

Trwałość zmęczeniowa bimetalu cyrkon-stal w aspekcie charakterystyki złącza

Fatigue life Zr-CS bimetal in terms of the characteristics of the joint

Streszczenie

W pracy opisano rozwój pęknięć zmęczeniowych w układach platerów cyrkon-stal spajanych metodą zgrzewania wybuchowego. Próbki o przekroju poprzecznym prostokątnym, charakteryzujące się zróżnicowanym udziałem warstwy przetopionej, poddano wahadłowemu zginaniu oraz wykonano pomiary twardości w obszarze złącza. W odkształconych próbkach zaobserwowano wzrost pęknięć zmęczeniowych równoległe do przyłożonego obciążenia. Inicjacja pęknięć występowała w cyrkonie.

Słowa kluczowe: zgrzewanie wybuchowe, zginanie, zmęczenie, twardość

Abstract

The paper describes a fatigue crack development in zirconium-steel sheets joined by the explosive welding technology. The clad specimens of rectangular cross-section and with different quantity of melted areas were subjected to oscillatory bending. The strain hardening across the interface was analysed by microhardness measurements. In the specimens, the fatigue crack growth parallel to the applied loading was observed. The crack initiation occurred always in the zirconium plate.

Keywords: explosive welding, bending, fatigue, hardness

Wstęp

Do wytwarzania układów warstwowych w wielu przypadkach stosowana jest technologia zgrzewania wybuchowego [1]. Pozwala ona uzyskiwać trwałe, ciągłe i jakościowo dobre połączenie dwóch lub kilku materiałów, często o bardzo różnych własnościach mechanicznych. Uzyskanie takiego połączenia wymaga szczególnie starannego doboru parametrów procesu zgrzewania wybuchowego, tj. energii wybuchu, prędkości detonacji oraz odległości pomiędzy łączonymi blachami. Nieodpowiedni dobór tych parametrów, np. poniżej wartości granicznych, może doprowadzić do powstania nieciągłości lub całkowitego braku połączenia. Natomiast przekroczenie wartości krytycznych powoduje nadtapianie powierzchni łączonych blach i w efekcie tworzenie się niekorzystnych, z punktu widzenia jakości połączenia, obszarów przetopionych o dużej twardości i kruchości [2,3]. Badania zmęczeniowe pozwalają na ocenę trwałości uzyskanych układów warstwowych, a analiza propagacji pęknięć zmęczeniowych wskazuje miejsca najbardziej podatne na uszkodzenia oraz charakter ich przebiegu w łączonych materiałach.

Celem prezentowanej pracy jest badanie trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem pęknięć zmęczeniowych przy zginaniu wahadłowym bimetalu cyrkon-stal powstałego przy różnych parametrach zgrzewania wybuchowego.

Metodyka badań

Układy platerów wykonano technologią zgrzewania wybuchowego, jako płyty próbne o wymiarach 300x500 mm. Płytą podstawową jest blacha ze stali niestopowej do pracy w podwyższonych temperaturach w gatunku P355NL2, natomiast blacha nakładana to czysty technicznie cyrkon w gatunku Zr 700. Skład chemiczny, według atestu producenta podano w tablicy I.

Proces zgrzewania prowadzono w układzie płyt równoległych, zmieniając dla poszczególnych układów prędkość detonacji (pr. 1: $v_1 = 3000\text{m/s}$, pr. 2: $v_2 = 2800\text{m/s}$, pr. 3: $v_3 = 2200\text{m/s}$) z jednoczesnym zachowaniem stałej początkowej odległości pomiędzy powierzchniami łączonych blach ($h = 6\text{ mm}$).

Po platerowaniu wszystkie materiały poddano badaniom ultradźwiękowym, na całej powierzchni, w celu określenia ciągłości złącza. Materiał do dalszych badań pobrano z obszarów bez oznak nieciągłości, na przekroju prostopadłym do powierzchni blachy oraz równoległe do kierunku przemieszczania się fali wybuchu.

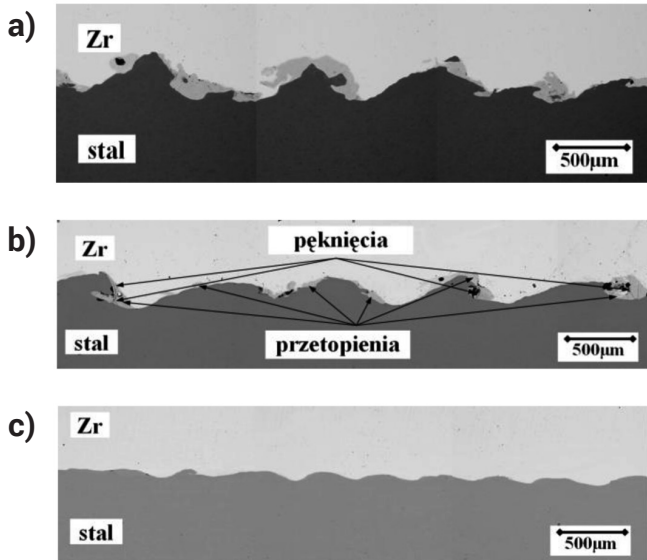
Badania własności mechanicznych po procesie spajania tj. próby ścinania (RS.), odrywania (RO) oraz rozciągania (Rm), przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej WPM ZD20 oraz Instron 6025.

