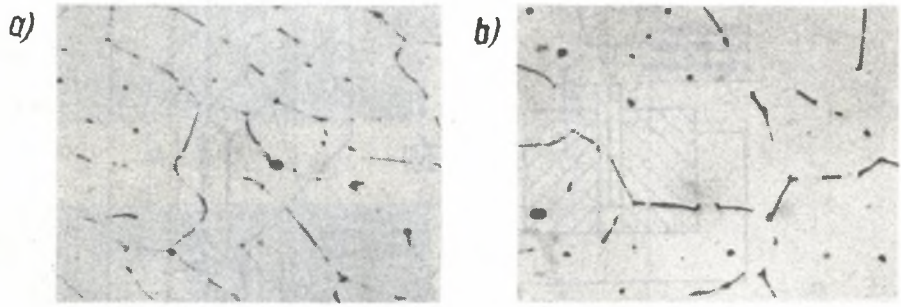
fluorowodorowego w celu usunięcia tlenków powierzchniowych i innych zanieczyszczeń, mogących wpłynąć na wyniki oznaczeń. Tak przygotowane próbki stopiwa rozpuszczano w roztworze bromu i metanolu, a w uzyskanym osadzie oznaczono fotokolorymetrycznie zawartość Al_2O_3. Oznaczenia zawartości tlenku dokonano wg szczegółowej instrukcji analitycznej [11]. Wyniki oznaczeń podano w tablicy 1. Wtrącenia tlenkowe w stopiwie badano jakościowo przy pomocy rentgenowskiej analizy fazowej. Próbki stopiwa o wymiarach 20 x 10 x 3 mm naświetlono w kamerze Bragg-Brentano na aparacie "Mikrometa" filtrowanym promieniowaniem anody miedzianej. W stopiwie stwierdzono obecność tlenku α-Al_2O_3 przy czym największą intensywność prążków dyfrakcyjnych pochodzących od tej fazy ujawniono dla stopiwa wykonanego metodą MIG przy użyciu drutów w stanie dostawy. Nieznaczną intensywność prążków dyfrakcyjnych stwierdzono na dyfraktogramach stopiw wykonanych drutem trawionym (metoda MIG) oraz drutem w stanie dostawy (metoda TIG). Nie stwierdzono natomiast występowania prążków dyfrakcyjnych od fazy α-Al_2O_3 dla stopiw wykonanych metodą TIG drutem anodowanym i metodą MIG drutem wytrzymanym we wrzącej wodzie.



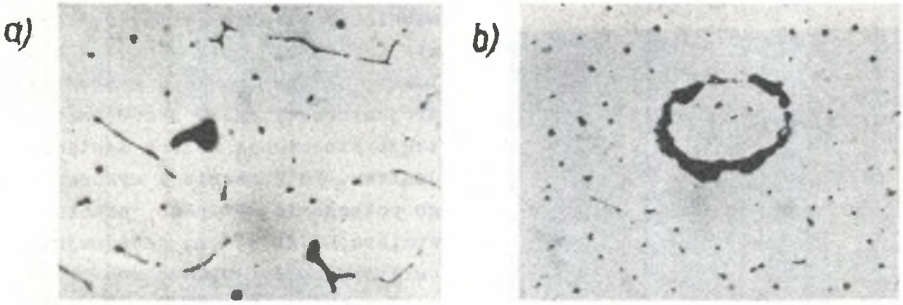
Rys. 2. Napoina wielowarstwowa przeznaczona do badań wtrąceń tlenkowych Al_2O_3 w stopiwie

Badania mikroskopowe stopiwa, przeprowadzono na zgładach nietrawionych jak i na zgładach trawionych odczynnikiem Kellera. Badania te ujawniły

znaczną porowatość stopiwa, szczególnie w przypadku spawania metodą MIG drutami z nieusuniętą powłoką tlenków powierzchniowych. Stopiwo ułożone metodą TIG w porównaniu do stopiwa wykonanego metodą MIG charakteryzuje się mniejszym nasileniem faz międzymetalicznych, co wskazuje na wyższą jakość tego stopiwa (rys. 3). Wtrąceń tlenkowych w badanych stopiwach nie zidentyfikowano, chociaż obserwowano pewne wydzielenia (rys. 4) świecące przy skrzyżowanych nikolach.



