

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.771.23:669.788.001.5

Мірошниченко В.І.¹, Сімкін О.І.²

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ ЯК СКЛАДОВОЇ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Виконано аналіз водоповітряного охолодження (ВПО) листового прокату з метою розробки універсальних математичних моделей, що пов'язують вхідні параметри процесу з механічними властивостями металу. Експериментально досліджено ВПО в імпульсному режимі та з використанням водоповітряної суміші (ВПС) стосовно товстолитового прокату сталі типу S355. Розроблено відповідні регресійні моделі, які дозволяють адекватно моделювати процес охолодження листового прокату як складову об'єкта управління. Результати моделювання узгоджуються з даними термокінетичної діаграми дослідженої сталі.

Ключові слова: Об'єкт управління, регресійні моделі, водоповітряна суміш, імпульсне охолодження.

Мирошниченко В.И., Симкин А.И. Моделирование процесса охлаждения листового проката как составляющей объекта управления. Выполнен анализ водовоздушного охлаждения (ВВО) листового проката с целью разработки универсальных математических моделей, связывающих входные параметры процесса с механическими свойствами металла. Экспериментально исследовано ВВО в импульсном режиме и с использованием водовоздушной смеси (ВВС) применительно к толстолитовому прокату стали типа S355. Разработаны соответствующие регрессионные модели, позволяющие адекватно моделировать процесс охлаждения листового проката как составляющую объекта управления. Результаты моделирования согласуются с данными термокинетической диаграммы исследуемой стали.

Ключевые слова: Объект управления, регрессионные модели, водовоздушная смесь, импульсное охлаждение.

V.I. Miroshnichenko, A.I. Simkin. The process of air-water cooling modelling for rolled plates as a control object component. The process of air-water cooling (AWC) for rolled plates was analyzed to develop universal mathematical models connecting the steel mechanical properties with the input parameters. The pulsed and air-water mixture modes of AWC for S355 steel rolled plates were studied experimentally. The regression models were developed for adequately simulation of the cooling process as a control object component. The simulation results are consistent with the CCT diagram data for the steel.

Keywords: Control object, regression models, air-water mixture, pulse cooling.

Постановка проблеми Листовий прокат є найпоширенішим різновидом продукції металургійної промисловості в Україні та закордоном. Обов'язковою умовою забезпечення його високої якості є термічне або термомеханічне зміцнення. Вирішальну роль при цьому відіграє режим охолодження, параметри якого мають відповідати температурно-часовим умовам утворення необхідних структур, які визначаються за термокінетичними діаграмами (ТКД) сталей, що зміцнюються. Особливістю процесу виробництва листового прокату є можливість використання в промислових умовах тільки води та повітря для його охолодження. В зв'язку з цим необхідні для формування високого комплексу механічних властивостей оптимальні зміни швидкості охолодження можуть бути досягнуті тільки шляхом автоматизованого керування процесом водо-повітряного охолодження (ВПО), яке може здійснюватись або при послідовному застосування води та повітря (імпульсне ВПО), або з використанням водоповітряної суміші

¹ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

(ВПС). Необхідною умовою розробки вказаної системи керування є моделювання ВПО шляхом встановлення кількісних залежностей між параметрами цього процесу та показниками якості прокату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дотепер виконано багато робіт, присвячених дослідженням процесу охолодження сталей та розробці відповідних систем автоматизованого керування [1-4]. Однак, більшість досліджень [1,2] та розроблених систем керування [3,4] стосуються імпульсного ВПО та процесу ламінарного водяного охолодження.

Метою роботи є розробка універсальних математичних моделей, що пов'язують характеристики процесу ВПО з головними показниками механічних властивостей товстолистового прокату сталей типу S355 в умовах як імпульсного ВПО, так і при застосуванні ВПС.

Викладення основного матеріалу. Експериментальні дослідження проводили з використанням заготовок від прокату завтовшки 40 мм, які піддавали термічній обробці шляхом нагрівання та витримки при 950-960 °С з наступним ВПО за двома варіантами: імпульсне ВПО та ВПО з використанням ВПС. Загальна тривалість охолодження за кожним варіантом складала 3000 с. При охолодженні застосовували лабораторне устаткування за конструкцією аналогічне використаному в роботі [5]. Після термічної обробки з карток були виготовлені зразки та проведені стандартні механічні випробування, відповідно до вимог діючого стандарту.

