

Rozwój pęknięć zmęczeniowych w bimetalach stal-tytan wykonanych metodą zgrzewania wybuchowego (platerowania)

Fatigue cracks growth in bimetals steel-titanium made by explosive welding

Streszczenie

W artykule opisano rozwój pęknięć zmęczeniowych w próbkach stal-tytan wykonanych metodą zgrzewania wybuchowego. Powstałe złącze wykazało nieznaczne obszary przetopione oraz mikropustki w zawinięciu fal. Próbki o przekroju poprzecznym prostokątnym poddano zginaniu przy wartości średniej naprężenia równej zeru. Dokonano punktowego pomiaru mikrotwardości w obszarze złącza. Wzrost pęknięć zmęczeniowych był cyklicznie mierzony przy użyciu mikroskopu świetlnego. W próbkach obserwowano wzrost pęknięć zmęczeniowych równoległe do przyłożonego obciążenia, którego kierunek zmieniał się na linii złącza bimetalu. Następnie obserwowano rozwój pęknięcia wzdłuż linii złącza, powodującego rozwarstwienie bimetalu. Rozwój pęknięć następował od strony stali lub tytanu w zależności od stosunku grubości składowych metali złącza. Odnotowano, że na przelomach bimetalu występują zarówno pęknięcia przebiegające po granicy ziaren, jak i transkrystaliczne.

Abstract

The paper presents fatigue crack growth in steel-titanium specimens made by the explosive welding. In the obtained joint, small joint penetration areas and microvoids were found in the wave hollow. The tested specimens of the rectangular cross-section were subjected to bending under the stress mean value equal to zero. The point measurement of hardness was performed in the joint area. The fatigue crack growth was measured in cycles by means of the optical microscope. In the specimens, the fatigue crack growth was observed in parallel to the applied loading, the direction of which varied along the interface line. Next, the crack growth was observed along the interface line when the bimetal was stratified. The crack growth started from the side of steel or titanium depending on the ratio of thickness of components of the joint metals. At the bimetal fractures there were both the cracks running along the grain boundary and transcrystalline ones as well.

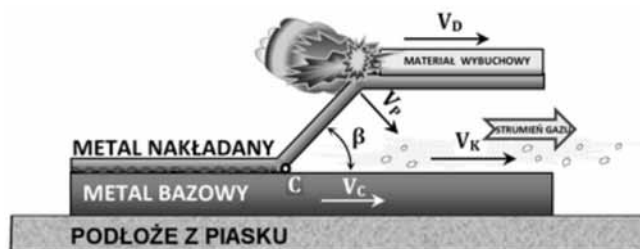
Wstęp

Platery są trwałym połączeniem dwóch lub więcej metali uzyskanym metodami nanoszenia metalu nakładanego na metal bazowy bez ich wzajemnego przetopienia. Połączenie uzyskuje się przez nacisk jednego materiału na drugi (powodując różne formy odkształcenia) za pomocą walcowania, przeciągania czy tłoczenia. Poszczególne techniki platerowania różnią się sposobem doprowadzenia metali do bezpośredniego

styku, wywołania nacisku, stopniem ich odkształcenia i ilością energii wykorzystanej do utworzenia złącza. Trwałe połączenie jest wynikiem zarówno nacisku wywieranego na podłoże przez dociskany metal nakładany, jak i oddziaływania wyzwolonego ciepła podczas odkształcania, które przyspiesza dyfuzję oraz oddziaływania międzyatomowe obu materiałów w obszarze łączonych powierzchni. Jedną z metod to *platerowanie wybuchowe*. Materiały platerowane metodą wybuchową są coraz częściej stosowane w różnorodnych gałęziach przemysłu chemicznego, energetyce itp. Pokrycie tą metodą stali konstrukcyjnych tytanem znacząco obniża koszty aparatury, wymagającej wysokiej odporności korozyjnej [1]. Proces zgrzewania wybuchowego i jego parametry pokazano na rysunku 1. Cieńsza

Dr Robert Bański, dr hab. inż. Dariusz Rozumek,
prof. PO – Politechnika Opolska.

