

dr inż. Dagmara Małgorzata Fronczek

Promotor: **dr hab. Joanna Wojewoda-Budka, prof. PAN**, promotor pomocniczy: **dr inż. Robert Chulist**

Tytuł rozprawy (w języku polskim): Charakterystyka mikrostrukturalna i kinetyczna zjawisk zachodzących na powierzchni połączenia platerów wytwarzanych z użyciem energii wybuchu

Tytuł rozprawy (w języku angielskim): Microstructural and kinetic characterization of the phenomena occurring at the clads' interfaces manufactured by explosive welding

Słowa kluczowe: zgrzewanie wybuchowe, aluminium, tytan, magnez, obróbka cieplna, fazy międzymetaliczne

Keywords: explosive welding, aluminum, titanium, magnesium, heat treatment, intermetallics

Charakterystyka pracy w języku polskim:

Rozprawa doktorska opisuje mikrostrukturę oraz wybrane właściwości mechaniczne połączeń stopów lekkich: stopu aluminium (A1050) ze stopem tytanu (Ti gr. 2) i stopu aluminium (A1050) ze stopem magnezu (AZ31), uzyskanych technologią zgrzewania wybuchowego. Na materiałach dwu- lub trójwarstwowych, powstałych w jednym akcie zderzenia, przeprowadzono badania pozwalające na szczegółowy opis zjawisk w obrębie połączeń i wykazanie ewentualnych różnic powstałych na granicach rozdziału w zależności od położenia w stosunku do umiejscowienia materiałów wybuchowych. Eksperymenty wyżarzania próbek

przeprowadzone w różnych warunkach temperatury, czasu czy atmosfery miały na celu wzbogacenie istniejącej wiedzy na temat mechanizmu i szybkości wzrostu faz międzymetalicznych na granicy łączonych platerów. Ma to ogromne znaczenie aplikacyjne podczas produkcji kompozytów składających się z naprzemiennie ułożonych warstw metalu i faz międzymetalicznych. Wielowarstwowe kompozyty Al/AlxTi_y/Ti, charakteryzujące się wysoką twardością, mogą być z powodzeniem stosowane jako tarcze balistyczne. Z drugiej strony stopy magnezu wykazujące ekranowanie zakłóceń elektromagnetycznych oraz absorpcję wibracji, osłonięte z obu stron stopami aluminium, mogą być wykorzystane jako elementy w samolotach czy pojazdach bojowych.

Uzyskane wyniki wykazały, że położenie granicy rozdziału w odniesieniu do umiejscowienia materiałów wybuchowych ma znaczący wpływ na ich morfologię i skład chemiczny. Bliżej materiału wybuchowego panują uprzywilejowane warunki do tworzenia faz międzymetalicznych, które w przypadku Ti gr. 2/A1050 przyjmują różną morfologię. Natomiast, w próbkach połączeń A1050/AZ31 walcowanych na gorąco po zgrzewaniu wybuchowym, obserwowano warstwy faz międzymetalicznych tworzące struktury segmentowe.

Obliczenia kinetyki wzrostu faz międzymetalicznych potwierdziły, że fazy charakteryzują się różnymi prędkościami wzrostu w odniesieniu do lokalizacji granicy połączenia i stosowanej temperatury wyżarzania. Formowanie się ciągłej warstwy międzymetalicznej było uprzywilejowane na połączeniach usytuowanych bliżej materiału wybuchowego. Ponadto wyższe temperatury sprzyjały powstawaniu szerszych warstw, ale o znacznie gorszej jakości - wykryto w nich więcej pęknięć lub porów. W eksperymentach z zastosowaniem różnych atmosfer (argon, powietrze, próżnia), w których przeprowadzono wyżarzanie, zaobserwowano istotny wpływ argonu na szybkość wzrostu fazy TiAl₃. Ponadto zastosowanie zewnętrznego równoosiowego docisku istotnie zmniejszyło wzrost zwartej warstwy TiAl₃ i spowodowało pojawienie się dodatkowej strefy dyfuzji złożonej z różnych związków międzymetalicznych.

