

УДК 621.771.06

В. В. Вереньов, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-5363**М. І. Подобєдов**, к.т.н., с.н.с.*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРОХОДЖЕННЯ ПОЛОСИ ЗІ ЗВАРНИМ ШВОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ГРУПИ КЛІТЕЙ

Анотація. Мета роботи полягала в визначенні динамічної реакції стану, тобто натягів і товщини, коли ділянка полоси зі швом поступово прокатується починаючи з першої до останньої кліті. Досліджена динаміка прокатки полоси зі зварним з'єднанням (швом), котрий має незначне потовщення відносно полоси. На відміну від традиційного підходу рівняння вирішувались не в відносних, а в абсолютних значеннях змінних. Крім того математичне моделювання виконано з урахуванням механічних коливань прокатних клітей та лінії головного приводу валків і транспортного переносу з запізненням товщини шва між клітьями. Це дозволило при вході ділянки шва в осередок деформації між валками детально розглянути високочастотну складову коливань міжклітьових натягів, товщини шва, швидкості полоси випередження, клітей, моменту сил пружності. В коливаннях товщини шва проявляється частота власних коливань кліті. На виході з кліті № 1 шов стає різнотовщинним. Початкова товщина шва зменшується під час переміщення до останніх клітей. Разом з тим зменшується дія шва в якості збудника коливань міжклітьових натягів помітно зменшуються. Особливість полягає в тому, що при вході шва в кліть № 2 завжди відбувається амплітудне послаблення заднього натягіння, а потім його пікове збільшення в 1,1-1,5 рази. В наступних клітях розмах перших піків натягіння зменшується. У натягіннях проявляється частота пружних коливань ліній приводу та кліті.

Ключові слова: безперервна прокатка, полоса, зварний шов, коливання, натяги, відхилення товщини.

Посилання для цитування: Вереньов В. В., **Подобєдов М. І.** Моделювання динаміки проходження полоси зі зварним швом безперервної групи клітей. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 308-313. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-308-313.

Вступ. Однією з причин розриву полоси при холодній прокатці ділянки зі зварним з'єднанням (швом) вважаються ривки міжклітьових натягів, високочастотна складова коливань котрих не піддається вимірюванню. Тому натяг в полосі досліджують шляхом математичного моделювання. У відомих публікаціях на цю тему прийняті деякі обмеження. В [1, 2] розглянута динаміка прокатки шва в одній кліті, в [3] - проходження полоси через п'ять клітей з стрибкоподібним незначним постійним збільшенням товщини, але без урахування механічних коливань. Повна картина динаміки проходження швом безперервної групи клітей залишається

багато в чому нерозкритою.

Мета роботи полягала в визначенні динамічної реакції стану, тобто натягів і товщини, коли ділянка полоси зі швом поступово прокатується починаючи з першої до останньої кліті. Крім того, на прикладі перших двох клітей детально встановити особливості зміни основних параметрів на самому початку їх формування, коли шов проходить через осередок деформації між валками.

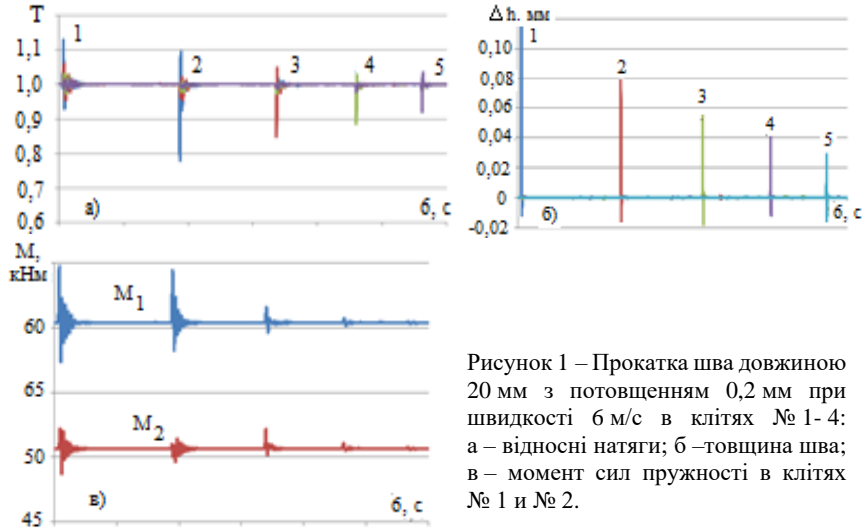


Рисунок 1 – Прокатка шва довжиною 20 мм з потовщенням 0,2 мм при швидкості 6 м/с в клітях № 1- 4: а – відносні натяги; б – товщина шва; в – момент сил пружності в клітях № 1 і № 2.