Charakterystyka złącza zgrzewanego



Rys. 1. Proces zgrzewania wybuchowego i jego parametry
Fig. 1. Explosive welding process and its parameters

plyta tytanowa jest nastrzeliwana na umieszczoną równolegle w pewnej odległości stalową płytę podstawową (bazową). Odległość ta jest tak dobrana, aby płyta z tytanu zderzyła się z płytą bazową po przyspieszeniu do odpowiedniej prędkości zderzenia v_p . Parametry układu detonacyjnego dobiera się tak, aby zapewnić odpowiednią prędkość detonacji v_D i uzyskać wymaganą ilość energii potrzebną do połączenia blach [2, 3]. Materiał wybuchowy w postaci granulatu jest jednolicie rozsypany na całej powierzchni blachy z tytanu i ograniczony ramką okalającą, umieszczoną dookoła krawędzi płyty nakładanej. Układ ten jest zapalany w ściśle zaplanowanym miejscu za pomocą detonatora o wysokiej prędkości detonacji.

Ekspansja gazów detonacji wybuchowej przyspiesza płytę nastrzelowaną, doprowadzając do zderzenia kąтового β o ściśle określonej prędkości v_p . W wyniku zderzenia, w punkcie kolizji C powstaje bardzo wysokie ciśnienie, które dociska do siebie powierzchnie łączonych blach. Powierzchnie te są oczyszczane z tlenków i innych zanieczyszczeń strumieniem powietrza wypychanego pomiędzy łączonych płyt z prędkością ponaddźwiękową v_K . W punkcie kolizji C metalicznie czyste powierzchnie są dociskane ciśnieniem rzędu kilku gigapaskali, w wyniku czego powstaje wysokiej jakości złącze stal-tytan bez przetopienia materiałów. Właściwe parametry zderzenia dla określonego połączenia są zależne od typu łączonych metali, ich grubości i właściwości mechanicznych.

Prędkość detonacji v_D zależy od rodzaju łączonych metali, ich właściwości fizycznych i mechanicznych oraz właściwości zastosowanego materiału wybuchowego i wynosi 2000÷3500 m/s. W wytworzonym w ten sposób platerze, w jego przekroju poprzecznym można wyróżnić obszar umocniony siłą zderzenia łączonych blach oraz strefę złącza. Przyjmuje się, że prawidłowe złącze powinno wykazywać budowę o niewielkiej falistości i odpowiedniej wysokości fali oraz jej długości, bez lub z niewielką ilością obszarów przetopionych i nieciągłych (mikropustki, mikropęknięcia). Przy nieodpowiednim doborze parametrów procesu zgrzewania w złączu mogą wystąpić znaczne obszary przetopione mające wpływ na wytrzymałość całego plateru [1, 4].

Celem pracy jest określenie charakteru pęknięć zmęczeniowych przy zginaniu wahadłowym w bimetalach stal-tytan.

Badaniom poddano próbki pobrane z blach o wymiarach 3650 x 1900 mm wykonane metodą platerowania wybuchowego przez firmę ZTW Explomet. Materiałem łączonym była blacha stalowa S355J2+N grubości 40 mm, materiałem nakładanym natomiast tytan Gr.1 (SB265Gr.1) grubości 6 mm. Skład chemiczny materiałów występujących w platerze podano w tablicach I i II. W celu usunięcia naprężeń powstałych podczas platerowania blachę poddano obróbce cieplnej polegającej na podgrzaniu do temperatury 600°C z prędkością 90°C/h i wygrzaniu w czasie 90 min. Następnie chłodzono ją z piecem do temperatury 300°C z prędkością 100°C/h, a później na powietrzu.

Próbki do badań metalograficznych wycinano z połączonego układu blach i analizowano na przekroju wzdłużnym, równoległym do kierunku przemieszczania się fali wybuchu. Próbki pobrano z miejsc najbardziej oddalonych od punktu pobudzenia wybuchu, które mają teoretycznie najgorsze właściwości wytrzymałościowe po złączeniu materiałów. Zgłady metalograficzne wykonano przez szlifowanie na papierach ściernych, polerowanie z użyciem past diamentowych, a następnie trawiono: tytan – roztworem kwasu fluorowodorowego, natomiast stal – nitaliem. Tak przygotowany materiał analizowano za pomocą mikroskopu OLYMPUS IX70 z odpowiednim wyposażeniem.

Na rysunku 2 pokazano przekrój poprzeczny połączenia dwóch blach (pow. 50x), na którym widać na górze strukturę tytanu, a na dole strukturę stali.

Złącze to ma charakterystyczną budowę falistą z niewielką liczbą obszarów przetopionych oraz mikropęknięć i mikropustek w zawinięciu fal.

Tablica I. Skład chemiczny tytanu Gr. 1 [% wag.]

