

Diffusion phenomena at the interface zone of A11050/Ni201 explosively welded clads

Mgr inż. Izabella Kwiecień

Streszczenie

Zgrzewanie wybuchowe jest bardzo użyteczną (czasami jedyną możliwą do zastosowania), nowoczesną metodą spajania, szczególnie przydatną w przypadku elementów wielkogabarytowych, produkcji kompozytów wielowarstwowych oraz płyt bimetalicznych, zwłaszcza w par materiałów trudnych do połączenia innymi, konwencjonalnymi metodami. W tej technologii wykorzystywana jest energia, pochodząca z wybuchu, gdzie siła detonacji ładunku wybuchowego rozpędza płytę nastrzelianą w kierunku płyty podstawowej. Na skutek kolizji obu płyt dochodzi do intensywnego docisku, lokalnego wzrostu temperatury na ich styku, a następnie szybkiego odprowadzania ciepła i formowania finalnego połączenia. Technologia ta jest konkurencyjna w stosunku do innych metod łączenia z uwagi na możliwość zastosowania jej do spajania materiałów charakteryzujących się odmiennymi właściwościami fizyko-chemicznymi, takimi jak temperatura topnienia, gęstość czy wytrzymałość. Dodatkową zaletą zgrzewania wybuchowego jest formowanie się połączenia pomiędzy czystymi powierzchniami, na skutek bardzo dużej dynamiki procesu i w wyniku

zderzenia łączonych płyt, gdyż w punkcie kolizji występuje zjawisko strumieniowania, czyli generowany jest strumień czyszczący, usuwający wszelkie zanieczyszczenia i warstwy tlenkowe.

W rozprawie doktorskiej scharakteryzowano bimetaliczne płyty wytworzone ze stopów aluminium (Al1050) i niklu (Ni201) metodą zgrzewania wybuchowego (EXW) w różnych warunkach procesu. Platerki zostały wytworzone z zastosowaniem różnych wyjściowych warunków łączenia takich jak: prędkość detonacji (V_d), dystans technologiczny między płytami (SOD) oraz zmienna wzajemna lokalizacja zderzających się płyt (Al1050/Ni201 lub Ni201/Al1050). W toku prac badaniom poddano cztery platerki, a szczegółowy nacisk został położony na charakterystykę morfologii oraz składu chemicznego formującej się między płytami granicy rozdziału. Jak wynika z literatury, powstała granica rozdziału może mieć charakter płaski, falisty lub falisty z ciągłą warstwą przetopioną, co związane jest z dynamiką procesu łączenia będącą rezultatem zadanych warunków początkowych spajania. W przypadku prezentowanych połączeń, dla każdego platerki zaobserwowano obecność ciągłej warstwy przetopionej, jednakże wraz ze wzrostem prędkości detonacji charakter połączenia zmieniał się z prawie płaskiego do wyraźnie falistego. Wykazano niejednorodny charakter przetopionych obszarów, będących mieszaniną różnych faz międzymetalicznych występujących w układzie Al-Ni. W dalszej części pracy przeanalizowano wpływ temperatury i czasu wyżarzania na zmiany mikro strukturalne strefy połączenia, na podstawie których wyznaczono kinetykę wzrostu oraz określono mechanizmy dyfuzji jakie występowały w trakcie tworzenia faz Al_3Ni i Al_3Ni_2 . Ponadto szczegółowo omówiono różnice związane z ewolucją mikrostruktury złącza związaną z zachodzącymi w trakcie wygrzewania procesami dyfuzyjnymi, w odniesieniu do zastosowanych warunków zgrzewania wybuchowego. Zaobserwowano nierównomierny wzrost faz międzymetalicznych, obecność porowatości, a w skrajnym przypadku

dezintegrację połączenia na granicy rozdziału po wyżarzaniu długoterminowym. Obliczenia kinetyki wzrostu faz międzymetalicznych wykazały, iż w zależności od warunków początkowych łączenia, fazy międzymetaliczne wzrastały z różną prędkością. Platerki w stanie wyjściowym oraz po wyżarzaniu zostały poddane wybranym testom mechanicznym takim jak badania twardości w skali mikro i nano oraz zginanie w warunkach dynamicznych. Ponadto na podstawie badań dylatometrycznych został wyznaczony współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej badanych płyt bimetalicznych.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że badany materiał ma potencjał do zastosowań przemysłowych z zastrzeżeniem dotyczącym zastosowania niskiej prędkości detonacji w badanej parze stopów aluminium i niklu. Z uwagi na koincydencję zjawiska Kirkendalla oraz wzrostu obu faz międzymetalicznych w mechanizmie po granicach ziaren, będących ścieżkami szybkiej dyfuzji, obserwowana jest duża porowatość na granicy rozdziału Al1050/Al3Ni2, która w wyniku długoterminowego wyżarzania prowadzi do dezintegracji złącza.

Abstract

Explosive welding is a very useful and sometimes the only feasible modern welding method, especially suitable in the case of large-size

components to be joined, production of both bimetallic plates and multilayer composites. This technology uses the energy from an explosion, where the detonation force of the explosive accelerates the top located plate towards the base plate. The collision between the plates results in intense increase of the pressure, and a local rise of temperature at the interface followed by rapid heat dissipation and formation of the final weld. This technology is competitive to other joining methods due to its ability to be used for materials characterized with different physical and chemical properties, such as: melting point, density and strength. An additional advantage of the explosive welding is the formation of a bond between clean surfaces, due to the very high dynamics of the process and the phenomenon of streaming at the collision point - when generated cleaning jet removes from the joined surfaces any impurities and oxide layers.

This study is focused on the comprehensive characterization of the bimetallic plates formed between the aluminum (Al1050) and nickel (Ni201) alloys explosively welded under various process conditions such as: detonation velocity, technological distance between the plates and the mutual location of the colliding plates (aluminum alloy acts either as a flyer or base plate). Four clads are intensively investigated with particular importance allocated to the interface zone microstructure observations by electron microscopy techniques. The presence of a continuous remelted layer is observed for each weld exhibiting the interface morphology from almost flat to wavy. A mixture of Al_xNi_y intermetallic phases is created within the remelted areas accompanied with the formation of complex microstructures. Important aspect of the work is dedicated to the influence of annealing on the microstructure transformation of the interface zone supported with the growth kinetics of two main creating intermetallics: Al_3Ni and Al_3Ni_2 , revealing their growth mechanism in relation to the applied parameters of joining. It is also shown, if and how the detonation velocity influences the growth

rate of the intermetallic phases. The grain boundary mechanism of growth accompanied by the strong Kirkendall effect, manifested by the presence of porosity, leads in extreme case to the disintegration of the weld at the interface zone after long-term annealing. The microstructure changes of the Al1050/Ni201 explosively welded clads are supported by the selected properties, such as linear thermal expansion or mechanical properties provided by the bending under dynamic conditions, micro- and nanoindentation tests.

Detailed and multiscale microstructure description followed by understanding of the phenomena occurring at created interfaces is the starting point in designing of a new product. The experimental results presented here are important, not only to strive of a scientific truth, but also for the real-practice in industrial environment, providing important technological hints regarding the production technology.

[Recenzja - Prof. H. Garbacz](#)

[Recenzja - Prof. M. Sozańska](#)

