

Badania złączy lutowanych w aspekcie ich wytrzymałości

dr inż. Paweł Lonkwick, mgr inż. Ireneusz Usydus
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Centrum Studiów Inżynierskich

Proces łączenia materiałów metodą lutowania nie jest szeroko opisywany w literaturze. W poniższym opracowaniu zaprezentowano wyniki badań nad zastosowaniem lutowania jako alternatywy dla tradycyjnych technik spawalniczych metodą MIG/MAG. Zaprezentowano wyniki badań własnych pomiarów twardości spoiny, pomiarów twardości na granicy materiał rodzimy – spoina oraz wyniki rozciągania próbek z blachy o różnych grubościach.

Wstęp

W przemyśle stosowane są różne metody łączenia materiałów od rozłącznych po nierozłączne. Ta druga metoda stanowi nadal duży procent produkowanych elementów, począwszy od branży samochodowej, aż po najmniejsze zakłady mechaniczne. Wraz z rozwojem technologii produkcji coraz ważniejszą rolę odgrywają aspekty ekonomiczne związane z samą produkcją, co w konsekwencji przekłada się na całkowity koszt wytworzenia [1, 2].

Proces łączenia materiałów metodą lutowania nie jest szeroko opisywany w literaturze. W poniższym opracowaniu zaprezentowano wyniki badań nad zastosowaniem lutowania jako alternatywy dla tradycyjnych technik spawalniczych metodą MIG/MAG. Zaprezentowano wyniki badań własnych pomiarów twardości spoiny, pomiarów twardości na granicy materiał rodzimy – spoina oraz wyniki rozciągania

próbek z blachy o różnych grubościach.

Lutowanie – stan zagadnienia

Lutowanie – to proces łączenia metali pośredni pomiędzy lutowaniem twardym, a spawaniem. Połączenie uzyskuje się wyłącznie przez stopienie lutu (bez nadtapiania łączonych metali), natomiast technika łączenia materiałów z wykorzystaniem lutowania nie różni się niczym od technik spawalniczych MIG i MAG. Przygotowanie krawędzi, otworów oraz materiałów do spawania jest takie same jak w przypadku metod MIG/MAG.

W technikach warsztatowych spośród licznych technik spawalniczych, w praktyce ogólnie mówiąc blacharskiej, mają zastosowanie metody [1, 3]:

MAG czyli spawanie ochronnym gazem aktywnym (CO₂ i mieszanka gazów z jego zawartością,

MIG czyli spawanie z użyciem gazów nieaktywnych (gazy szlachetne i argon),

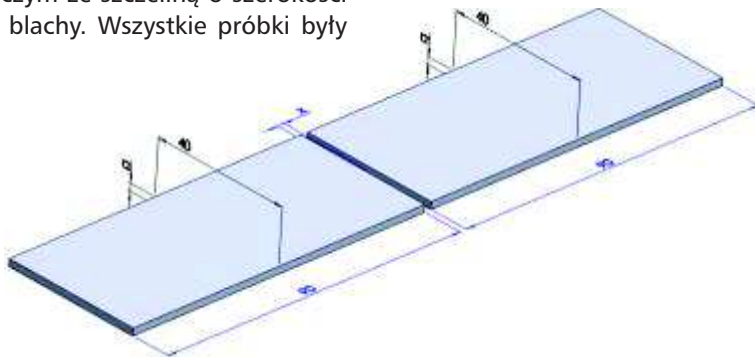
Lutowanie czyli łączenie materiałów z użyciem gazów nieaktywnych.

Współczesne technologie pozwalają na produkcję wyrobów z materiałów już ocynkowanych. Ocynkowane blachy w ciągłych procesach produkcyjnych znalazły zastosowanie w produkcji najróżniejszych kształtów oraz profili. Opanowanie spawalniczych metod łączenia profili ocynkowanych otworzyły nowe rynki i możliwości zastosowań. Lutowanie MIG/MAG znalazło zastosowanie przy spajaniu blach o grubości od 0,5 do 3 mm pokrytych cienką powłoką cynku do grubości 5–15 mikrometrów (obecnie również znacznie grubsze powłoki cynku ogniowego), jak również do cienkich blach ze stali nierdzewnych i połączeń różnoimiennych, np. miedzi ze stalą, stali kwasoodpornej ze stalą zwykłej jakości, aluminium z blachą ocynkowaną [1].

