

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ПРЯМОКУТНОЇ СМУГИ

**Мета** роботи полягає у тому, що на ефективність прокатного виробництва цілком впливає продуктивності процесу, яка в свою чергу залежить від кількості проходів на прокатному стані при виготовленні виробу. Встановлення раціональних режимів обтиснення для прокатування прямокутної смуги 65x15 мм є задача актуальна, що забезпечить зменшення кількості проходів

**Методи дослідження** базуються на використанні фундаментальних положень теорії і технології обробки металів тиском. В роботі використовувалися розрахункові методи визначення режимів обробки та калібрування прокатних валків за способом Чекмарєва А.П., було виконано моделювання допомогою системи САД «Компас 3D» v20 виробництва ТОВ «АСКОН – Системи проектування»

**Наукова новизна** роботи полягає у встановленні науково обґрунтованих раціональних режимів обтиснення для виготовлення прямокутної смуги 65x15 мм.

**Практичне значення** роботи полягає у розробці удосконаленої технології прокатування прямокутної смуги, яка дозволяє скоротити кількість проходів з 13 до 8, що забезпечує підвищення ефективності процесу за рахунок збільшення продуктивності та зменшення собівартості процесу.

**Результати.** Виконано дослідження технологічного процесу прокатки смуги гарячекатаної загального призначення, розміром 15 x 65 мм із квадратної сталевих заготовки 80 x 80 мм та запропоновано його удосконалення. Було досліджено і обрано обладнання, на якому можливо виготовити даний продукт. В якості такого обладнання було запропоновано безперервний багатоклітьовий прокатний стан ДС 250. Визначено його характеристики, розміри робочих валків, швидкість обробки, встановлено потрібну кількість робочих клітей та виявлено необхідну форму і розміри калібрів прокатних валків. Розрахунок калібрувань прокатних валків стану дозволяє виготовити виріб високої точності. За отриманими даними за допомогою системи САД «Компас 3D» v20 виробництва ТОВ «АСКОН – Системи проектування» було побудовано профілі розкатів та моделі калібрування валків, а також креслення перерізів, що допомогло обґрунтувати запропоновані режими обтиснення.

Розроблена технологія дозволила скоротити кількість проходів при виготовленні прямокутної смуги 65x15 з 13 до 8, що забезпечує зменшення часу на прокатування, збільшення продуктивності процесу, зниження собівартості виготовлення продукції.

**Ключові слова:** прокат, смуга гарячекатана, прокатний стан, режими обтиснення, робоча кліть, валки, калібрування, швидкісний режим, ребровий калібр

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-94-98

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Велика частина металовиробів виготовляється за допомогою прокатування. Прокатне виробництво потребує постійної модернізації та збільшення його ефективності, покращення якості продукції, зменшення собівартості. Актуальність роботи полягає у тому, що ефективність прокатного виробництва цілком залежить від продуктивності процесу, яка в свою чергу залежить від кількості проходів на прокатному стані, що впливає на час прокатування. Встановлення раціональних режимів обтиснення дозволяє зменшити кількість проходів при обробці, скоротити такт прокатування та збільшити продуктивність виробництва.

**Аналіз досліджень і публікацій** виявив, що прокатне виробництво постійно удосконалюється і розвивається за рахунок модернізації обладнання та збільшення його продуктивності, поліпшення якості продукції, що випускається, зменшення собівартості виробництва [1, 2, 3, 4]. Основними напрямками розвитку прокатного виробництва є: зменшення проценту браку; зниження енергоспоживання та викидів; підвищення якості та точності готового прокату; розширення сортаменту прокатних профілів; автоматизація виробництва з використанням мікропроцесорної техніки; використання систем моделювання процесів прокатки та систем САПР (САД, САМ, САЕ) [4].

Якщо на експорт ідуть переважно заготовки, то головна зацікавленість внутрішнього ринку – це готова прокатна продукція. За обсягом виробництва металопрокату та наявністю прокатних потужностей Україна знаходиться у десятці провідних металургійних держав. Загалом у галузі працює 67 прокатних станів.

