

94321,935 т. Сравнивая расчетные значения удельной производительности с фактическими следует отметить, что абсолютные величины разностей между их численными значениями составляют 0,0107 т/(м<sup>3</sup>·сут) в 2004 г. и 0,04655 т/(м<sup>3</sup>·сут) в 2005 г.

Выполненный пофакторный анализ свидетельствует, что выбранные факторы в совокупности обусловили изменение в 2005 г. удельной производительности относительно 2004 г. на 0,05303 т/(м<sup>3</sup>·сут), однако по отчетным данным удельная производительность печи в 2004 г. и в 2005 г. абсолютно равны, что вызывает основание для сомнений в корректности допущенных округления численных значений этого параметра.

Исходя из того, что разработанный алгоритм математического моделирования пофакторного влияния компонентов доменной шихты на расход кокса и удельную производительность доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup> составлен на основе адекватных стохастических интерполяционных моделей (2) и (3), можно также положительно утверждать и о справедливости заключения об адекватности результатов пофакторного анализа.

При этом вероятность появления существенных отклонений расчетных количественных значений анализа от реальных (достоверных) показателей этой доменной печи в соответствии с принятым уровнем значимости не превысит 5 %.

Как правило, в условиях реального производственного процесса происходят изменения параметров технологии, качества и химического состава сырья, топлива, флюсующих добавок, применяются новые компоненты доменной шихты, а также действия большого числа факторов объективного и субъективного характера.

Поэтому для обеспечения адекватности результатов моделирования необходимо периодически обновлять базу исходных данных, осуществлять пересмотр и уточнение стохастических математических моделей (2) и (3).

**Таким образом**, выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси.

Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup>, с одной стороны, и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой.

Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

#### *Список литературы*

1. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем.- М.: Наука, 1976.- 390 с.
2. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки: Монография.- Днепропетровск: Пороги, 2001.- 424 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.02.14

УДК 621.771.01

М.Г. КОРЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.С. СОТСКОВ, магистрант  
Криворізький національний університет,

А.Г. ПРИСЯЖНИЙ, ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

### **ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДРЕСИРУВАЛЬНИХ СТАНІВ ЦЕХІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ**

У статті обґрунтована можливість підвищення ступеня використання проектної потужності дресирувального стану цеху холодної прокатки ПАТ «ММК ім. Ілліча» за рахунок розширення його функціонального призначення.

При цьому запропоновано використовувати дресирувальний стан як прокатно-дресирувальний, що не вимагає значних фінансових витрат та створює сприятливі умови для розширення сортаменту та підвищення точності геометричних розмірів холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб.

**Проблема та її зв'язок з науковими й практичними завданнями.** Розширення сортаменту холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб, а також підвищення вимог до показників їх якості обумовлюють необхідність вдосконалення конструкції робочих клітей та технологічних режимів станів холодної прокатки [1-3]. При цьому слід зазначити, що реконструкція основного устаткування цих станів потребує значних фінансових витрат, а тому більш обґрунтованою є оптимізація технології процесу пластичної деформації металу за рахунок використання резервів вже встановленого устаткування, яке в цехах холодної прокатки (ЦХП) використовується не на повну проектну потужність. Стосовно ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча» таким устаткуванням є дресирувальний стан, який більшу частину часу простоє, а тому розробка практичних рекомендацій щодо його додаткового використання з метою розширення сортаменту та підвищення показників якості холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб представляє досить актуальну задачу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Найбільш поширений спосіб виробництва сталевих холоднокатаних штаб, представлений в роботі [4], передбачає виконання наступних технологічних операцій:

холодне прокатування на безперервному стані з обтисканням в насічених валках останньої кліті;

відпал холоднокатаних рулонів в ковпакових печах;

дресирування холоднокатаних відпалених штаб.

Цей спосіб передбачає використання в останній кліті прокатного стану насічених валків з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні  $Ra=(4\div 6)$  мкм, а також малу силу натягнення між останньою кліттю і моталкою, що приводить до збільшення енергосилових параметрів прокатування: тиску металу на валки, необхідної потужності деформації в останній кліті й на стані в цілому, та ускладнює отримання планшетних і рівнотовщинних штаб. Крім того, необхідність отримання тонколистової сталі з високою точністю геометричних розмірів при високій швидкості прокатування обумовлює невелике обтискання в останній кліті багатоклетьового стану і тим самим обмежує її обтискову здатність.

Крім зазначеного вище, існує спосіб отримання холоднокатаної сталі за наступною технологією [5]:

холодне прокатування на реверсивному стані;

відпал холоднокатаних рулонів в ковпакових печах;

дресирування холоднокатаних відпалених штаб.

Процес виробництва холоднокатаних штаб на реверсивному стані зберігає і навіть посилює недоліки першого способу, а також характеризується низькою продуктивністю, відносно великим витратним коефіцієнтом металу та високою інтенсивністю зносу валків.

Також відомий спосіб холодного прокатування тонких штаб, що містить двохетапне прокатування, відпал в ковпакових печах і дресирування [6]. При цьому послідовність технологічних операцій така:

перший етап прокатування на багатоклетьовому безперервному стані;

проміжний відпал в ковпакових печах;

другий етап прокатування на прокатно-дресирувальному стані;

відпал в ковпакових печах;

дресирування холоднокатаних відпалених штаб.

Цей спосіб має переваги перед вище описаними способами, оскільки дозволяє досягти більшої викочуємості прокатуваного металу. Проте така схема двохетапного прокатування характеризується значно більшою витратою палива, приводить до підвищених енерговитрат на пластичну деформацію металу, а також істотно утруднює отримання планшетних і рівнотовщинних штаб.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка способу прокатки за рахунок розширення функціонального призначення дресирувального стану та перетворення його на прокатно-дресирувальний.

**Викладення матеріалу та результати.** Для досягнення поставленої мети поставлене завдання удосконалити спосіб холодного прокатування тонких штаб, що піддаються відпалу в ковпакових печах, в якому за рахунок зміни умов деформації штаби досягається зниження енергоємності прокатування, збільшення планшетності та рівнотовщинності прокатуваних штаб, задіювання резерву потужностей дресирувального стану.

Для вирішення поставленого завдання в способі холодного прокатування тонких штаб, що піддаються відпалу в ковпакових печах, який містить двохетапне прокатування, перший етап прокатування проводять на багатоклетьовому стані з сумарним відносним обтисканням (74÷80)%, а другий етап – на одноклетьовому реверсивному чи дресирувальному стані з відносним обтисканням (5÷10)%.

По завершенню двох етапів прокатування сталь в рулонах поступає в термічне відділення для відпалу в ковпакових печах. Після термообробки метал дресирують на дресирувальному стані з відносним обтисканням (1-2) %.

При цьому істотною ознакою зміни умов здійснення прокатування штаби є скорочення енерговитрат прокатування, поліпшення якості прокатуваного металу, що виражається в зростанні геометричної точності штаб.

У відповідності до запропонованого способу холодного прокатування, прокатування штаби здійснюється в два етапи: перший етап – на чотирихклетьовому безперервному стані; другий етап – на одноклетьовому дресирувальному стані. Загальне число пропусків - п'ять.

На першому етапі гарячекатані протравлені рулони встановлюються в розмотувач безперервного стану. Зовнішній виток рулону задається по черзі в першу, другу, третю і четверту кліті безперервного стану і заправляється в моталку. Прокатування перших витків рулону здійснюється на заправній швидкості (2÷2,5) м/с. На цій стадії встановлюються необхідні натягнення між клітей:  $\sigma_p$  - натягнення між розмотувачем і першою кліттю;  $\sigma_{1-2}$  - натягнення між першою і другою клітями;  $\sigma_{2-3}$  - натягнення між другою і третьою клітями;  $\sigma_{3-4}$  - натягнення між третьою і четвертою клітями;  $\sigma_M$  - натягнення між четвертою кліттю і моталкою, яке обмежується тільки міцнісними властивостями прокатуваної штаби. Після закінчення операції заправки та досягнення необхідних значень міжклетьових натягнень прокатування ведеться із швидкістю до (20÷25) м/с і сумарним відносним обтисканням (74÷80)%. При цьому сумарне відносне обтискання не повинне бути меншим за 74 %, щоби не обмежувати продуктивність безперервного широкоштабового стану гарячого прокатування, та більшим за 80% через зниження пластичності та збільшення опору деформації прокатуваного металу. Деформація металу в четвертій кліті здійснюється шліфованими валками з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні  $Ra=(1\div2)$  мкм. Останні витки рулону прокатуються також на пониженій швидкості (2-2,5) м/с. Рулон з моталки потрапляє на конвеєр, яким він транспортується до дресирувального стану, де проводиться другий етап прокатування.

Рулон встановлюється в розмотувач стану, верхній виток відгинається магнітним відгиначем. Потім передній кінець рулону послідовно задається в роликівий пристрій, в зів валків і фіксується на моталці. Режим натягнень:  $\sigma_p^d$  - натягнення між розмотувачем і дресирувальною кліттю;  $\sigma_M^d$  - натягнення між дресирувальною кліттю та моталкою, настраюється в процесі роботи стану на заправній швидкості (3÷3,5) м/с. Слід зазначити, що напруження натягнення  $\sigma_M^d$  знаходиться в межах (20 ÷ 80) МПа. Після операції заправки здійснюють прокатування на швидкості, що може бути встановлена в діапазоні 2-15 м/с, в насічених валках з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні  $Ra=(2,7\div2,8)$  мкм та відносним обтисканням  $\varepsilon=(5\div5,5)\%$ .

Спільне поєднання трьох перерахованих технологічних параметрів:  $\sigma_M^d$ ,  $Ra$ ,  $\varepsilon$ , в зазначених межах гарантує запобігання зварюванню витків рулону при відпалі в ковпакових печах. Після закінчення другого етапу прокатування рулон знімають з моталки та за допомогою мостового крану та відправляють в термічне відділення для відпалу в ковпакових печах. Відпалений метал знов транспортують до дресирувального стану для зміцнення поверхневих шарів металу - дресирування з відносним обтисканням (1-2)%.

Даний спосіб може бути реалізований в умовах типового ЦХП «ММК ім. Ілліча». При цьому режим технологічного процесу здійснюється таким чином.

Прокатування холоднокатаної штаби зі сталі марки 08 кп розмірами  $h \times b = 0,38 \times 1020$  мм здійснюється з гарячекатаного протравленого підкату перетином НХВ =  $1,6 \times 1020$  мм. На першому етапі прокатування метал прокатують на чотириохкельтовому безперервному стані з сумарним обтисканням 74% до проміжної товщини 0,42 мм.

Розподілення сумарного відносного обтиснення по клітях чотириохкельтового безперервного стану повинне забезпечувати отримання планшетних і рівнотовщинних штаб при мінімальних витратах енергії на пластичну деформацію металу. Другий етап прокатування здійснюється на дресирувальному стані з відносним обтисканням 10 % до товщини 0,38 мм. Після двох етапів прокатування сталь в рулонах відпалюють в ковпакових печах. Кінцеву товщину метал досягає дресируванням на дресирувальному стані з відносним обтисканням 1%.

Для перевірки можливості застосування зазначеного способу прокатування в ЦХП «ММК ім. Ілліча» за допомогою інженерної математичної моделі [7] визначили енергосилові параметри процесу прокатки з використанням прокатно-дресирувального стану та без нього (табл. 1).

Характеристика основного устаткування зазначеного ЦХП відповідає даним роботи [8]. Аналіз отриманих результатів показує, що потужностей дресирувального стану цілком достатньо для використання його як прокатно-дресирувального: фактичні сила прокатки та потужність двигуна при швидкості прокатки 5 м/с не перевищують їх допустимих значень (18 МН для сили прокатки та 1320 кВт для потужності двигуна), що забезпечує сприятливі умови для оптимізації режиму обтиснень металу.

За рахунок можливості зниження коефіцієнта тертя та підвищення питомого напруження переднього натягнення при прокатці в четвертій клітці безперервного стану ЦХП «ММК ім. Ілліча» (табл. 1) істотно зменшуються енергосилові параметри прокатки в цій клітці.

Крім того, подача технологічного мастила в осередок деформації прокатно-дресирувального стану також створить умови для зниження сили, моменту та потужності деформації, а також для підвищення якості холоднокатаних штаб.

Слід зазначити, що збільшення дрібності деформації, тобто кількості пропусків, при одному й тому ж значенні сумарного відносного обтиснення сприяє зниженню сумарних витрат енергії на пластичну деформацію металу, що підтверджується результатами лабораторних випробувань.

Таблиця 1

Параметри процесу прокатки штаби розміром  $h \times B = 0,38 \times 1020$  мм із сталі 08 кп (1 – без використання прокатно-дресирувального стану; 2 – з використанням прокатно-дресирувального стану)

Параметр	Позначення	Номер кліті (пропуску)				
		1	2	3	4	5
Товщина штаби до пропуску, $H$ , мм	1	1,60	1,23	0,70	0,47	-
	2	1,60	1,23	0,70	0,47	0,42
Товщина штаби після пропуску, $h$ , мм	1	1,23	0,70	0,47	0,38	-
	2	1,23	0,70	0,47	0,42	0,38
Відносне обтискання, %	1	23	43	33	19	-
	2	23	43	33	10	10
Швидкість прокатки, $V$ , м/с	1	1,9	3,4	5,0	6,2	-
	2	1,9	3,4	5,0	6,2	5,0
Питоме напруження заднього натягнення, МПа	1	0	192	235	259	-
	2	0	192	235	259	40
Питоме напруження переднього натягнення, $\sigma_{п}$ , МПа	1	192	235	259	20	-
	2	192	235	259	220	80
Коефіцієнт тертя, $f$	1	0,12	0,11	0,10	0,09	-
	2	0,12	0,11	0,10	0,07	0,10
Середній тиск металу на валки, $p_{ср}$ , МПа	1	532	692	870	936	-
	2	532	692	870	706	1192
Сила прокатки, $P$ , кН	1	6366	9818	9365	8072	-
	2	6366	9818	9365	4687	10607
Момент, приведений до валу двигуна, $M_{дв}$ , кН·м	1	-86	76	78	116	-
	2	-86	76	78	77	57
Потужність двигуна, $N_{дв}$ , кВт	1	-378	580	882	1701	-
	2	-378	580	882	1152	691

Наприклад, при почерговій прокатці 2-х свинцевих заготовок перетином  $h \times b = 5,0 \times 32,0$  мм за 1 і 2 пропуски з однаковим відносним обтисканням 78 % в умовах лабораторного стану 125 кафедри обробки металів тиском Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет» отримали, що потужність деформації за 1 пропуск в насічених валках складає 0,0588 кВт, а за 2 пропуски (1 пропуск здійснено в насічених валках, а інший – в шліфованих) - 0,0453 кВт (зниження потужності деформації за рахунок змінення умов останньої дорівнює 26%).

Також слід зазначити, що установка в кліті прокатно-дресировального стану гідравлічних натискних механізмів, а також подача в осередок деформації технологічного мастила дозволять покращити показники якості холоднокатаних штаб.

Впровадження нової технології скоротить енерговитрати виробництва холоднокатаної сталі на (1-1,5)%, підвищить якість продукції та дозволить цілком використовувати проектну потужність дресировального стану.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Запропоновано в умовах ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча» дресировальний стан використовувати як прокатно-дресировальний. На основі математичного моделювання енергосилових параметрів процесу деформації металу на цьому стані обґрунтована можливість холодної прокатки за 1 пропуск наклепаних штаб розміром  $h \times B = 0,38 \times 1020$  мм із сталі 08 кп з максимальним відносним обтисканням (5-10)% і швидкістю прокатки 5 м/с. Показано, що за рахунок використання дресировального стану як прокатно-дресировального можливо розширити сортамент, підвищити показники якості холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб та скоротити витрати енергії на пластичну деформацію металу в умовах ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча».

#### *Список літератури*

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008. – 669 с.
  2. Управление качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А. М. Сафьян, И. Ю. Приходько, А. И. Яценко. – К. : Техника, 1997. – 384 с.
  3. Гарбер Э.А. Производство проката : Справочное издание. Том I. Книга 1. Производство холоднокатаных полос и листов (сортамент, теория, технология, оборудование) / Э.А. Гарбер. – М. : Теплотехник, 2007. – 368 с.
  4. Николаев В.А. Холодная прокатка полос : Учеб. пособие для вузов / В. А. Николаев. - Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2004 - 130 с.
  5. Технология прокатного производства : учеб. для вузов / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханнин – М. : Металлургия, 1994. – 656 с.
  6. Технология прокатного производства : справочник. В 2-х книгах. Книга 2 / Под ред. В.И. Зюзина и А.В. Третьякова. - М. : Металлургия, 1991 - 423 с.
  7. Сердюк А.И. Определение энергосиловых параметров холодной прокатки тонколистовой стали / А.И. Сердюк, А.Г. Присяжный // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии : Сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию кафедры технологии машиностроения ЛГТУ. 17-19 мая 2012 г. – Ч. 2. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2012. – С. 285-289.
  8. Прокатные станы. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты / В.Г. Антипин, Д.К. Нестеров, В.Г. Кизиев [и др.] – М. : Металлургия, 1992. – 428 с.
- Рукопис подано до редакції 12.02.14

УДК 669.162

В.В. ТКАЧ, канд.техн.наук, проф., Д.Ю. БАБОШКО, аспирант  
Криворожский национальный университет

### **ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА И ШЛАКА ИЗ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ**

Рассматривается возможность способа восстановления титаномагнетитового концентрата на кольцевой печи с вращающимся подом, с дальнейшим качественным механическим разделением на металлическую и шлаковую часть.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Украина входит в пятерку крупнейших стран производителей титаносодержащих концентратов в мире. В стране с той или