

STRESZCZENIE

Prowadzono badania zależności pomiędzy czynnikami technologicznymi i prędkością chłodzenia ciekłego nadstopu IN713C. Badania wykonano na opracowanych próbkach modelowych o zmiennej grubości ścianki odlewu: 1, 3, 5, 10 i 20 mm. Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono wysoki stopień prawidłowości przyjętych założeń dla rozwiązania postawionego problemu badawczego. Wyniki badań wstępnych stanowiły podstawę planowania realizacji eksperymentu wieloczynnikowego na dwóch poziomach: niskim i wysokim. Uwzględniono czynniki kształtujące mikrostrukturę: temperaturę ciekłego metalu i formy odlewniczej, grubość odlewu, wartości współczynnika przewodnictwa cieplnego materiału formy, oraz jej emisyjność. Opracowano próbki modelowe i wykonano odlewy metodą wytapianych modeli. Pomiar wartości temperatury krystalizującego ciekłego metalu w odlewach o grubości ścianki 10 i 20 mm były podstawą do ustalenia wartości *likwidus* i *solidus* oraz wartości średniej prędkości chłodzenia odlewu. W oparciu o wyniki badania mikrostruktury odlewów o grubości ścianki 10 i 20 mm opracowano zależność matematyczną opisującą relację odległości ramion 2. rzędu dendrytów i prędkości chłodzenia ciekłego nadstopu w formach ceramicznych. Zależność weryfikowano symulacją numeryczną procesu krystalizacji w odlewach o grubości 1, 3, 5, 10 i 20 mm. Zweryfikowana zależność umożliwiła ocenę prędkości chłodzenia w odlewach o małej grubości ścianki 1, 3 i 5 mm. Wyniki oceny prędkości chłodzenia i badania mikrostruktury odlewów stanowiły podstawę do ustalenia szczegółowej i kompleksowej zależności pomiędzy czynnikami technologicznymi, grubością odlewu, prędkością chłodzenia i morfologią głównych składników fazowych mikrostruktury cienkościennych odlewów z nadstopu IN713C.

Analiza uzyskanych wyników badań umożliwiła opracowanie warunków kształtowania mikrostruktury w cienkościennych polikrystalicznych odlewach łopatek turbiny. Stwierdzono, że prawidłowe kształtowanie morfologii składników fazowych mikrostruktury oraz porów w cienkościennych odlewach umożliwi zwiększenie ich odporności na pękanie w warunkach eksploatacji. Opracowane warunki procesu krystalizacji umożliwią również projektowanie procesu technologicznego wytwarzania odlewów cienkościennych łopatek turbiny w warunkach przemysłowych.

SUMMARY

Research was carried out on the relationship between technological parameters and the cooling rate of the superalloy IN713C. The tests were carried out on developed model samples with variable casting wall thickness: 1, 3, 5, 10 and 20 mm. Analysis of the initial results confirmed correctness of the adopted assumptions for solving the main research problem. Design of Experiment (DoE) of technological parameters on two levels low and high was performed. Parameters shaping the microstructure were taken into account: the temperature of the liquid metal, and shell mould, casting wall thickness, value of the shell mould thermal conductivity coefficient and shell mould material emissivity. Model samples were prepared and cast using the lost wax precision casting technology. Measurements of cooling process in castings with a wall thickness of 10 and 20 mm were the basis for determining the values of *liquidus* and *solidus* as well as the average cooling rate of the casting. Based on the results of the casting microstructure analysis in wall thickness of 10 and 20 mm, mathematical relationship describing the relation of the Secondary Dendrite Arm Spacing (SDAS) and casting cooling rate in the ceramic shell mould was developed. Equation was verified by numerical simulation of the crystallization process in castings 1, 3, 5, 10 and 20 mm thickness. Verified equation made it possible to assess the cooling rate in castings with a small wall thickness of 1, 3 and 5 mm. The results of the cooling rate assessment and casting microstructure analysis were basis for establishing a detailed and comprehensive relationship between technological factors, casting thickness, cooling rate and morphology of the main phase components in thin-walled castings of super alloy IN713C.

Analysis of the obtained research results enabled the development of conditions for shaping the microstructure in thin-walled polycrystalline castings of turbine blades. It was found that the correct morphology formation of phase components of the microstructure and pores in thin-walled castings will increase their creep resistance in operating conditions. Developed conditions of the superalloy IN713C crystallization process will enable the design of the technological process for thin-walled turbine blades manufacturing in industrial conditions.