

- [1] Determination of loading of a hopper car with an improved design of the spine beam. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A., Rybin A., Voloshina L. Procedia Structural Integrity. – 2022. Volume 36, Pages 231 – 238. doi: 10.1016/j.prostr.2022.01.029. ISSN: 2452-3216.
- [2] Research into the transverse loading of the container with sandwich-panel walls when transported by rail. G.L. Vatulia, A.O. Lovska, Ye. S. Krasnokutskyi. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1254(1). – 2023. Pages 1 – 8. DOI:10.1088/1755-1315/1254/1/012140
- [3] ДСТУ ГОСТ 33211:2017 Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей.
- [4] Cascino A., Meli E., Rindi A. A strategy for lightweight designing of a railway vehicle car body including composite material and dynamic structural optimization. Railway Engineering Science. 2023. Vol. 31(9). P. 340–350. DOI:10.1007/s40534-023-00312-6
- [5] Bulakh M. Evaluation and reduction of energy consumption of railway train movement on a straight track section with reduced freight wagon mass. – 2025. Energies, MDPI, vol. 18(2), pages 1-17, January. DOI:10.3390/en18020280
- [6] Дослідження навантаження несучої конструкції вагона-хопера з дахом із композитного матеріалу / О. В. Фомін, А. О. Ловська, А. М. Фоміна, С. С. Сова // Наука та прогрес транспорту. - 2022. - № 1. - С. 71-79. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2022_1_9.

УДК 629.463.001.63

**ОСНОВНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ
МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ 09Г2С ТРАНСПОРТНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**MAIN ASPECTS OF MODELING THE EVOLUTION OF THE
MICROSTRUCTURE OF 09G2S STEEL FOR TRANSPORT
STRUCTURES AFTER THERMAL LOADING**

Док. техн. наук О. В. Фомін¹, канд. техн. наук О. В. Бурлуцький²

¹ Національний транспортний університет (м.Київ)

² Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

D.Eng. (Tech.), O.V. Fomin¹, O.V. Burlutskyi², PhD (Tech.),

¹ National Transport University (Kyiv)

² Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У машинобудуванні існує низка завдань, у яких необхідно прогнозувати структуру сталі після термічного впливу. Для прогнозування властивостей і структури сталі необхідне дослідження структурних перетворень у сталі під час термічного навантаження [1]. Експериментальне дослідження структурних перетворень полягає в побудові ізотермічних і термокінетичних діаграм. Експериментальне дослідження має обмежене застосування. Так, ізотермічні діаграми використовують лише для якісної оцінки впливу хімічного складу на процес розпаду аустеніту.

Термокінетичні діаграми не можуть надати достовірної інформації про структуру сталі, якщо режим термічного навантаження відрізняється від

режимів навантаження під час експерименту [2].

Одним з методів моделювання, еволюції мікроструктури сталі, (кінетики рекристалізації) є модель ЖМАК (Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov) є фундаментальною теорією для опису кінетики фазових перетворень у матеріалах, але також модель знайшла застосування в аналізі втомного руйнування та накопичення пошкоджень. Вона описує, як частка перетвореного матеріалу (або пошкодженого об'єму) змінюється з часом або числом циклів навантаження [3].

Математична модель еволюції мікроструктури сталі, ЖМАК для частки перетвореного матеріалу (y):

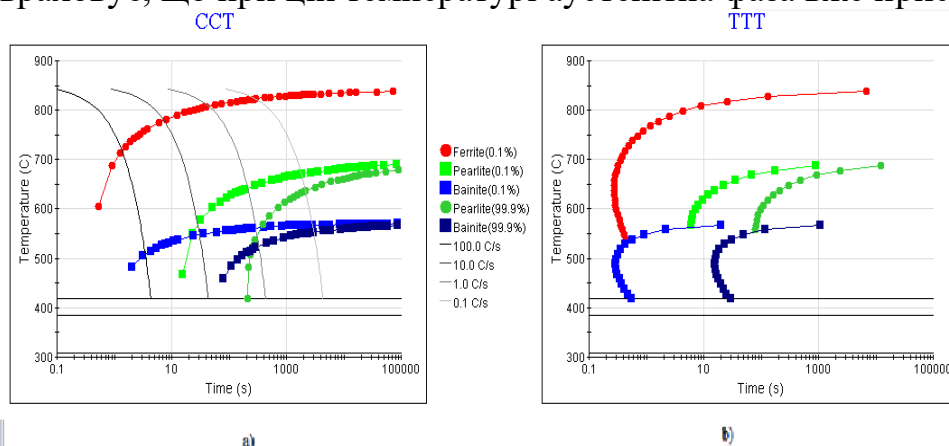
$$y(t) = 1 - \exp(-k \cdot t^n), \quad (1)$$