Zgłady do badań metalograficznych wykonano na prze-

Dr inż. Mariusz Prażmowski; dr hab. inż. Dariusz Rozumek – Politechnika Opolska; **prof. dr hab. inż. Henryk Paul** – Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie

Autor korespondencyjny/Corresponding author: m.prazmowski@po.opole.pl

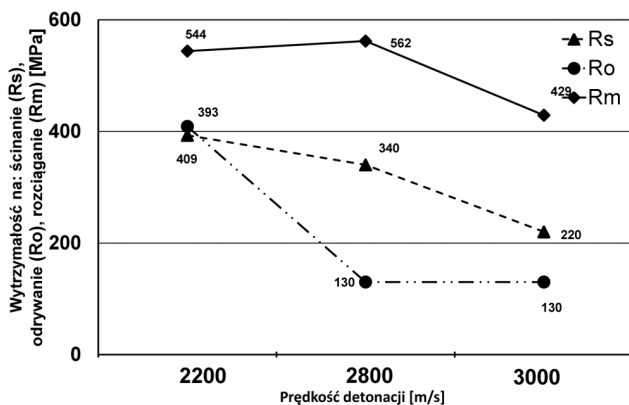
nacji o 27% i 35%, w obu analizowanych przypadkach, spowodował ponad 2-krotny wzrost długości fali (n), natomiast wysokość (H) wzrosła prawie 4-krotnie. Zwiększenie prędkości detonacji miało znaczący wpływ na udział warstwy przetopionej w złączu (RGP). W przypadku próbki 2 parametr ten wzrósł do wartości 10 μ m; z punktu widzenia jakości połączenia wartość ta jest przyjęta za graniczną. Dalsze zwiększenie prędkości detonacji (próbka 1, rys. 4a), spowodowało gwałtowne zwiększenie udziału obszarów przetopionych do nieakceptowalnego poziomu RGP = 26 μ m.



Rys. 4. Mikrostruktura złącza cyrkon-stal: a) i b) z warstwą przetopioną, c) bez warstwy przetopionej
Fig. 4. Joint microstructure of zirconium-steel: a) and b) with melted areas, c) without melted areas

Badanie własności mechanicznych w warunkach statycznych

Przeprowadzone próby wytrzymałościowe, dla materiałów w stanie 'po spojeniu', pozwoliły na ocenę jakości otrzymanego połączenia. Dla wszystkich trzech przypadków przeprowadzono próby rozciągania (dla oceny wytrzymałości na ścinanie), a średnie wartości uzyskanych wyników przedstawiono na rysunku 5. Analizując uzyskane wyniki dla próby ścinania i odrywania można stwierdzić, że wzrost prędkości detonacji, a tym samym wzrost udziału warstwy przetopionej w złączu powodował spadek własności wytrzymałościowych. Efekt ten w mniejszym stopniu jest obserwowany w przypadku próby ścinania, w której dla próbki 3 (bez strefy przetopionej) uzyskano wartość 393 MPa, natomiast dla próbki 1, tj. z największym udziałem obszarów

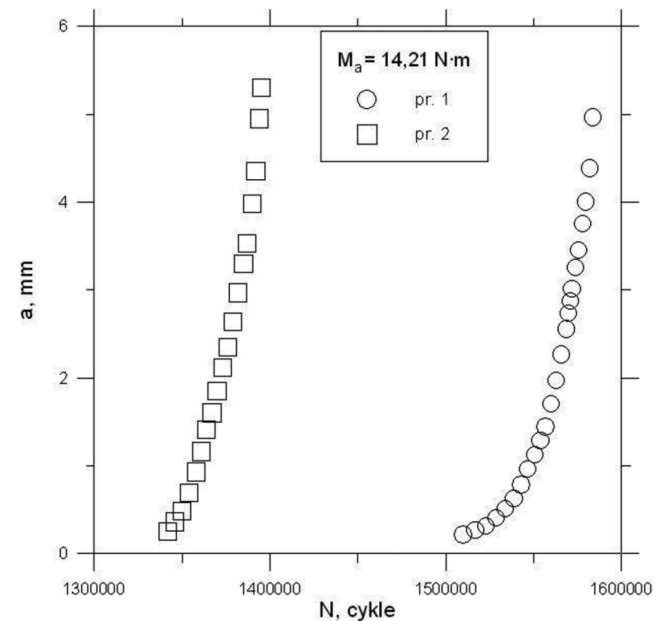


Rys. 5. Własności mechaniczne (wytrzymałość na: ścinanie - R_s , odrywanie - R_o , rozciąganie - R_m) plateru
Fig. 5. Mechanical properties (shear strength - R_s , peel-off strength - R_o , ultimate strength - R_m) of the clad

