

ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТИЧНОГО СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ТЕПЛОТРИВКОЇ СТАЛІ 15Х1М1Ф

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України
²Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація.

Обґрунтовано критерій оцінювання структурно-механічного стану тривало експлуатованої сталі 15Х1М1Ф за відхиленням від лінійності залежності типу Холла-Петча між розміром зерна і твердістю, визначеними на поверхні труби. Показано, що за однакової тривалості експлуатації на головних парогонях сталь, яка перенесла більшу кількість зупинок блоків, досягла критичного стану.

Ключові слова: теплотривка сталь, структура, твердість, критичний стан, експлуатаційна деградація.

Тривала експлуатація конструкційних сталей на об'єктах теплоенергетики за впливу різних силових та температурних чинників створює передумови для їх деградації, яка проявляється зміною вихідної мікроструктури, механічних властивостей, а також мікромеханізмів їх руйнування. На сьогодні існує однозначне розуміння, що надійність роботи відповідальних об'єктів тривалої експлуатації залежить від поточного структурно-механічного стану сталей, а обґрунтування критичного стану металу конструкцій є актуальним та важливим завданням.

В роботі досліджено зв'язок між границею текучості $\sigma_{0.2}$ і розміром зерна d сталі 15Х1М1Ф, описаний залежністю Холла-Петча: $\sigma_{0.2} = \sigma_0 + K_t \cdot d^{-1/2}$. Оскільки значення $\sigma_{0.2}$ і твердість НВ сталей звичайно корелюють між собою, то вважали, що можлива також подібна залежність між d та твердістю НВ: $HV = A + B \cdot d^{-1/2}$, де A і B – константи (причому у тому числі і для деградованої під час експлуатації сталі). Адже схильність металу до пластичного деформування, яку визначають константи рівняння Холла-Петча, є ключовим чинником впливу на деградацію сталей парогонів за сприятливої для повзучості температури. Значення НВ і d для сталі за тривалої $2 \cdot 10^5$ год експлуатації на парогонях оцінили на різних рівнях по товщині стінки труб: біля зовнішньої (ЗП) і внутрішньої (ВП) поверхонь та в центрі її перерізу (ЦП). Виявилось, що дані для сталі у вихідному стані (позн. 1) та після експлуатації (2) за меншої кількості зупинок блоків (501) задовільно описуються лінійною залежністю $HV = 135 + 235 \cdot d^{-1/2}$ (рис. 1а, I), що загалом відповідає залежності Холла-Петча. Дані замірів на трубах після 576 зупинок блоків (3, 4), отримані у ЦП стінки труби сталі з ферит-бейнітною структурою (3) та біля ВП і в ЦП труби з ферит-перлітною структурою (4) практично належали цій прямій. Проте, значення НВ і d , отримані біля ЗП (3, 4) і ВП (3) труби, відхилювалися від ділянки I в діапазон нижчих значень твердості. Їх описали рівнянням $HV = 5 + 1559 \cdot d^{-1/2}$ (рис. 1а, II). Таке відхилення від ділянки I пов'язали з інтенсивнішою деградацією металу біля ЗП і ВП труб, яка проявилася зростанням розміру зерна внаслідок повзучості за більшої кількості пусків блоків. З урахуванням результатів металографічних досліджень експлуатованої сталі [1] прийшли до висновку, що нахил ділянки I на залежності $HV-d^{-1/2}$ визначає мікроструктурні зміни, пов'язані з виділенням і коагуляцією карбідів на межах зерен та їх декогезією від матриці, а зміна її нахилу та поява ділянки II – мережею мікропор вздовж меж зерен та міжзеренним розтріскуванням, яке вважали за металографічну ознаку деградації сталі.