Table I. Chemical composition of the titanium Gr. 1 [in wt%]

| Materiał | C | Ti | N | H | Fe | O |
|----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ti Gr. 1 | 0,004 | reszta | 0,006 | 0,003 | 0,025 | 0,053 |

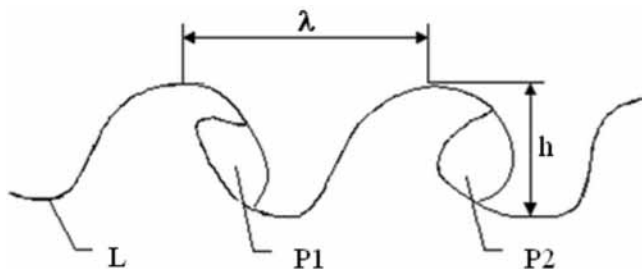
Tablica II. Skład chemiczny stali S355J2 + N [% wag.]

Table II. Chemical composition of the S355J2 + N steel [in wt%]

| Materiał | C | Mn | Si | P | S | Cu | Ni | Cr |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| S355J2 + N | 0,189 | 1,41 | 0,30 | 0,01 | 0,004 | 0,23 | 0,03 | 0,05 |
| | Mo | V | Ti | Al | N | Nb | Fe | |
| | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,031 | 0,005 | 0,003 | reszta | |



Rys. 2. Strefa złącza plateru stal-tytan
Fig. 2. The zone of steel-titanium clad joint



Rys. 3. Schemat fali powstałej w wyniku zgrzewania wybuchowego: λ – długość fali, h – wysokość fali, P1 i P2 – przetopienia, L – linia zgrzewania

Fig. 3. Diagram of the wave formed as the result of explosion welding: λ – wave length, h – wave height – P1 and P2, fusion zones, L – weld line

Na rysunku 3 pokazano charakterystyczne parametry występujące w złączu po zgrzewaniu wybuchowym.

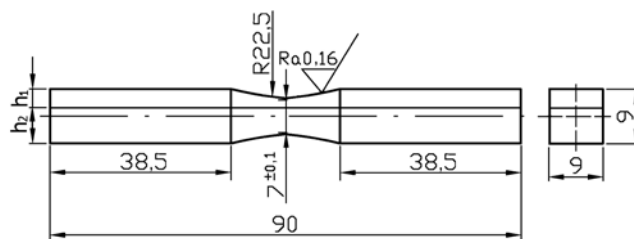
W tabelicy III podano zmierzone wartości średnie parametrów złącza występujące w badanym platerze. Średnia długość fal wynosiła $\lambda = 856 \mu\text{m}$, a średnia wysokość fal $h = 143 \mu\text{m}$. Ze względu na występowanie obszarów przetopionych określono *współczynnik równoważnej grubości przetopień (RGP)*, wyrażany jako stosunek sumy pól powierzchni przetopień S (P1 + P2) do pomiarowej długości linii złącza L :

$$RGP = S/L, \mu\text{m} \quad (1)$$

Długość linii złącza, na której dokonywano pomiaru powierzchni pól przetopień wynosiła, $23\,742 \mu\text{m}$. Na tej podstawie określona wartość współczynnika RGP wynosiła $7,62 \mu\text{m}$.

Właściwości statyczne badanych materiałów przed połączeniem podano w tabelicy IV. Wytrzymałość plateru na ścinanie powinna wynosić min. 140 MPa zgodnie z normą ASTM B898, a w otrzymanych platerach stal-tytan wynosiła 343 MPa .

Próbkę do badań zmęczeniowych, o prostokątym przekroju poprzecznym, pokazano na rysunku 4. Próbki zostały wycięte z blachy równoległe do kierunku detonacji i przygotowane zgodnie z normą ASTM D 3165-95. Każda próbka miała nacięty zewnętrzny



Rys. 4. Kształt i wymiary próbki do badań, mm

Fig. 4. Specimen for tests of fatigue crack extension, dimensions in mm

karb o promieniu $R = 22,5 \text{ mm}$. Powierzchnia próbki została uzyskana przez frezowanie i polerowanie z zastosowaniem coraz drobniejszego papieru ściernego. Ostateczna średnia chropowatość wynosiła $0,16 \text{ mm}$. Badano próbki, w których stosunek netto wysokości tytanu do stali wynosił $h_1 : h_2 = 1 : 2,5$.