Результати дослідження. Задачу вирішували з використанням розробленої авторами повної моделі динаміки заповнення полою безперервної групи, рівняння якої подані в абсолютних значеннях змінних [4] та адаптовані до стану холодної прокатки. В моделі враховані механічні коливання в клітях і в лініях головного приводу валків, рівняння міжклітьових натягів та транспортного переносу товщини полоси (з запізненням) між клітями.

Моделювали прокатку зварного шва з потовщенням $\Delta H_0 = 0,2$ мм та довжиною $L_0 = 20$ мм згідно з режимом прокатки поданим в роботі [1]. Послідовність рішення була в наступному. Під час сталого режиму прокатки одноразово в усіх клітях (постійні значення зусиль прокатки, натягів, швидкості та ін.) на вхід з початку кліті № 1 задавали ділянку з потовщенням шва ΔH_0 та довжиною L_0 . Стиковані полоси мали однакову товщину та рівень опору деформації полос та шва. Тобто задавали кінематичне збурення.

Загальний вигляд зміни відносних міжклітьових натягів і товщини шва під час поступового проходження останнім клітей полягає в

наступному (рис. 1). Абсолютне значенням товщини шва до останніх клітей значно зменшується, що цілком природно. Разом з тим зменшується розмах відносного натягіння. Але якщо при вході шва в кліть № 1 передне натягіння T_1 , (заднє відносно кліті № 2) збільшується по амплітуді, то при вході шва в кліть № 2 в натягінні \bar{T}_1 , з'являється послаблення до 0,8, яке зменшується до останніх проміжків. Розкид натягінь на рис. 1 має несиметричний вигляд.

Момент сил пружності в лініях приводу клітей № 1 і № 2 незначно реагує коливаннями на вхід шва до цих клітей. При вході шва в подальші кліті їх реакція стає незначною. Розглянемо детально перехідні процеси (рис. 2).

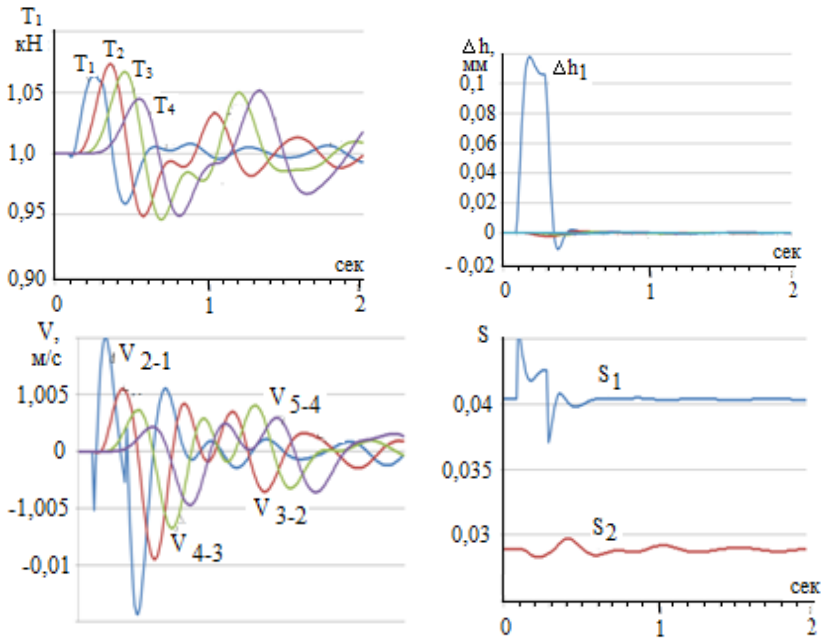


Рисунок 2 – Перехідні процеси по натягінням \bar{T}_i , товщині шва Δh_i , різниці швидкостей входу полоси в $i+1$ -ю кліть і виходу із i -ї кліті, та випередження S під час прокатки шва в кліті № 1. Швидкість 2,5 м/с.