де:

- $y(t)$ — частка перетвореного матеріалу у момент часу t ;
- k — константа швидкості процесу (залежить від температури);
- n — показник Аврамі, що характеризує механізм перетворення.

Математичне моделювання параметрів мікроструктури сталі 09Г2С в процесі термічного навантаження з використанням моделі Джонсона-Мела-Аврамі-Колмогорова. Чисельний аналіз проводився на основі програмного пакету JMatPro, який використовує метод термодинамічного розрахунку рівноважного стану системи CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) [4].

Можливості програми JMatPro дозволяють будувати термокінетичні (SST) та ізотермічні (TTT) діаграми стану досліджуваних металів. (рис. 1 наведені розрахункові діаграми для сталі 09Г2С, які побудовані від температури нижче температури аустенізації 884°C. При розрахунку програма враховує, що при цій температурі аустенітна фаза вже присутня.



Термокінетична діаграма (а) та діаграма ізотермічного перетворення (б)

Рис. 1. Термокінетична діаграма розпаду аустеніту та діаграма ізотермічного перетворення сталі 09Г2С

Модель JMAK є потужним інструментом для опису нелінійного накопичення втомних пошкоджень, особливо в матеріалах із складними мікроструктурними змінами.

Проте її застосування вимагає ретельного підбору параметрів на основі експериментальних даних. Для інженерних розрахунків часто використовується разом із моделлю Чабоха або кінетичною теорією Є.К. Почечного.

[1] Бурлуцький О. В., Фомін О. В., Ткаченко В. П. Формалізація структурно речових перетворень в несучих системах вантажних вагонів у результаті термічних впливів у процесі зварювальних і правочних робіт, Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Київ: ДЕГУТ, 2016. № 29. 54-71 с.

[2] Волчук В. М., Штанденко М. Р. Математична модель прогнозу якості металу, Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2018, № 2. 31-35 с.

[3] Tongwen H., Chengshang Z. A Surface Diffusion Controlled Johnson-Mehl-Avrami-Kolomogorov Model for Hydrogenation of Mg-based Alloys. July 2023 The Journal of Physical Chemistry 127-28.

[4] Saunders N., Guo Z., Li X., Modownik A.P., Schillé J-Ph. Using JMatPro to Model Materials Properties and Behaviour. JOM, 55.2003. № 12. 60-65 p.

УДК 656.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ У
МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ВІДКРИТОГО РИНКУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**IMPROVEMENT OF THE MECHANISM FOR ALLOCATING THE
CAPACITY OF THE UKRAINIAN RAILWAY NETWORK IN
INTERNATIONAL TRAFFIC IN THE CONTEXT OF AN OPEN
TRANSPORTATION MARKET**

*аспірант, Д.Р. Харченко, докт. техн. наук, професор, А.В. Прохорченко,
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD student D. Kharchenko, D.Sc (Tech), professor A. Prokhorchenko,
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Вигідне територіальне розташування України, а також значна мережа залізничних колій робить Україну важливим логістичним вузлом, а також забезпечує розвиток національної та міжнародної торгівлі. В умовах потенційного реформування організаційної структури залізничної системи України за вертикальним розділенням, а також відкриття ринку перевезень на залізничному транспорті, становиться особливо актуальне питання впровадження механізму розподілу пропускної спроможності залізничної