Opis badań doświadczalnych

Badania doświadczalne polegały na połączeniu próbek wykonanych z blachy S235 pokazanych na rysunku 1, a następnie określeniu twardości w okolicy spawu.

Do badań przyjęto różne grubości blachy w zakresie 1,2, 2 oraz 3 mm. Próbki były lutowane bezpośrednio na stole spawalniczym ze szczeliną o szerokości grubości blachy. Wszystkie próbki były



Rys. 1. Model próbek poddanych lutowaniu [1]

1.2 mm nie zauważono wad spoiny. Dla blachy o grubości 2 mm w jednym przypadku wystąpiła wyraźna wada w postaci karbu, którą przedstawiono na rysunku 2. Spoiny dla blachy o grubości 3 mm posiadały niewielki pory.

W celu wykonania zgrądów metalograficznych próbki zostały oszlifowane oraz wytrawione chlorkiem żelaza oraz



Rys. 2. Przykład próbki o grubości 2 mm z widoczną wadą spawu w postaci krateru [oprac. własne]



Rys. 3. Przykład zgrądu próbki z blachy o grubości 3 mm [oprac. własne]

lutowane w tym samym kierunku, tj. od lewej do prawej strony z następującymi parametrami łączenia:

- Próbką o grubości 1.2 mm – prąd spawania 55 A, prędkość wysuwu drutu 3,9 m/min
- Próbką o grubości 2 mm – prąd spawania 98 A, prędkość wysuwu drutu 8,1 m/min
- Próbką o grubości 3 mm – prąd spawania 144 A, prędkość wysuwu drutu 12 m/min

Próbki były łączone agregatem typu MIG z wykorzystaniem gotowych procedur spawalniczych dla łączonego materiału. Do połączeń użyty został drut spawalniczy CuSi3 o średnicy 0,8 mm oraz mieszanka gazów argon/hel w proporcji 97,5/2,5 [1].

Ważniejsze wyniki badań

Przygotowane próbki według procedury opisanej w poprzednim punkcie zostały poddane oszlifowaniu w celu wyeliminowania karbów występujących na zakończeniu spoiny. Następnie w celu określenia wpływu grubości spoiny i występujących wad na jej wytrzymałość, dokonano pomiarów wysokości spawów w trzech obszarach. Obszar 1, 2 oraz 3 2 mm od krawędzi oraz obszar 2 w środku materiału. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1. Dla blachy o grubości

nitalem. Przykład przygotowanej próbki został pokazany na rysunku 3. Do obserwacji zastosowano mikroskop metalograficzny firmy NIKON MA-100. Badaniu poddano miejsce łączenia materiału rodzimego ze spawem (rys. 4).

Na rysunku 5 pokazane zostały przykładowe zdjęcia próbek przygotowanych do oceny wizualnej przy pomocy mikroskopu z powiększeniem x200, gdzie widać wyraźną granicę między materiałem rodzimym (kolor ciemniej-

Tabela 1. Dane pomiarowe wykonane w 3 obszarach

	Obszar 1	Obszar 2	Obszar 3
1.2_1	4,33	4,38	4,98
1.2_2	3,54	3,85	4,10
1.2_3	4,96	4,05	4,32
1.2_4	3,18	3,85	4,46
1.2_5	4,55	3,71	3,73
1.2_6	3,86	4,00	4,27
Średnia	4,07	3,97	4,31
2_1	3,70	3,26	2,90
2_2	3,47	3,30	2,85
2_3	3,50	4,40	3,85
2_4	4,19	2,99	2,84
2_5	3,86	3,20	3,50
2_6	3,67	3,37	4,06
Średnia	3,73	3,42	3,33
3_1	5,50	5,26	6,35
3_2	6,68	5,28	5,80
3_3	6,16	6,42	5,70
3_4	5,75	5,58	5,98
3_5	5,63	5,09	4,75
3_6	4,80	4,86	5,19
Średnia	5,75	5,42	5,63

