

## АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ КИНЕТИКИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В СТАЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

Подольський Р.В., Сафронова О.А., Бабаченко О.І.,  
Кононенко Г.А., Меркулов О. Є.

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро*

Вплив, що виникає від тертя кочення і особливо від тертя ковзання колеса по рейці при гальмуванні, відносно цих змін відбувається істотне зростання інтенсивності зношування коліс рухомого складу, яке, в свою чергу, може призводити до катастрофічних результатів для локомотивного господарства [1].

Виходячи з досліджень останніх років [2-5] відомо, що міцність перлітних рейкових сталей досягла межі [1]. Крім того, збільшення вмісту вуглецю впливає на ударну в'язкість та зварюваність матеріалів рейок [1]. Тому є необхідність в застосуванні нових сталей з формуванням структурної складової бейніт.

Визначення впливу базових хімічних елементів через відомі діаграми ізотермічного перетворення та фактичного хімічного складу на утворення структури з подальшою побудовою термодинамічних діаграм.

З метою визначення впливу базових хімічних елементів через відомі ізотермічні діаграми [6-8] та фактичного хімічного складу таблиця 1 [6-8] на утворення структури з подальшою побудовою термодинамічних діаграм.

В рамках даних досліджень було проведено аналіз літературних даних [6-8] та проведено математичне моделювання за допомогою програмних забезпечень: QForm, JmatPro, MathLAB, Call Phad. Результати досліджень представлені на рис. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сталей, що застосовуються в різних сферах в Україні [6-8]

Маркування	Хімічний елемент, ваг. %					Джерело
	C	Si	Mn	Cr	Ni (Mo)	
45ХГС	0,43	1,38	0,95	1,06	(0,10)	[6,8]
60ХГСФ	0,58	0,89	0,81	1,27	0,06	[7-8]

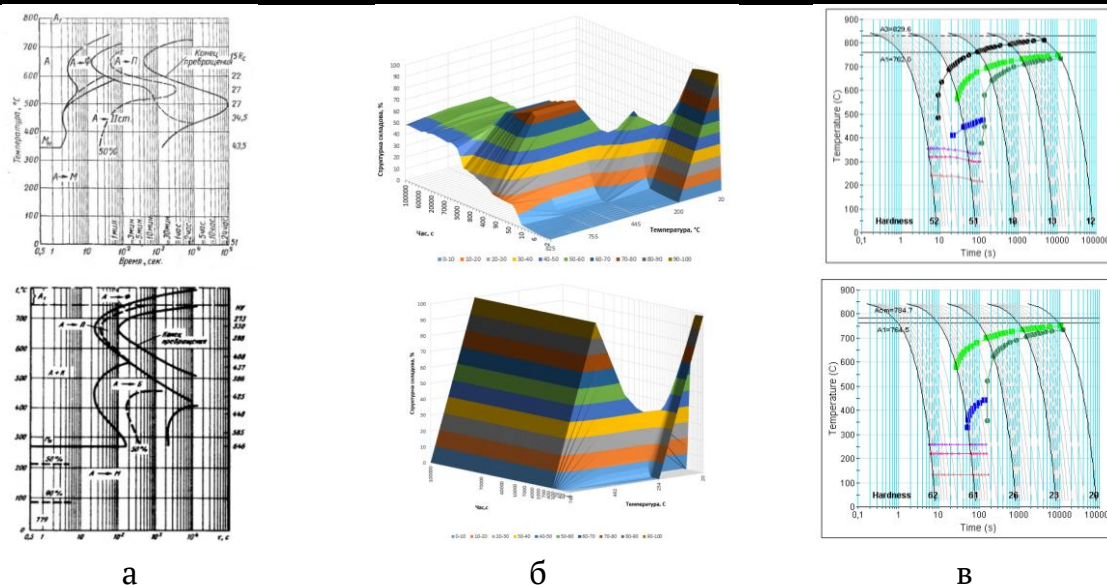


Рисунок 1 – Результати досліджень: а - ізотермічна діаграма розпаду аустеніту сталі 45ХГC та 60ХГCФ відповідно до таблиці 1, б – залежність кількості/частки структурної складової від моменту часу та температури, в - модельована термокінетична діаграма розпаду аустеніту

Результати моделювання показали, що при нагріванні зразків дослідних хімічних складів зі швидкістю 30°C/хв в сталі поліморфне  $\alpha \rightarrow \gamma$  - перетворення починається в температурі ~771°C ( $A_{c1}$ ), закінчується при ~829°C ( $A_{c3}$ ). Для побудови термокінетичної діаграми CAD-модель нагрівали до температури 900°C (на ~71°C вище температури  $A_{c3}$  для даної сталі).

На ТКД (рис. 1, в) для кожної швидкості охолодження нанесені значення твердості по Роквеллу і об'ємні частки структурних складових, виражені у відсотках. Аналіз ТКД (рис.1) показує, що температури початку і завершення утворення фериту, перліту і бейніту помітно зменшуються при збільшенні швидкості охолодження. Зі збільшенням швидкості охолодження відзначається тенденція зростання значень твердості, що пов'язано зі структурними змінами, що відбуваються в сталі: підвищенням дисперсності структурних складових, зменшенням кількості фериту і перліту в структурі, зростанням об'ємної частки бейніту і мартенситу.

**Висновок.** Методом математичного моделювання досліджено закономірності кінетики розпаду аустеніту марки 45ХГC та 60ХГCФ. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна механізму структуроутворення при розпаді аустеніту. Критична швидкість охолодження для досліджуваних сталей знаходиться в інтервалі 30...50°C/с.