Wyniki badań prezentowane w pracy zostały użyte na Politechnice Opolskiej. Wykonano je na maszynie zmęczeniowej MZGS-100 umożliwiającej realizację przebiegów cyklicznego zginania, skręcania i zginania ze skręcaniem. Badania wykonywano w zakresie niskiej i wysokiej liczby cykli przy obciążeniu z kontrolowaną siłą (w tym przypadku kontrolowano amplitudę momentu) i częstotliwości obciążenia $29,3 \text{ Hz}$. Prowadzono badania zmęczeniowe przy współczynniku asymetrii cyklu $R = -1$ i stałej amplitudzie momentu $M_a = 14,2 \text{ N} \cdot \text{m}$, co odpowiadało nominalnej amplitudzie naprężenia normalnego dla przekroju netto $\sigma_a = 248,6 \text{ MPa}$ do inicjacji pęknięcia (naprężenia obliczano dla badanej stali, w której rozwijało się pęknięcie zmęczeniowe). Teoretyczny współczynnik kształtu karbu w próbce wyznaczono zgodnie z równaniem podanym w [5], który przy zginaniu wynosił $\alpha_k = 1,045$. Rozwój pęknięć obserwowano na powierzchniach bocznych próbek za pomocą mikroskopu świetlnego bezpośrednio na maszynie zmęczeniowej. Przyrosty pęknięć zmęczeniowych mierzono za pomocą mikrometru umieszczonego w mikroskopie przenośnym o powiększeniu $25\times$ z dokładnością $0,01 \text{ mm}$, notując jednocześnie bieżącą liczbę cykli obciążenia N . Pomiar długości pęknięcia a do linii złącza mierzono jako przyrost tej długości w poprzek próbki, natomiast na linii złącza również jako przyrost długości pęknięcia, ale wzdłuż próbki.

Tabela III. Charakterystyczne parametry złącza

Table III. Characteristic parameters of the joint

| Średnia długość fali λ , μm | Średnia wysokość fali h , μm | Pomiarowa długość linii złącza L , μm | Suma powierzchni przetopień S , μm^2 | Wartość współczynnika RGP, μm |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 856 | 143 | 23 742 | 180 914 | 7,62 |

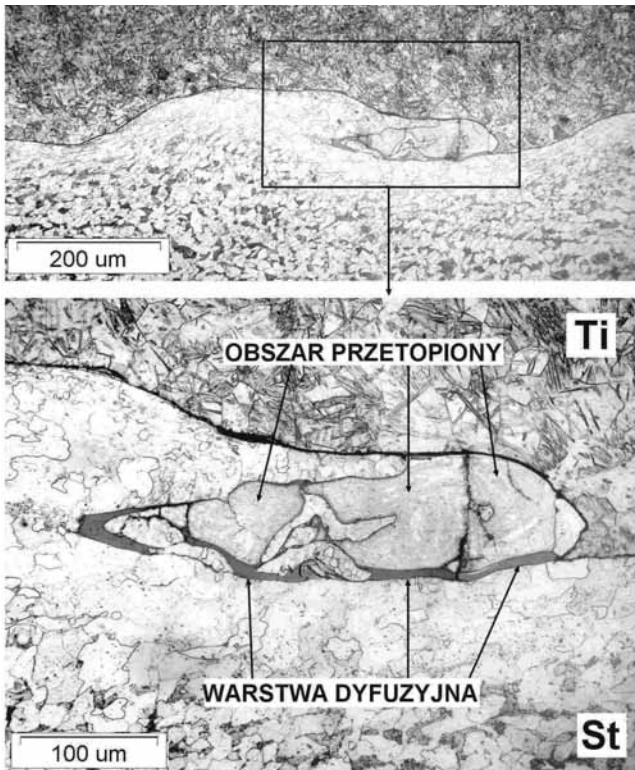
Tabela IV. Właściwości mechaniczne badanych materiałów przed połączeniem

Table IV. Mechanical properties of materials before cladding

| Materiał | R_e , MPa | R_m , MPa | E, GPa | A5, % |
|------------|-------------|-------------|--------|-------|
| Ti Gr. 1 | 193 | 308 | 104 | 46 |
| S355J2 + N | 368 | 578 | 210 | 30 |