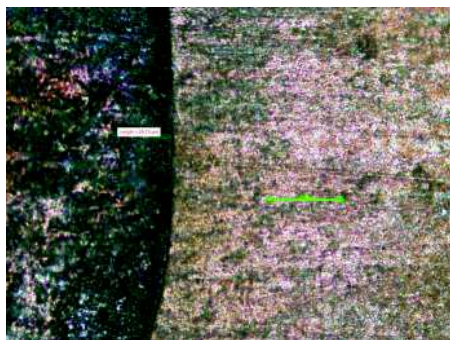


szy) oraz kolor jaśniejszy (zbliżony do złotego, kolor spoiny). Ciemny wąski obszar na granicy dwóch materiałów jest obszarem wpływu ciepła. Szerokość tego obszaru zawiera się od 10 do 30 mikrometrów.

W kolejnym kroku badań, miejsca łączenia zostały poddane pomiarom



Rys. 4. Miejsce łączenia materiału rodzimego ze spawem od strony lica dla blachy 2 mm i powiększeniu x50 [oprac. własne]



Rys. 5. Przykładowe próbki lutospawania powiększone 200X [oprac. własne]

mikrotwardości za pomocą twardościomierza, model KB10 metodą HV0,5. Próbki zostały wcześniej wyszlifowane i poddane trawieniu. Pomiaru dokonywano na powierzchni bocznej połączenia (rys. 3), przyjmując jako punkt bazy wy środek spoiny. Całkowita długość

miaru wyniosła 20 mm (10 mm na stronę), odciski rozmieszczono w odległości 0,5 mm. Przykładowy wynik pomiaru zostały przedstawiany na rys. 6. Maksymalną twardość zaobserwowano w materiale rodzimym na granicy ze spoiną. Wartości pomiarów w tej strefie zawierały się od 220HV do 320HV.

W celu wykonania dokładniejszej analizy obszar ten poddano dokładniejszym badaniom. Pomiaru były wykonywane z początkową odległością od brzegu spoiny 50 mikrometrów. Kolejne pomiary były wykonywane co 200 mikrometrów, co wynikało z warunków pomiarowych. Wyniki pomiarów twardości zostały przedstawione na rys. 7. Wyniki pomiarów potwierdziły wcześniejsze badania wskazujące na wzrost twardości materiału rodzimego na granicy ze spoiną.

Kolejnym krokiem badań był proces rozciągania próbek na maszynie wy-

próbek wykonanych z poszczególnych grubości.

Na rysunkach 9 do 12 pokazane zostały przykłady próbek, które były rozciąganie aż do momentu zerwania.

Wnioski

Opisane powyżej wyniki badań posłużyły do sformułowania następujących wniosków:

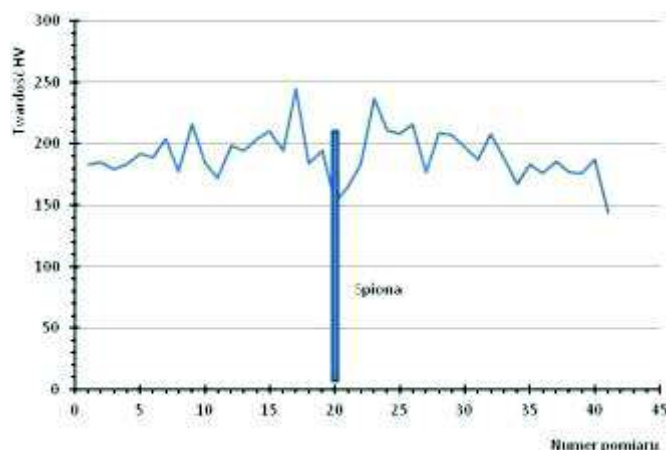
- Większa grubości łączonych elementów obniża jakość wykonywanej spoiny co niekorzystnie wpływa na wytrzymałość połączenia. Próbki dla blachy o grubości 1,2 i 2 mm, w których nie zaobserwowano wad, wytrzymały próby wytrzymałościowe.