### Література

1. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Меркулов О. Є. Подольський Р. В., Клемешов Є. С., Сафронова О. А. Моделювання фазово-структурних перетворень у сталі для залізничних рейок нового покоління. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. **35**. С. 212-222. DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-212-222
2. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Рослик О.В., Майстренко К.М., Подольський Р.В. Розробка сталей для металопродукції залізничного призначення. Дніпро. «Домінанта-принт».2021. 298 с.
3. Бабаченко. О. Кононенко. Г. Подольський. Р. Розробка розрахункової моделі зміни температури рейкової сталі К76Ф для визначення параметрів термічної обробки. *Science and Innovation*. 2021. 17(4). Р. 25–32. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.025>
4. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О. А. Дослідження впливу режимів термічної обробки дослідних сталей для залізничних рейок нового покоління на механічні властивості. *Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії*. 2020. **34**. с.247-255.
5. Babachenko, O.I., Kononenko, H.A., Podolskyi, R.V. Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. *Mater Sci.*, 2021. Т.56, №6. Р. 814-819 <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00499-1>
6. Delbart G.. Constant A.. Courbes de transformation des aciers de fabrication francaise. *Saint-Germain en Laye*. 1956. 140p.
7. T.I. Waver F.. Rose A.S. 76. T.II. Rose A.. Peter W.. Straburg W. Rademacher L. Atlas zur Warmebehandlung der Stahle. Dusseldorf: Berichtiger Nachdruck. 1961.257 p.
8. Подольський Р.В., Сафронова О.А., Меркулов О.Є., Клемешов Є.С., Кононенко Г.А., Бабаченко О.І. Розроблення методики моделювання фазово-структурних перетворень у легованих Fe-C сплавах. *Теорія і практика металургії*. 2021. 130, 5. с. 57-64. <https://doi.org/10.34185/tpm.5.2021.07>

### ANALYTICAL STUDIES OF CHANGES IN KINETICS OF PHASE TRANSFORMATIONS IN STEEL DEPENDING ON CHEMICAL COMPOSITION

Podolskyi Rostyslav, Safronova Olena, Babachenko Oleksandr,  
Kononenko Ganna, Merkulov Oleksii

**Abstract.** Based on research in recent years, it is known that the strength of pearlite rail steels has reached its limit. In addition, the increase in carbon content has a negative effect on the impact strength and weldability of rail materials. Therefore, there is a need to develop and use new steels with the formation of a structural component of bainite. Determination of the influence of basic chemical elements through the known TTT diagrams and the actual chemical composition on the formation of the structure with the subsequent construction of SST diagrams. The simulation results showed that when the CAD model of chemical compositions is

heated at a rate of 30°C/min in steel, the polymorphic  $\alpha \rightarrow \gamma$  - transformation begins at a temperature of ~771°C (Ac1) and ends at ~829°C (Ac3). To build the SST, the CAD model was set to a temperature from which cooling to a temperature of 900°C was simulated.

**Keywords:** modeling, phase transformations, thermokinetic diagram, railway rail, bainite, 45XFC, 60XFCΦ.

### Reference

1. Babachenko O.I., Kononenko G.A., Merkulov O.E. Podolskyi R.V., Klemeshov E.S., Safronova O.A. (2021). Modeljuvannja fazovostrukturnih peretvoren' u stali dlja zaliznichnih rejok novogo pokolinnja. *Fundamental'ni ta prikladni problemi chornoj metalurgii*. **35**. 212-222. DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-212-222
2. Babachenko O.I. Kononenko G.A. Roslik O.V. Majstrenko K.M. Podolskyi R.V. (2021). Rozrobka stalej dlja metaloprodukcii zaliznichnogo pryznachennja. Dnipro. «Dominanta-print». 298 s.
3. Babachenko. O. Kononenko. G. Podolskyi. R. (2021). Rozrobka rozrahunkovoi modeli zmini temperaturi rejkovoi stali K76F dlja viznachennja parametriv termichnoi obrobki. *Science and Innovation*. 17(4). 25–32. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.025>
4. Babachenko O.I., Kononenko G.A., Podolskyi R.V., Safronova O. A. (2020). Doslidzhennja vplivu rezhimiv termichnoi obrobki doslidnih stalej dlja zaliznichnih rejok novogo pokolinnja na mehanichni vlastivosti. *Fundamental'ni i prikladni problemi chornoj metalurgii*. **34**. 247-255.
5. Babachenko, O.I., Kononenko, H.A., Podolskyi, R.V. (2021). Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. *Mater Sci.*, 56(6), 814-819 <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00499-1>
6. Delbart G., Constant A., (1956). Courbes de transformation des aciers de fabrication francaise. *Saint-Germain en Laye*. 140p.
7. T.I. Waver F.. Rose A.S. T.II. Rose A.. Peter W.. Straburg W. Rademacher L. (1961). Atlas zur Warmebehandlung der Stahle. Dusseldorf: Berichtiger Nachdruck.257 p.
8. Podolskyi R.V., Safronova O.A., Merkulov O.E., Klemeshov E.S., Kononenko G.A., Babachenko O.I. Rozroblennja metodiki modeljuvannja fazovo-strukturnih peretvoren' u legovanih Fe-C splavah. *Teorija i praktika metalurgii*. 2021. 130, 5. 57-64. <https://doi.org/10.34185/tpm.5.2021.07>