

Wpływ wygrzewania pośredniego (IAT) na przemianę bainityczną oraz właściwości mechaniczne i użytkowe stali EN X37CrMoV5-1

Streszczenie pracy

Niniejsza rozprawa doktorska traktuje o wpływie dodatkowego segmentu izotermicznego, tzw. wygrzewania pośredniego (IAT), wprowadzonego w procesie obróbki cieplnej pomiędzy austenitizowaniem i bainityzowaniem na kinetykę przemiany bainitycznej oraz właściwości mechaniczne i użytkowe stali EN X37CrMoV5-1. Celem IAT było doprowadzenie do kontrolowanego wydzielania faz węglkowych, mających stanowić podłoże dla zarodkowania heterogenicznego płytek ferrytu bainitycznego i sprzyjać tworzeniu form strukturalnych nazywanych ferrytem gwieździstym. Oczekiwano, że uzyskana w ten sposób rozdrobniona wieloskładnikowa mikrostruktura przełoży się na wzrost wytrzymałości i odporności na pękanie stali.

IAT prowadzono w temperaturach: 800, 700, 600 i 500 °C. Badania dylatometryczne i obserwacje mikroskopowe ujawniły zajście procesów wydzieleniowych podczas IAT. Wydzielania węglków były szczególnie widoczne w przypadku IAT w 800 i 700 °C. Lokowały się one na granicach ziaren macierzystego austenitu. Wykazano, że wprowadzenie IAT silnie wpływa na kinetykę przemiany bainitycznej, istotnie ją przyspieszając. Im wyższa była temperatura IAT i dłuższy czas tego segmentu, tym przyspieszenie przemiany było silniejsze. Zauważono, że zmiany parametrów opisujących kinetykę przemiany bainitycznej są silnie skorelowane z czasem IAT. Dla wytłumaczenia zaobserwowanych zmian kinetyki przeanalizowano możliwy wpływ 3 procesów: redystrybucję pierwiastków stopowych, prowadzącą do obniżenia energii aktywacji zarodkowania bainitu, zmianę granicy plastyczności austenitycznej osnowy oraz zmianę szybkości dyfuzji węgla wyrzucanego poza nowopowstałe płytki ferrytu bainitycznego.

Zaprojektowano 15 złożonych obróbek cieplnych wykorzystujących IAT i 2-stopniowe bainityzowanie. Testy właściwości mechanicznych pokazały, że wprowadzenie IAT w wielu aspektach pogorszyło właściwości mechaniczne, co tłumaczono obecnością węglków na granicach ziaren macierzystego austenitu. Jednocześnie zaobserwowano silną korelację pomiędzy udziałem austenitu szczątkowego a badanymi właściwościami, związaną z efektami TRIP i SIMT. Wykazano, że zmieniając kinetykę przemiany bainitycznej, można dzięki IAT kształtować strukturę bainityczno-austenityczną i regulować efekty TRIP i SIMT. Biorąc pod uwagę wysoki potencjał IAT jako narzędzia do kształtowania mikrostruktury, uzyskanie lepszych właściwości pomimo obecności węglków jawi się jako możliwe, lecz wymagające dalszych pogłębionych badań.

Grzegorz Łukaszewicz, M.Sc.

Influence of intermediate annealing treatment (IAT) on bainitic transformation kinetics and the mechanical and utility properties of EN X37CrMoV5-1 steel

Abstract

This doctoral dissertation examines the impact of an additional isothermal segment, referred to as the intermediate annealing treatment (IAT), introduced during heat treatment between the austenitising and bainitising, on bainitic transformation kinetics and mechanical and utility properties of EN X37CrMoV5-1 steel. The purpose of the IAT was to induce controlled precipitations of carbide phases, intended to provide a surface for heterogenous nucleation for bainitic ferrite plates and to stimulate the formation of structural components known as an acicular ferrite. It was anticipated that the resulting refined, multi-componential microstructure would contribute to an increase in the strength and fracture toughness of steel.

IAT was conducted at: 800, 700, 600 and 500 °C. Dilatometric investigations and microscopical observations revealed carbides precipitation processes occurring during IAT. Carbides were particularly noticeable for IAT at 800 and 700 °C, forming along the prior austenite grain boundaries. It was demonstrated that introducing IAT significantly accelerated the bainitic transformation kinetics. The higher the temperature and the longer the duration of this segment, the more pronounced the kinetics became. Changes in parameters describing transformation kinetics were found to be strongly correlated with IAT time. The observed changes in kinetics were attributed to 3 possible processes: alloying elements redistribution, which led to reduced nucleation activation energy for bainitic ferrite, reduced yield strength of austenitic matrix and changed diffusivity of carbon ejected from newly-formed bainitic ferrite plates.

15 complex heat treatments utilizing IAT and a 2-step bainitising were designed. Mechanical tests revealed that the introduction of IAT worsened mechanical properties in many aspects, attributed to the presence of carbides at prior austenite grain boundaries. At the same time, a strong correlation was observed between the content of retained austenite and the tested properties, linked to the TRIP and SIMT effects. It was shown that the bainitic-austenitic microstructure and the TRIP and SIMT effects can be tailored with adjusting the kinetics of bainitic transformation. Considering the high potential of the IAT as a tool for shaping microstructure, achieving improved mechanical properties despite the presence of carbides seems feasible, although it requires further in-depth research.