Для досягнення мети роботи обов'язковим є використання спільних характеристик процесу охолодження або вимірювальних параметрів за обох варіантів ВПО. В якості таких параметрів були застосовані характеристики імпульсного ВПО, які, на відміну від параметрів ВПО з використанням ВПС, можуть бути узагальнені для використання за різних режимів. До таких універсальних технологічних параметрів належать: тривалості охолодження у воді (τ_W) та на повітрі (τ_A), а також – показник P , який, в загальному випадку, характеризує форму кривої охолодження, а саме, її відхилення від кривих охолодження повністю у воді або на повітрі. Використання показника P є обов'язковим в зв'язку з необхідністю враховувати в кількісному вигляді відмінності структури та властивостей сталей в залежності від швидкості охолодження в різних температурних інтервалах, зокрема, - від послідовності охолодження у воді та на повітрі. Виходячи з відсутності дотепер такого показника, в роботі запропоновано наступне його визначення:

$$P = \tau_{AW}^m / \tau_{AM}^m, \quad (1)$$

де: $\tau_{AW}^m \equiv \tau(\Delta T_{AW}^{\max})$ - момент часу, що відповідає досягненню максимальної різниці температур в центрі металовиробу при охолодженні повністю на повітрі та у воді;

$\tau_{MW}^m \equiv \tau(\Delta T_{MW}^{\max})$ - момент часу, що відповідає досягненню максимальної різниці температур в центрі металовиробу при охолодженні на повітрі та при певній послідовності застосування води та повітря, або при використанні ВПС за певним режимом.

Як впливає з визначення (1), параметр P може змінюватись в межах: $0 \dots \infty$. При цьому: $P = 0$ відповідає режиму, за якого охолодження відбувається повністю на повітрі, а $P = 1$ – при охолодженні у воді. Значення $0 < P < 1$, мають місце при уповільненому охолодженні на початкових стадіях процесу, що в умовах імпульсного ВПО відповідає послідовності: „повітря - вода”. Рівні показника P форми кривої охолодження: $P > 1$, досягаються за умов прискореного охолодження на початкових стадіях, або при імпульсному ВПО за схемою „вода-повітря”.

Під час експериментальних досліджень параметр P , за обох варіантів ВПО, розраховували на підставі аналізу кривих охолодження. Отримані значення P змінювались в межах: $0 \dots 510$. В процесі імпульсного ВПО, показники τ_W та τ_A вимірювали безпосередньо експериментальним шляхом. В умовах ВПО з використанням ВПС, де головною характеристикою є об'ємна частка води α в складі суміші, параметри τ_W та τ_A не можуть бути безпосередньо виміряні експериментально, оскільки обидва середовища подають до металовиробу одночасно протягом певного часу τ_m . Тим не менш, τ_W та τ_A можна розглядати як еквівалентні тривалості охолодження, відповідно, повністю у воді та на повітрі, які забезпечують відбирання від металовиробу такої ж кількості тепла, що й охолодження ВПС з певним рівнем α протягом всього інтервалу τ_m : $\tau_W = \alpha \tau_m$ та $\tau_A = (1 - \alpha) \tau_m$. В свою чергу τ_m визначали як: $\tau_m = \alpha \tau_W^m + (1 - \alpha) \tau_A^m$, де τ_W^m та τ_A^m - відповідно, тривалості охолодження повністю у воді та на повітрі, що забезпечують повне охолодження металовиробу від температури нагрівання до температури оточуючого середовища.

Значення τ_W^m та τ_A^m в роботі були встановлені експериментально, хоча вони також можуть бути розраховані шляхом теплотехнічного аналізу для кожного різновиду металопродукції. Шляхом розрахунків τ_W та τ_A на підставі отриманих кривих охолодження з різними значеннями α , а також – показника P форми цих кривих, було отримано спільний масив даних щодо параметрів досліджених варіантів процесу ВПО.