На вхід шва в кліть № 1 всі міжклітьові натяги реагують коливаннями. При цьому спочатку «спалахує» амплітуда T_1 , а потім з деяким невеликим запізненням послідовно з'являються амплітуди T_2, T_3, T_4, T_5 майже одного рівня – близько 1,07. Вказані коливання обумовлені коливанням різниці швидкості входу полоси в $(i+1)$ -у кліть та швидкості виходу її з i -ої кліті (рис. 2,в). Спочатку короткочасно збільшилось випередження S_1 в кліті № 1

($\Delta V_{2-1} < 0$). Але навантаження валків швом призвело до зменшення випередження S_1 і швидкості виходу полоси при майже постійній швидкості входу полоси в кліть № 2. В результаті сформувався перший пік амплітуди натягу T_1 між клітьями № 1 і № 2. Вихід шва з клітьї № 1 призвів до збільшення швидкості полоси виходу (позначилася дія крутильних коливань валків) при майже постійній швидкості входу полоси в кліть № 2. Це призвело до короткочасного амплітудного зменшення натягіння T_1 .

Частота коливань натягів T_1 співпадає з частотою крутильних коливань ліній приводу валків (~ 10 Гц). Початкова рівна товщина шва після першої клітьї «деформується» з незначним відображенням коливань клітьї.

По іншому відбувається динаміка проходження шва через кліть № 2, коли всі коливання в системі вщухли (рис. 3). Її навантаження при вході шва призводить до незначного зменшення обертової швидкості валків та швидкості входу полоси в кліть № 2. В цей же короткий проміжок часу швидкість виходу полоси з валків клітьї № 1 залишається постійною. Різниця швидкостей становить $\Delta V_{2-1} = V_2 - V_1 < 0$. Тому завжди спостерігається амплітудне зменшення заднього натягіння T_1 (відносно клітьї № 2).

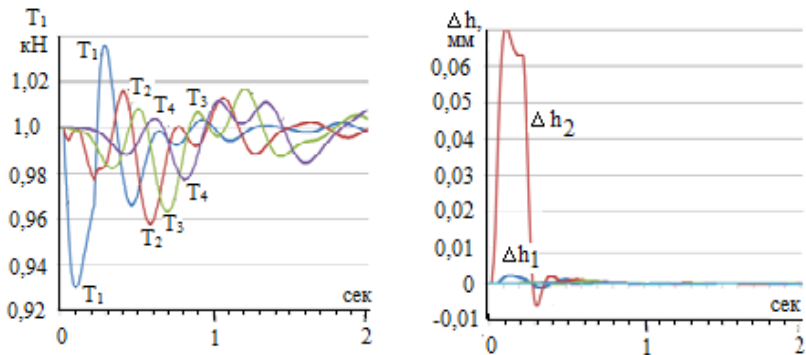


Рисунок 3 – Перехідні процеси по натягам T_i та товщині шва Δh_i під час прокатки в клітьї № 2.

Подібний процес повторюється при вході шва в наступні клітьї зі значним зменшенням амплітудного «падіння» задніх натягіння.

Таким чином, результати моделювання довели, що взаємозв'язок в динаміці технологічних параметрів перехідних процесів знаходиться в тій же закономірності, що і в сталому режимі прокатки. В той же час розглянутий підхід дозволяє більш детально розглянути не тільки характер коливань, але й визначити умови, за яких вони досягають екстремальних значень. Дано оцінку, наскільки вагомим додатковим збуренням по клітьям є товщина $\Delta h_{\text{ин}}$ шва перед клітьями порівняно з обтисненням Δh_i , тобто

згідно з відношенням $n_i = \Delta h_{iiv} / \Delta h_i$. При прокатці полоси 2,5 мм воно найбільше по i -м клітям та складає: $n_1 = 0,2 / 1,05 = 0,19$; $n_2 = 0,12 / 0,425 = 0,28$; $n_3 = 0,073 / 0,30 = 0,24$; $n_4 = 0,042 / 0,193 = 0,21$; $n_5 = 0,032 / 0,04 = 0,8$. Тобто, не звертаючи увагу на зменшення абсолютної товщини шва, його вплив, як відносного збурення, залишається значним особливо в останньому міжклітьовому проміжку, де полоса досягає найменшої товщини з ймовірністю її розриву.

Висновки

1. Розкрита високочастотна складова динаміки міжклітьових натягів, товщини шва, швидкості полоси та ін. при прокатці полоси зі швом в п'ятиклітьовій безперервній групі з урахуванням транспортного переносу товщини, а також механічних пружних коливань клітей і ліній головного приводу валків.

