

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.003

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ QFORM VX 8.2 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОДУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Клемешов Є.С., Подольский Р.В.

*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр*

Відповідність новим більш жорстким вимогам до залізничних коліс можлива тільки при комплексному підході до вдосконалення технології їх виробництва при обґрунтованому виборі режимів термічної обробки з урахуванням хімічного складу сталі.

Мета дослідження - визначення допустимих швидкостей охолодження ободу залізничного колеса для досягнення високого рівня твердості феритно-перлітної структури з застосуванням моделювання.

*Результати отримані в роботі, яка виконується відповідно до державної цільової програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень», код програмної класифікації видатків 6541230.*

**Матеріал та методики досліджень.** Дослідження проводили на сталі марки ER7 за EN 13262. Зразок досліджуваної сталі підлягав випробуванню на прогартовуваність методом торцевого гартування (за ГОСТ 5657 методом Джомені). Вимірювання твердості проводились на твердомірі ТК-2М. Моделювання проводилось в програмному комплексі QForm VX 8.2.

**Результати досліджень.** Після випробувань на прогартовуваність за ГОСТ 5657, визначалась відстань від поверхні, з якої виконували однобічне охолодження, де твердість відповідає вимогам нормативної документації для коліс з досліджуваної сталі (рис. 1), та відстань, де вже не відбувалось гартування, тобто утворення голчастих структур, в тому числі бейніту та відманштетту. На наступному етапі були розміщені термопари в другий зразок з тієї ж сталі на попередньо визначені відстані, та проводилось охолодження в тих самих умовах, як і для першого зразка, з записом зміни температури під час охолодження (рис. 2, а). За результатом аналізу отриманих залежностей визначався оптимальний діапазон швидкостей охолодження, що забезпечуватиме задовільні значення твердості в центральних об'ємах ободу та гарантує відсутність голчастих структур біля поверхні кочення ободу колеса. Але аналіз результатів показав, що необхідне регулювання інтенсивності

охолодження при термічній обробці. Для розробки режимів диференціації витрати охолоджувача необхідне була розробка та застосування моделі розрахунку зміни температури металу в процесі охолодження.

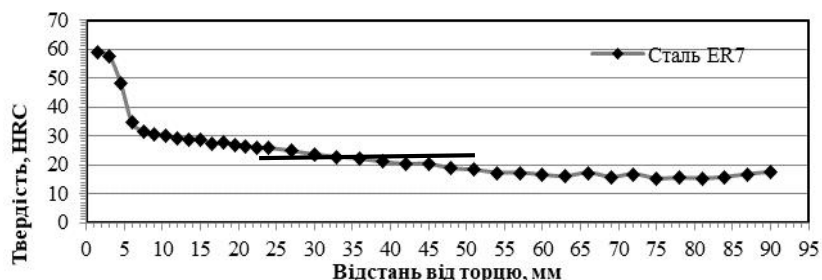


Рисунок 1 - Зміна твердості в залежності від відстані до торцю зразка після випробувань на прогартовуваність за ГОСТ 5657 (метод Джомені)

В програмному комплексі QForm VX 8.2 була розроблена модель, для адаптації якої використовували результати експерименту.

В основу роботи програми покладені основні підходи з теорії теплопередачі.

Якщо в просторі існує різниця температур між двома точками, то відбувається перенесення енергії (теплообмін) від області з більшою температурою до області з меншою температурою.

Виділяють наступні три види теплообміну:

- теплопровідність;
- конвекція;
- випромінювання.

Процес теплообміну в QForm VX 8.2 моделюється за допомогою методу кінцевих об'ємів. Відповідно до цього методу просторова дискретизація завдання здійснюється шляхом розбиття розрахункової області на невеликі дотичні обсяги. У середині кожного контрольного обсягу знаходиться одна точка «прив'язки» шуканого сіткового рішення. В якості кінцевих обсягів в QForm VX 8.2 використані осередки Вороного (рис. 1). Сітка осередків Вороного будується на базі кінцево-елементної сітки, використовуваної для дискретизації деформационної завдання. У кожному з кінцевих елементів виділяється точка, рівновіддалена від кутових вузлів трикутного (2D завдання) або тетраедрального (3D) елемента. Таким чином, кінцеві обсяги у вигляді осередків Вороного є геометричними фігурами, ребра яких з'єднують центри

описаних кіл для трикутних (2D) і описаних сфер для тетраедральних (3D) кінцевих елементів.

Порівняння експериментальних та розрахованих за допомогою моделі результатів підтвердило їх високу збіжність. При цьому модель дозволила отримати миттєву швидкість охолодження в вигляді, який більше відповідає фізичному сенсу процесу (рис. 2, б), і уникнути розкиду фактичних значень, пов'язаного з дискретністю фіксації даних.