Основні завдання при виготовленні готового прокату – це отримання прокату заданих розмірів і форми при мінімальних витратах, з заданими фізико-механічними властивостями і потрібним станом поверхні [5, 6]. Кількість операцій, що входить в технологічний процес залежить від вимог, що пропонується до точності та форми профілю, фізико-механічних властивостей, стану поверхні, структури матеріалу та фізико-механічних властивостей. Звичайно, прокатка як сортового так і листового матеріалу здійснюється за декілька проходів, число яких установлюється в залежності від співвідношення розмірів початкового і кінцевого профілів [7]. У кожному проході форма поперечного перерізу буде зменшуватися і поступово наближуватися до потрібного профілю [8].

В дослідженнях використовувалась прямокутна смуга зі сталюого матеріалу, яка є універсальним видом металопрокату і знаходить широке застосування в різних сферах: в будівництві, авіабудуванні, електроенергетиці, тощо [9]. Це ідеальний матеріал для виробництва металовиробів, гнутих профілів (швелерів, куточків), металоконструкцій, ріжучих інструментів (ножів, різців) а також ресор, гальмівних дисків, пружин (зокрема смуга 65Г). Прямокутна смуга зі спеціальної низьколегованої, фосфористої і вуглецевої сталі використовується для інструментального виробництва і в харчовій промисловості. Сталева смуга застосовується в архітектурі і в будівництві, як самостійний елемент і в поєднанні з кутовою сталлю, двотавровими балки, швелери, сталевими квадратами для спорудження несучих конструкцій, в якості декоративного оздоблення. Із сталевих штаби створюють огорожі, паркани, решітки. Використовується цей вид прокату і в меблевій промисловості, як декоративний елемент при створенні меблів і деталей інтер'єру [10]. Сталева смуга легко піддається оздобленню фарбами для металів і антикорозійними покриттями і буде довгий час зберігати міцність і естетичний зовнішній вигляд.

В даній роботі виконано удосконалення режимів обтиснень для виробництва смуги гарячекатаної загального призначення, що має розмір 65 x 15 мм (ГОСТ 103-2006) із сталевих квадратної заготовки 80 x 80 мм, що відноситься до категорії дрібносортового прокату.

**Постановка задачі** – удосконалити режими обтиснення для прокатування прямокутної смуги 65x16 для забезпечення збільшення продуктивності процесу.

Завдання наукової роботи: розробити технологічну схему та дослідити технологічний процес прокатки смуги гарячекатаної загального призначення 15x65 мм із квадратної сталевих заготовки 80 x 80 мм; визначити раціональні режими обтиснення і витрати енергії при виготовленні смуги; побудувати схему калібрувань.

**Викладення матеріалу та результати.** В роботі використовувалися розрахункові методи визначення режимів обтиснення за способом Чекмарєва А.П.[9], а також було виконано моделювання допомогою системи САД «Компас 3D» v20 виробництва ТОВ «АСКОН – Системи проектування».

В якості обладнання використовувався безперервний багатоклітьовий дрібносортовий прокатний стан ДС 250. Це обладнання у своєму складі має чорнові та чистові групи прокатних клітей. Чорнові прокатні валки мають систему калібрів: гладка бочка - ящиківий квадрат. Чистові складаються з циліндричних горизонтальних валків, передчистовий калібр – вертикальний, ребровий, який служить для вирівнювання бокових сторін смуги з метою отримання точної ширини.

Технологічний процес отримання прямокутної смуги 65x15 мм здійснюється за загальноприйнятою технологічною схемою прокатування смуги гарячекатаної загального призначення. Він складається з наступних операцій: підготування вихідного матеріалу до прокатування, видалення поверхневих дефектів. Підготовлені заготовки потрапляють на обладнання прокатного стану ДС 250, де спрямовуються на приймальні решітки печі, далі заготовка втягується в піч, де проходить нагрівання заготовки для гарячої прокатки, яка залежить від хімічного складу оброблюваного матеріалу; нагріта заготовка виштовхується з печі і подається на ножиці, де обрубуються передній кінець заготовки перед подачею в чорнову групу клітей; після проходження чорнкової клітей розкот подається в чистову групу клітей; після прокатки розкот відправляється на моталки типу Гаретта або ріжеться на мірні величини і подається на холодильник, де охолоджується до кімнатної температури; після охолодження готова продукція проходить контроль якості, маркується, обробляється консервантом та пакується, вирушає складу.