The abstract of the thesis (in English):

The present work was focused on detailed description of the light alloys: aluminum alloy (A1050) joined with titanium alloy (Ti gr. 2) and aluminum alloy (A1050) joined with magnesium alloy (AZ31) by explosive welding (EXW). They were produced either as two- or three-layered set-ups by a single act of shot. The experiments were planned to describe in details the microstructure and texture of the interface of the joined materials as well as themselves and also to expose any differences arising at the interfaces with respect to their location (placement from the explosive material), which has been so far barely discussed in the literature. The annealing experiments performed at various conditions after EXW process were conducted in both analyzed cases in order to enrich the existing knowledge on the growth of the intermetallic phases. This may find potential application in the production of metallic-intermetallic laminate composites. The multi-layered composites of Al/AlxMg_y/Mg and Al/AlxTi_y/Ti, characterized by high hardness and light weight, can be successfully used in advanced engineering applications

as ballistic shields protecting against armor piercing projectiles. Furthermore, materials composed of magnesium alloys exhibit electromagnetic interference shielding as well as vibration absorption what makes them highly desirable for the military industry as part of combat airplanes or vehicles.

The results demonstrated that the interface position with respect to the explosives has an influence on their phase composition. Upper interfaces are privileged for the intermetallics formation, because of more drastic conditions during EXW. Various structures such as intensively mixed bulges, peninsula- or island-like structures with swirled intermetallics were observed in the state directly after explosive welding. In aluminum-magnesium samples, additionally hot rolled after EXW, the segmented structures were observed.

The intermetallics growth kinetics calculation confirmed that the intermetallics were characterized by different growth velocities with respect to the interface location and applied temperature. The intermetallic layers development was privileged at the upper interfaces. At higher temperatures the formation of wider layers takes place, but of significantly lower quality - more cracks or pores were detected. Moreover, a detrimental influence of argon on TiAl₃ phase was observed. Furthermore, the additional external compression significantly decreased the compact and dense TiAl₃ phase growth, however, additional diffusion zone composed of various intermetallics was obtained.

Publikacje z zakresu pracy:

1. **Fronczek DM**, Wojewoda-Budka J, Chulist R, Sypien A, Korneva A, Szulc Z, Schell N, Zieba P.
Structural properties of Ti/Al clads manufactured by explosive welding and annealing
. Materials and Design 91 (2016) 80-89

2. **Fronczek DM**, Chulist R, Litynska-Dobrzynska L, Szulc Z, Zieba P, Wojewoda-Budka J.
Microstructure Changes and Phase Growth Occurring at the Interface of the Al/Ti Explosively Welded and Annealed Joints
. Journal of Materials Engineering and Performance 25 (2016) 3211-3217

3. Chulist R, **Fronczek DM**, Szulc Z, Wojewoda-Budka J. *Texture transformations near the bonding zones of the three-layer Al/Ti/Al explosively welded clads*. Materials Characterization 129 (2017) 242-246
4. **Fronczek DM**, Chulist R, Szulc Z, Wojewoda-Budka J. Growth kinetics of TiAl₃ phase in Al/Ti/Al explosively welded clads. Materials Letters 198 (2017) 160-163
5. **Fronczek DM**, Chulist R, Litynska-Dobrzynska L, Kac S, Schell N, Kania Z, Szulc Z, Wojewoda-Budka J. Comprehensive study of three-layered A1050/AZ31/A1050 clads prepared by explosive welding combined with subsequent annealing; Materials and Design 130 (2017) 120-130
6. **Fronczek DM**, Chulist R, Litynska-Dobrzynska L, Lopez GA, Wierzbicka-Miernik A, Schell N, Szulc Z, Wojewoda-Budka J. Characterization of Al/Ti/Al clads manufactured by explosive welding. Metallurgical and Materials Transactions A 9 (2017) 4154-4165