Статистична обробка загального масиву експериментальних даних щодо параметрів ВПО та стандартних показників механічних властивостей сталі S355, виконувалась методами множинного регресійного аналізу [2]. Отримані регресійні моделі мають вигляд:

$$\sigma_{02} = 443 - 0,52P - 10^{-4}\tau_W\tau_A + 0,07\tau_W P + 2 \cdot 10^{-4}\tau_W\tau_A P, (R^2 > 0,89); \quad (2)$$

$$\sigma_B = 658,4 - 0,53P + 0,08\tau_W P + 2 \cdot 10^{-3}\tau_W\tau_A P, (R^2 > 0,86); \quad (3)$$

$$\delta = 46,7 - 0,05\tau_W + 10^{-4}\tau_W\tau_A + 0,085\tau_W P - 7 \cdot 10^{-5}\tau_W\tau_A P, (R^2 > 0,87); \quad (4)$$

$$\psi = 68,6 - 0,03\tau_W + 10^{-5}\tau_W\tau_A + 0,042\tau_W P - 2 \cdot 10^{-5}\tau_A\tau_W P + 10^{-5}\tau_A P, (R^2 > 0,89); \quad (5)$$

$$KV^{-20} = 117 - 5 \cdot 10^{-5}\tau_W\tau_A - 10^{-4}\tau_W\tau_A P, (R^2 > 0,85); \quad (6)$$

$$KV^{-40} = 30,2 - 49P + 0,016\tau_A P - 10^{-5}\tau_A\tau_W + 0,013\tau_W P - 2 \cdot 10^{-5}\tau_W\tau_A P, (R^2 > 0,89). \quad (7)$$

Зважаючи на високу адекватність вказаних моделей, вони можуть бути застосовані для: дослідження окремого та сумісного впливу параметрів технології охолодження на властивості прокату; прогнозування значень показників якості прокату при конкретних значеннях технологічних параметрів; проведення оптимізації технології охолодження з метою досягнення високих рівнів, як окремих показників якості, так і усього комплексу механічних характеристик прокату (векторної оптимізації).

На рисунках 1 та 2 показані графічні залежності, що ілюструють загальні тенденції впливу деяких параметрів ВПО прокату на його межу течії та відносне звуження.

Значення цих характеристик наведені у вигляді функцій бажаності, які змінюються в межах: $-0,2 \dots 1,4$ та $-0,2 \dots 1$, відповідно. У випадку σ_{02} це відповідає діапазону: 219...863 МПа, а для ψ маємо інтервал: 19...86 %. Як можна бачити з рис.1, обидві механічні характеристики мають, зокрема, екстремуми протилежного характеру ($\sigma_{02} \approx 860$ МПа; $\psi \approx 19$ %), що досягаються при близьких значеннях параметрів τ_W та τ_A : $\tau_W \approx \tau_A \geq 2000$ с. Крім того, в умовах змін тривалості витримки у воді та на повітрі, зокрема, за законом: $\tau_W \approx 3000 - \tau_A$ (імпульсне ВПО), можуть бути одночасно досягнуті підвищені рівні σ_{02} та ψ .

Як показує рис.2, σ_{02} та ψ змінюються в протилежних напрямках, відповідно, максимального та мінімального рівня, при одночасному підвищенні τ_W та P , що відповідає скорочен-