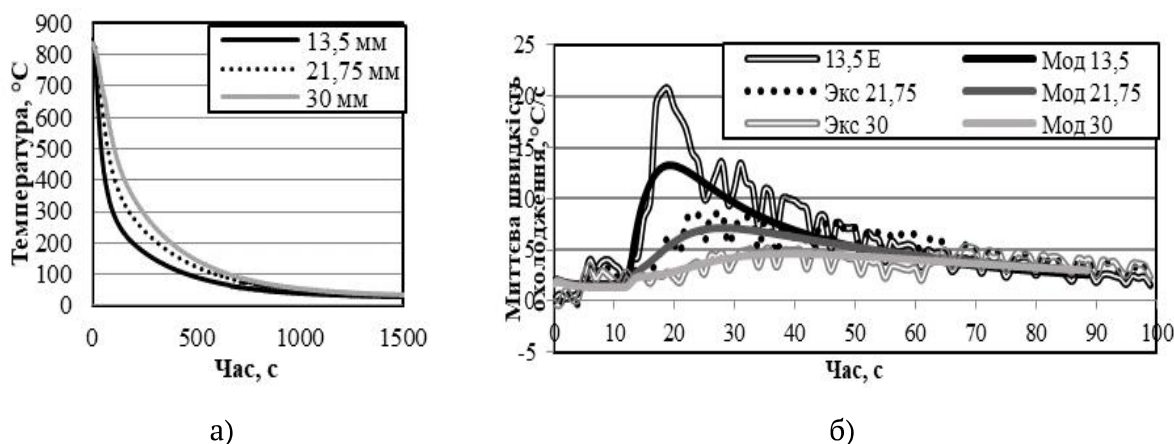


Рисунок 2 – Зміна температури в процесі охолодження (а) та миттєва швидкість охолодження (порівняння експериментальних та розрахункових значень) (б) марки ER7 за EN 13262

Як можна бачити з рисунку 2, б, миттєва швидкість охолодження змінюється в процесі безперервної рівномірної подачі охолоджувача. В деяких випадках фіксували значне уповільнення охолодження, або навіть негативні значення миттєвої швидкості охолодження. Це пов'язано з виділенням теплоти фазових перетворень, яке виникає під час розпаду аустеніту за дифузійним механізмом. Також можна відзначити, що для різної відстані від торцю максимуми миттєвої швидкості охолодження припадають на різний час – це час, коли на метал на певній відстані починає впливати дія охолоджувача. До того метал охолоджувався тільки за рахунок відводу тепла бічною поверхнею. В точках, які розташовані ближче до поверхні інтенсивного тепловідводу максимальна миттєва швидкість більша.

**Висновки:** Визначений допустимий інтервал швидкостей охолодження поверхневих і центральних ділянок ободу коліс при прискореному охолодженні з сталі марки ER7. Дані можуть бути використані для вдосконалення режимів термічної обробки залізничних коліс поточного

виробництва з метою досягнення високого комплексу механічних властивостей як при існуючій технології охолодження, так і при диференційованому охолодженні на модернізованому обладнанні термічної ділянки колесопрокатного цеху. Розроблена модель зміни температури по перерізу зразка для торцевого гартування для сталей різного хімічного складу, яка дозволить прогнозувати миттєві та загальні швидкості охолодження, фазовий склад та механічні властивості на будь-якій відстані від поверхні тепловідводу. Така модель може бути використана для побудови термокінетичних діаграм при безперервному охолодженні та для розробки рекомендацій щодо режимів термічної обробки для досягнення заданих механічних властивостей за певного структурного стану.

#### **APPLICATION OF MODELING IN THE QFORM VX 8.2 SOFTWARE PACKAGE FOR DETERMINATION OF RATIONAL COOLING SPEEDS OF RAILWAY RIMS**

Babachenko Oleksandr, Kononenko Ganna, Klemeshov Evgen, Podolskyi Rostislav

**Abstract.** The tests were performed on ER7 steel according to EN 13262. Based on the hardenability test (GOST 5657) by the method of end hardening (Jomen) the distance from the surface from which unilateral cooling was performed, where the hardness met the requirements of regulatory documentation for wheels of test steel, and the distance where the formation of needle structures, including bainite and otmanshtette, no longer took place. Simulation was applied in the software package QForm VX 8.2, as a result, a model was developed, for the adaptation of which the results of the experiment were used. Confirmed the high convergence of the results of the calculation and the experiment. At the same time, the model allowed to obtain an instantaneous cooling rate in a form that is more in line with the physical meaning of the process and to avoid the scatter of actual values associated with the discreteness of data capture. It is established that the instantaneous cooling rate changes in the process of continuous uniform supply of the cooler. The developed model can be used to build thermokinetic diagrams under continuous cooling and to develop recommendations for heat treatment modes to achieve the specified mechanical properties under a certain structural state.

**Keywords:** railway wheels, hardness, cooling rate, hardenability, modeling.