Щоб пояснити градієнт структурно-механічного стану сталі в перерізі експлуатованих труб розраховували колові напруження в їх перерізі, спричинені дією термічних напружень через перепад температури внаслідок пусків блоків та тиску пари (24 МПа) (рис. 1б, в). Зміни розміру зерен по товщині стінки труб з мінімумом у їх центрі якісно повторили тенденцію зміни колових напружень у їх стінці. Тому вважали, що відхилення даних для металу в околі поверхні

труб від ділянки I на залежності $HB - d^{-1/2}$ (рис. 1а) спричинене декогезією карбідів від матриці та формуванням мережі мікропор вздовж меж зерен. Причому, чим більшою була кількість зупинок блоків, тим сприятливішими ставали умови для їх декогезії (через невідповідність їх коефіцієнтів термічного розширення). Також, слід враховувати негативний вплив пароводяної суміші як наводнювального робочого середовища. Адже за сумісного впливу експлуатаційних напружень розтягу і абсорбованого металом водню пороутворення інтенсифікується внаслідок чого твердість буде знижуватися. Таким чином, ділянку I на залежності $HB - d^{-1/2}$ пов'язали з виділенням карбідів вздовж меж зерен та їх коагуляцією, а ділянку II – з пороутворенням внаслідок декогезії цих карбідів від матриці та їх злиттям, що сприяло зниженню твердості сталі в околі поверхонь труб. Отже, за однакової тривалості експлуатації на головних парогонках сталь після більшої кількості блоків досягла критичного стану.

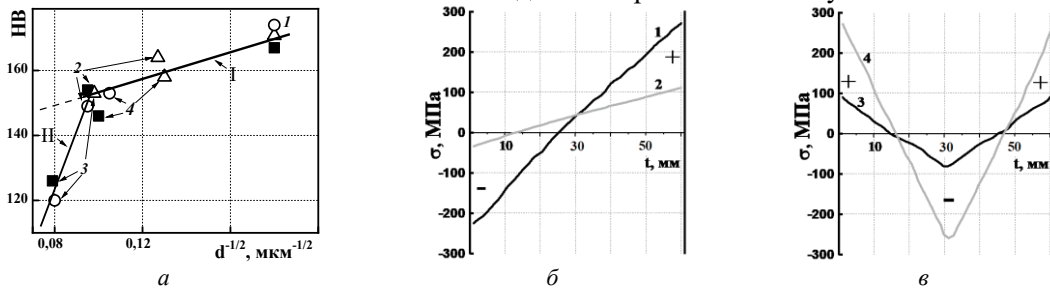


Рис. 1. Залежність $HB - d^{-1/2}$ сталі 15X1M1Ф у вихідному стані (1) та після $\sim 2 \cdot 10^5$ год її експлуатації за різної кількості зупинок блоків 501 (2) і 576 (3 та 4, сталь з ферит-бейнітною та ферит-перлітною структурою, відповідно): Δ – у ЦП стінки труб; \blacksquare , \circ – біля їх ЗП та ВП (а) та розраховані колові напруження σ по товщині стінки t труби (починаючи від її ВП) за впливу внутрішнього тиску пари і термічних напружень від градієнту температури в стінці труби: 1 – 150°C (пуск); 2 – 50°C (стаціонарний режим роботи) (б); 3 і 4 – 50 і 150°C (відповідно планова та вимушена зупинки) (в).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Krechkovs'ka, G.V. Structural changes in exploitation of steam power plant pipeline 15Kh1M1F-type steel concerning with shut downs of power units. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2008, 30(SPEC. ISS.) P. 701–711

Кречковська Галина Василівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. krechkovskahalyna@gmail.com.

Головчук Мирослав Ярославович, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. golovchuk86@gmail.com.

Лісничук Андрій Євгенович, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. dniprovet25@gmail.com.

Штойко Іван Павлович, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. ivan.shtoyko@gmail.com.

SUBSTANTIATION OF THE CRITICAL STRUCTURAL AND MECHANICAL STATE OF 15X1M1F HEAT-RESISTANT STEEL

Abstract.

The criterion for assessing the structural and mechanical state of the 15Kh1M1F steel after long-term operation is justified by the deviation from linearity of the dependence between its grain sizes and hardness values (Hall-Patch type) determined by measurements on the pipe surface. It is shown that for the same duration of steel operation on the main steam pipelines, only the steel has reached the critical state which had undergone a greater number of unit shut-downs.

Key words: heat resistance of steel, structure, hardness, critical state, exploitation degradation.

Halyna Krechkovska, D.Sc., Senior researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv. krechkovskahalyna@gmail.com.

Myroslav Holovchuk, Ph.D., Junior researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv. golovchuk86@gmail.com.

Andriy Lisnichuk, Ph.D., Junior researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv. dniprovet25@gmail.com.

Ivan Shtoyko, Ph.D., Junior researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv. ivan.shtoyko@gmail.com.