

Streszczenie w języku polskim

Imię i nazwisko: Natalia Konieczna

Tytuł rozprawy: Spawalność stopu Inconel 617

Data sporządzenia: 04.07.2019

Rozwój przemysłu energetycznego oraz restrykcyjne przepisy Unii Europejskiej dotyczące redukcji zanieczyszczeń do atmosfery obligują technologów oraz inżynierów materiałowych do opracowania i wdrożenia nowych, zaawansowanych stopów na osnowie niklu, które spełniają kryterium żaroodporność i żarowytrzymałości.

Jednym ze stopów niklu, który może być zastosowany na krytyczne elementy nowoprojektowanych bloków energetycznych na parametry nadkrytyczne i super nadkrytyczne jest stop Inconel 617. Stop ten z grupy Ni-Cr-Mo-Co spełnia wymagania w zakresie m.in. dobrej wytrzymałości na pełzanie, odporności wysokotemperaturowej w środowisku spalin, stabilności mikrostrukturalnej w wysokiej temperaturze oraz dobrej wytrzymałości na rozciąganie. Ograniczeniem zastosowania stopów niklu, w tym stopu Inconel 617, może być jednak ich skłonność do pęknięcia gorącego (pęknięcia krystalizacyjnego), które występuje w zakresie kruchości wysokotemperaturowej (ZKW). Zatem celem pracy doktorskiej było określenie spawalności stopu Inconel 617 rozumianej jako odporność materiału na pęknięcie gorące podczas krystalizacji spoiny w zakresie kruchości wysokotemperaturowej.

Materiałem do badań były blachy o grubości 1, 3 i 5 mm ze stopu Inconel 617 umacnianego roztworowo. Badania podzielono na trzy etapy. Pierwszym etapem była charakterystyka materiału do badań za pomocą mikroskopii świetlnej oraz mikroskopii elektronowej. Badana zostały uzupełniono o wyznaczenie charakterystycznych temperatur podczas krystalizacji w analizie różnicowej DTA, tj. temperaturę solidus i temperaturę likwidus. Na symulatorze Gleeble 3800 wyznaczono zakres kruchości wysokotemperaturowej wraz z charakterystycznymi temperaturami dla tego obszaru, tj. temperatura utraty plastyczności (NDT) i temperatura utraty wytrzymałości podczas nagrzewania (NST), a także temperatura odzyskania plastyczności podczas chłodzenia (DRT). Otrzymane wyniki pozwoliły na ocenę odporności materiału stopu Inconel 617 na pęknięcie gorące. Drugim etapem badań były badania skłonności do pęknięcia gorącego. W tym celu wykonano próby technologiczne spawania za pomocą nietopliwej elektrody wolframowej w osłonie gazu obojętnego (TIG). W tym etapie na podstawie przeprowadzonych prób przetapiania w warunkach zmiennych odkształceń (próba Transvarestraint), podczas zmiennej sztywności

w próbie Houldcrofta oraz w stałej sztywności złącza spawanego określono skłonność do pęknięcia gorącego badanego stopu wraz z opisem zmian strukturalnych podczas krystalizacji spoiny w ZKW. Dodatkowo, w próbie Transvarestraint wyznaczono kryteria pęknięcia gorącego, tj. krytyczną prędkość odkształcenia CSS rozumianą, jako wartość tangensa kąta nachylenia między styczną do krzywej rozwoju pęknięć i osią czasu rozwoju pęknięcia oraz krytyczną temperaturową intensywność odkształcenia CST, która została zdefiniowana jako wartość tangensa kąta nachylenia między styczną do krzywej plastyczności $\epsilon = f(T)$ i osią temperatur. Ostatnim etapem badań były badania czynników technologicznych, w tym głównie wpływu energii liniowej na strukturę i właściwości złączy spawanych stopu Inconel 617.

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano instrukcję technologiczną spawania (WPS) dla blachy o grubości 1, 3 i 5 mm ze stopu Inconel 617. Dodatkowo, został zaprojektowany mechanizm powstawania pęknięć gorących dla badanego stopu. Stwierdzono, że podczas krystalizacji spoiny jest ona poddawana znacznemu odkształceniu plastycznemu. Jeżeli odkształcenie przekroczy 1 % dla blachy o grubości 3 mm i 1,7 % dla blachy o grubości 5 mm to złącze stopu Inconel 617 pęknie w zakresie kruchości wysokotemperaturowej. Aby zminimalizować skłonność do pęknięcia gorącego wykazano, że należy stosować proste ściegi i ograniczyć energię liniową spawania.

Streszczenie w języku angielskim

Imię i nazwisko: Natalia Konieczna

Tytuł rozprawy: Spawalność stopu Inconel 617

Data sporządzenia: 04.07.2019

The development of the energy industry and restrictive European Union regulations concerning the reduction of pollution into the atmosphere oblige technologists and material engineers to develop and implement new, advanced alloys based on nickel, which meet the criteria of heat resistance and heat resistance.

One of the nickel alloys that can be used for the critical elements of the newly designed power units for overcritical and super-critical parameters is the Inconel 617 alloy. This alloy from the Ni-Cr-Mo-Co group meets the requirements in the field of high temperature resistance in the exhaust environment, microstructure stability at high temperature and good tensile strength. The limitation of the use of nickel alloys, including Inconel 617 alloy, may however be their tendency to hot cracking (crystallization cracking), which occurs in the high temperature brittleness range (HTBR). Therefore, the aim of the doctoral thesis was to determine the weldability of Inconel 617 alloy understood as material resistance to hot cracking during the crystallization of the weld in the high-temperature brittleness range.

Research material was metal sheet of 1, 3 and 5 mm thickness made of solution-strengthened Inconel 617 alloy. Research were divided into three stages. The research was divided into three stages. The first stage was the characterization of the material for examination using light and electron microscopy. Research was supplemented with determination of characteristic temperatures during crystallization in DTA differential analysis, i.e. solidus temperature and liquidus temperature. On the Gleeble 3800 simulator, the high temperature brittleness range was determined along with the characteristic temperatures for this area, i.e. nil ductility temperature (NDT) and nil strength temperature (NST), as well as the ductility recovery temperature (DRT). The obtained results allowed to evaluate the resistance of Inconel 617 alloy material to hot cracking. The second stage of the research was the tendency to hot cracking research. For this purpose, technological tests of welding with a non-burning tungsten electrode in an inert gas shield (TIG) were carried out. At this stage, based on conducted remelting experiments under variable deformation conditions (Transvarestraint test), during the variable stiffness in the Houldcroft test and in the constant stiffness of the weld joint, the tendency to hot cracking test alloy was determined along with a description of structural changes during joint crystallization in the HTBR. In addition, in the Transvarestraint test, hot

crack criteria were defined, i.e. the critical strain deformation speed (CSS) understood as value of the tangent angle between tangent of crack propagation and crack development time axis and critical strain intensity temperature (CST), which was defined as the tangent value of the angle of inclination between tangent to the ductility curve $\varepsilon = f(T)$ and the temperature axis. The final stage of the research was research of technological factors, mainly the influence of linear energy on the structure and properties of welded Inconel 617 alloys.

Based on the conducted research, a Welding Procedure Specification (WPS) was prepared for sheet steel of 1, 3 and 5 mm thickness made of Inconel 617 alloy. In addition, a mechanism of hot cracking formation for the tested alloy has been designed. It was found that during the crystallization of the weld it undergoes significant plastic deformation. If the deformation exceeds 1% for a 3 mm thick sheet and 1.7% for a 5 mm sheet, the Inconel 617 weld breaks in the high temperature brittleness range. To minimize the tendency to hot cracking, it was shown that straight stitches should be used and the welding energy should be reduced.