



УДК 621.783.24:621.1.016.4:669.045

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІЧНОГО СТАНУ ЗАГОТОВОК У КІЛЬЦЕВІЙ НАГРІВАЛЬНІЙ ПЕЧІ

С.В. Бейцун¹, М.В. Михайловський², С.І. Дьомін³

¹ кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: beitsoun@ua.fm

² кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: mnv-60@yandex.ua

³ студент, Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: lakmus_92@mail.ru

Анотація. В роботі представлена прогнозуюча ELCUT-модель динаміки термічного стану заготовки під час її нагрівання в методичній, зварювальній і томильній зонах кільцевої печі трубопрокатного цеху.

Ключові слова: кільцева піч, температура заготовки, метод кінцевих елементів.

PREDICTION OF THERMAL STATE OF BILLET IN THE ANNULAR HEATING FURNACE

S.V. Beytsun¹, N.V. Mikhaylovskiy², S.I. Dyomin³

¹ Ph.D., assistant professor of automation of production processes, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: beitsoun@ua.fm

² Ph.D., assistant professor of automation of production processes, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: mnv-60@yandex.ua

³ student, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: lakmus_92@mail.ru

Abstract. In this paper established predictor ELCUT-model of the thermal state of the workpiece during its heating in a methodical, welding and soaking zones of the ring rolling furnace shop.

Keywords: ring furnace, the temperature of the workpiece, finite element method.

Вступ. В металургійному виробництві поширені баготозонні методичні печі для нагріву заготовок перед їх деформацією на прокатних станах [1]. Кільцеві печі є сучасними нагрівальними агрегатами, що забезпечують нагрів заготовок з досить рівномірним розподілом температури по перетину й довжині.





Нагрівальна піч заготовок для трубопрокатного агрегата 30-102 ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб» має сім технологічних зон, що являють собою кільцеві сектори, і забезпечує нагрівання металу до температури 1050...1120°C для сталей типу 06-14 Г2САФБ та 1150...1250°C для конструкційних сталей типу сталь 15-40. В печі нагріваються заготовки діаметром 150 мм, довжиною 1600...3700 мм вагою 200...520 кг [2].

Опалення печі здійснюється природним газом, який спалюється в радіаційних плоскополум'яних пальниках, розташованих на склепінні печі. Керування потужністю й режимом спалювання палива в опалювальних зонах здійснюється шляхом регулювання витрати палива й повітря на відповідні групи пальникових пристроїв.

Ділянка печі повинна забезпечити нагрівання трубної заготовки до температур, обумовлених технологічними вимогами процесу прокатки, і поштучну видачу заготовки на стан у моменти часу, обумовлені темпом роботи прокатного встаткування. Тепловий режим печі регулюється відповідно до темпу прокатки й забезпечує рівномірний прогрів металу без утворення окалини.

Для підтримки на заданому рівні температури металу на видачу необхідно коригувати завдання регуляторам температури окремих зон залежно від температури поверхні нагріваємого металу, його фізичних властивостей, розмірів заготовки і продуктивності прокатного стану. Зазвичай корекція завдання регуляторам температури для кожної зони проводиться при зміні параметрів садки (марки сталі і розмірів заготовок) або темпу видачі заготовок з печі, а також при відхиленні температури металу по зонах печі від заданої величини.

Тому окремі зони методичних печей зазвичай характеризуються певною автономністю щодо подачі палива й повітря, а також відбору продуктів згорання. Системи управління печей містять вузли, призначені для регулювання температури робочого простору, співвідношення «паливо-повітря» і тиску в самостійних зонах.

Найважливішим параметром, що характеризує режим нагріву, є температура металу. Перепад температур по перетину нагрітого металу не повинен перевищувати 20°C. Тому суттєвою є не тільки температура поверхні заготовки, але й її розподіл по товщині. Однак безперервне вимірювання цього параметру для усіх заготовок в процесі нормальної експлуатації печі неможливий. Тому в системах і алгоритмах управління використовують як вимірюваний параметр тільки температуру поверхні. Температуру всередині заготовки визначають шляхом розрахунків з використанням рівнянь внутрішньої теплопередачі; і лише періодично, для контрольних заготовок, вимірюють за допомогою спеціальних термопар.



Зв'язок між температурою металу і пічного простору не є однозначним, він залежить від режиму роботи печі, сортаменту і положення заготовки, що призводить до значного розкиду температур металу на видачі із печі через несвоєчасну або неправильну зміну завдання регуляторам температури в зонах [3]. Тому потрібен перехід від систем регулювання температури пічного простору до системи регулювання безпосередньо температури металу заготовки в процесі її нагрівання.

При цьому необхідно враховувати наступні фактори: 1) нагрівання металу в методичній печі є розподіленим процесом, в результаті чого заготовки в зоні мають різний розподіл температур по перетину; 2) коефіцієнт передачі по каналу «витрата палива - температура поверхні заготовки» змінюється по довжині зони, збільшуючись в напрямку руху факела; 2) зони діючої печі не пристосовані для незалежного регулювання локальних температур.

Мета роботи. Для створення ефективної системи управління нагрівом металу в кільцевій печі необхідний розподілений контроль температури, на основі якого може бути сформована величина, що характеризує усереднену по довжині зони температуру поверхні заготовок. Саме ця величина буде регульованим параметром і її приймають як температуру металу при вирішенні даної задачі.

Оскільки існуючі технічні засоби не дозволяють у виробничих умовах оперативно контролювати цю температуру, для управління технологічним процесом її необхідно прогнозувати.

Матеріал та результати дослідження. Для обгрунтованого вибору режимів нагріву по зонах печі необхідно уявляти собі динаміку розподілу температурі по перетину заготовок. Для цієї мети був використаний програмний пакет ELCUT, призначений для проведення інженерного аналізу і двовимірного моделювання методом кінцевих елементів [4]. Він дозволяє вирішувати крайові задачі, що описуються еліптичними диференціальними рівняннями в частинних похідних.

При температурному аналізі інтерес представляють розподіл температури, температурного градієнта і теплового потоку. ELCUT дозволяє виконувати лінійний і нелінійний стаціонарний температурний аналіз в плоскій і осесиметричній постановці.

Комп'ютерна модель включає в себе рівняння в частинних похідних, граничні умови, з якими вирішуються ці рівняння і модель матеріалу – константи, якими визначається його властивості.

У контексті задачі нестационарної теплопровідності, ELCUT використовує рівняння для осесиметричної задачі [5]



$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T) - c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

де x , y , z и r – координати; T – температура; $\lambda(T)$ – теплопровідність; $q(T)$ – питома потужність тепловиділення внутрішніх джерел тепла; $c(T)$ – питома теплоємність; ρ – густина матеріалу; t – час.

Геометрична модель – це один з видів документів ELCUT, який містить різні геометричні об'єкти і встановлює зв'язки між ними, а також властивостями матеріалів, джерелами поля і граничними умовами. Блок – просторова область, безперервна межа якої утворена ребрами і, можливо, ізолюваними вершинами. Сітка кінцевих елементів створюється в кожному блоці автоматично або з урахуванням кроку дискретизації, заданого в окремих вершинах.

Для моделювання нагрівання заготовки довжиною 1,7 м, діаметром 0,15 м щільність сітки кінцевих елементів (0,01 м) була підібрана в результаті дослідження точності одержуваних результатів. Це забезпечує похибку визначення температури не більше 1°C.

Через поверхню заготовки іде радіаційно-конвективний тепловий потік – реалізується гранична умова 3-го роду. У таблиці 1 наведені теплові режими роботи кільцевої нагрівальної печі по зонах.

Таблиця 1 – Режимы роботи кільцевої печі ТПА 30-102

Зона печі	Час перебування заготовки у зоні, хвилин	Температура середовища, °C	Наведений коефіцієнт тепловіддачі, Вт / (м ² К)
Методична	15	1000	160
Зварювальна	30	1200	200
Томильна	22	1150	300

Згідно цих режимів були встановлені граничні умови трьох етапів моделювання нагрівання заготовки.

На першому етапі заготовка знаходиться в методичній зоні протягом 15-ти хвилин. На рис. 1 зображено температурне поле в поперечному перетині А–А заготовки, а на рис. 2 – графік розподілу температури по радіусу заготовки.

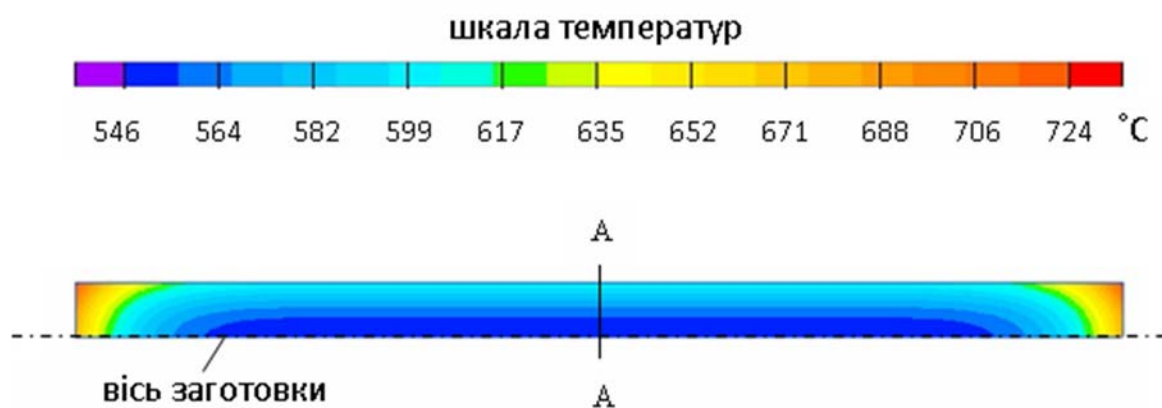


Рисунок 1 – Температурне поле заготовки на виході із методичної зони

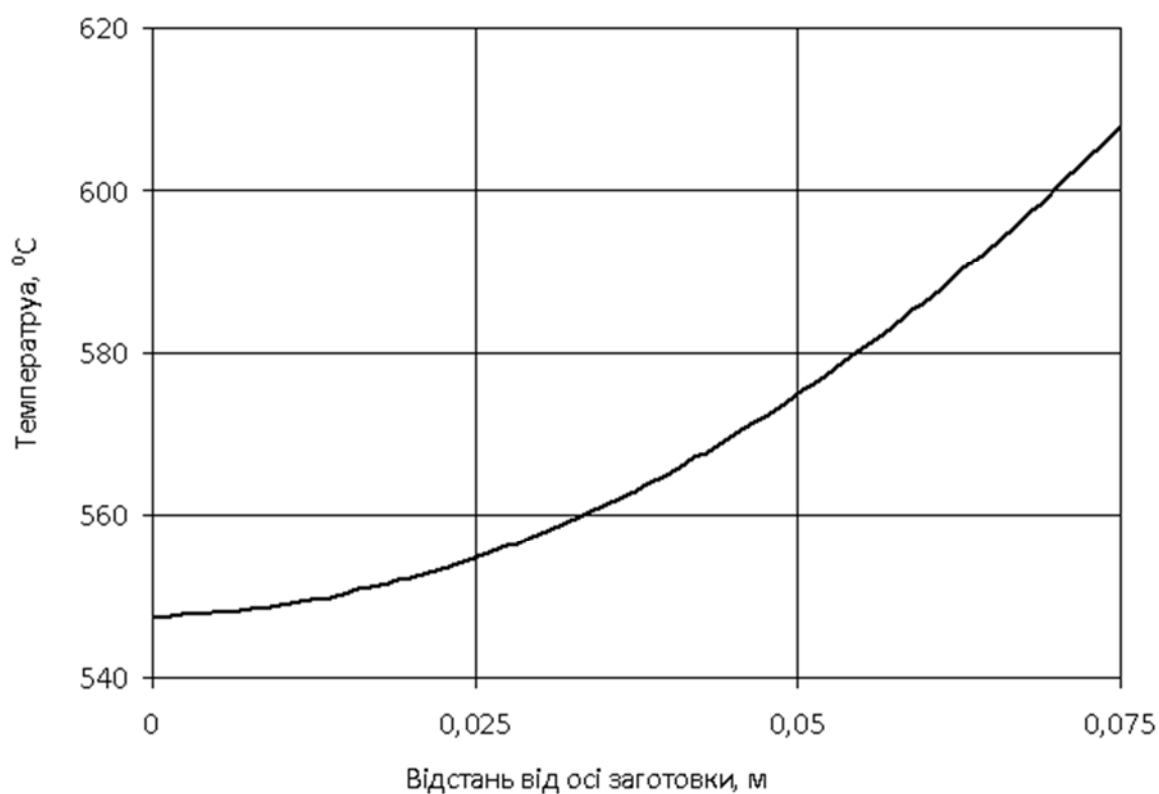


Рисунок 2 – Графік розподілу температури по радіусу заготовки (у перетині А–А) на виході з методичної зони

На другому етапі заготовка знаходиться в зварювальній зоні протягом 30-ти хвилин. На рис. 3 зображено температурне поле в поперечному перетині А–А заготовки, а на рис. 4 – графік розподілу температури по радіусу заготовки.

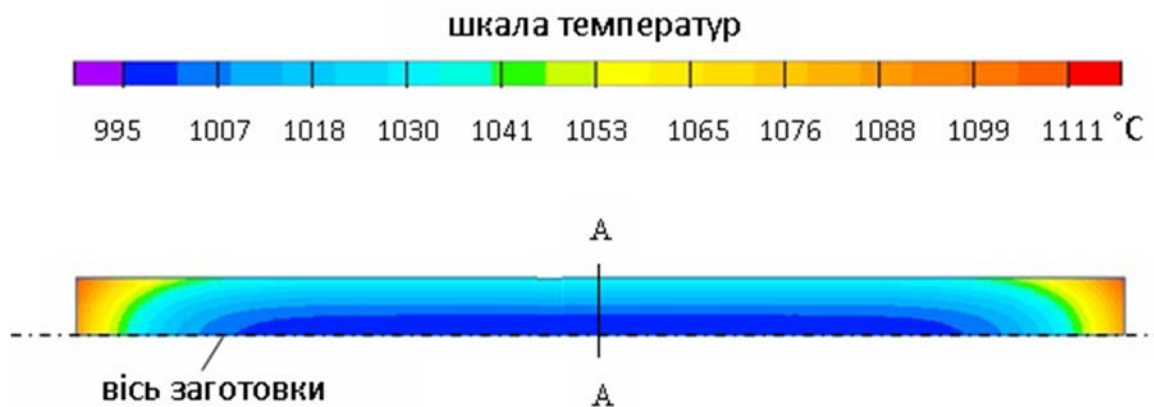


Рисунок 3 – Температурне поле заготовки на виході зі зварювальної зони

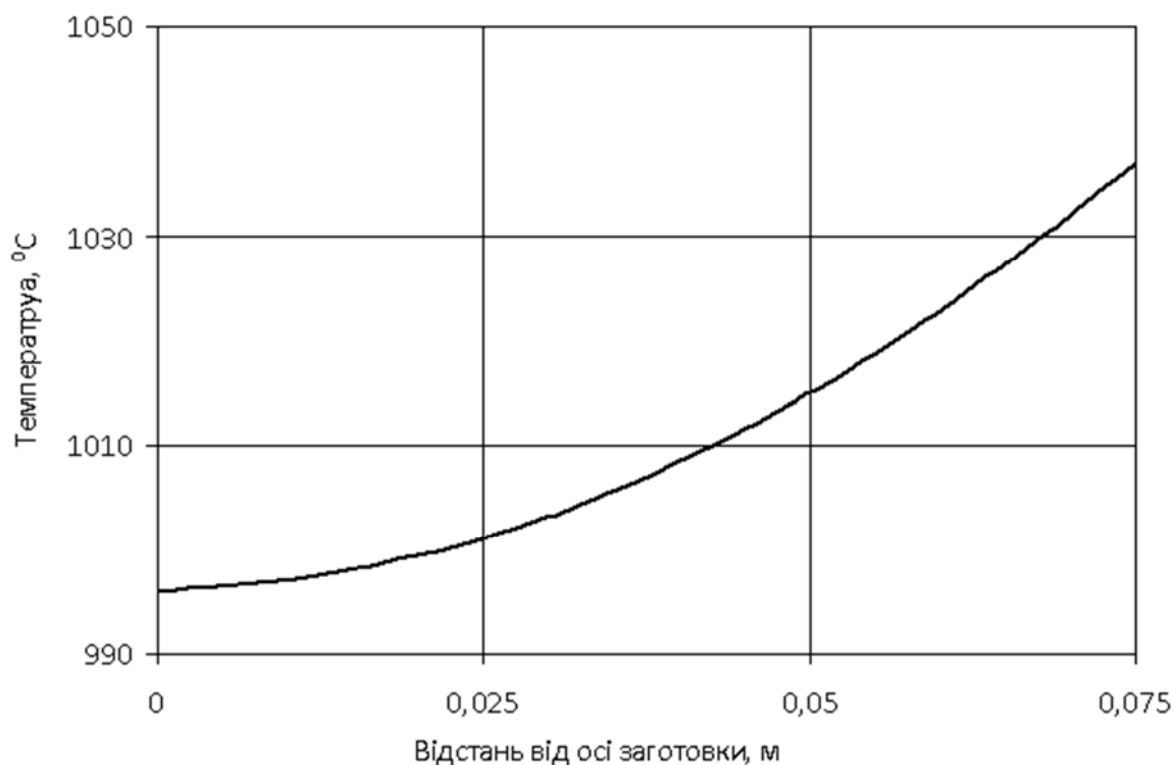


Рисунок 4 – Графік розподілу температури по радіусу заготовки (у перетині А–А) на виході зі зварювальної зони

На третьому етапі заготовка знаходиться в томільній зоні протягом 22-х хвилин. На рис. 5 зображено температурне поле в поперечному перетині А–А заготовки, а на рис. 6 – графік розподілу температури по радіусу заготовки.



Рисунок 5 – Температурне поле заготовки на виході із томильної зони

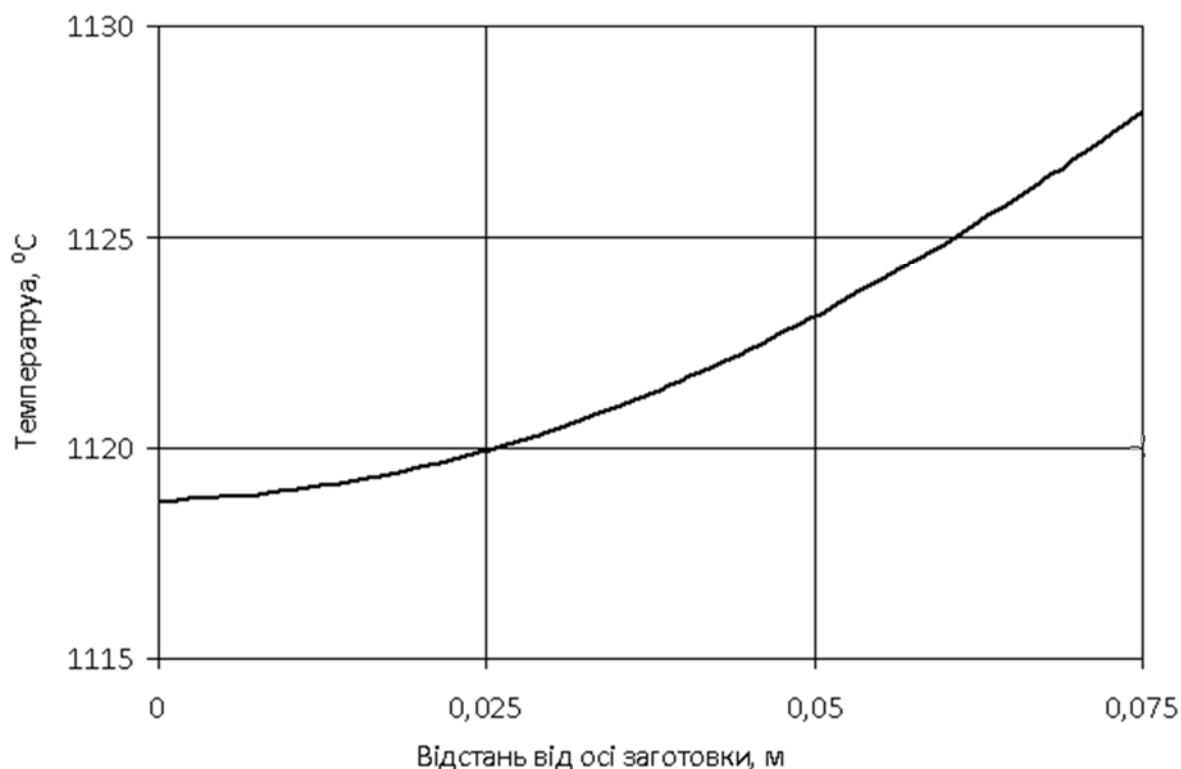


Рисунок 6 – Графік розподілу температури по радіусу заготовки (у перетині А–А) на виході із томильної зони

Висновок. Створена прогноуюча модель динаміки термічного стану заготовки під час її нагрівання в методичній, зварювальній і томильній зонах кільцевої печі. Аналіз результатів моделювання для режиму роботи ТПА 30-102 показав, що перепад температури по перетину заготовки не перевищує 10°C, що відповідає даним промислових вимірювань. Це свідчить про адекватність та можливість використання розробленої комп'ютерної моделі для прогнозу розподілу температури у заготовці в залежності від режиму її нагрівання у багатозонній методичній печі.



ЛІТЕРАТУРА

1. Осадчий В.Я. Технология и оборудование трубного производства [учебник для вузов] / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2001. – 608 с.
2. Грудев А.П. Технология прокатного производства [учебник для вузов] / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Арт-Бизнес-Центр, Металлургия, 1994.– 656 с.
3. Глинков М.А. Общая теория тепловой работы печей / М.А. Глинков, Г.М Глинков. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Metallurgy, 1990. – 315 с.
4. ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов [руководство пользователя]. – СПб: ООО «Тор», 2013. – 295 с.
5. Арутюнов В.И. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.И. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. – М.: Metallurgy, 1990. – 239 с.

УДК 669.184

ВЛИЯНИЕ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧУГУНА И ЛОМА НА ХОД КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

В.С. Богушевский¹, А.Э. Скачок², В.Ю. Сухенко³

¹доктор технических наук, профессор кафедры физико-химических основ технологии металлов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, e-mail: bogysh@gmail.com

²аспирант кафедры физико-химических основ технологии металлов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

³кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физико-химических основ технологии металлов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, e-mail: suhenko-victoria@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано и разработано методы повышения точности информации о начальных параметрах металлической части шихты для повышения показателей управления конвертерной плавкой.

Ключевые слова: конвертер, чугун, лом, поправка, контроль, вязкость, миксерный шлак, окалина.