https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-285-298
УДК 621.771.065:658.512:681.5

М. Ю. Кузьменко, к.т.н., ORCID 0000-0002-1989-242X
О. П. Єгоров, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-9867-0437
М. О. Рибальченко, к.т.н., доц., ORCID 0000-0001-5162-5201

Український державний університет науки і технологій

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ РОЗКРОЮ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДРІБНОСОРТНОГО ПРОКАТУ В СТРИЖНЯХ

Анотація. Метою роботи є аналіз ефективності способів розкрою заготовок на безперервних заготовочних станах (БЗС) при виробництві сортового металопрокату в стрижнях. Практично 100 % замовлень на дрібносортний прокат у стрижнях припадає на мірний прокат, у той час як реальний вихід мірного прокату з прокатного стана становить 95-98 %, а решта припадає на немірний прокат. На заключному етапі прокатного виробництва втрати металу виникають також через наднормативну технологічну обрізь під час розкрою прокату. Виникають економічні втрати, що пов'язані з реалізацією пачок немірних стрижнів за меншою вартістю. Аналіз численних досліджень та наукових публікацій дозволив сформулювати задачу винайдення таких стратегій та алгоритмів розкрою, що забезпечують мінімізацію обрізі готового прокату завдяки узгодженому керуванню безперервними заготовочними станами (БЗС) та безперервними дрібносортними станами (БДС). Показано, що на заключному етапі виробництва товарної продукції на безперервних прокатних станах виникають втрати металу за рахунок немірних залишків і наднормативної обрізі, яка виникає, з одного боку, внаслідок того, що довжина заготовки, яка подається на вхід прокатного стана не є кратною готовому мірному профілю, а з іншого – через особливості обладнання прокатних станів, що реалізують операції розкрою. В роботі показано, що вибір способів розкрою металопрокату є багатокритеріальною задачею. Проведено аналіз граничних відхилень геометричних розмірів заготовок та дрібносортного прокату. На основі проведених розрахунків показано, що одночасне забезпечення економічного критерію та критерію максимального виходу мірного стрижневого прокату можливе лише при виробництві арматурних профілів більших за №14, а при виробництві дрібніших профілів слід використовувати критерій максимального заповнення холодильника. Показано, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним є спосіб розкрою прокату з обрубанням немірної частини. Отримані дані можуть використовуватися для побудови розкрійних планів при виробництві товарного металопрокату.

Ключові слова: прокатний стан, заготовка, дрібносортний прокат, розкрій, критерій, довжина заготовки.

Посилання для цитування: Кузьменко М. Ю., Єгоров О. П., Рибальченко М. О. Аналіз ефективності способів розкрою заготовок при

виробництві дрібносортного прокату в стрижнях. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії.* 2022. Вип. 36. С. 285-298 DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-285-298.

Стан проблеми. На дрібносортний прокат у стрижнях практично 100 % замовлень припадає на мірний прокат, у той час як реальний вихід мірного прокату з прокатного стана становить 95-98 %,. Решта припадає на немірний прокат, який реалізується за зниженою ціною. На заключному етапі прокатного виробництва при отриманні товарної продукції на безперервних прокатних станах втрати металу виникають через наднормативну технологічну обрізь під час розкрою прокату. До цих втрат додаються економічні втрати, що пов'язані з реалізацією пачок немірних стрижнів за меншою вартістю. Аналіз численних досліджень та наукових публікацій щодо систем автоматичного керування розкроєм металопрокату дозволив сформулювати задачу винайдення таких стратегій та алгоритмів розкрою, що забезпечують мінімізацію обрізі готового прокату завдяки узгодженому керуванню безперервними заготовочними станами (БЗС) та безперервними дрібносортними станами (БДС).

Мета роботи: Виконати аналіз ефективності способів розкрою заготовок на безперервних заготовочних станах (БЗС) при виробництві сортового металопрокату в стрижнях.

Основні результати дослідження.

Заготовка є основою для виробництва товарного металопрокату. У процесі її виробництва однією з основних операцій є операція розкрою прокатної штанги на заготовки.

Під час розкрою прокатної штанги на заготовки, які призначені для подальшої прокатки на безперервному дрібносортному стані (БДС), для покращення техніко-економічних показників роботи прокатного виробництва, що охоплюють ланцюжок Блюмінг – БЗС – БДС, має забезпечуватись дотримання таких критеріїв [1]:

- максимальної продуктивності стана

$$Z = \sum_{1}^{n_{\text{прт_з}}} l_{\text{прт}(i)} \Rightarrow \max, \quad (1)$$

де $n_{\text{прт_з}}$ – кількість прутків заданої довжини; $l_{\text{прт}(i)}$ – довжина i-го прутка з багатьох відрізків заданої довжини;

- максимального виходу мірного прокату

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n} l_{\text{м}} \bullet n_{\text{м},i} \Rightarrow \max, \quad (2)$$

де $l_{\text{м}}$ - мірна довжина (за умовами замовлення); $n_{\text{м},i}$ - кількість мірних

стрижнів в *i*-тій пачці.

- мінімізації економічних втрат від розкрою на БЗС (при обмеженнях довжини заготовки $L_{\min} \le L_з(i) \le L_{\max}$, маси заготовки $P_{\min} \le P_з(i) \le P_{\max}$) та БДС (при обмеженнях довжини прутка на холодильнику $l_{\min} \le l_{тп}(i) \le l_{\max}$, маси прутка $P_{пр_min} \le P_{пр}(i) \le P_{пр_max}$):

$$Q = a_1 \cdot [L_{шт}^{нзс}(n) - \sum_{i=1}^{m} L_з(i)] + a_2 \cdot [l_р^{мс}(i) - \sum_{r=1}^{R} l_{прт}(r)] + a_3 \cdot [\sum_{r=1}^{R} l_{прт}(r) - \sum_{s=1}^{S} l_{ст}(s)] \to \min, \quad (3)$$

де Q – очікувані втрати, віднесені до однієї прокатної штанги БЗС при прокатці певного профілерозміру готового прокату, грн; a_1, a_2, a_3 – собівартість одного кілограма обрізі заготовки, прокату, прутка, грн.; $L_{шт}^{нзс}(n)$ – довжина штанги БЗС за n-м планом, який призначений для отримання заготовок, що передаються дрібносортному стану, м; $L_з(i)$ – довжина і-ої заготовки БЗС, м; $l_р^{мс}(i)$ – загальна довжина прокату на виході з останньої кліті дрібносортного стана, м; $l_{прт}(r)$ – довжина прутка на холодильнику дрібносортного стана, м; $l_{ст}(s)$ – довжина мірного стрижня з прутка, м; m – кількість заготовок з прокату БЗС, шт; R – кількість прутків після розкрою прокату на виході з останньої кліті дрібносортного стана, шт.; S – кількість мірних стрижнів, які отримані після розкрою прутків з прокату, шт.

З огляду на багатокритеріальність задачі, проведемо дослідження закономірностей, що лежать в основі ефективності розкрою прокатної штанги на заготовки.

Втрати на виробництво заготовки становлять 90% в собівартості товарного прокату [2]. Тому розкрій на БЗС відіграє важливу роль у формуванні техніко-економічних показників виробництва товарного сортового металопрокату.

Завдання розкрою прокатної штанги на БЗС за критеріями (2) і (3) передбачає визначення довжини заготовки, виходячи з максимальної ймовірності $\widetilde{P}(N_{пр_мер})$ виходу максимальної кількості прутків, довжина яких є кратною мірній довжині:

$$\widetilde{P}(N_{пр_мер}) \to \max. \quad (4)$$

У разі рівномірного розкрою штанги максимальна кількість заготовок визначається як:

$$N_{з_равн} = \left]\frac{L_{шт}}{L_з}\right[\text{ при } (L_{з_min} < L_з < L_{з_max}), \quad (5)$$

де $L_{шт}$ – довжина прокатної штанги; $L_з$ – початкова довжина заготовки з діапазону допустимих довжин $L_{з_min} < L_з < L_{з_max}$;] [– операція виділення більшого цілого числа заготовок.

При виробництві заготовок на експорт такий розкрій є найбільш ефективним за критерієм максимальної вартості заготовок:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{N_{\text{отр}}} C_i \cdot l_i \Rightarrow \max, \tag{6}$$

де $N_{\text{отр}}$ – загальна кількість заготовок, отриманих після розкрою прокатної штанги; l_i – довжина і-тої заготовки; C_i – питома вартість заготовки довжиною l_i.

В даному випадку виконується тільки один критерій мінімізації відходів придатного металу на БЗС, і не виконуються критерії (3).

З огляду на статистичні дані про достатньо щільний зв'язок між масою заготовки і довжиною розкату, для виробництва сортового прокату розкрійний план на БЗС повинен ґрунтуватися на інформації про масу прокатної штанги (коефіцієнті погонного метра) [1].

З огляду на це, максимальна кількість прутків, які будуть отримані після прокатки заготовки довжиною $L_з$ і масою $P_з$ на сортовому стані визначимо як:

$$n_{\text{пр_max}} = [\frac{P_з}{P_{\text{пр}}}] + \Delta O_{\text{пр}}, \tag{7}$$

де $P_{\text{пр}}$ - маса прутка заданого профілю на дрібносортному стані при ($P_{\text{пр_min}} < P_{\text{пр}} < P_{\text{пр_max}}$); $\Delta O_{\text{пр}}$ - залишок від ділення; [ ] – операція виділення меншого цілого числа прутків. Маса прутка $P_{\text{пр}}$ заданого профілю на сортовому стані обирається, виходячи з критерію (1) або (2). У разі критерію (2) масу прутка вибирають з умови кратності масі мірного стрижня, а при (1) – максимальної довжини відрізуваних прутків з урахуванням параметрів технологічного обладнання вихідного боку прокатного стану (довжини холодильника).

У разі неефективного розкрою штанги на БЗС, довжина останнього прутка $l_{\text{пр_п}}$ на БДС після прокатки заготовки довжиною $L_з$ та масою $P_з$ буде відмінна і меншою від інших. Мінімальна довжина прутка, що буде викроєна з і-го прокату, обмежується за умовою мінімально допустимою довжиною прокату, прийнятого холодильником. З огляду на (2) кількість мірних стрижнів $n_{\text{с_}l_{\text{пр_п}}}$ і залишку $\Delta O_{\text{с}}$ при порізці останнього прутка складе:

$$n_{\text{с_}l_{\text{пр_п}}} = \frac{\Delta O_{\text{пр}} \bullet P_{\text{пр}}}{P_{\text{с}}} + \Delta O_{\text{с}}, \tag{8}$$

де $P_{\text{с}}$ – маса мірного стрижня замовленої довжини $l_{\text{с}}$ на сортовому стані; $\Delta O_{\text{с}}$ – залишок на останньому різу прутка $l_{\text{пр_п}}$.

Для розкрою прокатної штанги довжина заготовки повинна бути скоригована з таким розрахунком, що останній пруток буде розрізано на стрижні тільки мірної довжини.

З цією метою довжина заготовки $L_{\text{з}}^{\text{опт}}$ буде визначена з виразу:

$$L_{\text{з}}^{\text{опт}} = \frac{P_{\text{з}}^{\text{опт}} \bullet L_{\text{з}}}{P_{\text{з}}}, \tag{9}$$

де $P_{\text{з}}^{\text{опт}} = P_{\text{з}} - P_{\Delta O_{\text{с}}}$ – оптимальна маса заготовки, звідки $P_{\Delta O_{\text{с}}} = \Delta O_{\text{с}} \bullet P_{\text{с}}$ – маса немірного стрижня на останньому різу прутка $l_{\text{пр_п}}$.

Оскільки довжина заготовки $L_{\text{з}}$ згідно з критерієм (2) буде змінена до $L_{\text{з}}^{\text{опт}}$, і для виключення залишку після прокатки заготовки в чистовій групі, необхідно так само мінімізувати критерій (3). З цією метою $n_{\Delta O_{\text{с}}}$ штук заготовкам довжиною $L_{\text{з}}^{\text{опт}}$ необхідно додати збільшення довжини на величину:

$$\Delta L_{\Delta O_{\text{с}}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{з_пм}}}, \tag{10}$$

де $P_{\text{з_пм}}$ – маса погонного метра заготовки.

Кількість заготовок, довжина яких буде збільшена на $\Delta L_{\Delta O_{\text{с}}}$ визначимо з рівняння:

$$n_{\Delta O_{\text{с}}} = [\frac{P_{\Delta O_{\text{с}}} \bullet N_{\text{з_max}}}{P_{\text{с}}}] \cdot \tag{11}$$

Як показують розрахунки, кількість відходів придатного металу в обрізь при рівномірному розкрою досягають130 кг, що становить 1,7% початкової маси зливка (рис. 1). У разі застосування наскрізного розкрою на БЗС, відходи придатного металу у вигляді обрізків придатного металу при виробництві мірного прокату значно знижуються і становлять до 12 кг, або 0,16% зливка. Однак слід зазначити, що в сьогоднішніх умовах на наявному обладнанні для виробництва металопрокату не вдається отримати заготовки суворо замовленої довжини і маси.

З огляду на вищевикладене є необхідним визначення границь ефективності наскрізного розкрою на БЗС. Для арматурного прокату відповідно до [4, 5] регламентовані граничні відхилення по масі одного метра гладкого і періодичного профілю (таблиця 1).

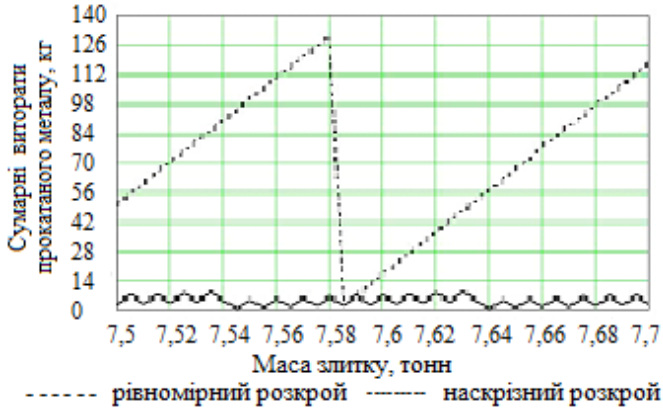

Рисунок 1 – Діаграма залежності сумарних втрат придатного металу в обріз від маси прокату при рівномірному і наскрізному розкрою на БЗС і БДС.

Таблиця 1 - Номери профілів, маса 1 метра довжини арматурної сталі гладкого і періодичного профілю, граничні відхилення по масі.

Номер профілю	Маса 1 м профілю	
	Номінальна, кг	Граничні відхилення, %
№6	0,222	-7,0/+9,0
№8	0,395	
№10	0,617	-6,0/+5,0
№12	0,888	
№14	1,21	
№16	1,58	-5,0/+3,0
№18	2	
№20	2,47	
№22	2,98	
№25	3,85	

Номер профілю	Маса 1 м профілю	
	Номінальна, кг	Граничні відхилення, %
№28	4,83	-5,0/+3,0
№32	6,31	-4,0/+3,0
№36	7,99	
№40	9,87	
№45	12,48	
№50	15,41	-4,0/+2,0
№55	18,65	
№60	22,19	
№70	30,21	
№80	39,46	

За експериментальними даними проведена оцінка математичного очікування відхилення довжин заготовок в пакеті при розкрою прокатної штанги, яке становить $M[\Delta L_з]=0{,}15$ м. При зміні перетину заготовки в полі допуску від зміни температури заготовки по її довжині, режимів прокатки на БЗС відхилення маси окремих заготовок в пакеті складає $\Delta G_{з\text{пак}_i} = 7{,}16 \ldots 8{,}10$ кг. Різна довжина окремих заготовок (маса) в пакеті впливає на загальну довжину розкату на виході БДС при прокатці заготовки. При різці такого розкату на прутки буде забезпечено

відхилення довжини останнього прутка в декілька мірних стрижнів при виробництві дрібносортної продукції (арматура №6-10).

Якщо прийняти мінімальну $l_{\text{прт_min}} = 65м$ і максимальну $l_{\text{прт_max}} = 110м$ довжину прутків на холодильнику, можемо визначити загальну зміну маси прутка в полі допуску (таб. 2).

З аналізу даних таблиці 1 та таблиці 2 випливає, що ефективність розкрою обмежується можливістю компенсувати похибку розкрою прокатної штанги зміною перетину прокату в полі допуску на виході з останньої кліті БДС (рис. 2).

Рисунок 2 – До визначення області вигідності способів розкрою
1 - обмеження ефективності наскрізного способу розкрою; 2 - варіація маси прутка максимальної довжини (110 м) в полі допуску; 3 - варіація маси прутка мінімальної довжини (65 м) в полі допуску.

Таким чином, в умовах застосування наявного у теперішній час на БЗС устаткування та технології прокатки розкрій із забезпеченням критеріїв (2) та (3) можна вважати ефективним лише при виробництві арматурних профілів крупніших за №14. В іншому випадку для збільшення продуктивності стану і покращення його техніко-економічних показників слід використовувати критерій (1).

Як вихідні дані прийняті:

– максимальна довжина прутків на холодильнику $l_{\text{x_max}}$;

– мінімальна довжина прутка на холодильнику $l_{\text{x_min}}$;

– мінімальна довжина немірного залишку в прутку $\Delta l_{\text{ост_пр_min}}$;

– діаметр прокату $d_{\text{п}}$;

– початкова (мінімальна) довжина заготовки $L_{\text{з_min}}$;

Таблиця 2 – Номер профілю, граничні відхилення по масі арматурної сталі гладкого і періодичного профілю в залежності від довжини прутка.

Профіль	Номінальна вага 1 м.п., кг	Мінімально допустима вага 1 м.п., кг	Максимально допустима вага 1 м.п., кг	Мінімально допустима вага прутка при $l_{пр}$=65м кг	Максимально допустима вага прутка при $l_{пр}$=65м, кг	Варіація маси прутка $l_{пр}$=65м в полі допуску, кг	Мінімально допустима вага прутка при $l_{пр}$=110м, кг	Максимально допустима вага прутка при $l_{пр}$=110м, кг	Варіація маси прутка $l_{пр}$=110м в полі допуску, кг
№6	0,222	0,21	0,24	13,42	15,73	2,31	22,71	26,62	3,91
№8	0,395	0,37	0,43	23,88	27,99	4,11	40,41	47,36	6,95
№10	0,617	0,58	0,65	37,70	42,11	4,41	63,80	71,26	7,47
№12	0,888	0,83	0,93	54,26	60,61	6,35	91,82	102,56	10,74
№14	1,21	1,14	1,27	73,93	82,58	8,65	125,11	139,76	14,64
№16	1,58	1,50	1,63	97,57	105,78	8,22	165,11	179,01	13,90
№18	2	1,90	2,06	123,50	133,90	10,40	209,00	226,60	17,60
№20	2,47	2,35	2,54	152,52	165,37	12,84	258,12	279,85	21,74
№22	2,98	2,83	3,07	184,02	199,51	15,50	311,41	337,63	26,22
№25	3,85	3,66	3,97	237,74	257,76	20,02	402,33	436,21	33,88
№28	4,83	4,59	4,97	298,25	323,37	25,12	504,74	547,24	42,50
№32	6,31	6,06	6,50	393,74	422,45	28,71	666,34	714,92	48,59
№36	7,99	7,67	8,23	498,58	534,93	36,35	843,74	905,27	61,52
№40	9,87	9,48	10,17	615,89	660,80	44,91	1042,27	1118,27	76,00

– кінцева (максимальна) довжина заготовки $L_{з_max}$;

– розмір сторони поперечного перетину квадратної заготовки $L_{с_з}$;

– крок по довжині заготовки $\Delta L_з$;

– мірна довжина мірного стрижня $l_{с_м}$;

– мінімальна довжина немірного стрижня $l_{с_нм_min}$.

Математична модель рівномірного способу розкрою.
Визначаємо довжину прутка:

$$l_{пр} = \frac{l_п}{n_{пр_min}} . \quad (12)$$

Визначаємо кількість мірних стрижнів в прутку – $K_м$:

$$K_{\text{м}} = \left[\frac{l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}}}{l_{\text{с_м}}} \right] \cdot n_{\text{пр_min}} . \quad (13)$$

Визначаємо немірний залишок в прутку $l_{\text{с_нм}}$:

$$l_{\text{с_нм}} = l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}} - \frac{K_{\text{м}}}{n_{\text{пр_min}}} \cdot l_{\text{с_м}} . \quad (14)$$

Перевіряємо умову $l_{\text{с_нм}} < l_{\text{с_нм_min}}$. Якщо вона виконується, то $l_{\text{с_нм}} = 0$.

Визначаємо сумарну довжину мірних стрижнів – $l_{\text{п_м}}$, немірних стрижнів – $l_{\text{п_нм}}$ та коротких стрижнів (обрізків) – $l_{\text{п_к}}$ в прокаті:

$$l_{\text{п_м}} = K_{\text{м}} \cdot l_{\text{с_м}}, \quad (15)$$

$$l_{\text{п_нм}} = l_{\text{с_нм}} \cdot n_{\text{пр_min}} , \quad (16)$$

$$l_{\text{п_к}} = l_{\text{п}} - l_{\text{п_м}} - l_{\text{п_нм}} . \quad (17)$$

Визначаємо довжину прокату, покладеного на холодильник – $l_{\text{п_хх}}$:

$$l_{\text{п_хх}} = l_{\text{п}} . \quad (18)$$

Визначаємо кількість прутків, на які ділиться прокат:

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_min}} . \quad (19)$$

Визначаємо максимальну $l_{\text{пр_max}}$ та мінімальну $l_{\text{пр_min}}$ довжину прутків, на які ділиться прокат: $l_{\text{пр_max}} = l_{\text{пр}}$ та $l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр}}$, відповідно.

Математична модель розкрою за уставкою на крат з обрубанням немірної частки заготовки.

Розраховуємо довжину залишкового прутка $l_{\text{пр_ост}}$:

$$l_{\text{пр_ост}} = l_{\text{п}} - n_{\text{пр_м}} \cdot l_{\text{пр_м_max}} . \quad (20)$$

Визначаємо максимальну довжину прутка $l_{\text{пр_max}}$:

$$l_{\text{пр_max}} = l_{\text{пр_м_max}} . \quad (21)$$

Перевіряємо довжину залишкового прутка. Якщо $l_{\text{пр_ост}} < l_{\text{х_min}}$, то рубаємо залишок і визначаємо послідовно такі параметри:

– загальну кількість мірних стрижнів, які викроюють з прокату:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{пр_м_max}} \cdot n_{\text{пр_м}} ; \quad (22)$$

– загальну кількість прутків, які викроюють з прокату:

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_м}} ; \quad (23)$$

– довжину прокату, покладену на холодильник:

$$l_{\text{п_хх}} = l_{\text{п}} - l_{\text{пр_ост}}; \quad (24)$$

– сумарну довжину мірних стрижнів в прокаті :

$$l_{\text{п_м}} = K_{\text{м}} \cdot l_{\text{с_м}}; \quad (25)$$

– сумарну довжину немірних стрижнів:

$$l_{\text{п_нм}} = 0; \quad (26)$$

– сумарну довжину коротких стрижнів (обрізі):

$$l_{\text{п_к}} = l_{\text{п}} - l_{\text{п_м}}; \quad (27)$$

– мінімальну довжину прутка, на які ділиться прокат:

$$l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр_м_max}}. \quad (28)$$

Якщо $l_{\text{пр_ост}} \geq l_{\text{х_min}}$, то визначаємо:

– кількість мірних стрижнів в залишковому прутку:

$$K_{\text{пр_м_ост}} = \left[\frac{l_{\text{пр_ост}} - \Delta l_{\text{ост_пр_min}}}{l_{\text{с_м}}} \right]; \quad (29)$$

– загальну кількість мірних стрижнів, які викроюють з прокату:

$$K_{\text{м}} = n_{\text{пр_м}} \cdot K_{\text{пр_м_max}} + K_{\text{пр_м_ост}}; \quad (30)$$

– загальну кількість прутків, які викроюють з прокату:

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{пр_м}} + 1; \quad (31)$$

– довжину прокату, покладеного на холодильник:

$$l_{\text{п_хх}} = l_{\text{п}}; \quad (32)$$

– сумарну довжину мірних стрижнів в прокаті:

$$l_{\text{п_м}} = K_{\text{м}} \cdot l_{\text{с_м}}; \quad (33)$$

– довжину немірна стрижня в залишку і, що те саме, сумарну довжину немірних стрижнів:

$$l_{\text{п_нм}} = l_{\text{пр_ост}} - \Delta l_{\text{ост пр_min}} - K_{\text{пр_м_ост}} \cdot l_{\text{с_м}}; \quad (34)$$

– сумарну довжину коротких стрижнів (обрізі):

$$l_{\text{п_к}} = l_{\text{п}} - l_{\text{п_м}} - l_{\text{п_нм}}; \quad (35)$$

– мінімальну довжину прутків, на які ділиться прокат:

$$l_{\text{пр_min}} = l_{\text{пр_ост}}. \quad (36)$$

Коефіцієнт виходу міри для прокату однієї заготовки $k_{\text{м_п}}$ визначається як :

$$k_{\text{м_п}} = \frac{l_{\text{п_м}}}{l_{\text{п}}}. \quad (37)$$

Коефіцієнт заповнення для прокату однієї заготовки $k_{з_п}$ визначається:

$$k_{з_п} = \frac{l_{п_хх}}{l_{х_max} \cdot n_{пр}} \cdot \quad (38)$$

Результати моделювання рівномірного способу розкрою і розкрою з обрубкою немірної частини для профілю № 10 наведені на рис. 3.

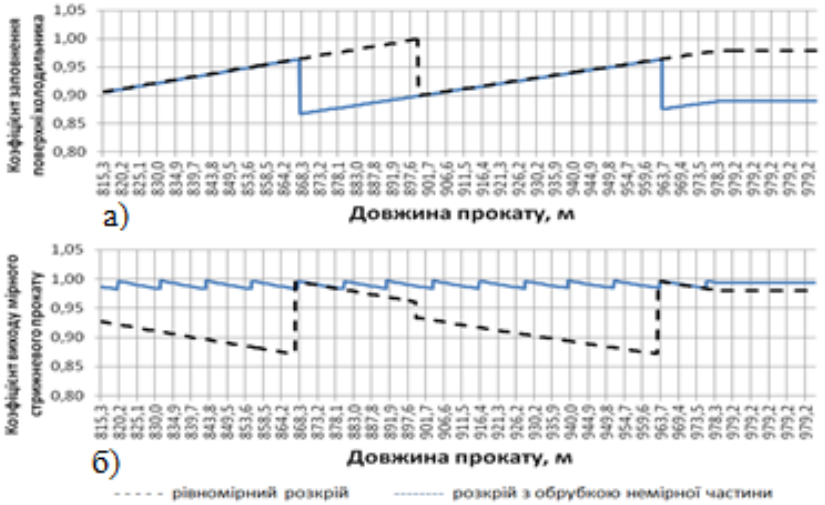

Рисунок 3 - Результати моделювання рівномірного і запропонованого способу розкрою для профілю № 10: а – коефіцієнт заповнення для прокату однієї заготовки $k_{з_п}$; б – коефіцієнт виходу міри для прокату однієї заготовки $k_{м_п}$.

На підставі результатів аналізу отриманих даних можна зробити висновок, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним виявляється спосіб розкрою розкату з обрубанням немірної частини. У порівнянні двох способів розкрою (рівномірного і з обрубанням немірної частини) видно, що найбільший вихід мірного прокату утворюється при використанні останнього способу. Незважаючи на це, продуктивність стану знижується внаслідок зменшення заповнення настилу холодильника.

У разі застосування рівномірного способу розкрою забезпечується більш висока продуктивність стану. При великих профілях товарного металопрокату з'являється зв'язок довжини розкату з масою вихідної заготовки. І в першому, і в другому випадку маса заготовки є основною, тільки в разі виробництва великих профілів вона більша за рахунок

виходу мірного прокату, а в другому – за більш повне заповнення холодильника і за більш ритмічну роботу вихідної сторони і, загалом, за рахунок підвищення продуктивності стану.

Висновки

На підставі аналізу граничних відхилень геометричних розмірів заготовки та дрібносортного прокату виявлено, що в умовах використання наявного технологічного устаткування реалізація розкрою на БЗС з одночасним забезпеченням економічного критерію та критерію максимального виходу мірного прокату можливо лише при виробництві арматурних профілів не менше №14, а при виробництві більш дрібних профілів належить використовувати критерій максимального заповнення холодильника. На підставі аналізу результатів математичного моделювання розкрою прокату з раціональної заготовки встановлено, що при виробництві дрібносортних профілів найбільш ефективним виявляється спосіб розкрою прокату з обрубанням немірної частини.

Перелік посилань

1. Технико-экономические показатели производства мелкосортного проката в стержнях как целевая функция управления. / А. С. Бешта, А. П. Егоров, О. А. Бойко, М. Ю. Кузьменко, А. С. Соколова. *Теория и практика металлургии.* 2013. № 3. С. 57-61.
2. Куваєв В. М. Розвиток наукових основ автоматизації процесів виробництва арматурного прокату: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.07 / Національний гірничий університет : Дніпропетровськ, 2007.35 с.
3. Бешта А. С., Кузьменко М. Ю., Бойко О. А., Соколова А. С.. Оптимальный раскрой длинномерного проката на прокат товарной длины. *Науковий вісник НГУ.* 2014. № 2. С. 76-85.
4. Арматурный прокат для железобетонных конструкций. Справочник-каталог. / О. В. Дубина, Ю. Т. Худик, В. И. Большаков и др. Днепропетровск: НИИИММ, 2000. 88 с.
5. Хорольский Д. Ю., Каныгин С. Л. Справочник по сортовому прокату. Х. : Металлика, 2011. 416 с.
6. Спосіб управління розкроєм прокату на безперервному дрібносортному стані: пат. на винахід 107908. №a201406350; заяв. 10.06.2014; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.

