

ANALIZA MIKROSTRUKTURY STALI X70 W ODNIESIENIU DO SPEŁNIENIA WYMOGÓW API DLA PRÓBY DWTT

Piotr Mendala^{1,2}, Janusz Krawczyk¹
pmendala@agh.edu.pl, jkrawcz@agh.edu.pl

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków

²ArcelorMittal Poland S.A., Al. Józefa Piłsudskiego 92, 41-308 Dąbrowa Górnicza

Streszczenie

Wraz ze wzrostem zużycia paliw gazowych każdego roku, zwiększają się potrzeby związane z ich bezpiecznym i efektywnym transportem. Ze wszystkich dostępnych produktów energetycznych, to właśnie gaz ziemny odpowiada za największy udział w rynku światowym sięgający 23%, a prognozy wykazują, że ta wartość dalej będzie się zwiększać. Wraz z postępującą transformacją energetyczną dąży się do podwyższenia i tak już wysokiego udziału transportu paliw gazowych za pomocą rurociągów, zwracając uwagę na wydatne zmniejszenie kosztów, a także bezpieczeństwo związane z możliwymi uszkodzeniami instalacji [1]. Większość zanieczyszczeń uwalnianych do środowiska pochodzących z rurociągów generują dwa czynniki: postępująca korozja elementów i wycieki [2]. Temat rozwoju stali do produkcji rurociągów przesyłowych jest aktualnie mocno rozwija-

ny, czego dowodzi zwiększająca się ilość publikacji naukowych ukazujących się w ostatnich latach [3].

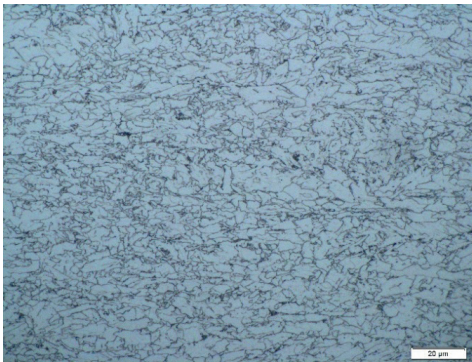
Ze względu na wyzwania stawiane konkretnym gatunkom stali do produkcji rur tj. wysoka wytrzymałość, formowalność, odporność korozyjna i spawalność; należy zastosować materiał, który spełni te wymagania. Przykładem takiego materiału jest stal w gatunku X70, która jest szeroko stosowana w przemyśle transportu paliw gazowych [4]. Kluczowym dla uzyskania wymaganych właściwości tej stali jest prawidłowo przeprowadzony proces termomechaniczny połączony z odpowiednim składem chemicznym [5].

Głównym testem kwalifikującym materiał do produkcji rur przesyłowych jest próba DWTT (Drop Weight Tear Test), pozwalająca ocenić procentowy udział przelomu ciągłego w warunkach obniżonej temperatury i obciążeń udarowych. Jest

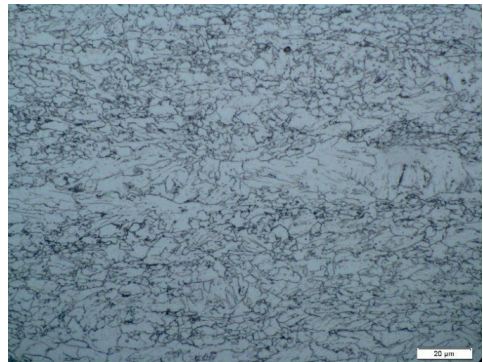
to próba unikatowa ze względu na specyfikę jej wykonywania (grubość próbek zawsze równa jest grubości badanego materiału, a powierzchnia pozostaje nienaruszona), co wpływa na dokładne określenie sposobu pęknięcia materiału oraz propagowania pęknięć, lepiej niż w klasycznej próbie udarowości. Wymagania określone dla rur przesyłowych, które należy spełnić zawarte są w specyfikacji API (American Petroleum Institute).

W niniejszej pracy skupiono się na badaniach mikrostruktury i odniesieniu ich do wyników próby DWTT, a także innych parametrów wytrzymałościowych i składu chemicznego. Dodatkowo, przeanalizowano rozkład wielkości ziarna dla próbek o różnych grubościach: 14,2 mm; 16,0 mm oraz 17,5 mm. Każdą z próbek badano w trzech obszarach: w $\frac{1}{4}$ grubości próbki od powierzchni górnej i dolnej, a także w okolicach osi. Otrzymane wyniki

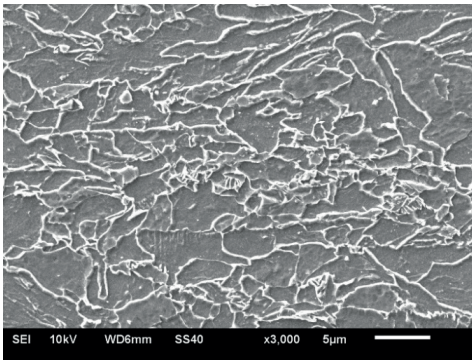
A



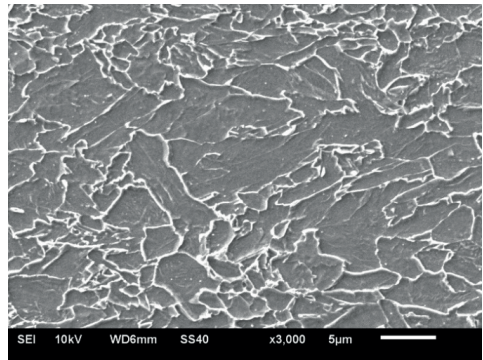
B



C



D



Rys. 1. Widok mikrostruktury stali X70 w grubości 16,0 mm; próbki trawione nitaliem 5%; A, C) jednorodna mikrostruktura, DWTT 100%; B, D) miejscowe niejednorodności, DWTT 90%; A, B) mikroskop optyczny; C, D) skaningowy mikroskop elektronowy SE.

