

Wysokowytrzymałe staliwa do odlewania cienkościennych wyrobów o dużej dokładności powierzchni.

mgr inż. Piotr Garbien

Streszczenie:

Rosnące zapotrzebowanie rynku na wyroby ze staliwa o podwyższonych właściwościach mechanicznych, jak również analiza ekonomiki przedsiębiorstwa przyczyniły się do opracowania w ramach doktoratu wdrożeniowego stopu eksperymentalnego o składzie chemicznym zawierającym: 0.85-0.95%C; 1.50 - 1.60%Si; 2.40 - 2.60%Mn; 1.0-1.2%Al; 0.30 - 0.40%Mo; 0.10 - 0.15%V; 1.0-1.1%Ni, Fe - reszta. W pierwszym etapie badań wykonano szereg wytopów próbnych w warunkach przemysłowych staliwa wysokowęglowego będącego przedmiotem rozprawy oraz przeprowadzono różne warianty obróbek cieplnych. Przeprowadzono badania twardości, struktury krystalicznej i mikrostruktury w celu oceny stopnia ujednorodnienia próbek na ich przekroju. Wykorzystując dane termodynamiczne oraz oprogramowanie JMatPro obliczono układ równowagi Fe-Fe₃C dla badanego staliwa na podstawie, którego opracowano temperatury obróbki zmiękczającej (650 °C), ujednorodniającej (1100 °C) oraz austenizacji (950°C). Również na podstawie obliczonego układu równowagi opracowano szereg hartowniczy w zakresie temperatur 670-1030°C. Na podstawie badań dylatometrycznych opracowano parametry przemiany izotermicznej prowadzącej do uzyskania mikrostruktury zbliżonej do nanobainitycznej. Ustalono, że po austenizacji próbki są szybko chłodzone w wannie hartowniczej w soli o temperaturze 200 °C. Po wszystkich powyżej wymienionych obróbkach cieplnych wykonano szczegółowe badania mikrostruktury, struktury krystalicznej i twardości. Badania te pozwoliły na wytypowanie dwóch innowacyjnych obróbek cieplnych, które mogą być wdrożone w firmie Specodlew. Pierwsza polegająca na wyżarzaniu zmiękczającym w temperaturze 650 oC przez 4 godziny, następnie podgrzaniu do 950 °C i utrzymywaniu przez 2 godziny oraz szybkim schłodzeniu do temperatury 200 °C i utrzymywaniu przez 2 godziny. Druga polegająca na wyżarzaniu ujednorodniającym w 1100 oC przez 6 godziny, następnie chłodzeniu z piecem do 950 oC i wytrzymaniu przez 2 godziny oraz szybkim chłodzeniu do temperatury 200 oC i wytrzymaniu w przez 2 godziny. Równolegle prowadzono badania w kierunku wdrożenia opracowywanego staliwa. W tym celu odlano w warunkach przemysłowych odlewy, które pracują w trudnych warunkach produkcyjnych, a ich wymiana jest częsta i czasochłonna. Zastosowanie opracowanej technologii pozwoliło znacznie wydłużyć czas eksploatacji pracujących odlewów, a tym samym zmniejszyć koszty związane z przebrojeniem maszynyurządzenia. Wdrożenie nowej technologii pozwala na produkcję odlewów, które będą tańsze a zarazem bardziej wytrzymałe na zużycia ścierne, niż obecnie stosowane stopy żelaza z dużą ilością drogich dodatków stopowych. Głównym powodem występowania bardzo dobrej odporności na zużycie ścierne było wytworzenie unikatowej

mikrostruktury staliwa, składającej się z płytek martenzytu i austenitu o różnej grubości i udziale objętościowym oraz nanometrycznych węglików przejściowych. Taka mikrostruktura zapewnia zarówno wysoką twardość (węgliki) oraz wytrzymałość i plastyczność odpowiednio na poziomie $R_m = 1426 \text{ MPa}$ i $A = 9,5\%$ z powodu zachodzenia procesów TWIP/TRIP podczas odkształcenia ze względu na dużą zawartość austenitu szczątkowego i niską energię błędu ułożenia wynikającą ze składu chemicznego staliwa.

Abstract

Increasing market requirements for cast steel products with improved functional and structural properties, as well as the analysis of the economics of the Specodlew company, were the main motivations for the investigation performed in a frame of the presented PhD thesis while the new cast steel with a chemical composition of 0.85-0.95%C; 1.50 - 1.60%Si; 2.40 - 2.60%Mn; 1.0-1.2 %Al; 0.30 - 0.40%Mo; 0.10 - 0.15%V; 1.0-1.1%Ni, Fe - the rest, have been under examination. In the first stage of the research, sets of cast processes of the steel as well as different heat treatment processes in industrial conditions were performed in order to determine the optimal temperatures and times ensuring optimal microstructure. Simultaneously, the microhardness, crystal structure and microstructure investigations were carried out to examine the degree of homogenization. Using thermodynamic data and JMatPro software, the Fe-Fe₃C equilibrium phase diagram was calculated for the investigated steel allowing to determine the temperature of softening annealing (650 °C), homogenizing annealing (1100 °C) and austenitization (950 °C). In addition, based on Fe-Fe₃C equilibrium phase diagram, a tempering processes were performed in temperature range of 670-1030 °C in order to correlate the austenitization temperature with the best microstructure. Based on dilatometric tests, the parameters of the isothermal transformation were developed allowing to obtain a microstructure similar to nanobainitic. It was established that after austenitization, the samples were fast cooled in a salt bath at a temperature of 200 °C. After all heat treatments, detailed examinations of the microstructure, crystalline structure and hardness were performed. This research allowed to select two type of heat treatment technologies that can be implemented at Specodlew company. The first one involves softening annealing at a temperature of 650 °C for 4 hours, then heating up to 950 °C with maintaining for 2 hours, and then fast cooling down to 200 °C with maintaining for 2 hours. The second one involves homogenizing annealing at 1100 oC for 6 hours, then cooling with furnace down to 950 oC and holding for 2 hours then fast cooling down to 200 oC with maintaining for 2 hours. In parallel, the research concerns the implementation of the investigated cast steel together with the heat treatment into production process of Specodlew company were performed. Thus, to gain the aim, parts of the equipment working in the hard environmental conditions were cast in the industrial condition of Specodlew company. The deployment of the proposed technology allowed for significant extension of the working life

of elements and consequently for the reduction of the costs associated with service the machines/devices. The implementation of the new technology allows the production of castings that will be cheaper and at the same time more resistant to abrasive wear than currently used cast steels with a large amount of expensive alloying elements. Moreover the main reason for obtaining of a very good wear resistance, was the formation of unique microstructure of cast steel consisting of martensite and austenite plates of various thicknesses and volume fraction and nanometric transition carbides. This microstructure ensures the existence of high hardness (carbides) strength and plasticity $R_m = 1426 \text{ MPa}$ and $A = 9,5\%$ respectively, due to the fact that TWIP/TRIP processes occur during deformation is related with the high content of retained austenite and stacking fault energy resulting from the chemical composition of the investigated cast steel.

[Recenzja dr. hab. inż. Zenona Pirowskiego](#)

[Recenzja dr. hab. inż. Jarosława Marcisza](#)

[Recenzja dr. hab. inż. Tomasza Tokarskiego](#)