Rys. 3. Mikrostruktura stopiwa aluminiowego, wykonanego metodą MIG (a) i metodą TIG (b) 1000x

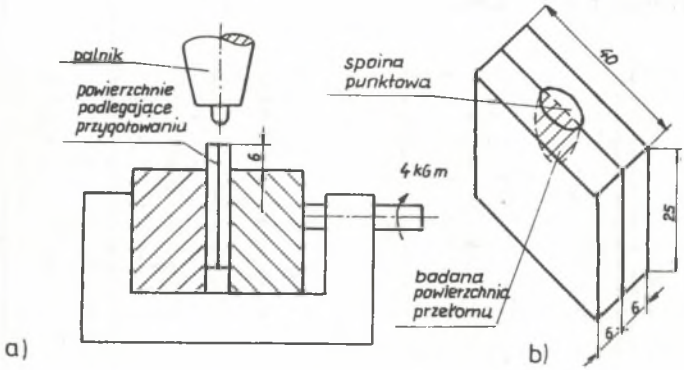


Rys. 4. Wydzielenia w stopiwie aluminiowym wykonanym metodą MIG (a) i metodą TIG (b), 1000x

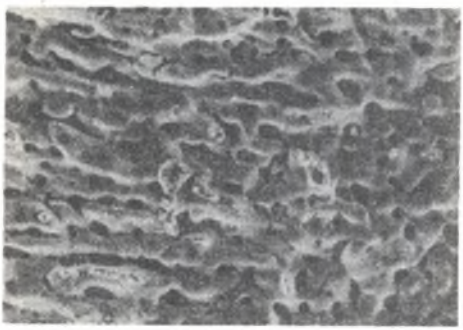
Z uwagi na brak materiału porównawczego - gdyż w dostępnej literaturze nie spotkano zdjęć wtrąceń Al_2O_3 w przetopionym aluminium, trudno określić te wydzielenia jako wtrącenia tlenku glinu. Próbowano również zidentyfikować wtrącenia Al_2O_3 w oparciu o badania przeprowadzone na mikrosondzie elektronowej JXA-50A. Nie stwierdzono jednak miejsca o zwiększonej koncentracji tlenu, które mogłyby sugerować obecność tlenku Al_2O_3. Jedynie na powierzchni pęcherzy obserwowano niekiedy wzrost zawartości tlenu, co może stanowić potwierdzenie faktu zarodkowania pęcherzy gazowych w stopiwie aluminiowym na istniejących wtrąceniach fazy stałej, jaką stanowi tlenek glinu.

Badanie spoin punktowych i złączy doczołowych

Spoiny punktowe wykonano metodą TIG w osłonie argonu na próbkach aluminiowych A1 o wymiarach 40 x 25 x 6 mm (rys. 5). Różny poziom zanieczyszczeń powierzchniowych na stapianych brzegach blach uzyskiwano poprzez



Rys. 5. Sposób wykonania spoin punktowych (a), wymiary próbek i badana powierzchnia przełomu (b)