- Przygotowanie próbek poprzez oszlifowanie powierzchni bocznych wyeliminowało zjawisko karbu, które znacznie osłabia połączenie, co zaobserwowano podczas prób rozciągania.

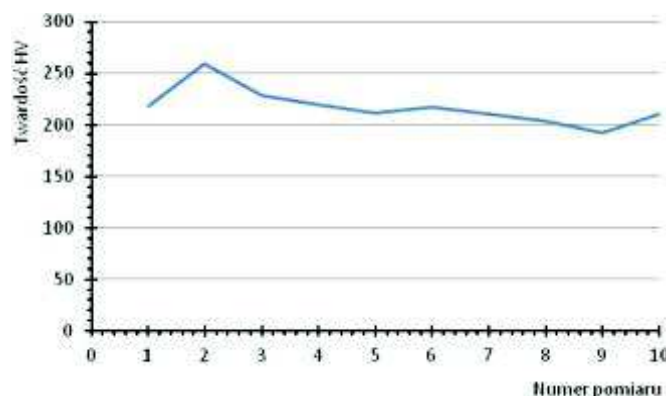
- Badania mikroskopowe potwierdzają niewielką strefę wpływu ciepła.

- Wzrost twardości materiału rodzimego na granicy ze spoiną przebiega w wąskiej strefie i nie wpływa na wytrzymałość połączenia. W przypadku występowania pęknięcia w okolicy połączenia, podczas rozciągania rozerwanie próbek przebiega wówczas w zaobserwowanych przypadkach zawsze w spoinie (rys.10).

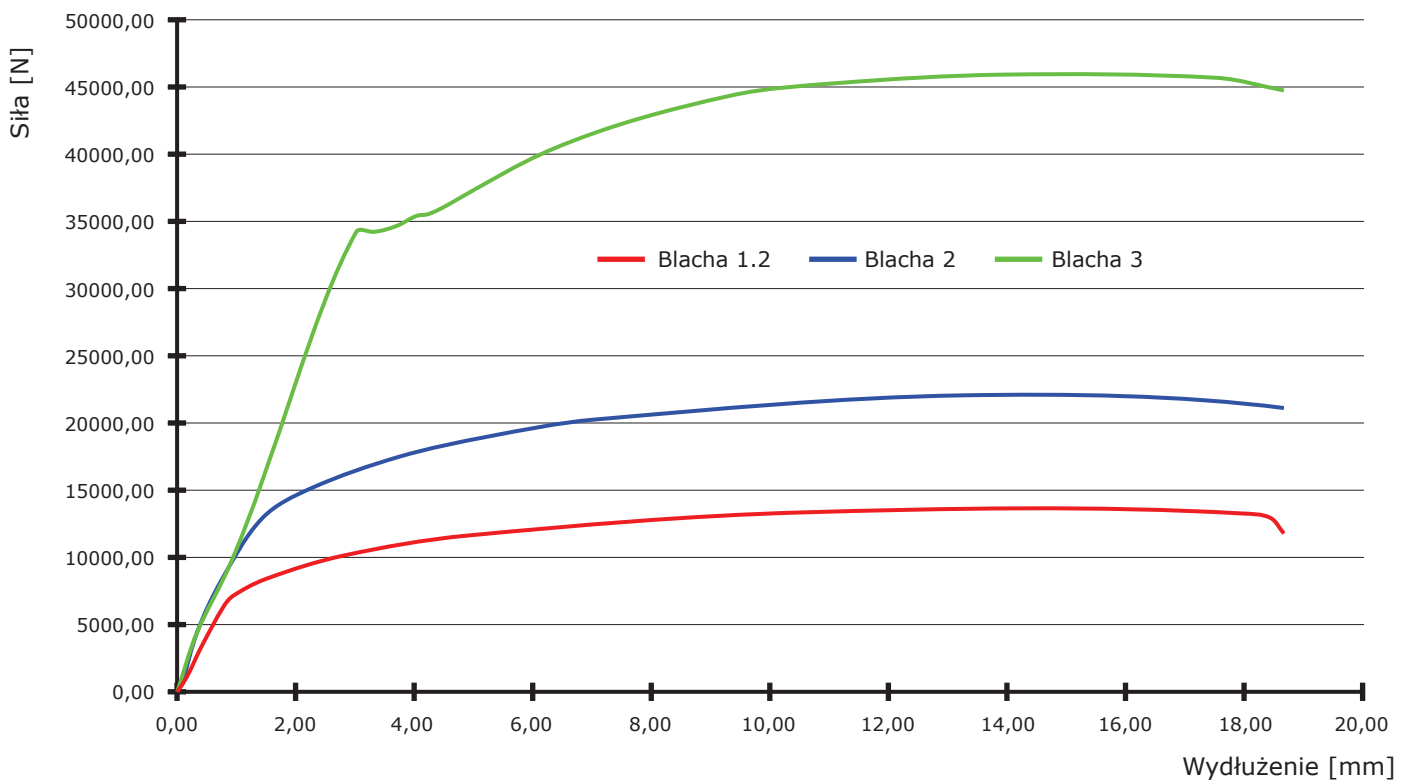
- Podczas rozciągania próbek, można zauważyć granicę plastyczności w okolicy 1,5 mm dla próbek 1.2 oraz 2 mm, a dla próbek wykonanych z blachy o grubości mm granica przesuwa się do wartości 3 mm wyduszenia. Zmiana



Rys. 6. Rozkład twardości, pomiar metodą HV0,5 [oprac. własne]



Rys. 7. Wykresy twardości na granicy materiał rodzimy spoina [oprac. własne]



Rys. 8. Wykresy rozciągania próbek [oprac. własne]

wartości wydłużenia jest zatem proporcjonalna do zmiany grubości badanego materiału.

– Przedstawione na rysunkach 10–12 rozerwane miejsca lutospawów, świad-

czą o niedoskonałości wykonania samego łączenia. Z punktu wytrzymałości tych miejsc niezwykle ważna jest jakość powierzchni lutospawu, a w szczególności brak kraterków oraz nacieków (mikrowpływek) powstających w pro-

cesie łączenia. Wady te wpływają niekorzystnie na wytrzymałość połączenia. Większość badanych próbek rozrywała się na granicy spoiny z materiałem rodzimym.

– Wytrzymałość badanych próbek, a zwłaszcza miejsce łączenia zdaje się potwierdzać możliwość zastosowania tego typu technologii w procesach produkcyjnych wyrobów poddawanych typowym obciążeniami rozciągającym z zachowaniem właściwych dla konstrukcji współczynników bezpieczeństwa.

– Niedosyt informacji dotyczący wytrzymałości lutospawanych próbek wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych dotyczących poruszanego zagadnienia.

Literatura

1. Lonkwic P., Usydus I., Lutospawanie – alternatywa w łączeniu materiałów. *Obróbka Metalu* 3, 2014, 45-48
2. Seidel T., Techniki łączenia stosowane w nowoczesnych samochodach, e-autonaprawa 2014.
3. Gawłowski M., Inżynieria spawalnicza – Lutospawanie, *Forum Inżynierów Polskich*.



Rys. 9. Przykładowe próbki po rozciąganiu z blachy o grubości 3 mm [oprac. własne]



Rys. 11. Zerwana próbka po rozciąganiu z blachy o grubości 2 mm spowodowana wadą widoczną na rys. 2 [oprac. własne]



Rys. 10. Zerwana próbka w linii spawu po rozciąganiu z blachy o grubości 3 mm [oprac. własne]



Rys. 12. Zerwanie próbki po rozciąganiu z blachy o grubości 3 mm [oprac. własne]