Fig. 1. Microstructure of X70 steel with 16.0 mm thickness; samples etched with 5% nital; A, C) homogeneous microstructure, DWTT 100%; B, D) local inhomogeneities, DWTT 90%; A, B) optical microscope; C, D) scanning electron microscope SE.

wykazują, że wielkość średnia ziarna w badanych obszarach jest podobna, nie zauważa się wyraźnych odstępstw czy zależności. Różnice zauważono dopiero w przypadku oględzin mikrostruktury na mikroskopie optycznym i skaningowym mikroskopie elektronowym. Pewne obszary próbek charakteryzowały się niejednorodnościami w rozkładzie wielkości ziarna. Łącząc te obserwacje z wynikami w próbie DWTT stwierdzono, że obecność miejscowych niejednorodności wielkości ziarna wpływa na obniżenie wyników w próbie DWTT (Rys. 1.).

Słowa kluczowe: rury przesyłowe, mikrostruktura, X70, DWTT

Te badania pozwoliły wyznaczyć dalsze kroki postępowania i określić miejsca w procesie, które w dużej mierze mogą odpowiadać za tego typu niejednorodności. Są to: walcarka nawrotna, ostatnia klatka walcowania wykańczającego i obszar chłodzenia laminarnego. W dalszej części badań planowana jest symulacja procesu walcowania termomechanicznego i modyfikacja parametrów procesowych w celu poprawy jednorodności mikrostruktury stali X70.

Keywords: transmission pipes, microstructure, X70, DWTT

Bibliografia/References

- [1] Arya A. K., Kumar A., Pujari M., Pacheco D. A. de J., 2023, Improving natural gas supply chain profitability: A multi-methods optimization study, *Energy*, Volume 282, pp. 1-18.
- [2] He G., Tian Z., Liao K., Shi J., Wang L., 2023, Numerical investigation on the migration of leaked pollutants after liquid pressurized pipeline leakage regarding oil and gas parallel pipelines situation, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 177, pp. 1-16.
- [3] Dasa P., Md. Mohtasima S., Rowec A., Shuvob K. A., Mishuk N. J., 2025, A review of natural gas transportation pipeline optimization and progress towards hydrogen injection: Challenges and advances, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 124, pp. 102-122.
- [4] Yang F., Zhang S., Xu L., Jia H., Dai L., Niu Z., Wang D., Zhang Z., 2025, Study on fracture behavior analysis of X70 steel girth weld with toughness scatter, *Journal of Pipeline Science and Engineering*.
- [5] DeGarmo P. E., Black J. T., Kohser A. R., 2003, *Materials and Process in Manufacturing*, John Wiley & Sons, Edition 9, pp. 38, 153.

MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF X70 STEEL IN RELATION TO MEETING API REQUIREMENTS FOR THE DWTT

Abstract

As the consumption of gaseous fuels increases each year, the need for their safe and efficient transportation increases. Of all available energy products, natural gas accounts for the largest share of the global market, reaching 23%, and forecasts indicate that this trend will continue to grow. With the ongoing energy transformation, efforts are being made to increase the already high share of gaseous fuel transport via pipelines, focusing on significant cost reductions and safety related to potential installation damage [1]. Most of the pollution released into the environment from pipelines is generated by two factors: progressive corrosion of components and leaks [2]. The development of steel for the production of transmission pipelines is currently under intense development, as evidenced by the increasing number of scientific publications published in recent years [3].

Due to the challenges posed by specific grades of steel for pipe production, such as high strength, formability, corrosion resistance, and weldability, material must to meet

these requirements. An example of such a material is X70 steel, which is widely used in the gas fuel transportation industry [4]. A properly conducted thermomechanical process combined with the appropriate chemical composition [5] is crucial for achieving the required properties of this steel.

The main test qualifying a material for the production of transmission pipes is the DWTT (Drop Weight Tear Test), which allows for the assessment of the percentage of ductile fracture under conditions of low temperature and impact load. This test is unique due to the specific nature of its execution (the sample thickness is always equal to the thickness of the tested material, and the surface remains intact), which allows for a more precise determination of how the material's fracture and crack propagation looks compared to a classic impact test. The requirements for transmission pipes that must be met are contained in the API (American Petroleum Institute) specifications.

This paper focuses on microstructural studies and their correlation with DWTT results, as well

as other strength parameters and chemical composition. Additionally, the grain size distribution for samples of various thicknesses was analyzed: 14.2 mm; 16.0 mm and 17.5 mm. Each sample was tested in three areas: $\frac{1}{4}$ of the sample thickness from the top and bottom surfaces, and near the axis. The results show that the average grain size in the tested areas is similar, with no significant deviations or correlations observed. Differences were only noticed upon examination of the microstructure using an optical microscope and a scanning electron microscope. Certain areas of the samples were characterized by inhomogeneities in the grain size

distribution. Combining these observations with the DWTT results, it was found that the presence of localized grain size inhomogeneities affects the DWTT results (Fig. 1).

These tests allowed us to determine further steps and identify areas in the process that may be largely responsible for this type of inhomogeneity. These areas include the reversing rolling, the last stand of the finishing rolling, and the laminar cooling area. In the further part of the research, it is planned to simulate the thermomechanical rolling process and modify the process parameters in order to improve the homogeneity of the microstructure of X70 steel.