Rys. 6. Przełom spoiny punktowej, powierzchnie blach w stanie dostawy, 500x

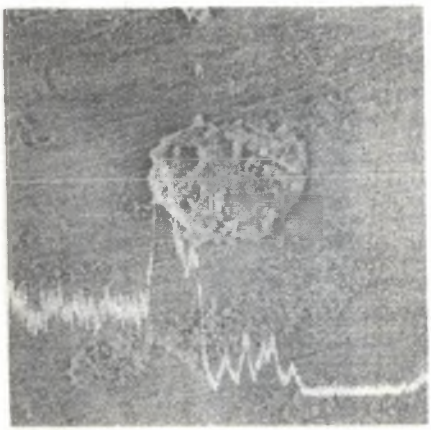
usunięcie tlenków (skrobanie, trawienie, czyszczenie szczotką stalową), odtłuszczanie powierzchni trójchloroetylenem, anodowanie a także stosowanie blach w stanie dostawy. Po spawaniu z wykonanego połączenia wycinano próbki o wymiarach 12x7x7 mm, obejmujące całą spoinę i przylegający materiał rodzimy. Bezpośrednio przed obserwacją na mikroskopie skaningowym i mikrosondzie wykonano przełomy spoin. Na przełomach ujawniono znaczną mikroporowatość spoin, szczególnie w przypadku spawania blach o powierzchniach w stanie dostawy (rys. 6), przy czym największe nasilenie pęcherzy występowało przy linii stopienia. Porowatość spoin obserwowano również na przełomach spoin wykonanych na blachach z usuniętą wstępnie warstewką tlenków powierzchniowych. Spoiny wykonane na blachach anodowanych posiadały przełomy wskazujące na mniejszą ciągliwość stopiwa w porównaniu do przełomów pozostałych spoin. Na przełomach spoin obserwowano niekiedy gniazda pęcherzy (rys. 7a) a na metalu rodzimym pod

a)

b)

Rys. 7. Przełomy spoin punktowych, wykonanych na blachach anodowanych (8 μm)

a - pęcherze na przełomie spoiny 300x; b - popękana warstewka tlenków na aluminium tuż pod linią stopienia, 50x

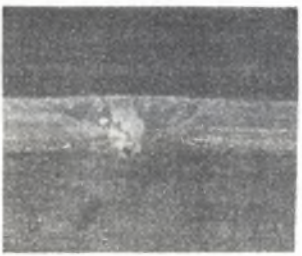


Rys. 8. Błonka tlenku na przełomie spoiny i rozkład zawartości tlenu; powierzchnie blach skrobane, 500x

Tablica 2

Własności mechaniczne złączy doczołowych blach o różnie przygotowanych powierzchniach

Lp.	Sposób przygotowania powierzchni blach	Wady w spoinie na podstawie badań radiograficznych	Wytrzymałość na rozciąganie R_m, kG/mm^2 (daN/mm^2)	Kąty gięcia		Uwagi
				rozciąganie grani	rozciąganie lica	
1	Stan dostawy	Aa11, Ac14	6,7-7,0 / 6,8	170-180 / 175	180 / 180	Zerwanie poza spoiną
2	Odtłuszczanie	Aa12, Da21	7,4-7,8 / 7,6	180 / 180	180 / 180	Zerwanie poza spoiną
3	Czyszczenie szczotką stalową	Ac14	7,3-7,8 / 7,7	180 / 180	180 / 180	Zerwanie poza spoiną
4	Trawienie	Aa21, Da13	7,5-7,9 / 7,7	180 / 180	180 / 180	Zerwanie poza spoiną
5	Anodowanie 8 μm	Ac13, Bd44	7,0-7,4 / 7,2	180 / 180	180 / 180	Zerwanie poza spoiną
6	Anodowanie 17 μm	Bd44	7,0-7,4 / 7,2	130-150 / 140	180 / 180	Zerwanie w spoinie
7	Anodowanie 29 μm	Ac13, Bd44	4,0-4,4 / 4,2	80-100 / 90	180 / 180	Zerwanie w spoinie



Rys. 9. Wtrącenia tlenkowe w grani spoin wykonanych metodą TIG na blachach anodowanych; zgład złącza przy grubosci warstewki tlenków 20 μm

linią wtopienia popękaną warstewkę tlenku powierzchniowego (rys. 7b). Wykorzystując mikrosondę elektronową próbowano w oparciu o powierzchniowy względnie liniowy rozkład tlenu zidentyfikować na przełomach spoin wtrącenia tlenku Al_2O_3. Na rys. 8 pokazano prawdopodobnie błonkę tlenku, w której stwierdzono pewien wzrost koncentracji tlenu.

W celu zbadania możliwości występowania błonek tlenkowych w złączach doczołowych przeprowadzono próby spawania aluminium i w oparciu o badania radiograficzne, mechaniczne i przełomów próbowano je zidentyfikować. Próby spawania, dla różnego sposobu przygotowania powierzchni blach (tablica 2), przeprowadzono metodą TIG w osłonie argonu na płytach aluminiowych ukosowanych na V. Spoiny wykonano ręcznie na podkładce z rowkiem. Wykonane złącza poddano badaniom

Tablica 3

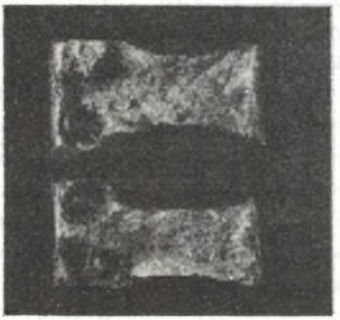
Własności mechaniczne spoin wykonanych w osłonie argonu metodami MIG i TIG. Aluminium A1

Lp.	Grubość blach, mm	Stan powierzchni		Przygotowanie krawędzi blach	Ilość warstw	Wady w spoinie na podstawie badań radiograficznych	Wytrzymałość na rozciąganie, R_m kG/mm^2 (daN/mm^2)	Spadek własności mechanicznych złącza[1] γ, %
		blach	spoiwa					
	Metoda MIG, spoiwo SA1 Ø 1,6 mm							
1	6	st.dostawy	st.dostawy	J	1	Ac44	6,4-6,8	20-15
2	6	skrobanie	odtłuszczanie	J	1	Ac21	6,9-7,2	14-10
3	6	"	st.dostawy	J	1	Ac44	6,4-6,7	20-16
4	14	"	"	V	2	Ac44	6,5-6,9	19-14
5	14	st.dostawy	st.dostawy	V	2+podp.	Ac44	6,6-6,9	17-14
	Metoda TIG, spoiwo SA1 Ø 6 mm							
6	6	st.dost.	st.dostawy	J	1	Aa21,Ac11	7,6-8,0	5-0
7	6	skrobanie	trawienie	J	1	Aa21	7,0-7,0	12-1
8	6	st.dost.	anodowanie[2]	J	1	Ac14	5,3-7,5	34-6
9	6	"	st.dostawy	J	2	Ac12	7,0-7,9	12-1
10	14	st.dost.[3]	"	X	3	Ac21	7,0-7,7	12-3

Uwagi: 1) $\gamma = (1 - \frac{Rm\ złącza}{Rm\ materiału}) \cdot 100\%$, R_m materiału rodzimego 8,0 kG/mm^2

2) spoiwo w postaci splotu 3 drutów anodowanych Ø 1,6 mm

3) podgrzewanie przed spawaniem ok. 200°C.



Rys. 10. Wady na przełomach spoin aluminiowych, wykonanych metodą TIG; blachy i spoiwo w stanie dostawy; grubość blach 14 mm, spoina trójwarstwowa

rądiograficznym a następnie przeprowadzono próby rozciągania i zginania. Przy spawaniu blach anodowanych pomimo przetopienia blach na całej grubości, nie przetopiona warstewka tlenku zostaje uwięziona w grani spoiny (rys. 9). W oparciu o badania radiograficzne stwierdzono obecność wtrąceń tlenkowych jedynie w spoinach wykonanych na blachach pokrytych grubą warstwą tlenku powierzchniowego (blachy anodowane). Występujący w tych spoinach brak ciągłości w grani spoiny spowodował obniżenie wytrzymałości na rozciąganie i wyraźne zmniejszenie własności plastycznych złączy (tablica 3). Ponieważ w pozostałych spoinach nie stwierdzono wtrąceń tlenkowych wykonano dodatkowe złącza doczołowe metodami TIG i MIG przy zastosowaniu innych warunków technologicznych (tablica 3). Na radiogramach tych spoin nie stwierdzono jednak miejsc wskazujących jednoznacznie na występowanie wtrąceń tlenkowych. Najczęściej spotykaną wadą spoin była porowatość zwłaszcza przy stosowaniu blach i spoiwa w stanie dostawy, zaznaczająca się wyraźniej w spoinach wykonanych metodą MIG. Na niektórych przełomach spoin stwierdzono występowanie wad, które niekiedy uważane są za wtrącenia tlenkowe (rys. 10). Wady te powstawały wyłącznie przy spawaniu metodą TIG przy stosowaniu silnie zanieczyszczonych blach i spoiwa. Wydaje się, że są to silnie zniekształcone w próbie rozciągania powierzchnie pęcherzy, pokryte częściowo tlenkami, na których obserwuje się ciemne ślady zanieczyszczeń.

Analiza przeprowadzonych badań

Wyniki oznaczeń zawartości tlenku Al_2O_3 w stopiwie aluminiowym (tablica 1) wskazują na znacznie większą (4-krotnie dla drutów w stanie dostawy) zawartość wtrąceń tlenkowych w stopiwie wykonanym metodą MIG w porównaniu do stopiwa wykonanego metodą TIG. Zawartość tlenków α-Al_2O_3 w stopiwie z drutu trawionego jest prawie taka sama jak w stopiwie ułożonym drutem w stanie dostawy. Jest to spowodowane usunięciem w wyniku trawienia powierzchniowym tlenków rozpuszczalnych w roztworze bromu w metanolu. Stosunkowo małą zawartość tlenku w stopiwie z drutu anodowanego należy również tłumaczyć rozpuszczaniem się tlenku γ-Al_2O_3 w wymienionym roztworze i dodatkowo jeszcze silnym rozpryskiem tlenku i metalu podczas układania napoin. Pomimo tej samej zawartości wtrąceń α-Al_2O_3 w stopiwach ułożonych metodą MIG drutami w stanie dostawy i drutami trawionymi w pierwszym przypadku obserwuje się znacznie silniejszą porowatość spoin. Stanowi to potwierdzenie wpływu zanieczyszczeń powierzchniowych (uwodnionego tlenku i zanieczyszczeń organicznych) na porowatość spoin. Znacznie silniejsze zanieczyszczenie wtrąceniami tlenkowymi stopiwa wykonanego metodą MIG niż stopiwa wykonanego metodą TIG należy tłumaczyć stosowaniem w metodzie MIG cieńszych drutów elektrodowych, o większym stosunku powierzchni do masy, a także znacznie intensywniejszym oddziaływaniem kropli topiącego się spoiwa

na jeziorko spoiny. Można bowiem przypuszczać, że podczas spawania metodą MIG krople metalu przechodzące przez łuk nie są całkowicie oczyszczone katodowo i rozpuszczają się wraz z tlenkami w jeziorku. Natomiast przy spawaniu metodą TIG do jeziorka wprowadzane są duże krople i w stosunkowo dużych odstępach czasu. Sprzyja to ich dokładniejszemu czyszczeniu z warstwy tlenków. Znajdujące się na powierzchni spoiwa i materiału rodzimego uwodnione tlenki i substancje organiczne stanowią potencjalne źródło wodoru. Ze względu na dużą szybkość krzepnięcia jeziorka oraz znaną kinetykę przenoszenia kropli w łuku przy spawaniu metodą MIG spoiny aluminiowe wykonane tą metodą są bardziej porowate niż spoiny wykonane metodą TIG. Znaczna porowatość spoiny występuje szczególnie wyraźnie podczas spawania drutami w stanie dostawy. Wyższa jakość metalurgiczna stopiwa wykonanego metodą TIG, niż MIG powoduje, że tą metodą spawania uzyskuje się spoiny o wyższych własnościach wytrzymałościowych (tablica 3).

Badania chemiczne (metodą bromo-metanolową) ujawniły wyższy stopień zanieczyszczenia wtrąceniami tlenkowymi stopiwa ułożonego metodą MIG. Występujące w stopiwie wtrącenia były prawdopodobnie bardzo rozproszone. Nie ujawniono ich badaniami mikroskopowymi, nie stwierdzono też w oparciu o badania radiograficzne miejsce wskazujących na obecność błonek tlenkowych. Potwierdzą to wyniki pracy [12]. Również w złączach doczołowych identyfikacja wtrąceń tlenkowych występujących w postaci błonek jest utrudniona ponieważ stosowane zwykle do oceny jakości złącza badania radiograficzne i mechaniczne w zasadzie nie pozwalają na ich wykrycie. Jedynie w przypadku spawania blach anodowanych, pokrytych grubą warstwą tlenków, wtrącenia te mogą być jednoznacznie ujawnione (tablica 2).

Wnioski

Stopiwo wykonane metodą MIG w porównaniu do wykonanego metodą TIG charakteryzuje się silniejszym zanieczyszczeniem wtrąceniami tlenkowymi α-Al_2O_3.

W przypadku spawania aluminium pokrytego cienką warstewką tlenków zwłaszcza uwodnionych, wtrącenia tlenkowe wpływają silniej na porowatość spoin niż na zanieczyszczenie błonkami tlenkowymi.

Wydaje się, że wtrącenia tlenkowe w postaci błonek o znacznych wymiarach występują głównie w złączach spawanych stopów aluminiowych natomiast w złączach aluminiowych wtrącenia te występują bardzo rzadko i łącznie z pęcherzami gazowymi.

LITERATURA

[1] Tomlinson J.E., Slater D. - British Welding Journal 5, 1961, 216.
[2] Kozłowski C. - Praca badawcza Ia-5, Inst. Spawalnictwa, Gliwice 1965
[3] Young I.G. - Welding and Metal Fabrication, 1, 1964, 10 oraz 2, 1964 64.
[4] Stołbow W.J. - Swarocznoje Proizwodstwo, 3, 1969, 26.
[5] Jełagin A.W., Naumow W.G. - Swarka w sredje zaszczitnych gazow Strojzdat, Moskwa, 1971.
[6] Oboturow W.N., Tołkaczew J.J. - Swarocznoje Proizwodstwo, 11, 1973, 22.
[7] Miller A.N. - Welding Journal, 8, 1970, 653.
[8] Woropaj N.M. i inni - Awtomaticzeskaja Swarka, 12, 1971, 63.
[9] Welding Engineer, 10, 1968, 50 oraz 11, 1968, 50.
[10] Nikiforow C.D. - Mietałłurgija swarki pławlienijem aluminiewych spławow, Maszinostrojenije, Moskwa, 1972.
[11] Wolna J., Studencki J. - Rudy i Metale Nieżelazne, 4, 1969, 207.
[12] Aschehoug H. - Giesserei-Forschung, 2, 1973, 81.

ОКИСНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СВАРНЫХ ШВАХ ПРИ СВАРКЕ АЛЮМИНИЯ

Р е з ю м е

Даются результаты исследований касающихся определения и идентификации окисных включений в алюминиевом наплавленном металле, а также в точечных и стыковых сварных швах. Приводится механические свойства алюминиевых сварных швов выполненных в защитной среде аргона плавящимся и вольфрамовым электродом при различной подготовке поверхности свариваемых листов.

OXIDE INCLUSIONS IN ALUMINIUM WELDS

S u m m a r y

Test results of signifying and identifications oxide inclusions in aluminium weld metals and spot welds and butt welds have been shown. Mechanical properties aluminium welds made argon shielded TIG and MIG processes with different preparing methods of welded have been stated.