

7. Назаренко В.М, Кондратенко М.М. Система діагностування стану роликів конвеєрів: шляхи вирішення // Вісник КТУ. –2004. –№4. –с. 77-79.
8. Кондратенко М.М, Савицький О.І. Система автоматизованого контролю стану роликів конвеєра // Криворізький техн. ун-т.: Вісник КТУ: Зб. наук праць. –Кривий Ріг, 2006. – Вип.15. – С. 147-150.
9. Сокотнюк Ю.А. Система автоматического управления наклонным ленточным конвейером: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.13.07/ДГИ – Дн-ск, 1987. – 16 с.
10. Запенин И.В., Бельфер В.Е., Селищев Ю.А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1969. – 56 с.
11. Назаренко В.М. Режимы работы автоматизированных ленточных конвейеров рудоподготовительного производства: Диссертация доктора технических наук: 05.13.07, 05.05.06/ИГТМ. – Дн-ск, 1990. – 455 с.
12. Мелкозеров П.С. Энергетический расчет систем автоматического управления и следящих приводов. – М.: Энергия, 1968. – 304 с.
13. Савицкий А.И. «Автоматизация конвейерного транспорта с изменяющейся производительностью» Автореферат диссертации канд. техн. наук: 05.13.07/КГРИ – Кривой Рог, 2000. – 16 с.
14. Назаренко В.М., Сокотнюк Ю.А. Передаточные функции ленточного конвейера как объекта регулирования // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1986. – №1. – с. 110-114.
15. Economic evaluation of efficiency of investments into energy-saving controlled electric drives of conveyers of mining and processing works. Krutov G., Savitskyi A.I. 2014, Metallurgical and Mining Industry, No.6, p.78-81.

Рукопис подано до редакції 21.03.15

УДК 519.237.7: 621.771.065

К.В. ГЕРАСИМОВА, Г.І. ТКАЧЕНКО, кандидати техн. наук, доц.
А.А. ШЕПЕЛЬ, аспірантка, Криворізький національний університет
О.А. САМОЙЛЮК, ПАТ «ПівдГЗК»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРУ ДЕФОРМАЦІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ СМУГ

Для дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг з використанням комплексу прикладних програм була побудована математична модель і здійснений планований чисельний експеримент. Виконано розрахунок енергосилових параметрів гарячої прокатки. Встановлені залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скорегувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (безперервної листової прокатки).

Ключові слова: прокатка, температурний режим, технологічні параметри, математична модель.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Жорсткі економічні відносини на внутрішньому і зовнішньому ринках, обумовлюють новий рівень вимог до готової продукції чорної металургії. Це повною мірою стосується прокатного переділу, в тому числі - виробництва гарячекатаних смуг на широкоштабових станах.

Зниження енергоємності виробництва і собівартості продукції вимагає підвищення ступеня наукової обґрунтованості прийнятих в кожному конкретному випадку технічних рішень. Враховуючи специфіку металургійного виробництва, треба зазначити, що при проведенні наукових досліджень пріоритетними остаються методи автоматизованого регулювання та керування технологічними режимами роботи прокатних станів гарячої прокатки, практична реалізація теоретичних підходів.

В реальних умовах технологічного процесу неможливо абсолютно точно і адекватно врахувати всю доступну вихідну інформацію. Підвищення ефективності виробничих процесів неможливо без удосконалення і розроблення нових методів моделювання.

Використання в теорії прокатки математичних моделей дозволяє передбачувати результати внесення тих або інших змін в технологію процесу або конструкцію прокатного стану. Це

дозволяє обрати оптимальний варіант рішення поставленого завдання, у даному випадку зниження енергетичних витрат, і свідчить об актуальності роботи.

Аналіз досліджень і публікацій. Суттєвий вплив на витрати енергії і якість прокату має температурний режим прокатки. Правильно вибраний тепловий режим залежить від вихідної температури, розподілу обтиснень по клітям, швидкості прокатки, пластичних властивостей прокату і застосування охолоджуючих засобів [1,2].

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (у випадку безперервної листової прокатки) [3-5].

Опір деформації є найважливішою характеристикою деформованої сталі, яка визначає енергосилові та кінематичні параметри процесу прокатки. Величина опору деформації визначається хімічним складом і структурою металу, температурно - швидкісними умовами деформації [6].

Виконаний огляд і критичний аналіз наукової літератури з досліджувального питання показав, що для розрахунку опору деформації найбільш широко використовуються методики авторів, представлених в табл. 1.

Таблиця 1

Автори методик розрахунку опору деформації

1	Зюзін В.І., Бровман М.Я.	9	Салганік В.М. та ін.
2	Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С.	10	Ніколаєв В.А.
3	Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г.	11	Шиндлер І. та ін.
4	Хензель Х., ШпиттельГ	12	Бояршинов М.І., Полушкин В.П.
5	Гайдук М., Конвічний Й.	13	Музалевський О.Г. та ін.
6	Шевцов В.К., Руденко Є.А.	14	Руденко Є.А.
7	Мазур В.Л., Хижняк Д.Д.	15	ДонНДІчермет
8	Крайнов В.І., Кропачев В.Є.	16	Погоржельский В.І.
		17	Солод В.С., Бейгельзімер Я.Є., Кулагін Р.Ю.

Проте обмеженість досліджень окремими експериментами в певних технологічних умовах, необхідність і трудомісткість визначення великої кількості емпіричних коефіцієнтів і залежностей роблять ці методи і методики обмеженими для загального практичного використання. Разом з тим слід відзначити, що ці роботи в наш час перевіряються практикою і, певною мірою, ще вимагають доопрацювання і вдосконалення. До основних недоліків цих методів слід віднести ту обставину, що вони вимагають наявності важкоодежованої і (або) невизначеної інформації (наприклад, про фізико-механічні властивості металу, критерії руйнування, різні коефіцієнти та ін.). Стандартні програмні комплекси дозволяють вирішувати завдання лише в загальному вигляді; урахування специфіки конкретного технологічного, або фізико-механічного процесу потребує значних доробок програмного забезпечення.

Використання ймовірнісних та статистичних методів дозволяє отримати більш достовірну оцінку відповідних процесів ОМТ, що досягається відповідною обробкою вихідної інформації. Головна перевага числових комп'ютерних методів у їх гнучкості до варіацій вихідної інформації і можливості швидкого виконання аналізу впливу різноманітних визначальних змінних параметрів на механічні властивості та геометрію металу при його обробці.

Постановка завдання. Метою роботи є: - розроблення математичні моделі з автоматизованого розрахунку параметрів процесу гарячої прокатки, що враховує реальний характер зміни вихідних технологічних параметрів; - встановлення залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скоригувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Викладення матеріалу та результати. Розрахунок опору деформації σ_s виконувався за емпіричною формулою (2) [7], яка дозволяє отримати миттєве значення опору деформації у широкому діапазоні хімічного складу сталей (табл. 2).

Таблиця 2

Хімічний склад марок сталей

Марка сталі	Хімічний склад, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
Ст 45	0,460	0,270	0,650	0,125	0,020	0,018	0,125	0,125	0,040
Ст3сп	0,180	0,225	0,525	0,150	0,025	0,020	0,150	0,150	0,040
09Г2С(Д)	0,060	0,650	1,500	0,150	0,020	0,018	0,150	0,225	0,040

Дана методика дозволяє розрахувати опір деформації в будь-якій точці осередку деформації залежної від температури, швидкості та накопиченої швидкості деформації в даній точці. При цьому забезпечується можливість розрахунку тиску металу на валки і моменту прокатки з використанням диференціальних рівнянь контактних напружень, не виконуючи їх аналітичні перетворення з достатньо грубими припущеннями.

$$\sigma_s = \sigma_y + (\sigma_p - \sigma_y) \left\{ \frac{2\varepsilon_x - \varepsilon_p}{\varepsilon} \exp\left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_x}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right] - \exp\left(\frac{\varepsilon_p - \varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right\}, \quad (2)$$

де $\sigma_y = 51,23(Z/A)^{0,133}$ - напруження, при якому встановилась рівновага зміцнення і динамічної рекристалізації; $\sigma_p = 72,22(Z/A)^{0,133}$ - максимальний опір деформації; $\varepsilon_p = 0,236(Z/A)^{0,109}$ - логарифмічна деформація максимуму деформаційного зміцнення; $\varepsilon_x = 0,194(Z/A)^{0,109}$ - відносна деформація, яка відповідає початку динамічної рекристалізації; $Z = u \cdot \exp(Q/8,318T)$ - комплексний температурно-швидкісний параметр ($8,318 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{К}^{-1}$ - універсальна газова стала); T - температура деформації, К; u - швидкість деформації, с^{-1} ; Q - енергія активації деформації.

Для розрахунку змінної температури металу, що проходить через і-ю кліть використовувалась наступна формула [9]

$$T_i = T_0 - \left(T_0 + 273 - \left(1000 / \sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{t+273}{100}\right)^3} + 0.055 \frac{\tau}{H_i}} \right) \right),$$

де τ - час прокатки, с; H_i - товщина смуги перед кліттю, мм.

Зміна температури штаби в процесі прокатування впливає на опір деформації матеріалу штаби і на коефіцієнт тертя, а через них на всі параметри процесу. Це означає що теплова взаємодія штаби з валками є одним з основних факторів, що впливають на пластичну деформацію металу при прокатці. [10,14]

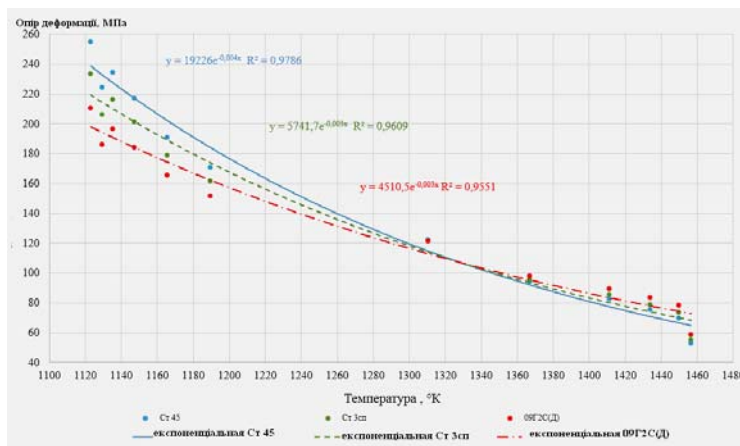


Рис. 1. Вплив температури на зміну опору деформації при гарячій прокатці для трьох марок сталі

На рис. 1 представлено залежність опору деформації від температури для трьох марок сталі, а саме : Ст45, Ст 3 сп, 09Г2С(Д), які є основним сортаментом при гарячій прокатки широких смуг на стані 1700 ММК ім. Ілліча. На представлених графіках (рис. 1) видно, що хімічний склад металу безпосередньо впливає на опір деформації

Підвищення температури впливає на опір деформації так, що при найменшому значенні температури величина опору деформації найбільша. Криві при температуро

рах від 1123К до 1190К розташовані практично паралельно одна одній. В точці з температурою 1310 К криві пересікаються.

На рис 2,3 представлено встановлені залежності опору деформації від довжини осередку деформації та від швидкості прокатки

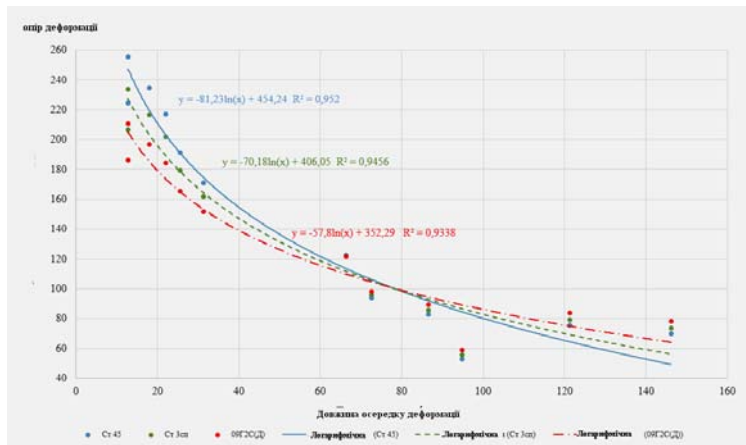


Рис. 2. Вплив довжини осередку деформації на опір деформації року сталі. Це дозволило скоригувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

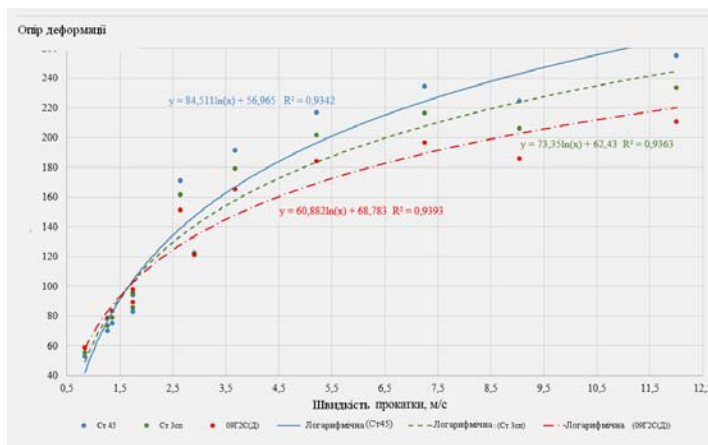


Рис. 3. Вплив швидкості прокатки на опір деформації

На графіку чітко видно, що інтенсивне зниження опору деформації спостерігається при швидкостях від 0,5 до 1,8 м/с

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розроблений комплекс прикладних програм, враховуючи реальний характер зміни вихідних технологічних параметрів, дозволив встановити залежності опору деформації від температури прокатки, швидкості деформації і довжини осередку деформації для найбільш використовуваних марок сталі.

Список літератури

1. **Никитин Г.С.** Расчет энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана : метод. указания / Г.С. Никитин, А.А. Восканьянц, К.А. Крюков. – М.: Изд-во МГТУ им. Г.Э. Баумана, 2010.

2. **Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е.** – Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

3. **Шепель А.А.** Разработка энергосберегающих режимов процесса горячей прокатки широких полос / Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ, 2015.- Вип. 99.- С. 119-124.

4. **Шепель А.А.** Совершенствование технологий и оборудования процесса прокатки на широкополосных станах первого поколения / Технологический аудит и резервы

производства № 5 1(19), 2014 С. 45-51.

5. **Зюзин В. И., Бровман М. Я., Мельников А. Ф.** Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. - М.:Металлургия, 1964. - 270 с.

6. **Бережний М.М.** Теплова деформація залізвуглецевих сплавів та їх вплив на діаграму стану Fe - C. / **М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, С.О. Мацшин** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С. 176-179.

7. **Солод В. С. Бейгельзимер Я. Е., Кулагин Р. Ю.** Математическое моделирование сопротивления деформации при горячей прокатке углеродистых сталей // Металл и литье Украины. 2006. № 7–8. С. 52–56.

8. **Ткаченко Г.І., Шепель А.О.** Комп'ютерна програма «Пакет прикладних комп'ютерних програм «Rolling». Державна служба інтелектуальної власності України .Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №56980

9. **Остапенко А.Л., Забира Л.А.** Сопротивление деформации сталей при прокатке и методики его расчета // Черная металлургия. Бюлл. ин-та «Черметинформация», 2009. - №3. - С. 54-79.

10. **Технология процессов прокатки и волочения. Листопркатное производство [текст]: учебн. / М.М. Сафьян, В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, А.И. Молчанов.** – К. : Вища школа, 1988. – 352 с.

11. Использование метода линии скольжения и теоремы о верхней границе для расчета случая сжатия со сдвигом листа. 1. Исследование прокатки с различными скоростями верхнего и нижнего рабочих валков / **Mizutani T., Shiozaki H., Jimma T., Mikami M.** – Сосей то како. Journal of Japan, Society for Technology of Plasticity, 1982, vol. 23, N 258, p.p. 714 - 721.

12. **Самойлюк О.А., Ткаченко Г.І., Шепель А.О.** Дослідження об'єму осередку деформації при прокатуванні штаби у гладких валках / Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2014.- Вип. 37.- С. 187-192.

13. **Федоринов В.А., Добряк С.К., Удовенко С.Н.** Математическое моделирование основных показателей качества холоднокатаных лент и полос при прокатке на многовалковых станах // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ: ДДМА. – 2000. – С. 313–315.

14. **Коновалов Ю.В.** Справочник прокатчика. - Справочное изд. , в 2-х книгах. - Книга 1.- Производство листов и полос. - М. : «Теплотехник», 2008.- 640с
Рукопис подано до редакції 17.04.15