Wyniki badań i ich analiza

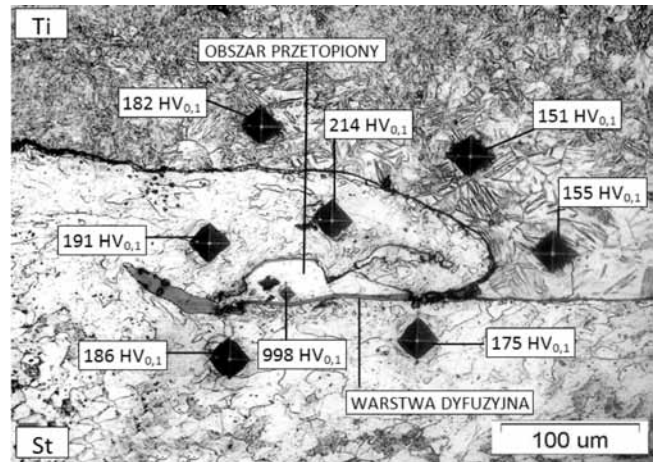
Badania wykazały, że w wyniku zgrzewania wybuchowego uzyskano bimetel stal-tytan o prawidłowej budowie metalograficznej i geometrycznej złącza z niewielką ilością warstwy przetopionej zlokalizowanej głównie w zawinięciu fali (rys. 5).



Rys. 5. Mikrostruktura złącza stal (St) – tytan (Ti) z przetopieniem
 Fig. 5. Interface microstructure of steel-titanium cladder with fusion

Po obróbce cieplnej na granicy stal-obraz przetopiony występuje wyraźna warstwa dyfuzyjna, której średnia grubość wynosi 7,9 µm. Obróbka cieplna spowodowała również dyfuzyjne odwęglenie stali w pobliżu linii złącza (rys. 2 i 7).

Metalograficzne badania próbek wykazały, że mikrostruktura stali S355J2 + N składa się z ziaren ferrytu oraz ziaren perlitu z charakterystycznym dla przeróbki plastycznej na zimno, pasmowym ułożeniem ziaren. Pasmowy układ struktury stali uległ częściowemu zanikowi w wyniku obróbki cieplnej. Struktura stali charakteryzuje się ziarnami ferrytu o średnicy 5÷40 nm i podobnymi ziarnami perlitu o średnicy 5÷45 nm. Średni stosunek objętościowego udziału perlitu do ferrytu określony w pięciu obszarach badanych metodą cyfrowej analizy obrazu (system LECO IA 32) wyniósł odpowiednio: perlitu 23,7% do ferrytu 76,3%. Badane obszary znajdowały się w odległości min. 1 mm od linii złącza, aby otrzymane wyniki nie były zakłócone ewentualnymi zjawiskami dyfuzyjnymi na granicy złącza w czasie obróbki cieplnej. Otrzymany wynik średni udziału objętościowego jest zgodny z procentową zawartością węgla dla stali S355J2 + N. Mikrostruktura badanego tytanu Gr. 1 jest złożona z ziaren fazy α o średnicy ziarna 15÷70 nm. Tytan po zgrzewaniu wybuchowym bez obróbki miał strukturę silnie zdeformowaną z dużą ilością bliźniaków poślizgu. Zabieg obróbki cieplnej spowodował rekryształizację ziaren tytanu w całej objętości nastrzelwanej blachy. Ostateczna wielkość ziaren tytanu wynika nie tylko



Rys. 6. Mikrostruktura złącza stal (St) – tytan (Ti) z wynikami pomiaru mikrotwardości

Fig. 6. Microstructure of the steel-titanium bimetal together with results of microhardness

z temperatury obróbki cieplnej, ale również z lokalnego stopnia zgniotu.

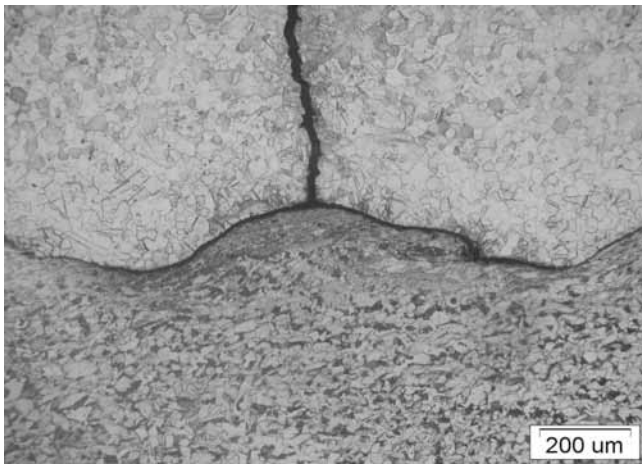
Pomiary rozkładu twardości na całym przekroju platerów typu stal-tytan realizowano w badaniach [1, 4]. Badania te prowadzono wzdłuż linii prostopadłej do złącza i stwierdzono, że twardość narasta w stronę linii złącza i maksimum osiąga tuż przy niej. Dlatego w realizowanej pracy mierzono twardość głównie w obszarze złącza z uwzględnieniem obszarów przetopionych.

Pomiary twardości wykonano na twardościomierzu LECO AMH 2000, metodą Vickersa przy obciążeniu 100 g (rys. 6).

W badanych platerach, zarówno w stali, jak i w tytanie, twardość zależy od położenia punktu pomiarowego (wierzchołek fali, zawinięcie fali, czoło fali). Przykładowo w tytanie wartości te zmieniają się 151÷182 HV_{0,1} (rys. 6). Większe różnice twardości obserwuje się w stali, z której jest zawinięcie fali. Wartość ta w obszarze stali wynosi 175 i 186 HV_{0,1} a następnie wzrasta do 191 i 214 HV_{0,1}.

Obszar o najwyższej twardości (w stali) jest zarazem miejscem o najwyższym stopniu zdeformowania ziaren, co prawdopodobnie wynika z mechanizmu powstawania zawinięcia fali (rys. 6) [6].

Pomiary prowadzone w obszarach przetopionych wykazały, że ich twardość wzrasta skokowo i jest ok. 6-krotnie większa w stosunku do średniej twardości w strefie przy złączu wykonanego bimetalu. Na podany przykładzie stwierdzono, że twardość zmierzona w obszarze przetopionym wyniosła 998 HV_{0,1} (rys. 6). Obszary te składają się z wzajemnie wymieszanych obu składowych metali plateru, w różnych zmiennych lokalnie proporcjach, jednakże krępną w warunkach bardzo wysokich ciśnień oraz w bardzo krótkim czasie, co może mieć istotny wpływ na ich wysoką twardość [7]. Tak duża twardość w obszarze przetopionym wynika z tego, że materiał przetopiony jest kruchy. W obszarach przetopionych można również

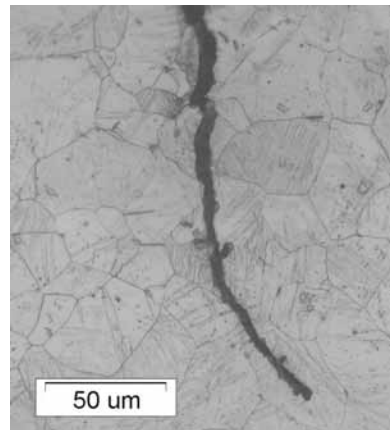


Rys. 7. Mikrostruktura i ścieżka pęknięcia w złączu St-Ti
Fig. 7. Microstructure and crack path in steel-titanium joint

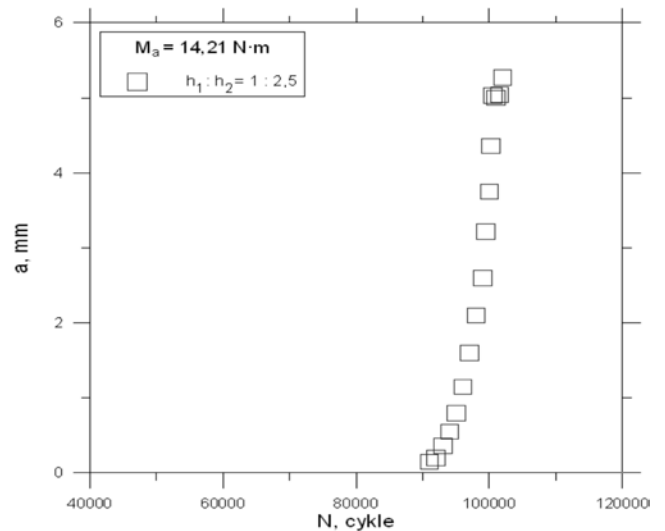
zauważyć mikropęknięcia, co potwierdza możliwość występowania naprężeń wewnętrznych powstałych w czasie zgrzewania. Ponadto z prawej i lewej strony warstwy dyfuzyjnej widoczne są pustki (czarne pola) występujące w miejscu złącza.

Uzyskane wyniki badań zmęczeniowych umożliwiły przeprowadzenie analizy rozwoju pęknięć w bimetalu stal-tytan przy zginaniu. Próbkę charakteryzowały się równomiernym wzrostem pęknięć po obu stronach powierzchni bocznych. Podczas badań doświadczalnych obserwowano rozwój pęknięć zmęczeniowych od strony stali lub tytanu. Pęknięcie pokazane na rysunku 7 rozwijało się w płaszczyznach największych naprężeń normalnych w tytanie i przechodziło do stali [8]. Rozwijające się pęknięcie po dojściu do linii złącza przebiegało wzdłuż tej linii (równoległe do długości próbki) w dwóch kierunkach. Po przejściu pęknięcia przez linię złącza wzrastało ono podobnie jak przed dojściem do linii złącza. Obserwowano również przypadki, kiedy pęknięcie po dojściu do linii złącza przecinało ją, propagując tak jak dotychczas. Można to tłumaczyć różnym stopniem lokalnego zdefektowania sieci krystalograficznych obu materiałów na granicy złącza w wyniku zderzenia łączonych materiałów. Natomiast rozwój pęknięć następuje w miejscach, gdzie wskutek zdefektowania sieci krystalograficznej wiązania międzyatomowe są najslabsze. Różna sztywność materiałów powoduje, że oś obojętna nie występuje w miejscu linii złącza, lecz jest przesunięta. Po obliczeniu położenia osi obojętnej można stwierdzić, że dla stosunku wysokości próbki $h_1 : h_2 = 1 : 2,5$ oś ta znajduje się w stali w odległości 3,08 mm od podstawy. Na rysunku 8 pokazano rozwój ścieżki pęknięcia w tytanie. W tytanie Gr. 1, który składa się jedynie z ziaren fazy α , przeważają pęknięcia transkrystaliczne przez ziarna, ale obserwowano również pęknięcia po granicach ziaren. Występuje jedno główne pęknięcie z zauważalnymi uskokami po granicach ziaren.

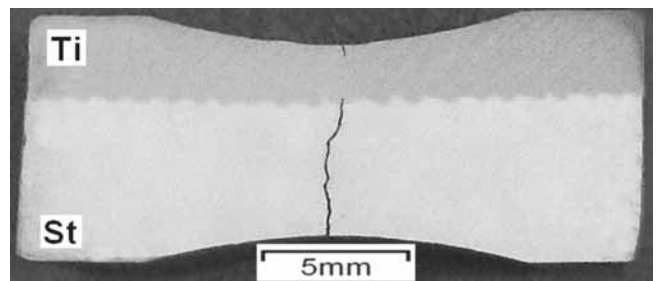
Na rysunku 9 przedstawiono przykładową długość pęknięcia próbki w funkcji trwałości. Próbkę tę badano



Rys. 8. Ścieżka pęknięcia w tytanie
Fig. 8. Crack path in titanium



Rys. 9. Długość pęknięcia w funkcji liczby cykli
Fig. 9. Crack length vs. number of cycles



Rys. 10. Ścieżka pęknięcia w próbce przy obciążeniu $M_a = 14,21 \text{ N}\cdot\text{m}$
Fig. 10. The crack path in specimen under loading $M_a = 14,21 \text{ N}\cdot\text{m}$

przy obciążeniu $M_a = 14,2 \text{ N}\cdot\text{m}$ po $N_f = 101\ 000$ cykli nastąpiło jej zniszczenie. Inicjację pęknięcia zmęczeniowego w próbce obserwowano po 89 000 cykli, natomiast wzrost pęknięcia mierzono od długości 0,15 mm.

Przykładowe zdjęcie rozwoju pęknięcia na wskroś próbki pokazano na rysunku 10. Pęknięcie rozwija się od strony stali, a następnie przechodzi przez linię złącza i propaguje w tytanie. Kiedy pęknięcie po przejściu przez linię złącza zaczęło propagować w tytanie, to od góry próbki zauważono również rozwój pęknięcia. Pęknięcia te połączyły się, niszcząc próbkę.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań próbek bimetalu sformułowano następujące wnioski:

- W wyniku zgrzewania wybuchowego uzyskano bimetali stal-tytan o prawidłowej budowie metalograficznej i geometrycznej złącza, z niewielką ilością warstwy przetopionej znajdującej się głównie w zawinięciu fali. Obróbka cieplna spowodowała powstanie warstwy dyfuzyjnej wzdłuż linii złącza.
- W obrębie pojedynczej fali twardość zarówno stali, jak i tytanu jest zmienna i zależy od lokalnego stopnia zdeformowania. Skokowy wzrost twardości obserwuje się w obszarze przetopionym.
- W tytanie przeważają pęknięcia transkrystaliczne, ale obserwowano również pęknięcia po granicach ziaren.
- Inicjacja i rozwój pęknięć zmęczeniowych przebiegały głównie w stali.
- Rozwój pęknięć obserwowano na wskroś przekroju poprzecznego próbki i w linii złącza bimetalu.