References

1. Technical and economic indicators of the production of small-section rolled products in rods as an objective control function / A. S. Beshta, A. P. Egorov, O. A. Boyko, M. Yu. Kuzmenko, A. S. Sokolova // *Theory and practice of metallurgy*. 2013. No 3. P. 57-61.
2. Kuvaev V. M. Development of the scientific foundations of automation of processes for the production of reinforcing steel: abstract of the thesis. dis. Dr. tech. sciences: 05.13.07 / Dnipropetrovsk : National Girnichiy University, 2007. 35 p.

3. Beshta A. S., Kuzmenko M. Yu., Boyko O. A., Sokolova A. S. Optimal cutting of long products for commercial lengths. *Scientific Bulletin of NSU*. 2014. No. 2. P. 76-85.
4. Reinforcing bar for reinforced concrete structures. Directory-catalog / Dubina O. V., Khudik Yu. T., Bolshakov V. I. et al. Dnepropetrovsk: NIIIMM, 2000. 88 p.
5. Khorolsky D. Yu., Kanygin S. L. Handbook of long products. Kh.: Metallica, 2011. 416 p.
6. Method for managing the cutting of rolled products on a non-stop dreble-section mill: patent 107908 Ukraine. №a201406350; app. 06/10/2014; published 25.02.2015. Bull. No. 4.

M. Yu. Kuzmenko, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0002-1989-242X
O. P. Egorov, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0002-9867-0437
M. O. Rybalchenko, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0001-5162-5201

Ukrainian State University of Science and Technologies

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF BLANKET CUTTING METHODS IN THE PRODUCTION OF SMALL ROLLED RODS IN RODS

Summary. The purpose of the work is to analyze the effectiveness of methods of cutting blanks on continuous blanking machines (CBMs) in the production of graded rolled metal in rods. Practically 100% of the orders for small-grade rolled products in rods are measured products, while the actual output of measured products from the rolling mill is 95-98%, and the rest is non-measured products. At the final stage of rolled production, metal losses also occur due to excessive technological cutting during the cutting of rolled products. There are economic losses associated with the sale of bundles of irregular rods at a lower cost. The analysis of numerous studies and scientific publications made it possible to formulate the task of inventing such cutting strategies and algorithms that ensure the minimization of finished rolled products due to the coordinated management of continuous blanking mills (BZS) and continuous small grade mills (BDS). It is shown that at the final stage of the production of commercial products on continuous rolling mills, metal losses occur due to non-dimensional residues and excessive trimming, which arises, on the one hand, as a result of the fact that the length of the workpiece, which is fed to the entrance of the rolling mill, is not a multiple of the finished dimensional profile , and on the other - due to the peculiarities of the equipment of the rolling mills that implement cutting operations. The paper shows that the choice of methods for cutting rolled metal is a multi-criteria task. The analysis of the marginal deviations of the geometric dimensions of the blanks and small rolled products was carried out. On the basis of the calculations, it is shown that the simultaneous provision of the economic criterion and the criterion of the maximum yield of dimensional rolled bars is possible only in the production of reinforcing profiles larger than No. 14, and in the production of smaller profiles, the criterion of the maximum filling of the refrigerator should be used. It is shown that in the production of fine-grade profiles, the most effective method is the method of cutting rolled steel with cutting off

the non-dimensional part. The obtained data can be used to build cutting plans in the production of commodity rolled metal.

Key words: rolling mill, billet, small rolled steel, cutting, criterion, billet length.

For citation: Kuzmenko M. Yu., Egorov O. P., Rybalchenko M. O. Analiz efektyvnosti sposobiv rozkroiu zahotovok pry vyrobnytstvi dribnosortnoho prokatu v stryzhniakh [Analysis of the efficiency of blanket cutting methods in the production of small rolled rods in rods]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 285-298. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-285-298.

Стаття надійшла до редакції збірника 21.10.2022 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)