2. При проходженні шва через кліті № 2-5 спостерігаються короткі проміжки часу спочатку різкого ослаблення заднього натягу до $0,7 \pm 0,9$ сталого значення на тяжіння T_c , потім пікового збільшення до $1,1 \cdot T_c$. Найбільше ослаблення заднього відносного натягіння завжди має місце в першому проміжку, коли шов входить до кліті № 2.

3. Початкова плоска форма зварного шва після проходження чергової кліті спотворюється через дію вертикальних коливань клітей.

4. В натягах відображається частотна складова крутильних коливань ліній приводу валків.

5. Загальний вигляд коливань розглянутих параметрів при прокатці зварного шва залишається згідно описаним при різних швидкостях прокатки та незначній варіації розмірів шва.

Перелік посилань

1. Прокатка металла со сварными соединениями / В. Л. Мазур, В. И. Мелешко, Д. П. Галкин и др. М. : Metallurgiya, 1985. 112 с.
2. Мазур В. Л., Ноговицын А. В. Теория и технология листовой прокатки (Численный анализ и технические приложения). Днепропетровск. РИА "Днепр-VAL", 2010. 498 с.
3. Робертс В. Холодная прокатка стали. М. : Metallurgiya, 1970. 456 с.
4. Переходные процессы при непрерывной прокатке / В. В. Веренев, А. Ю. Путники, Н. И. Подобедов. Днепр: Літограф, 2017. 16 с.

References

1. Prokatka metalla so svarnymi soyedineniyami [Rolling metal with welded joints] V. L. Mazur, V. I. Meleshko, D. P. Galkin i dr. M.: Metallurgiya, 1985. 112 p.
2. Mazur V. L. Nogovitsyn A. V. Teoriya i tekhnologiya listovoy prokatki (Chislennyy analiz i tekhnicheskiye prilozheniya) [Theory and technology of sheet rolling (Numerical analysis and technical applications)] / Dnepropetrovsk. RIA "Dnepr-VAL". 2010. 498 p.
3. Roberts V. Kholodnaya prokatka stali [Cold rolling of steel]. M.: Metallurgiya, 1970. 456 p.

4. Verenev V. V., Putnoki A. Yu., Podobedov N. I. Perekhodnyye protsessy pri nepreryvnoy prokatke [Transient processes during continuous rolling]. Dnepr: Litograf, 2017. 116 p.

V. V. Verenov, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-5363

M. I. Podobedov, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

SIMULATION OF THE DYNAMICS OF THE PASSAGE OF A STRIP WITH A WELDING SEAM OF A CONTINUOUS GROUP OF ROLLING STANDS

Summary. The purpose of the work was to determine the dynamic response of the condition, i.e. tension and thickness, when a section of a strip with a seam is gradually rolled starting from the first to the last cage. The rolling dynamics of a strip with a welded joint (seam), which has a slight thickening relative to the strip, was studied. In contrast to the traditional approach, the equations were not solved in relative, but in absolute values of the variables. In addition, mathematical modeling was performed taking into account the mechanical vibrations of the rolling cages and the main drive line of the rolls and transport transfer with a delay of the thickness of the seam between the cages. This made it possible to examine in detail the high-frequency component of tension between stands fluctuations, the seam thickness, the speed of the overtaking strip, the cells, and the moment of elastic forces when the seam area enters the center of deformation between the rolls. The frequency of the cage's own oscillations is reflected in the fluctuations of the seam thickness. At the exit from cage No. 1, the seam becomes of different thickness. The initial thickness of the seam decreases when moving to the last cages. At the same time, the action of the seam as a pathogen decreases. fluctuations of intercellular tensions are noticeably reduced. The peculiarity is that when the seam enters cage No. 2, there is always an amplitude weakening of the back tension, and then its peak increase by 1.1-1.5 times. In subsequent cages, the amplitude of the first tension peaks decreases. The tension shows the frequency of elastic oscillations of the drive lines and cage.

Key words: continuous rolling, strip, weld, oscillation, tension, thickness deviation.

For citation: Verenov V. V., **Podobedov M. I.** Modeliuvannia dynamiky prokhodzhennia polosy zi zvarnym shvom bezperervnoi hrupy klitei [Simulation of the dynamics of the passage of a strip with a welding seam of a continuous group of rolling stands]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 308-313. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-308-313.

Стаття надійшла до редакції збірника 30.11.2022 р.

Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)