przetopionych – 220 MPa. Wskazuje to na 20% spadek wytrzymałości. W przypadku pozostałych dwóch prób, odrywania i rozciągania, również najwyższe wartości zanotowano dla próbki 3, odpowiednio $R_o = 409$ MPa i $R_m = 544$ MPa. Dla próbki 1 otrzymano w próbach odrywania $R_o = 130$ MPa, tak samo, jak w próbce 2 o dopuszczalnym granicznym udziale przetopień w strefie połączenia, co stanowi ok. 40% spadek wytrzymałości na odrywanie.

Badanie rozwoju pęknięć zmęczeniowych

Podczas prowadzenia badań zmęczeniowych przy zginaniu obserwowano rozwój pęknięć w bimetalu cyrkon-stal dla próbek z dużą (pr. 1) i nieznaczną warstwą przetopień (pr. 2) oraz bez warstwy przetopień (pr. 3). Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy rozwój pęknięć zmęczeniowych próbek 1 i 2 w funkcji liczby cykli. Próbki badano przy amplitudzie obciążenia $M_a = 14,2$ N·m, a zniszczenie nastąpiło w próbce 1 z dużą warstwą przetopień, po $N_f = 1\,584\,000$ cykli, natomiast w próbce 2 z nieznaczną warstwą przetopień, po $N_f = 1\,395\,000$ cykli. Próbki nr 3 miały trwałość w zakresie bardzo wysokiej liczby cykli, nie uzyskano złomu (pękła tylko jedna próbka przy $N_f = 5\,982\,000$ cykli). Inicjację pęknięcia zmęczeniowego obserwowano w próbce 1 po 1510000 cykli, a w próbce 2 po 1342000 cykli, przy długości 0,21 mm (pr. 1) i 0,25 mm (pr. 2). Próbki charakteryzowały się równomiernym wzrostem pęknięć zmęczeniowych po obu stronach powierzchni bocznych.



Rys. 6. Długości pęknięć w funkcji liczby cykli
Fig. 6. Cracks length vs. number of cycles

Podczas badań obserwowano inicjację i rozwój pęknięć zmęczeniowych od strony cyrkonu. Pęknięcia pokazane na rys. 7 rozwijały się na płaszczyznach prostopadłych do największych wektora naprężeń normalnych w cyrkonie i po dojściu do złącza, przecinały je przechodząc do stali, w której pęknięcia propagowały podobnie jak w cyrkonie. Przyczynę takiego zachowania pęknięć można tłumaczyć różnym stopniem lokalnego zdefektowania sieci krystalograficznych obu materiałów na granicy złącza w wyniku zderzenia łączonych materiałów oraz różną twardością badanych materiałów. Rozwój pęknięć następuje w miejscach, gdzie na skutek zdefektowania sieci krystalograficznej, zgrzewaniem wybuchowym, wiązania międzyatomowe są najsłabsze.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań próbek bimetalu, sformułowano następujące wnioski:

1. Parametry procesu zgrzewania wybuchowego mają kluczowe znaczenie dla charakterystyki uzyskanego połączenia. Wzrost prędkości detonacji sprzyja wzrostowi parametrów połączenia o charakterze falistym (większa amplituda i długość fali), a przede wszystkim większej ilości stref przetopionych w złączu.
2. Udział warstwy przetopionej w złączu ma znaczący wpływ na statyczne własności wytrzymałościowe bimetalu oraz jego trwałość zmęczeniową.
3. W badanym układzie bimetalowym zaobserwowano rozwój pęknięć na wskroś przekroju poprzecznego próbek, przy czym inicjacja oraz rozwój pęknięć zmęczeniowych przebiegał od strony blachy cyrkonowej.

Literatura

- [1] Crossland B., Explosive welding of metals and its application, Clarendon Press, Oxford, 1982.
 - [2] Prażmowski M., Paul H.: The effect of stand-off distance on the structure and properties of zirconium – carbon steel bimetal produced by explosion welding, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 57, No. 4, 2012, pp. 1201-1210.
 - [3] Prażmowski M., Paul H., Rozumek D., Marcisz E., Influence of the microstructure near the interface of the fatigue life of explosively welded carbon steel/Zr clads, Key Engineering Materials, Vols. 592-593, 2014, pp. 704-707.
 - [4] Rozumek D., Mieszane sposoby pęknięcia zmęczeniowego materiałów konstrukcyjnych, Studia i Monografie, z. 241, Politechnika Opolska, Opole, 2009, s. 152.
 - [5] Thum A., Petersen C., Swenson O., Verformung, Spannung und Kerbwirkung. VDI, Duesseldorf, 1960.
-