Literatura

- [1] Pocica A., Bański R., Szulc Z., Gałka A., Waindok P., Badania bimetalu stal austenityczna – tytan wyżarzane w różnych warunkach, *Inżynieria Materiałowa*, 5/2008, s. 1-4.
- [2] Crossland B., *Explosive welding of metals and its application*, Claredonpress, Oxford, 1982.
- [3] Nobili A., Masri T., Lafont M.C., Recent developments in characterization of a titanium steel explosion bond interface, *Proceedings of Reactive Metals in Corrosive Applications Conference*, Eds. Wah Chang, Albany, 1999, s. 89-98.
- [4] Król S., Bański R., Szulc Z., Gałka A., Practical aspects of structural tests of titanium-steel bonds made by explosive cladding and exposed to thermal process loads. *Advances in Material Science*, 7/2007, s. 50-56.
- [5] Thum A., Petersen C., Swenson O., *Verformung, Spannung und Kerbwirkung*. VDI, Duesseldorf, 1960.
- [6] Banker J., *Advances in Explosion Welding*, The Handbook of Advanced Welding, Woodhead Publishing Ltd, London, 2004.
- [7] Paul H., Faryna M., Prazmowski M., Bański R., Changes in the bonding zone of explosively welded sheets, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 56, 2/2011, s. 463-474.
- [8] Rozumek D., Hepner M., Wpływ mikrostruktury stopu tytanu Ti-6Al-4V na rozwój pęknięć zmęczeniowych, *Inżynieria Materiałowa*, 2/2005, s. 81-83.

SIMP



Imprezy naukowo – techniczne SIMP w 2012 r

| Temat konferencji | Termin | Organizator |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Najnowsze trendy w podejściach kosztowym i porównawczym przy szacowaniu wartości maszyn, urządzeń i pojazdów na tle ustawodawstwa Unii Europejskiej | 23-24 kwietnia | Towarzystwo Rzeczoznawców Majątkowych SIMP Zamek SIMP w Rydzynie k. Leszna, 42 636 39 23 |
| Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne 2012 „Stan, potrzeby, oczekiwania, możliwości” | 16-18 maja | SIMP – Sekcja Sterowania i Napędu Hydraulicznego, Wrocław 71 344 81 26 |
| Podstawowe Problemy Metrologii, PPM 2012 | 03-06 czerwca | Wydawnictwo PAK, Krynica Zdrój, 32 237 19 45 |
| Materiały polimerowe i ich przetwórstwo | 09-12 września | Towarzystwo Przetwórców Tworzyw Polimerowych SIMP Częstochowa – Bełchatów, 34 325 06 59 |
| Międzynarodowa Konferencja Metrologów, MKM 2012 | 09-12 września | Wydawnictwo PAK, Wisła, 32 237 19 45 |
| Finansowanie innowacyjnych technologii oraz działalności badawczo-rozwojowej w polskim sektorze poligraficznym – INNTECHGRAF 2012 | 13-14 września | Sekcja Poligrafów SIMP, Inowrocław, 52 35 42 700 |
| 3. Międzynarodowa Konferencja „Natryskiwanie cieplne. Zastosowania” | 24-26 września | Dolnośląska Sekcja Spawalnicza przy Oddziale SIMP we Wrocławiu, Wrocław, 41 34 24 539 lub 41 34 24 513 |
| 54. N-T Konferencja „Spawalnictwo. Osiągnięcia – Potrzeby – Wyzwania” | 16-18 października | Instytut Spawalnictwa, Gliwice, Sosnowiec, 32 33 58 367 |
| 41. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących | 22-25 października | Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP, Toruń, 56 622 49 82 |
| Kierunki prac badawczych, rozwiązań technicznych oraz eksploatacja urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych | 14-15 listopada | Towarzystwo Chłodnictwa, Klimatyzacji i Pomp Ciepła SIMP Poznań, 61 85 07 505 |
| II Międzynarodowa Konferencja Poligraficzna „Innowacje w sektorze poligraficznym Europy Środkowo-Wschodniej” | 14-16 listopada | Sekcja Poligrafów SIMP, Jelenia Góra – Czechy, 52 35 42 700 |