

mgr Monika Duchna

Wydział Inżynierii Materiałowej Politechnika Warszawska

Wytworzenie stopu niklu Inconel 713C z renelem metodą przyrostową w celu zwiększenia właściwości użytkowych

Nadstopy na osnowie niklu ze względu na unikalne właściwości użytkowe znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Jednym z przedstawicieli tej grupy materiałów jest stop Inconel 713C. Charakteryzuje się on bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi czy też odpornością na utlenianie. Wadą tego stopu jest natomiast przynależność do grupy trudnospawalnych. Z dostępnej literatury wynika, że dodatek renu do stopów może wpływać na poprawę ich właściwości użytkowych m.in. wytrzymałości czy też spawalności. Powszechnie stosowaną metodą dającą możliwość wprowadzania domieszki renu do proszków stopów metali jest synteza mechaniczna w fazie stałej. Nie zapewnia ona jednak odpowiedniej dyspersji domieszki w proszku stopu oraz rozpuszczalności renu w osnowie. Alternatywą dla tej metody może być domieszkowanie poprzez syntezę chemiczną.

Celem pracy doktorskiej była próba poprawy właściwości użytkowych stopu Inconel 713C poprzez domieszkowanie jonami renu w układzie koloidalnym. Na wstępie zatamizowano odlew stopu Inconel 713C otrzymując proszek tegoż stopu. Wytworzony proszek domieszkowano na drodze syntezy chemicznej opartej na procesie zol – żel. Zastosowanie takiej metody domieszkowania miało na celu uzyskanie jak najlepszej dyspersji wprowadzonej domieszki renu oraz zmniejszenie aglomeracji uzyskanego proszku Inconel 713C:Re7+. Następnie przeprowadzono optymalizację procesu druku stopów Inconel 713C oraz Inconel 713C:Re7+. Ostatnim etapem pracy była weryfikacja spodziewanego wpływu dodatku renu na poprawę właściwości użytkowych stopu Inconel 713C. W tym celu przeprowadzono badania żaroodporności w temperaturze 1000 °C, badania mikrotwardości oraz statyczną próbę rozciągania w temperaturze 750 °C. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowana metoda domieszkowania umożliwiła homogeniczne rozmieszczenie domieszki renu w całej objętości cząstek proszku stopu Inconel 713C. Przeprowadzone domieszkowanie chemiczne pozwoliło otrzymać dwa proszki stopu Inconel 713C z domieszką renu na poziomie 1 oraz 3 % at. Dzięki zoptymalizowanym parametrom wydruku uzyskano próbki stopów Inconel 713C oraz Inconel 713C:Re7+ (1 % at.) o wysokiej gęstości. Natomiast opracowanie parametrów wydruku dla stopu Inconel 713C:Re7+ (3 % at.) nie powiodło się. Tym samym badania mechaniczne oraz żaroodporności przeprowadzono dla stopów Inconel 713C oraz Inconel 713C:Re7+ (1 % at.). Wyniki tych badań potwierdziły pozytywny wpływ wprowadzonej domieszki renu na właściwości użytkowe stopu Inconel 713C. Nie udało się natomiast dokonać oceny wpływu ilości wprowadzonej domieszki renu na poprawę właściwości użytkowych tego stopu.

Słowa kluczowe: nadstopy niklu, efekt renu, proces zol – żel, druk 3D, właściwości mechaniczne, żaroodporność

Title of doctoral dissertation: **Manufacture of the nickel alloy Inconel 713C with rhenium by additive method to increase performance properties**

Nickel-based superalloys are used in many industries due to their unique performance. One representative of this group of materials is the Inconel 713C alloy. This alloy is characterized by very good strength properties as well as by resistance to oxidation. The disadvantage of this alloy is belonging to the group of difficult-to-weld. The available literature suggests that the addition of rhenium to alloys may improve their performance, including their strength properties or weldability. While mechanical synthesis in the solid phase is a common method to introduce rhenium into metal alloy powders, it does not provide adequate dispersion of the dopant in the metal alloy powder, or rhenium solubility in the matrix. As an alternative, doping through chemical synthesis may be a better option.

The purpose of this dissertation is an attempt to improve the operational properties of the Inconel 713C alloy by doping rhenium ions in a colloidal system. In the beginning, Inconel 713C alloy powder was produced by gas atomization from a commercially available alloy cast.. The use of such a doping method was aimed at obtaining the best possible dispersion of the introduced rhenium dopant, and reducing the agglomeration of the obtained Inconel 713C:Re⁷⁺ powder. Subsequently, the 3D-printing process of the Inconel 713C and the Inconel 713C:Re⁷⁺ alloys was optimized. The final stage of the work was to verify the expected effect of the rhenium dopant on the improvement of operational properties of the Inconel 713C alloy. For this purpose, resistance to oxidation tests at 1000 °C, microhardness tests, and a static tensile test at 750 °C were carried out.

The obtained results indicate that the applied doping method enabled a homogeneous distribution of the introduced rhenium dopant in the entire volume of the Inconel 713C powder particles. The chemical doping allowed to obtain two powders of the Inconel 713C alloy with a dopant of rhenium at the level of 1 and 3 % at. The optimized print parameters allowed high-density samples of the Inconel 713C and Inconel 713C:Re⁷⁺ alloys to be obtained. However, the development of print parameters for the Inconel 713C: Re⁷⁺ (3 % at.) alloy failed. Thus, mechanical and resistance to oxidation tests were carried out for the Inconel 713C and the Inconel 713C: Re⁷⁺ alloys (1 % at.). The conducted mechanical and resistance to oxidation tests confirmed the positive effect of the introduced rhenium dopant on the operational properties of the Inconel 713C alloy. However, it was not possible to assess the impact of the amount of the rhenium dopant introduced on the improvement of the operational properties of this alloy.

Keywords: nickel superalloys, rhenium effect, sol-gel process, 3D-printing, mechanical properties, resistance to oxidation