

10. Производственные здания: СНиП 2.09.02 – 85*. – Издание официальное. – М.: ГОССТРОЙ СССР, 1991. – 15 с. – (Строительные нормы и правила).
11. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: НАПБ Б.03.002-2007 – Офіц. вид. – К.: МНС України, 2007. – 27 с. – (Нормативний акт з пожежної безпеки).
12. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок: НПАОП 40.1-1.32-01 – Офіц. вид. – К.: Міністерство праці та соціальної політики, 2001. – 27 с. – (Нормативно правовий акт з охорони праці).
13. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір: ДСТУ ISO 6309:2007 – Офіц. вид. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с. – (Національний стандарт України).
14. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ – Издание официальное. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1996. – 79 с. – (Система стандартов безопасности труда).
15. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ – Изд. официальное. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1989. – 100 с. – (Система стандартов безопасности труда).
16. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002 – Офіц. вид. – К.: Держбуд України, 2003. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
17. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека: ДБН В.1.2-7-2008 – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 30 с. – (Державні будівельні норми України).

Рукопис подано до редакції 16.03.2017

УДК 621.77

В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц., А.А. ХІНОЦЬКА, ст. викладач, В. ЧУБЕНКО, студент
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМУ ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ЧАСУ ПЕРЕБУВАННЯ МЕТАЛУ В НЬОМУ ПРИ ВАЛКОВІЙ РОЗЛИВЦІ СТАЛІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКИХ СМУГ

Мета. Метою даної роботи є дослідження змін величини об'єму осередку деформації та часу перебування в ньому металу в залежності від режимів обтиснення для визначення чинників, що дозволяють збільшити продуктивність виробництва.

Методи дослідження. Теоретичне дослідження виконувалось на основі фундаментальних положень фізики, теорії прокатування, динаміки, термодинаміки та кінематики процесу лиття-прокатування. Використовувалися результати дослідження валкової розливки сталі для виготовлення тонких смуг. Розроблено нову методику дослідження осередку деформації, який утворюється у валках-кристалізаторах при обтисненні у ливарно-прокатних клітках.

Наукова новизна. Удосконалено та вперше застосовано формули з визначення об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому для процесу суміщення лиття-прокатування в умовах м'якого обтиснення, що дозволило виявити залежність досліджуємих параметрів від режимів деформації та визначити шляхи досягнення раціональних параметрів.

Практична значимість. Отримані залежності об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому від режимів обтиснення для умов валкової розливки сталі з метою виготовлення тонких смуг, що дозволило визначити вплив режимів обробки на продуктивність процесу та можливість зовнішнього впливу на збільшення об'єму випуску продукції.

Результати. Запропоновано нову методику визначення об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому при валковій розливці сталі, де видно ступінь впливу на осередок деформації режимів м'якого обтиснення та розмірів виробу. При збільшенні висоти та ширини смуги збільшується об'єм осередку деформації та тривалість часу перебування в ньому, при збільшенні величини обтиснення та кута захоплення – зменшуються. Це пояснюється тим, що при зростанні деформації збільшується кут захоплення, але зменшується кінцева товщина смуги, що і зменшує об'єм осередку деформації та час перебування металу в ньому, який досягає для заданих параметрів при валковій розливці: 2,73 – 3,41 хв. Це свідчить про те, що в порівнянні зі звичайним прокатуванням процес суттєво уповільнюється. Але таке зниження швидкості не зменшує продуктивність виробництва через скорочення кількості операцій та обладнання, що застосовується. Для прискорення темпів виготовлення продукції потрібно збільшити величини осередку деформації. Як дослідження показало, це можливо при зменшенні величини обтиснення або збільшенні початкової висоти при незмінних інших параметрах.

Ключові слова: валкова розливка, осередок деформації, об'єм, час перебування металу, продуктивність, режими деформації, обтиснення, розміри смуги, кут захоплення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Підвищення конкурентоспроможності сучасних металургійних підприємств забезпечується комплексом заходів, серед яких найбільш важливими є мінімізація й оптимізація витрат енергії і ресурсів, підвищення якості продукції тощо. Позитивні результати розвитку промисловості можна досягти завдяки суміщенню процесів лиття-прокатування при виготовленні смуг. Очевидними перева-

гами таких процесів, як правило, є низька капіталоемність, низький рівень екологічних забруднень, мінімальні прості устаткування, відносно короткий виробничий цикл за максимальної продуктивності та рентабельності.

Особливо помітні результати дає впровадження безперервної валкової розливки металу у валки-кристалізатори, яка на теперішній час досягла суттєвих переваг, що свідчить про необхідність подальшого розвитку наукових аспектів суміщення лиття-прокатування.

Дослідження осередку деформації в умовах валкової розливки рідкого металу для виготовлення смуг з метою удосконалення процесу є задачею актуальною, вирішення якої дозволить покращити якість виробів, збільшити продуктивність праці та зменшити витрати енергії і собівартість виробництва.

Аналіз досліджень і публікацій. Важливим нововведенням металургії є дослідно-промислові агрегати прямого безперервного розливання сталі безпосередньо на тонку смуги. Основна перевага прямого відливання тонкого листа – виключення із технологічної схеми деяких операцій гарячого прокатування з відповідним скороченням устаткування, а також зменшенням енерго- та трудовитрат [1-6].

Технологічна схема отримання тонкого листа із застосуванням двовалкових машин безперервного лиття заготовок дозволяє у 8-10 разів зменшити витрати енергетичних ресурсів, у 40-50 разів скоротити втрати металу в окалину, у 5-10 разів підвищити продуктивність праці, що забезпечує економічну доцільність подальшого розвитку та удосконалення технологічних процесів [4].

Ливарно-прокатні кліті, які використовують в устаткуваннях прямого розливання, мають кристалізатор, який складається з двох валків, що розташовані безпосередньо під проміжним ковшем і обертаються в протилежних напрямках. Рідка сталь, при розливанні, надходить у простір між валками і утворює осередок деформації. Метал при контакті з поверхнею валків кристалізується, утворюючи затверділі шари, які рухаються разом з поверхнею і виходять із валків у формі листа, товщина якого визначається відстанню між валками, а ширина бічними стінками кристалізаторів. При валковому литті-прокатуванні заготовкою служить розплавлений метал, параметри зони пластичної деформації формуються внаслідок складної взаємодії матеріалу з інструментом [6].

При валковій розливці-прокатці осередок деформації розміщується між двома валками-кристалізаторами. На відміну від звичайного безперервного лиття-прокатування сталевих виробів, при валковому розливанні в осередку деформації має місце два суміщених процесу: кристалізація розплаву і пластична деформація спочатку тієї частини, що закристалізувалася, а потім і всієї маси металу [3,4,7]. В процесі кристалізації відбувається м'яке обтиснення сталі, при виході з кліті-кристалізатора смуга отримує подальше охолодження і надходить у прокатну кліть для подальшого обтиснення [6]. Для аналізу і оцінки отриманих результатів були використані дані досліджень С.Берковича [8], А. Ю. Грідіна [9], де показано основні процеси, що відбуваються в осередку деформації в ливарно-прокатних клітях.

Розроблено методика проведення дослідження ефективності процесу виготовлення смуг безперервною валковою розливкою рідкого металу, де запропоновано нову технологія безперервної валкової розливки сталі у валки-кристалізатори, визначено удосконалену конструкцію обладнання для його здійснення та підібрано матеріал для здійснення суспензійної розливки рідкого металу у валки кристалізатори [10-13].

Важливим параметром при прокатуванні, що визначає якість виробів та витрати енергії, продуктивність процесу та собівартість виробництва, є осередок деформації, який не достатньо досліджено в умовах валкової розливки-прокатування. Особливо важливою задачею є визначення величини об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому з метою оцінки продуктивності процесу, точності та якості отриманих листів.

Постановка завдання. *Мета роботи* – дослідити величини об'єму осередку деформації та часу перебування в ньому в залежності від режимів обтиснення.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні **задачі**:

розробити методіку визначення величини об'єму осередку деформації при валковому литті-прокатуванні та знайти його величину;

визначити чинники, що впливають на розмір об'єму осередку деформації і час перебування металу в ньому та дослідити їх вплив на продуктивність процесу.

Викладення матеріалу та результати. Для оцінки продуктивності процесу валкової розливки було проведено дослідження об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому через те, що ці показники безпосередньо впливають на обсяг виробництва продукції.

Об'єм осередку деформації, як видно з рис. 1, має форму, що наближена до трапеції, обмеженої паралельними прямокутними поверхнями – основами та увігнутими циліндричними поверхнями валків-кристалізаторів від куту захоплення α до нуля і випуклими вільними поверхнями у міжвалковому просторі [14]. Об'єм осередку деформації пропонується визначати за формулою [15], де враховано середню площу прямокутних перерізів на вході в осередок деформації $b_0 \times h_0$ і на виході з нього $b_1 \times h_1$ та відстані між ними в напрямку прокатування та відрахування площі двох сегментів $F_{сез}$.

Об'єм осередку деформації V_{od} дорівнює

$$V_{od} = \frac{b_0 h_0 + b_1 h_1}{2} R \sin \alpha - 2F_{сез} \frac{b_0 + b_1}{2}. \quad (1)$$

Після відповідних перетворень отримано

$$V_{od} = \frac{b_0 h_0 + b_1 h_1}{2} R \sin \alpha - \frac{b_0 + b_1}{2} R^2 (\alpha - \sin \alpha) = 0,5R[(b_0 h_0 + b_1 h_1) \sin \alpha - R(\alpha - \sin \alpha)(b_0 + b_1)], \quad (2)$$

де b_0 та b_1 – відповідно ширина штаби до та після обтиснення.

Час перебування металу в осередку деформації визначається за формулою [14, 16]

$$\tau = \frac{V_{od}^2}{v(b_0 h_0 + b_1 h_1)}. \quad (3)$$

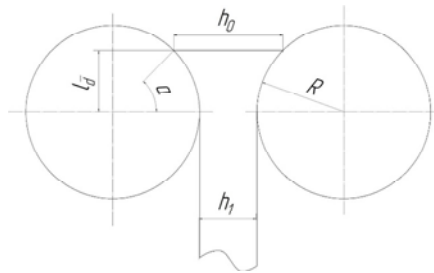


Рис. 1. Схема осередку деформації при валковій розливці-прокатці для виготовлення тонких смуг: R – радіус валків-кристалізаторів; α – кут захоплення; h_0 – початкова висота смуги; h_1 – кінцева висота смуги; l_d – довжина осередку деформації

Для спрощення розрахунків та скорочення формул, підставивши значення об'єму осередка деформації з формули (2) у формулу (3), після відповідних перетворень отримаємо

$$\tau = \frac{R}{v} [\sin \alpha - R(\alpha - \sin \alpha)(b_0 + b_1)]. \quad (4)$$

В розрахунках будемо вважати, що уширення смуги не відбулося, тобто $b_1 = b_0 = b$. Тоді формула (2) прийме вигляд

$$V_{od} = 0,5Rb[(h_0 + h_1) \sin \alpha - 2R(\alpha - \sin \alpha)]. \quad (5)$$

Формула (4) прийме вигляд

$$\tau = \frac{R}{v(h_0 + h_1)} [(h_0 + h_1) \sin \alpha - 2R(\alpha - \sin \alpha)], \quad (6)$$

де $F_{сез}$ – площа сегменту, що утворюється валками-кристалізаторами знаходиться за формулою: $F_{сез} = 0,5R^2(\alpha - \sin \alpha)$; R – радіус валків-кристалізаторів, мм; v – швидкість металу, що проходить крізь осередок деформації, м/хв. Швидкість металу умовно прийнято 20 м/хв.

У дослідженнях приймалося, що валки-кристалізатори мають радіус 500 мм, для в розрахунках вважалося, що смуга має товщину 2, 3 і 4 мм і ширину 1 м. Для спрощення обчислення вважалося, що товщина смуги не змінюється, тобто уширення не відбувається.

Кут захоплення визначався за формулою $\alpha = \sqrt{\Delta h / R}$; α – кут захоплення.

Обтиснення дорівнює $\Delta h = h_0 - h_1$.

Результати дослідження занесено в табл. 1.

Таблиця 1

Об'єм осередку деформації та час перебування металу в ньому в умовах валкової розливки сталі

| h_1 , мм | h_0 , мм | Δh , мм | α , рад° | v_0 , м/хв | $V_{од\ деф} \times 10^3$, мм ³ | τ , хв |
|------------|------------|-----------------|-----------------|--------------|---|-------------|
| 2 | 30 | 28 | 0,335/19,2 | 20 | 875,0 | 2,73 |
| 3 | 30 | 27 | 0,328/18,8 | 20 | 950,0 | 2,87 |
| 3,5 | 30 | 26,5 | 0,3255/18,66 | 20 | 996,25 | 2,99 |
| 4 | 30 | 26 | 0,322/18,5 | 20 | 1159,75 | 3,41 |

У результаті дослідження виявлено, що впливають на величину об'єму осередку деформації та часу перебування металу в ньому значення розмірів смуги, обтиснення, кута захоплення, радіус валків. З табл. 1 видно, що при збільшенні розмірів смуги збільшується величина об'єму осередку деформації та час перебування в ньому, при збільшенні величини обтиснення та кута захоплення – зменшуються. Це пояснюється тим, що при зростанні деформації збільшується кут захоплення, але зменшується кінцева товщина смуги, що і зменшує об'єм осередку деформації та час перебування металу в ньому, який досягає для заданих параметрів при валковій розливці: 2,73-3,41 хв. Це свідчить про те, що в порівнянні зі звичайним прокатуванням процес суттєво уповільнюється. Але це не зменшує обсяги виробництва через скорочення кількості операцій та обладнання.

Продуктивність процесу прямопропорційна величині об'єму осередку деформації та зворотнопропорційна часу перебування металу в осередку деформації. Для збільшення темпів виготовлення продукції потрібно збільшити величини об'єму осередку деформації. Як дослідження показало, це можливо при зниженні величини обтиснення, зменшенні кута захоплення при м'якому обтисненні, або збільшенні початкової висоти при незмінних інших параметрах, що можливо досягти підняттям висоти рівня розливки сталі у валках-кристалізаторах, що забезпечує збільшення довжини осередку деформації.

Висновок та подальший напрямок досліджень. Виконано дослідження об'єму осередку деформації та часу перебування в ньому металу для валкової розливки. Запропоновано нову методику розрахунку параметрів осередку деформації та часу перебування металу в ньому для «м'якого обтиснення» сталі при виготовленні тонких смуг в умовах валкового лиття-прокатування, що дозволило визначити величини об'єму осередку деформації та тривалості знаходження сталі в ньому залежно від режимів обтиснення.

Визначено чинники, що впливають на об'єм осередку деформації та час перебування металу в ньому: товщина і висота смуги збільшують об'єм осередку деформації та час перебування металу в ньому, а кут захоплення – зменшує ці величини. Для досягнення оптимальних параметрів продуктивності процесу потрібно регулювати величини обтиснення або початкової товщини штаби. В подальшому потрібно провести дослідження в промислових умовах.

Список літератури

1. **Губін Г.В.** Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза/ **Г.В.Губін, В.О. Півень.** – Кривий Ріг: ПП «Видавничий дім», 2010. – 366 с.
2. Про переробку відпрацьованих автомобілей / **Г.В. Губін, Ю.П. Калініченко, В.В.Ткач, Г.Г.Губін** //Вісник Криворізького технічного університету. Вип. 31, 2012. – с. 3 – 8.
3. **Данченко В. Н.** Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / **В. Н. Данченко** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 1-8.
4. **Данченко В.М.** Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник/ **Данченко В.М., Гринкевич В.О., Голово О.М.** – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
5. **Минаев А. А.** Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография / **А. А. Минаев.** – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с.
6. **Минаев А. А.** Возрождение металлургии на Украине невозможно без приоритетного развития прокатного производства [Текст] / **А. А. Минаев, Ю. В. Коновалов** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 143-144.
7. **Грідін О.Ю.** Розвиток наукових та технологічних основ процесів валової розлива-прокатки з інтенсивною формозміною металу при виробництві тонкий штаб з підвищеним рівнем механічних властивостей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.03.05 "Процеси та машини обробки тиском" / **О. Ю. Грідін.** – Дніпропетровськ, 2014. – 40 с.
8. **Berkovici S. J.** Optimisation of 3C Roll Caster by Automatic Control // Proc. of Conference "Light Metals", TMS. – New York, 1985. – P.1285-1299.
9. Грідин А. Ю. Экспериментальный метод определения длины зоны деформации при непрерывной валковой

разливке-прокатке / А.Ю. Гридин // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2010. – Вып. 42. – С. 48–58.

10. The increase in efficiency of strips production process in foundry and rolling mill stand/ **Nikolay Berezhnoy, Viktoriya Chubenko, Alla Khinotskaya, Valeriy Chubenko** // Metallurgical and Mining Industry. – 2016, № 4. – P. 296–300.

11. Патент України № 100153 МПК B21В1 Ливарно-прокатна кліть / **М.М.Бережний, В.А. Чубенко, А.А.Хіноцька, С.О. Мацишин, А.О. Шепель, В.А. Чубенко**, ДВНЗ «Криворізький національний університет». – заявл. 05.02.2015, опубл. 10.07.2015, Бюл.№ 13.

12. The increase in efficiency of strips production process in foundry and rolling mill stand/ **Nikolay Berezhnoy, Viktoriya Chubenko, Alla Khinotskaya, Valeriy Chubenko** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, № 12. – P. 296–300.

13. **Чубенко В.А.** Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно-прокатні кліті для виготовлення тонких смуг / **В.А.Чубенко, А.А. Хіноцька, В. Губенко** // Гірничий вісник, 2016. Кривий Ріг: КНУ. - Вип. 101. – С.183–186.

14. **М.М. Бережний.** Набуття сталлю реологічних властивостей при прокатуванні. Монографія / **М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька** Кривий Ріг: Діоніс, 2014. – 150 с

15. Результати розрахунку об'єму осередку деформації при повздовжньому прокатуванні/ **М.М.Бережний, В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька, А.Шепель** //Вісник Національного технічного університету України – Випуск 62. – 2011. – с.112–116

16. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні / **М.М.Бережний, В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька, А.Глінкін** //Вісник Криворізького національного університету – Випуск 30. – 2012. – с. 171–174.

Рукопис подано до редакції 18.04.2017

УДК 681.5.015

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф., **А.М. МАЦУЙ**, канд. техн. наук, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

ДИНАМІЧНА КОРЕКЦІЯ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ ТА ЗАВАНТАЖЕННЯ КУЛЬОВОГО МЛИНА ПРИ ЗМІНІ КРУПНОСТІ РУДИ

Мета. Метою роботи є розробка підходу динамічної корекції розрідження пульпи і завантаження кульового млина при зміні крупності руди.

Методи дослідження. Задача розв'язувалася теоретичними методами описання процесу подрібнення та експериментальними методами уточнення теоретичних результатів.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в тому, що вперше запропоновано підхід динамічного коректування завантаження кульового млина рудою і розрідження пульпи в ньому в умовах зміни середньої крупності вихідного живлення.

Практична значимість. Показано, що продуктивність кульового млина можливо визначати за формулою з уточненим в промисловому дослідженні коефіцієнтом, виміряною середньою крупністю руди та відомою середньою крупністю подрібненого матеріалу. Визначена за запропонованою залежністю відповідно середній крупності дробленого матеріалу, погонному навантаженню руди та швидкості руху конвеєрної стрічки рухома площа поверхні дробленого матеріалу, помножена на умовну товщину водяної плівки на новому твердому, встановлену в промисловому експерименті, дає витрату води у кульовий млин. Така витрата води створює за будь-якої середньої крупності подрібнюваного матеріалу оптимальне розрідження пульпи у технологічному агрегаті, що гарантує отримання максимального виходу готового продукту. Практична значимість отриманих результатів вагома, оскільки суттєво зростає продуктивність кульового млина і не допускається перевитрата електричної енергії, куль і футеровки та зменшується втрата корисного компонента.

Результати. Запропонований підхід динамічної корекції стану рідкого матеріалу в кульовому млині, що подрібнює конкретний технологічний різновид руди, в умовах зміни крупності вихідного живлення базується на класичній теорії, що розглядає продуктивність технологічного агрегату у водоспадному режимі роботи, основні положення якої багаторазово підтверджувалися експериментально. Це засвідчує достовірність отриманих результатів. Крім того, зв'язок розрідження пульпи в кульових млинах при зміні середньої крупності неодноразово перевірявся в дослідженнях і на практиці. Зростання площі поверхні дробленого матеріалу при зменшенні його середньої крупності підтверджено теоретично на матеріалі сферичної форми незмінного розміру. Це також доведено і у випадку дробленого матеріалу через коефіцієнт розпушення. Точне значення коефіцієнта залежності продуктивності кульового млина від середньої крупності подрібнюваного матеріалу визначається за даними промислового експерименту.

Ключові слова: кульовий млин, корекція, крупність, завантаження, розрідження