Поточність виробництва на прокатних станах створює сприятливі умови для автоматизації виробничого процесу. На дрібносортових прокатних станах 250 автоматизовано завантаження

заготовок у піч, тепловий режим нагрівання заготовок, обрізання переднього кінця розкату на ножицях після чорнової групи клітей, розкрий прокатої смуги на летючих ножицях, охолодження на холодильнику і т.д. На нових безперервних прокатних станах вводяться в експлуатацію комплексні автоматичні системи управління технологічним процесом, які оснащені електронними обчислювальними машинами. Ці системи забезпечують стабільність параметрів технологічного процесу прокатки, підвищується точність розмірів прокату, якість поверхні, покращуються механічні властивості готової продукції.

Було виконано розрахунок режимів обтиснення за методом Чекмарьова [9, 10], що дозволило визначити необхідну кількість проходів для отримання прямокутної смуги, яка має розміри 65×15 мм. Розрахунками було виявлено, що таку смугу можна отримати за 8 проходів, замість 13, які використовується зараз на підприємстві.

В дослідженнях було задіяно вісім робочих клітей прокатного стану ДС 250, де використовувалися прокатні валки, що мають розміри, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1  
Розміри валків у клітях [11]

№ кліті	Розміри валків	№ кліті	Розміри валків
№1	650 x 800 мм	№5	380 x 710 мм
№2	530 x 800 мм	№6	250 x 630 мм
№3	470 x 800 мм	№7	250 x 630 мм
№4	450 x 800 мм		

Таблиця 2  
Коефіцієнти зменшення висоти прямокутної смуги 65×15 мм [9, 10]

$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\eta_4$	$\eta_5$	$\eta_6$	$\eta_8$
1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,45	1,25

за формулою:  $\lambda = F_0/F_k$ , де  $F_0, F_k$  - відповідно початкова та кінцева площа поперечного перерізу смуги. Коефіцієнт витяжки було розподілене за проходками (табл. 3). Було визначено швидкісний режим прокатування [12, 14]. В таблиці 3 наведено результати дослідження режимів обтиснення при виготовленні прямокутної смуги 65×15 мм.

Таблиця 3

Результати дослідження

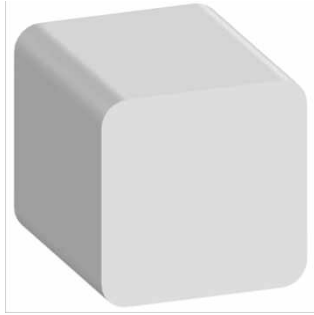
Група клітей	Номер калібру	Розміри смуги			Коефіцієнт витяжки	Обтиснення, мм	Уширення, мм	Оберти валків, об/хв	Швидкість, м/с	Кут захоплення	Форма калібру
		товщина, мм	ширина, мм	площа, мм <sup>2</sup>							
Заготовка 80×80											
Чорнова	1	61	80/86	4900	1,3	19	6	115	3,51	20	Ящик
	2	64,5	60/69	4100	1,19	21,5	8	149	4,5	22	Ящик
	3	62,86	61	3834	1,06	1,5	-	284	6,6	10,1	Ящик
Чистова	4	41,93	66,27	2777	1,38	20,95	5,27	513	6,71	33	Гладкий
	5	27,94	72,06	2013	1,38	13,97	5,79	921	12,05	19,3	Гладкий
	6	18,63	76,24	1420	1,42	9,45	4,19	1045	13,76	15,8	Гладкий
	7	19,09	64,8	1237	1,14	11,45	0,46	1222	15,99	20,9	Ребровий
	8	15,27	66,05	1009	1,23	3,85	1,65	1529	20,0	10,0	Гладкий
Готова продукція 65×15											

За отриманими даними за допомогою системи САД «Компас 3D» v20 виробництва ТОВ «АСКОН – Системи проектування» було побудовано профілі розкатів та моделі калібрування валків, а також креслення перерізів. Використання такої системи моделювання дозволило прослідкувати зміну форми та розмірів розкатів при використанні заданих режимів обтиснення, обґрунтувати раціональність використання таких режимів обробки при виготовленні прямокутної смуги загального призначення, яка має розміри 65×15 мм.

Отримані моделі представлені на рис. 1-3.

На рис.1 зображено відрізи заготовки 80×80 мм та готового виробу смуги 15×65 мм. На рис. 2 показано форму розкату та калібрування прокатних валків після першого проходу на прокатному стані.

а)

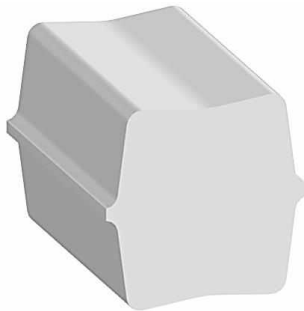


б)



Рис. 1. Сталева заготовка 80 x 80 мм (а) та готовий виріб - смуга 15×65 мм (б)

а)



б)

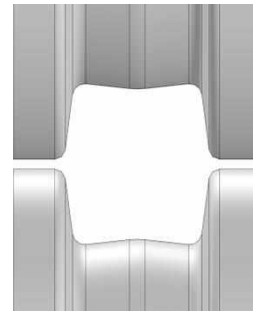


Рис. 2. Форма розкату після проходу першої кліті (а) та калібрування валків (б)

Рисунок 2 ілюструє форму першого чорнового калібру і форму отриманого розкату на виході з цього калібру, де видно, що потрібно виконати вирівнювання отриманого виробу з боків.

На рис. 3 зображено розкат після ребрової предчистової кліті, яка вирівнює краї виробу.

а)



б)

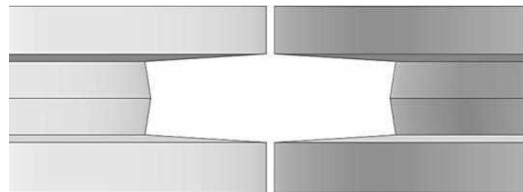


Рис. 3. Форма розкату після проходу ребрової кліті (а) та калібрування гладких валків (б)

Таким чином, завдяки моделюванню профілів отриманих розкатів допомогою системи САД «Компас 3D» v20, було обґрунтовано можливість використання пропонуємих режимів обтиснення для виготовлення прямокутної смуги 65×15.

**Висновки і подальший напрямок дослідження.** В роботі досліджено технологічний процес прокатки смуги гарячекатаної загального призначення 15×65 мм із квадратної сталеві заготовки 80×80 мм. Було і обрано обладнання, на якому можливо виготовити даний продукт. З таким завданням впорається безперервний багатоклітьовий прокатний стан ДС 250. Також було розраховано його параметри та показано принцип його дії. Розрахунок калібрування прокатних валків стану дозволяє виготовити виріб високої точності.

За отриманими даними за допомогою системи САД «Компас 3D» v20 виробництва ТОВ «АСКОН – Системи проектування» було побудувати профілі розкатів та моделі калібрування валків, а також креслення перерізів. Розроблена технологія дозволила скоротити кількість проходів при виготовленні прямокутної смуги 65×15 з 13 до 8. В подальшому потрібно виконати таке ж моделювання в умовах холодного прокатування для отримання тонколистової сталі.

#### Список літератури

1. **Зотов В.Ф.** Производство проката. [Електронний ресурс]: Классификация и типы прокатных станов. - © MarkMet 2005-2021 г. - [https://markmet.ru/tehnologiya\\_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stantov](https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stantov).
2. **Ільїн Артем.** Металоторговий портал «Металіка». [Електронний ресурс]: Прокатний потенціал. - © 2004-2021 р. Видавництво «Металіка» - <https://www.metalika.ua>.

3. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали [Уч. для вузов] / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
4. Математическое описание непрерывного стана горячей прокатки как объекта системы автоматического управления/ Ю.Г. Самборский, В.Г. Файнштейн // Вісник Криворізького національного університету – Випуск 37. – 2014. – с. 104-107.
5. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О.Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни Технологія процесів ОМТ: Основи калібровки валків для студентів напряму 6.050401 — Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання / М.М. Штода – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016 р. – 88 с.
7. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: Монографія. – Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2010. – 404 с.
8. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія прокатного виробництва: Навчальний посібник – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. – 170 с.
9. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для ВУЗов / Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. – М.: Металлургия, 1971 г. – 512 с.
10. Технологія прокатного виробництва: Учебник для ВУЗов / Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. – М.: Металлургия, 1994 г. – 656 с.
11. Королёв А.А. Механическое оборудование прокатных станов/ Королёв А.А. – М.: Металлургия, 1975 – 548 с.
12. Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування/ М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, А. Шепель, В. Чубенко //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013 р. – № 43. – С. 36 – 41.
13. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні/ М.М. Бережний, Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Глінкін А.// Вісник Криворізького технічного університету– Випуск 30. – 2012. – с. 171– 174.
14. Енергетичний баланс та реологічні властивості осередку деформації при прокатуванні штаби гладкими валками. Монографія / Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А. – Кривий Ріг: Діоніс. – 2011. – 120 с.
15. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія процесів обробки металів тиском: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2020 р. – 206 с

Рукопис подано до редакції 16.03.2022

УДК 691.32

Н. В. АСТАХОВА, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВОВАНИХ ВІДХОДІВ ГЗК

Бетони, що використовуються для ремонту будівельних конструкцій, повинні мати високу швидкість формування фізико-механічних властивостей. Крім того, в процесі виготовлення, твердіння та експлуатації в бетоні відбуваються об'ємні зміни, виникають деформації матеріалу. Їх величина залежить від властивостей складових бетону, його структури, особливостей технології та інших факторів. Деформативні властивості бетону враховуються при проектуванні конструкцій, і вони здійснюють великий вплив на якість та довговічність бетонних та залізобетонних споруд.

**Мета.** Отримання цементного каменю зі зниженими деформативними властивостями під дією навантаження, шляхом модифікації його структури активованим наповнювачем з відходів ГЗК.

**Методи дослідження.** У якості основних методів досліджень використані руйнівні методи оцінки міцності при стиску стандартних зразків.

**Наукова новизна.** Експериментально підтверджена можливість модифікації властивостей портландцементу введенням до його складу активованого наповнювача з відходів ГЗК і водного колоїдного розчину з залізовмісними комплексами, що призводить до утворення меншої кількості гелю та більшої кількості кристалічних новоутворень в продуктах гідратації цементу, призводить до зниження деформативних властивостей цементного каменю під дією навантаження.

**Практичне значення.** Отриманий цементний камінь, який володіє підвищеною швидкістю формування деформативних властивостей, за рахунок введення до його складу активованого наповнювача з відходів ГЗК і водного колоїдного розчину з залізовмісними комплексами, що розширює сировинну базу будівельних матеріалів, знижує вартість будівельних виробів та конструкцій та скорочує витрати на ремонт будівель та споруд.

**Результати.** На основі виконаних досліджень було виявлено, що введення активованого наповнювача з відходів ГЗК в кількості 20 % та водного колоїдного розчину з залізовмісними комплексами в кількості 0,5 % від маси цементу, призводить до зниження деформативних властивостей цементного каменю під дією навантаження. При цьому швидкість формування деформативних властивостей даного цементного каменю вища в порівнянні з бездобавочним.

**Ключові слова:** відходи ГЗК, водний колоїдний розчин з залізовмісними комплексами, деформації усадки цементного каменю.