



## **OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**Autor rozprawy doktorskiej:** Krzysztof Samson

**Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim:** Wpływ warunków spawania na właściwości złączy różnoimiennych stali odpornych na korozję

**Tytuł rozprawy w języku angielskim:** The influence of welding conditions on dissimilar stainless steels joint properties

**Język rozprawy doktorskiej:** polski

**Promotor rozprawy doktorskiej:** dr hab. inż. Jerzy Łabanowski

**Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej:**

**Data obrony:**

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polski:** stal austenityczna 316 L, stal duplex, złącza różnoimiennie, spawanie SAW

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim:** austenite stainless steel 316L, duplex steel, dissimilar joints, SAW

**Streszczenie rozprawy w języku polskim:**

Rozprawa ukierunkowana jest na rozwiązanie problemów spawania złączy różnoimiennych blach grubych ze stali odpornych na korozję o strukturze austenitycznej i ferrytyczno-austenitycznej typu duplex. Praca ma ścisły związek z rzeczywistymi potrzebami przemysłu okrętowego w zakresie wdrażania nowych technologii spawania złączy różnoimiennych o określonych wymaganiach właściwości mechanicznych i odporności korozyjnej. Obecnie tego typu złącza mają istotne znaczenie w konstrukcjach zbiorników na statkach do przewozu chemikaliów, gdzie stosuje się coraz częściej nowoczesne stale ferrytyczno-austenityczne typu duplex, jednak połączenia z tradycyjnymi stalami o strukturze austenitycznej są nieuniknione.

Całość opracowania składa się z dwóch części. W części pierwszej przedstawiono przegląd literatury charakteryzując aktualny stan wiedzy dotyczący problemów spawania stali austenitycznych i stali typu duplex oraz przegląd literatury światowej dotyczący i właściwości złączy różnoimiennych stali austenitycznych i stali duplex. Część druga, doświadczalna, zawiera tezę i cele rozprawy, charakterystykę badanych materiałów, opis metodyki badań oraz wyniki wraz z ich omówieniem.

Badano złącza próbne z blach o grubości 15 mm ze złączami doczołowymi spawane wysokowydajną metodą SAW. Złącza wykonane zostały z różną ilością wprowadzonego ciepła (od 1,2 do 3,5 kJ/mm) oraz z zastosowaniem różnych kształtów krawędzi blach przygotowanych przed spawaniem. Opracowana została technologia spawania złączy różnoimiennych, a następnie wykonano szereg badań pozwalających na ocenę ich właściwości mechanicznych i odporności korozyjnej. Przeprowadzono badania nieniszczące złączy, a następnie wykonano badania właściwości mechanicznych, statyczne próby rozciągania, próby zginania, próby udarności i twardości. Wyniki tych badań pozwoliły na jednoznaczne określenie wpływu technologii spawania na właściwości uzyskanych złączy różnoimiennych. Wykonano badania metalograficzne za pomocą mikroskopu świetlnego oraz transmisyjnego i skaningowego mikroskopu elektronowego. Te badania pozwoliły przeanalizować wpływ warunków spawania stali różnorodnych na kinetykę przemian strukturalnych i procesów

wydzieniowych zachodzących w spoinie oraz strefie wpływu ciepła złączy oraz ustalenie zależności pomiędzy budową strukturalną, a właściwościami mechanicznymi i odpornością korozyjną złączy.

Badano odporność na korozję wżerową i naprężeniową złączy spawanych. Wyniki badań korozyjnych przeprowadzonych w próbie ASTM G48-92A jednoznacznie wskazują, iż obszarem złączy o najniższej odporności na korozję wżerową jest materiał rodzimy stali austenitycznej AISI 316L. Wyniki testów korozji naprężeniowej wykazały podatność materiałów rodzimych stali duplex oraz stali austenitycznej do korozji naprężeniowej w warunkach powolnego odkształcania w środowisku wrzącego chlorku magnezowego. Badania na próbkach ze złączami spawanymi wykazały największą podatność obszaru SWC od strony stali duplex na korozję naprężeniową, co wskazuje na możliwe uczulenie tego obszaru złączy różnoimiennych podczas spawania.

W podsumowaniu stwierdzono, że spawanie automatyczne łukiem krytym stali różnoimiennych, austenitycznej AISI 316L oraz ferrytyczno-austenitycznej typu duplex 2205 może być zastosowane do wydajnego łączenia blach grubych stosowanych w budowie konstrukcji morskich z zastrzeżeniem przestrzegania wskazanych ograniczeń. Właściwości mechaniczne tak uzyskanych złączy spełniają wymagania Okrętowych Towarzystw Klasyfikacyjnych.

#### **Streszczenie rozprawy w języku angielskim:**

The dissertation is focused on solving problems of dissimilar welded joints made of corrosion resistant austenitic and ferritic-austenitic (duplex) steels. The work has a close relationship with the real needs of the shipbuilding industry in the implementation of new welding technologies of dissimilar steels with specific requirements of the mechanical properties and corrosion resistance. Currently, this joints are essential in the tanks construction of chemical cargo vessels, which are increasingly being used of modern ferritic-austenitic duplex steels, but the joining with traditional austenitic steels are inevitable.

The dissertation consists of two parts. The first part provides an overview of the literature characterizing the current state of knowledge concerning the problems of welding austenitic steels and duplex steels and review of the literature concerning the properties of dissimilar joints of these steels. The second part, experimental, contains the thesis and objectives of the work, materials characteristics, description of the research methodology, research results and discussion. Butt welded joints of the plates of 15 mm in thickness made with the use of high-performance SAW method were investigated. Butt joints were made with the use of different amount of heat input (from 1.2 to 3.5 kJ / mm) and with different shapes of the edge of the metal plate prepared before welding. Technology of welding dissimilar joints was developed, and then a series of tests enabling evaluation of their mechanical properties and corrosion resistance were performed.

The non-destructive tests and destructive tests e.g. tensile tests, bending tests, hardness measurements and impact tests were carried out. The results of these tests made it possible to clearly determine the effect of welding on the mechanical properties of obtained dissimilar joints. Metallographic studies were made using light microscopy, transmission and scanning electron microscopy. These studies revealed the effect of various welding conditions on the kinetics of structural changes and precipitation processes occurring in the weld and heat affected zones. These studies allowed to establish the relationship between the microstructure of the welds and their mechanical properties and corrosion resistance.

The corrosion tests included pitting corrosion and stress corrosion cracking (SCC) susceptibility of welded joints. The results of corrosion tests carried out according to ASTM G48-92A clearly indicate that the area of joints with the lowest resistance to pitting corrosion is parent material of austenitic stainless steel AISI 316L. SCC tests were performed using Slow Strain Rate method in boiling solution of  $MgCl_2$  environment. This test showed the susceptibility of parent materials to stress corrosion cracking. Samples contained dissimilar welded joints showed the greatest sensitivity to SCC of the heat affected zone area from the duplex steel side. This indicates a possible structural sensitization in this area during welding of dissimilar joints.

It was concluded that the automatic submerged arc welding of dissimilar steels, austenitic AISI 316L and ferritic-austenitic duplex 2205 can be used to efficiently weld thick plates used in the marine constructions. Mechanical properties and corrosion resistance of such joints meet the requirements of the Marine Classification Societies.