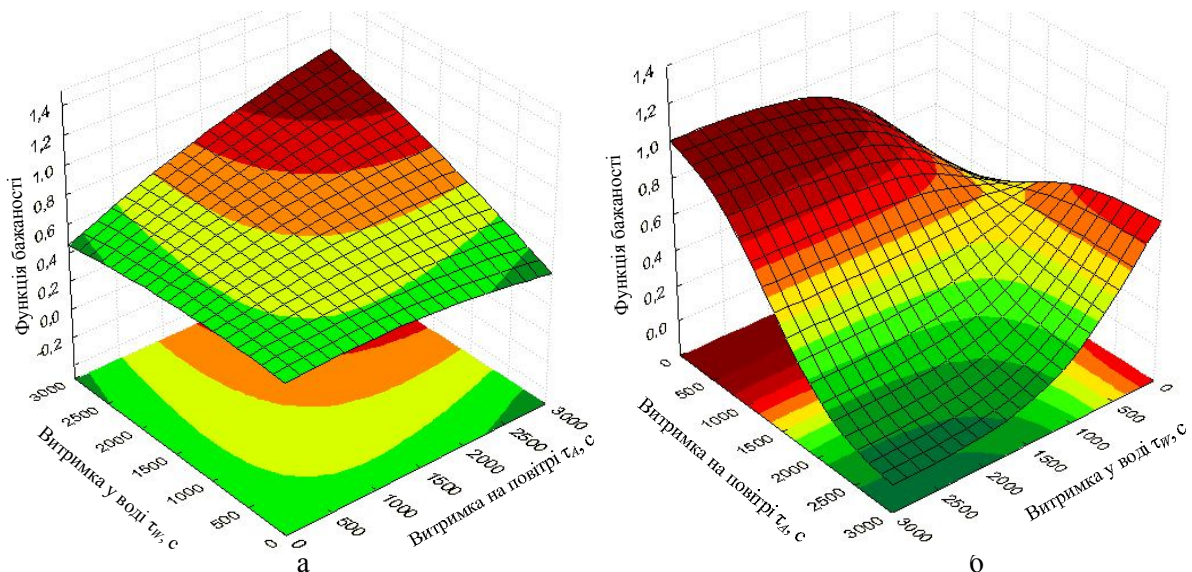


Рис.1 – Результати моделювання впливу тривалостей витримки на повітрі τ_A та у воді τ_W на властивості товстолистового прокату сталі типу S355: межу течії (а) та відносне звуження (б)

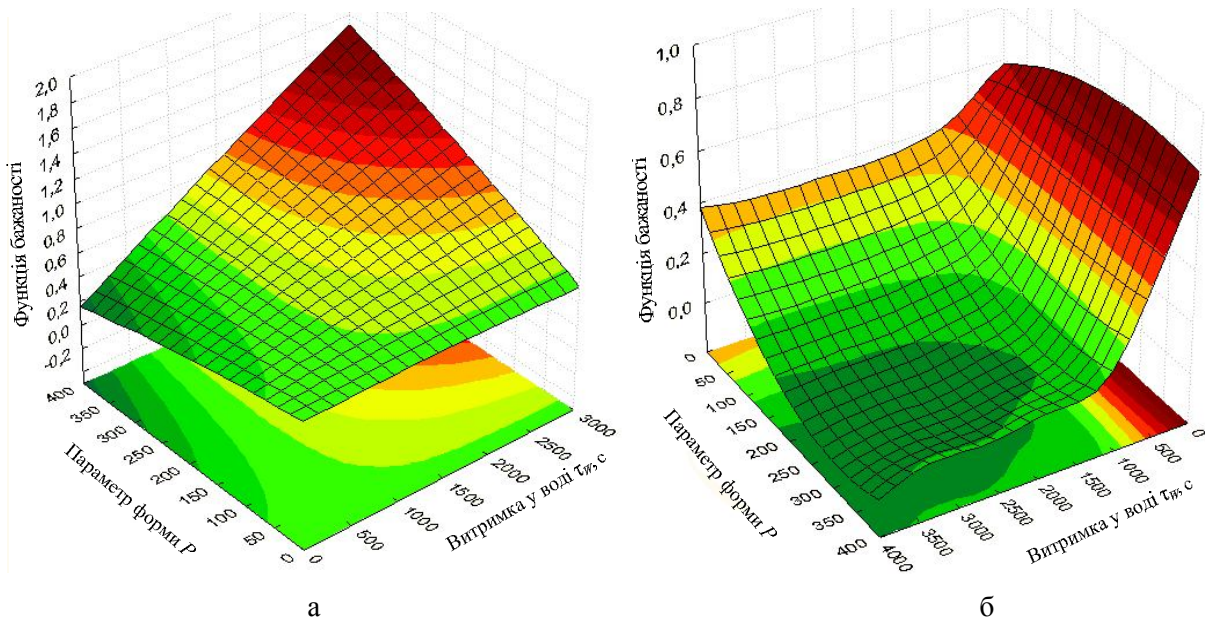


Рис.2 – Результати моделювання впливу параметру форми P кривої охолодження та тривалості витримки у воді τ_w в процесі ВПО на властивості товстолистового прокату сталі типу S355: межу течії (а) та відносне звуження (б)

ню тривалості повного охолодження у воді на початкових стадіях охолодження з подальшим використанням ВПО із зростаючим вмістом води.

Крім того, звертає на себе увагу те, що область мінімуму відносного звуження ψ прокату спостерігається при певних діапазонах значень τ_w та P : $\tau_w \geq \sim 1500$ с; $\sim 175 < P < \sim 400$. Ці результати узгоджуються з даними ТКД сталі S355 про можливість утворення мікроструктур з переважанням верхнього бейніту, який має несприятливе поєднання механічних характеристик, за умов охолодження, що є проміжними між водою та повітрям. Більш ретельний аналіз особливостей впливу параметрів різних варіантів ВПО на механічні властивості сталі S355, а також визначення умов ВПО, що забезпечують одночасне досягнення стабільно високих значень всіх показників якості прокату (векторна оптимізація), буде виконано в подальших роботах.

