

Stanisław LALIK  
Henryk LARYSZ

#### ZGRZEWANIE PUNKTOWE BLACH STALOWYCH METALIZOWANYCH ZANURZENIOWO STOPEM Al-Zn-Si

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań złącz zgrzewanych oporowo punktowo z blach ze stali OBX powlekanych stopem zawierającym 58% aluminium, 40% cynku i 2% krzemu. Podano zalety nowo opracowanej w IIM powłoki, technologię zgrzewania oraz wyniki badań własności mechanicznych zgrzeń, badań metalograficznych i testu korozyjnego. Wykazano możliwość wykonania poprawnych złącz zgrzewanych punktowo o dobrej odporności korozyjnej.

Cynkowanie zanurzeniowe jest obecnie najczęściej stosowaną technologią wytwarzania powłok metalowych stanowiących ochronę przed korozją. Technologia ta jest stosunkowo dobrze znana. Powłoki aluminiowe otrzymywane metodą metalizacji zanurzeniowej wykazują 2-3 razy większą odporność na korozję atmosferyczną niż powłoki cynkowe, dobrą odporność na działanie związków siarki, wody morskiej oraz odporność na korozję w podwyższonych temperaturach [1]. Technologia aluminiowania z punktu widzenia technicznego jest trudniejsza niż cynkowania, co związane jest głównie z temperaturą kąpieli do aluminiowania, która najczęściej wynosi od 700 do 760°C.

Powłoki otrzymywane sposobem zanurzeniowym w kąpieli aluminium z cynkiem łączą zalety powłok cynkowych i aluminiowych. Wykazują dobrą odporność na korozję atmosferyczną porównywalną z powłokami aluminiowymi. W atmosferach: morskiej, przemysłowej i wiejskiej powłoki aluminiowo-cynkowe są lepsze od powłok cynkowych o podobnych grubościach [2] i zapewniają podobnie jak powłoki cynkowe, protektorowaną ochronę krawędzi i nieciągłości pokrycia. Temperatura procesu jest niższa o 50-100°C od aluminiowania zanurzeniowego.

Badania nad opracowaniem technologii wytwarzania powłok w kąpieli Al-Zn-Si wykonano w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Dotyczyły one typowych badań technologicznych mających na celu opracowanie techniczne założeń wytwarzania powłok Al-Zn, badania ich odporności korozyjnej, własności plastycznych oraz opracowanie technologii ich łączenia. Przeprowadzone prace doprowadziły do uzyskania wielowarstwowych powłok aluminiowo-cynkowych, równomiernych i ciągłych, których grubość jest zależna od parametrów metalizacji. Przedłużenie czasu metalizacji, niezależnie od składu kąpieli, powoduje wzrost całkowitej grubości powłok. Wzrost zawartości cynku w kąpieli do metalizacji przyczynia się do spadku grubości całkowitej powłok oraz zmniejsza grubość poszczególnych warstw. Warstwę przylegającą do podłoża tworzą związki międzymetaliczne żelaza z aluminium, w których rozpuszczony jest w niewielkich

ilościach krzem. Powierzchnię warstwy stanowi stop aluminium z cynkiem o nierównomiernym składzie.

Opracowanie oszczędnościowych powłok aluminiowo-cynkowych wymaga określenia warunków technologicznych zgrzewania oporowego punktowego blach metalizowanych oraz określenia własności złącz. Aby zrealizować to zadanie, przeprowadzono badania własności mechanicznych połączeń, obserwacje struktury oraz test odporności korozyjnej zgrzein.

#### Materiał do badań

Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z blach ze stali 08X o grubości 1 mm powlekanych zanurzeniowo stopem zawierającym 58% aluminium, 40% cynku i 2% krzemu. Dyfuzyjną powłokę naniesiono w kąpeli o temperaturze 620°C metalizując przez 120 s i uzyskując warstwy o grubości od 40 do 60  $\mu\text{m}$  z każdej strony blachy.

#### Badania własności mechanicznych złącz

Przy doborze parametrów zgrzewania wykorzystano zalecenia Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa [3] dotyczące zgrzewania blach aluminiowych. W szczególności dobrano siłę docisku o wielkości nie powodującej trwałych odkształceń blach większych od 20% ich grubości, średnicę części roboczej elektrody  $d_{e1} = 7 \text{ g}$  (g- grubość blachy) oraz zapewniono intensywne chłodzenie elektrod. Złącza (typ: złącza zakładowe) wykonano na zgrzewarce punktowej ZPa-80.

Na podstawie prób wstępnych przyjęto następujące parametry stałe: prąd zgrzewania 7,5 kA przy napięciu strony wtórnej 0,6 V, docisk elektrod 1650N oraz czasy - wstępny 0,64 s i końcowy 0,12 s. Wartość skuteczną prądu zgrzewania mierzono przyrzędem Pp-7d produkcji Instytutu Spawalnictwa a Gliwicach. Czas przepływu prądu zgrzewania był zmienny i wynosił 0,16, 0,20 i 0,24 s.

Dla wykonanych złącz punktowych przeprowadzono badania ich własności mechanicznych stosując statyczną próbę ścinania (wg PN-74/M-69782) oraz technologiczne próby wyłuskiwania i skręcania zgrzein (wg EN-75/4144-02). Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tablicy 1.

Otrzymane wyniki badań wskazują, że przy ustalonych pozostałych parametrach, aby uzyskać wymagane własności mechaniczne złącz zgrzewanych oraz zapewnić powtarzalność wyników, wymagane jest aby przepływ prądu zgrzewania trwał 0,24 s. Krótsze czasy przepływu prądu nie zapewniają powtarzalności wyników, przy czym przy najkrótszym z analizowanych czasów (0,16 s) następuje jedynie przetopienie powłoki.

Tablica 1

Wyniki badań własności mechanicznych złącz zgrzewanych punktowo

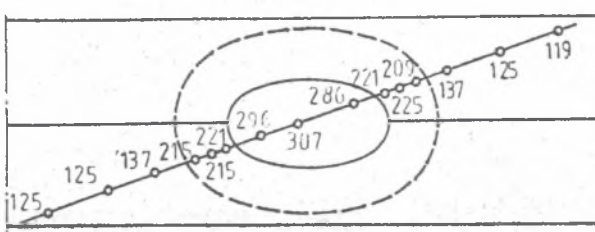
Czas przepływu prądu [s]	Numer zgrzeiny	Ścinanie		Wyłuskwanie	Skręcanie
		siła niszcząca [daN]	miejsce zniszczenia	miejsce zniszczenia	
0,16	1	370	ZG	ZG	ZG
	2	280	ZG	ZG	ZG
	3	320	ZG	ZG	ZG
	4	330	ZG	ZG	ZG
	5	330	ZG	ZG	ZG
0,20	1	495	MR	wyłuskwanie	MR
	2	465	MR	- " -	ZG
	3	485	MR	ZG	ZG
	4	460	MR	ZG	ZG
	5	470	MR	ZG	MR
0,24	1	515	MR	wyłuskwanie	MR
	2	495	MR	- " -	MR
	3	525	MR	- " -	MR
	4	510	MR	- " -	MR
	5	520	MR	- " -	MR

MR - materiał rodzimy

ZG - zgrzeina

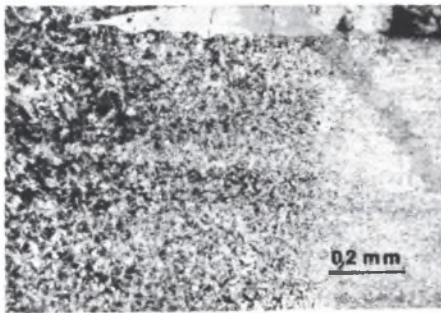
Twardość na przekroju poprzecznym zgrzein określono przez wykonanie pomiarów metodą Vickersa przy obciążeniu 2N. Wybór obciążenia wynikał z małych rozmiarów strefy wpływu ciepła. Rozkład twardości w poszczególnych strefach złącza wykonanego przy czasie przepływu prądu zgrzewania równym 0,24 s przedstawiono na rys.1.

Podobne wartości twardości wzdłuż linii pomiaru stwierdzono w pozostałych analizowanych złączach. Pomiary wykazały wzrost twardości w zgrzeinach i strefie wpływu ciepła w stosunku do materiału zgrzewanego. Przyrost twardości związany jest ze zmianami struktury zachodzącymi pod wpływem ciepła zgrzewania oraz dociskiem elektrod zgrzewarki.



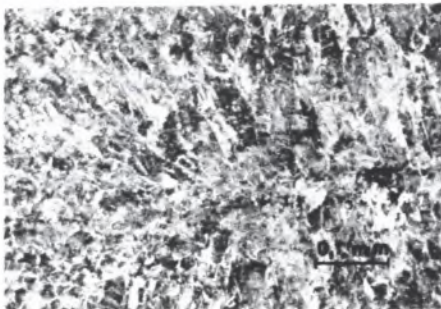
Rys.1 Rozkład twardości zmierzony metodą Vickersa na przekroju poprzecznym złącza zgrzanego

Fig.1 Vickers hardness distribution on the transverse crosssection of the spot-welded joint



Rys.2 Struktura strefy wpływu ciepła

Fig.2 An example of the HAZ microstructure



Rys.3 Struktura zgrzeiny

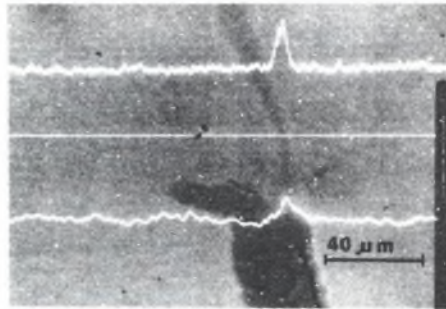
Fig.3 Mikrostructure of the weld

Badania metalograficzne

Obserwacje makro- i mikroskopowe przeprowadzono na zglądach metalograficznych trawionych w nitalu. Badania makroskopowe nie ujawniły obecności wad w złączu. Analizę mikrostruktury wykonano na mikroskopie MeF-2 przy powiększeniach od 100 do 600 razy. Mikrostruktury poszczególnych obszarów złącza przedstawiono na rys.2-5. W strefie wpływu ciepła nastąpił zanik pasmowości struktury, rozdrobnienie ziarn oraz zwiększenie ilości fazy perlitycznej (rys.2).

Rys.4 Struktura złącza, w którym nie nastąpiło przetopienie blach  
Fig.4 A weld-joint without melting through

Rys.5 Przetopienie powłok w obszarze przy zgrzeźnie  
Fig.5 Al coating partially fused at the weld



Rys.6 Rozkład aluminium (linia górna) i cynku (linia dolna) wzdłuż linii analizy w strefie wpływu ciepła złącza

Fig.6 Aluminium (top line) and zinc (bottom line) distribution at the HAZ

Zgrzeina miała strukturę charakterystyczną dla tej strefy złącza (rys.3). W złączach wykonanych przy czasie przepływu prądu 0,16 s nie stwierdzono przetopienia blach (rys.4). W okolicach zgrzeiny, w miejscu styku blach wszystkich badanych złącz stwierdzono przetopienie warstwy powierzchniowej (rys.5), co powinno zapewnić dobrą odporność korozyjną blach w miejscu zgrzewania.

Rozkład pierwiastków w miejscu styku blach w obszarze strefy wpływu ciepła określono metodą mikroanalizy rentgenowskiej. Analizę tę wykonano na urządzeniu JXA-50A firmy JEOL. Określono rozkład aluminium, cynku, krzemu i żelaza w powłoce i przy powierzchni blach. Wybrane wyniki analizy w postaci rozkładu liniowego aluminium i cynku przedstawiono na rys.6. Badania wykazały ciągłość powłoki w tym obszarze oraz jej warstwowy charakter. Warstwę przylegającą do powierzchni blachy tworzą międzymetaliczne związki żelaza z aluminium, w których rozpuszczony jest w niewielkich ilościach cynk (3,5-5,3%) oraz krzem (3-6%). Warstwa zewnętrzna - to stop Al-Zn-Si o nierównomiernym rozkładzie pierwiastków.

#### Odporność korozyjna złącz

Test odporności korozyjnej obszarów zgrzein przeprowadzono za pomocą próby zanurzania złącz w 3% roztworze wodnym NaCl w urządzeniu zanurzeniowo-naciekowym. Badania przeprowadzono w temperaturze 35°C stosując cykl 30 s w roztworze i 30 s nad roztworem, czas próby 200 h. Obserwacje makroskopowe próbek prowadzone co 24 h oraz po zakończeniu testu, kiedy to usunięto produkty korozji wykazały, że w czasie próby na powierzchni blach oraz w miejscach zgrzewania tworzy się pasywna warstewka produktów korozji.

Nie stwierdzono obecności tlenków żelaza w obszarze złączy zarówno na powierzchni, jak i na styku blach, co pozwala na stwierdzenie, że zgrzewanie nie pogarsza odporności korozyjnej badanych blach.

### Podsumowanie

- Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:
- zastosowanie właściwych parametrów zgrzewania umożliwia uzyskanie złączy zgrzewanych punktowo z blach metalizowanych zanurzeniowo a stopie Al-Zn-Si o wysokich własnościach mechanicznych,
  - złącza wykonane według opracowanej technologii są wolne od wad, co potwierdziły badania metalograficzne i próby technologiczne.

### LITERATURA

- [1] Piątek A., Larysz H., Tomanek R.: Zanurzeniowe nakładanie powłok ze stopu Zn-Al na stal. "Ochrona przed korozją" 1984, nr1.
- [2] Townsend M.E., Zocoda T.C.: Material Performance, t.18, 1979, nr 10, s. 13-20.
- [3] Dok. IIW III-715-82 Resistance Spot Welding of Hot-dip Aluminised Steel Sheet.

### SPOT WELDING OF STEEL SHEETS HOT-DIP COVERED WITH Al-Zn-Si ALLOY

#### Summary

Spot-welded joints of O8X steel sheets, dip coated with an alloy containing 58% Al, 40% Zn and 2% Si were the subjects of this work. The worked-out coating and spot-welding techniques were described and the spot-welded joints mechanical properties as well as the results of optical microscopic observations and corrosion test were presented. It was confirmed that good joints are obtainable without any deterioration of corrosion resistance.

### ТОЧНОЕ СВАРКА СТАЛЬНЫХ МЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ЛИСТОВ ТОЧЕЧНОЙ ПОГРУЖЕНИЕМ В РАСТВОРЕ Al-Zn-Si

#### Резюме

В статье представлены результаты исследований точно свариваемых швов стальных листов O8X покрываемых содержащими 58% алюминия, 40% цинка и 2% кремния. Поданы переименования разработанной в Институте Инженерии Материалов представлены сварки а также результаты расчетов и технологии их сварки. Представлены механические свойства свариваемых швов, результаты металлографических и коррозионных исследований. Определена возможность получения точно свариваемых швов с хорошей коррозионной стойкостью.