Висновки

1. Експериментально досліджено вплив параметрів ВПО за імпульсним режимом та з застосуванням ВПС на механічні властивості товстолистового прокату сталі типу S355. Запропоновано показник форми довільної кривої охолодження, який в кількісному вигляді характеризує її відхилення від кривих охолодження повністю у воді та на повітрі.
2. Розроблено універсальні регресійні моделі, які з високою адекватністю ($R^2 > 0,85$) дозволяють моделювати процес ВПО прокату за різними варіантами як складову об'єкта управління.
3. Отримано попередні результати моделювання, які добре узгоджуються з даними про особливості формування мікроструктури сталі S355 за різних умов охолодження.

Список використаних джерел:

1. Бровкин В.Л. Анализ существующих технологий ускоренного охлаждения сортового проката и его влияние на структуру и механические свойства металла. / В.Л. Бровкин, Т.В. Анурова, Ю.Н. Радченко, В.В. Коваленко, Л. Лазич // *Металлургическая теплотехника: сб. науч. тр. НметАУ. Вып 2 (17)– Днепропетровск: Новая идеология, 2010.* – С. 14 - 22.
2. Желудкевич М.С. Новые аспекты импульсного охлаждения применительно к термоупрочнению. / М.С. Желудкевич // *Институт тепло- и массообмена: IV Минский междунар. форум по тепло- и массообмену, 2000.* – С. 289 - 298.
3. Лантев А.М. Компьютерное моделирование спреерной закалки прокатных валков. / А.М. Лантев, С.С. Захарчук, А.М. Вейнов // - *Металлургическая теплотехника: сб. науч. тр. НметАУ.– Днепропетровск: Новая идеология, 2008.* – С. 198 - 204.

4. Остапенко А.Л. Базовое аппаратное и программное обеспечение АСУ охлаждением листового проката. / А.Л. Остапенко, Э.Е. Бейгельзимер, А.В. Кузьмин, Н.В. Миненко, Д.А. Козленко // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://donix-ua.com/technology>.
5. Будрин Д.В. Водовоздушное охлаждение при закалке. / Д.В. Будрин, В.М. Кондратов // - МиТОМ. – 1965.- № 6.- С. 22 - 25.

Рецензент: В.О. Маслов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 28.03.2011

УДК 681.53

Ходарина К.В.¹, Жерлицина О.В.²

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СУДОВОГО МИКРОКЛИМАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрена возможность автоматизированного диагностирования судового микроклимата с использованием аппарата нейронных сетей. Предложено диагностирование и прогнозирование микроклиматов осуществлять в программно-аппаратном комплексе.

Ключевые слова: *судовой микроклимат, автоматизированное диагностирование, аппарат нейронных сетей, программно-аппаратный комплекс, искусственный нейрон, прогнозируемый параметр.*

Ходарина К.В., Жерлицина О.В. Автоматизована діагностика судового мікроклімату з використанням апарату нейронних сітей. Розглянуто можливість автоматизованого діагностування судового мікроклімату з використанням апарату нейронних мереж. Запропоновано діагностування і прогнозування мікроклімату здійснювати в програмно-апаратному комплексі.

Ключові слова: *судновий мікроклімат, автоматизоване діагностування, апарат нейронних мереж, програмно-апаратний комплекс, штучний нейрон, прогнозований параметр.*

K.V. Hodarina, O.V. Gerlitsina. Automated diagnostics of ship microclimate with the use of vehicle of neuron networks. Possibility is considered automated diagnosing of ship microclimate with the use of vehicle of neuron networks. Diagnosing and prognostication of mikroclimate is offered to carry out in a program-apparatus complex.

Keywords: *ship microclimate, automated diagnosing, vehicle of neuron networks, program-hardware complex, artificial neuron, forecast parameter.*

Постановка проблемы. Микроклиматические условия в судовых помещениях определяются температурой воздуха и средней радиационной температурой ограждений и оборудования, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также барометрическим давлением.

Постоянство газового состава атмосферы – важнейшее условие существования и развития жизни на земле. Это постоянство обусловлено физическими законами. Создание здоровой воздушной среды, отвечающей санитарным нормам для данных рабочих помещений, является важным условием повышения производительности труда и культуры производства.

На температуру воздуха в производственных помещениях оказывают влияние внешние метеорологические условия, а также тепловыделения нагретых поверхностей производственных объектов (оборудования, обрабатываемых материалов и деталей) и работающих людей.

¹ аспірант, Одеська національна морська академія, г. Одеса

² ст. преподаватель, Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь