

УДК 621.7

В. А. ЧУБЕНКО, А. А. ХІНОЦЬКА, В. А. ЧУБЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СМУГ БЕЗПЕРЕРВНОЮ РОЗЛИВКОЮ У ВАЛКОВІ ЛИВАРНО-ПРОКАТНІ КЛІТІ

Пропонується удосконалення процесу виготовлення смуг безперервно валковою розливкою-прокаткою. Досліджена нова конструкція ливарно-прокатної кліти, де на валки напресовують буртики та насипають здрібнену чавунну стружку з метою використання суспензійного розлиття рідкої сталі. Це дозволяє надійно утримувати рідкий метал на валках-кристалізаторах. Розроблена технологія дозволяє збільшити швидкість кристалізації рідкого металу в умовах безперервної валкової розливки рідкої сталі та зменшити час кристалізації на 18-20 % в порівнянні з розливанням без використання суспензії. Такий процес приводить до зменшення витрат рідкого металу і до збільшення випуску готової продукції, дозволяє підвищити продуктивність процесу та зменшити собівартість виробництва.

Ключові слова: валкова безперервна розливка сталі, ливарно-прокатна кліть, суспензійна розливка, кристалізація металу, швидкість охолодження, технологія розливки, вихід готового продукту.

Вступ. Технологія прокатного виробництва на теперішній час, як в Україні, так і за її межами, досягла суттєвих позитивних результатів зі збільшення продуктивності прокатних станів, покращення якості продукції та зменшення її собівартості.

Це стало можливим завдяки освоєнню ливарно-прокатних модулів. В порівнянні з виробами, що отримані на прокатних станах, використання ливарно-прокатних агрегатів забезпечує: економію металу, збільшення продуктивності роботи машин, зменшення виробничих площин, скорочення чисельності працюючих, покращення якості виробів за рахунок отримання більш однорідної структури сталі, можливість автоматизації та механізації, зменшення терміну окупності при впровадженні нових підприємств та зменшення витрат енергії на виготовлення виробів. Особливо помітні результати дає впровадження безперервної валкової розливки металу у валки-кристалізатори, яка на теперішній час досягла суттєвих позитивних результатів.

Тому удосконалення процесу валкової розливки рідкого металу для виготовлення смуг та валкових ливарно-прокатних машин для здійснення цього способу виробництва штаби є задачею актуальною, вирішення якої дозволить збільшити продуктивність праці та зменшити витрати енергії і собівартість виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Підвищення вимог до продуктивності прокатних станів та покращення якості виробів привело до розвитку нових технологічних процесів, які відображують в собі суміщення процесів лиття та прокатування [1, 2, 3].

Безперервна розливка сталі в з'єднанні з прокатуванням сприяє економії капіталовкладень у зв'язку з виключенням витрат на парк виливниць, забезпечує економію енергії, яка витрачається на підігрів зливків у нагрівальному колодязі, дозволяє знизити екологічне навантаження на атмосферу, підвищити якість металопродукції, поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу. Такий процес дозволяє скоротити цикл отримання готової продукції від декількох діб до декількох годин, зменшити масу обладнання приблизно в 1,5 разів, скоротити чисельність працівників на 30 %, збільшити продуктивність процесу на 25 %.

Вважається, що першим для виробництва сталевих катанки став ливарно-прокатний модуль (дослідний зразок), який створений у ВНДІМЕТМАШ та введено в дію в 1963 році. Він складався з радіальної машини безперервного лиття заготовок з кристалізатором перерізом 38x45 мм, універсального планетарного стану і чистової групи клітей для прокатування катанки діаметром 6 мм [2].

Схема розміщення основного обладнання ливарно-прокатного модуля показано на рис. 1 [2]

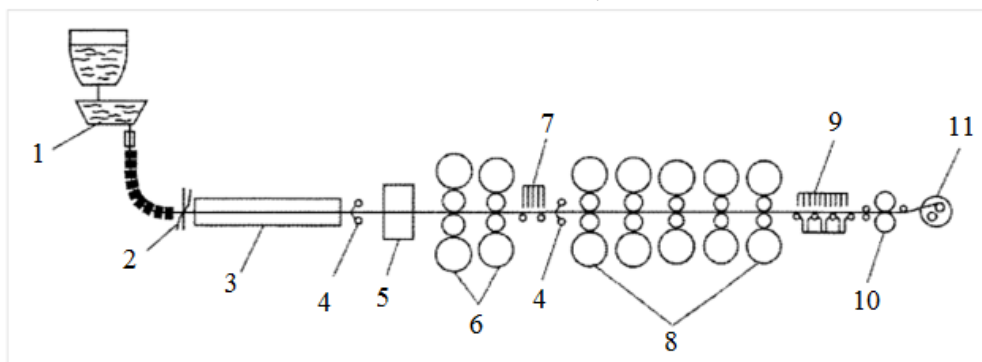


Рис. 1 – Схема агрегата DSP [2]: 1 – машина для лиття тонких слябів; 2 – маятникові ножиці; 3 – нагрівальна тунельна піч; 4 – установка для видалення окалини; 5 – кліть з вертикальними валками; 6 – чернові кліти; 7 – установка для переміжного охолодження; 8 – безперервна чистова група клітей; 9 – холодильник; 10 – летучі ножиці; 11 – моталка

Ливарно-прокатні агрегати в теперішній час знайшли широке використання і за межами країни [4, 5]. Протягом усього часу свого існування суміщенні процеси лиття-прокатування постійно удосконалювалися.

Пропонуються нові агрегати для отримання листової продукції холодним прокатуванням з алюмінію та його сплавів [6]. Для збільшення продуктивності таких машин пропонуються збільшити ємність ковша і використовувати дворівничкову машину безперервного лиття [7].

Подальшим розвитком ливарно-прокатних устаткувань потрібно вважати утворення машин з валковою розливкою сталі. Такий процес є найбільш перспективною і енергозберігаючою технологією

виробництва тонких штаб. Отримання тонкого плоского прокату полягає у формуванні смуги безпосередньо з рідкого металу шляхом кристалізації і деформації його між двома валками, що обертаються. На відміну від звичайного безперервного лиття-прокатування сталевих виробів, при валковому литті має місце два сумішених процесу: кристалізація розплаву і пластична деформація спочатку тієї частини, що закристалізувалася, а потім і всієї маси металу [4].

Загальний вигляд і схема розташування дослідної установки при проведенні досліджень валкової безперервної розливки сталі наведено на рис. 2, де видно, як розливається рідка сталь з ковша у валки кристалізатори [2].

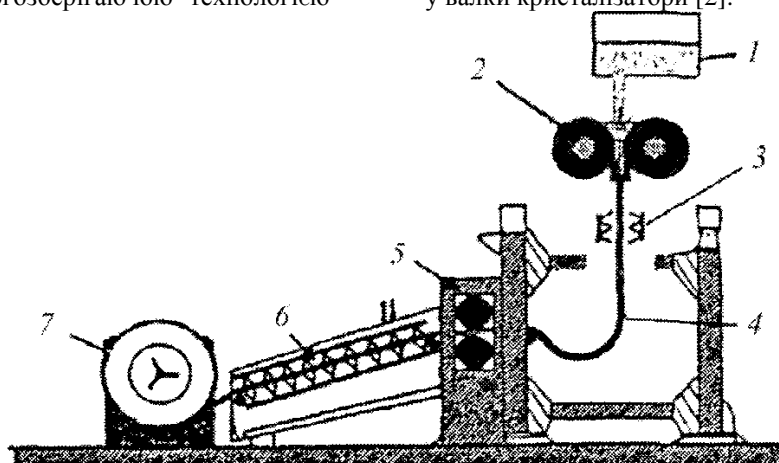


Рис. 2 – Схема дослідної установки: 1 – рідка сталь в ковші; 2 – валковий кристалізатор; 3 – зона охолодження зливка; 4 – петля; 5 – прокатна кліть; 6 – холодильник; 7 – моталка

Дослідження [2] показало переваги використання валкових ливарно-прокатних агрегатів, але нова технологія має і недоліки: ширина смуг не регулюється і коливається за довжиною.

Існують технології, де рідку сталь пропонується розливати безпосередньо в консольні прокатні валки, які є кристалізаторами [2] і швидко зменшувати перегрів металу перед розливанням використовуючи суспензійне розлиття [8]. Однією з переваг суспензійного розлиття є можливість утилізувати металовідходи (стружки, обрізи, недоливи, вирубки). Дослідженнями доведено [8], що швидкість кристалізації розплаву зі сталі 35 при введенні залізомістких добавок збільшується з 0,15 мм/с (при литті без добавок) до 0,2 – 0,8 мм/с (при додаванні залізного порошку).

Виконано патентний пошук на предмет удосконалення ливарно-прокатних модулів [9], що дозволило вивчити динаміку розвитку і впровадження ливарно-прокатних агрегатів в Україні та Росії з 2000 по 2013 года. Даний аналіз дає можливість визначити переваги та недоліки в розвитку таких агрегатів та виявити подальший напрямок дослідження зі зменшення перегріву металу при розливанні у валки-кристалізатори.

Можливість інтенсифікації безперервної розливки сталі лімітується головним чином

обмеженістю швидкості затвердіння безперервнолитого зливка. Цей процес пов'язаний з складністю відведення фізичної та скритої теплоти металу, що кристалізується тому визначається його теплофізичними властивостями: теплопровідністю, температуропровідністю, теплоємністю та інш [8].

Одним з недоліків розливки сталі у валки-кристалізатори є те, що рідку сталь складно утримати в міжвалковому просторі тому, що вона має велику текучість в розплавленому стані і може вилитися, що призводить до втрат готової продукції. Тому необхідно удосконалити конструкцію валків-кристалізаторів, що буде перешкоджати виливанню рідкої сталі при розливанні, а також передбачити дії зі зменшення її перегріву при попаданні в міжвалковий простір, що можливо при утворенні в об'ємі металу додаткових центрів кристалізації у валках – кристалізаторах при валковій безперервній розливці.

Мета роботи – знайти можливість збільшити швидкість охолодження рідкої сталі і уникнути вірогідності виливання металу між валками-кристалізаторами при безперервній валковій розливці сталі при виготовленні штаби.

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

1. Проаналізувати можливості введення додаткових центрів кристалізації і використати

оптимальний матеріал для збільшення швидкості охолодження рідкої сталі при валковій безперервній розливці металу.

2. Запропонувати технологію валкової розливки сталі у валки-кристалізатори та визначити обладнання для її здійснення, яке дозволить уникнути вірогідності виливання рідкого металу між валками-кристалізаторами.

3. Визначити швидкість охолодження та час кристалізації металу, коефіцієнт витрати рідкої сталі за новою технологією з використанням пропонуємого обладнання.

Методика дослідження безперервної валкової розливки сталі. В дослідженнях з безперервної валкової розливки використовувалась вуглецева сталь звичайної якості (Сталь 20), яка виливалася з ковша безпосередньо в горизонтальні прокатні циліндричні валки, які оберталися в протилежних напрямках. Робочі валки в цьому випадку слугують одночасно кристалізаторами-

охолоджувачами і обтискним інструментом, де суміщаються процеси охолодження і прокатування сталі з обтисненням, що забезпечує витягування матеріалу. Валки установлені горизонтально так, як показано на рисунках 4 і 5 і безперервно охолоджуються водою. Робочі валки виготовленні з міді і покриті нікелем, на торці валків-кристалізаторів напресовано з натягом буртики (рис. 3) [10]. Конструкція окремого валка представлено на рисунку 4 [10], де показано його з'єднання з буртиком. Буртики служать для попередження виливання рідкої сталі між робочими валками, що дозволяє збільшити випуск готової продукції. Діаметр валків-кристалізаторів, що використовувалися в дослідженнях, дорівнює 500 мм, довжина 1000 мм.

В дослідженнях температура рідкої сталі вимірювалася за допомогою термопарі і фіксувалася за допомогою термодатчиків/

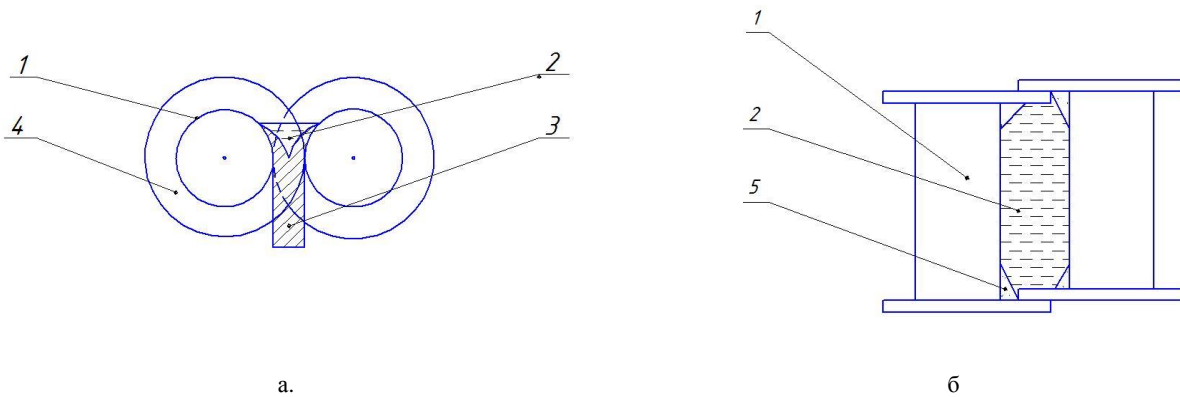


Рис. 3 – Ливарно-прокатна кліть [10]: а – вид з боку, б – вид зверху,
1 – прокатні валки-кристалізатори; 2 – рідка сталь; 3 – затравка; 4 – напресовані буртики;
5 – здрібнена чавунна стружка

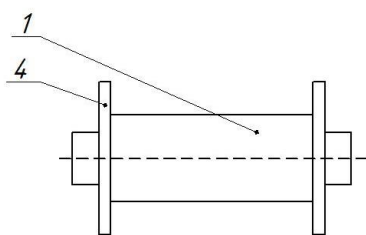


Рис. 4 – Ливарно-прокатной валок с буртиками [10]:
1 – прокатный валок-кристалізатор; 4 – буртики

В дослідженнях було використано суспензійну розливку рідкої сталі у валки-кристалізатори, що дозволяє скоротити тривалість затвердіння зливка та збільшити коефіцієнт використання рідкого металу та покращити якість отриманого виробу. Одним з важливих етапів практичної реалізації суспензійного розливання як метода інтенсифікації затвердіння безперервнолитих зливків є розробка ефективних технологічних процесів, простих та надійних устаткувань для її здійснення. Розробляємо устаткування повинні мати високу надійність та стабільність у відповідності з тривалістю розливання. Розроблено велику кількість

устаткувань, що дозволяють вводити дисперсний матеріал в рідку фазу [8], але такі устаткування мають деякі недоліки: частина дробі не попадає в струю, відбиваючись від неї або пролітаючи повз неї, існує можливість появи краплин на вихідному отворі сопла, тому що струя не завжди організована та стабільна. В дослідженнях використовувалися конусні бункери, які були встановлені з обох боків валків-кристалізаторів.

З метою утилізації відходів механообробного виробництва в дослідженнях для утворення суспензії використовувалася чавунна стружка, яка здрібнювалася до розмірів менше міліметра.

Використовувалося обладнання для дослідження: ливарно-прокатна кліть, яка включає два циліндричні горизонтальні валки-кристалізатори, що встановлені в підшипники в станині. На бочку кожного з валків з обох сторін напресовані з гарантійним натягом диски, при цьому відстань між правим та лівим диском на валку дорівнює ширині виготовляемого листа та товщині диску, відстань між валками дорівнює товщині виготовляемого листа, при цьому буртики суміжних валків перекривають один одного.

В результаті досліджень було визначено швидкість та тривалість охолодження металу, час кристалізації та коефіцієнт витрати рідкої сталі при виготовленні штаби в умовах валкової безперервної розливки. Для порівняння досліджувалася розливка з використанням суспензії та без її використання. В експериментах змінювалася величина зазору між валками, що дозволяло отримати декілька смуг різної товщини. Температура лиття залишалася постійною і дорівнювалася 1580 °С.

Для утворення суспензії в дослідженнях у рідкий метал додавалася здрібнена чавунна стружка, яка сипалася з бункера на бокові сторони валків-кристалізаторів, які обертаються. Буртики її стабілізували у вигляді тригранної піраміди, що надійно утримувало рідку сталь і дозволяло їй швидко охолоджуватися.

Дослідження проводилися за наступною методикою: з ковша на горизонтальні циліндричні валки-кристалізатори (рисунок 4), які обертаються (1) виливалася рідка сталь (2), одночасно з цим насипали на валки-кристалізатори з двох бункерів, що встановлені з обох боків валків, шар здрібненої чавунної стружки (5) у вигляді тригранної піраміди. Для стабілізації цієї піраміди на кінцях валків напресовано буртики (4), для підтримання рідкої сталі використовувалась затравка (3), яка до початку розливки рідкої сталі була введена в робочу порожнину кристалізатора.

Устаткування, що пропонується для проведення експериментів, забезпечує утримання рідкої сталі прокатними валками до початку затвердіння: рідка сталь вступає у взаємодію із

стружкою, яка добре утримується на валках завдяки буртикам, що затримує виливання рідкої сталі з міжвалкового простору і дозволяє підвищити вихід готової продукції.

Таким чином, була розроблена методика проведення дослідження визначення підвищення ефективності процесу виготовлення смуг безперервною валковою розливкою рідкого металу, визначено конструкцію обладнання для його здійснення та підібрано матеріал для здійснення суспензійної розливки рідкого металу у валки-кристалізатори.

Результати досліджень ефективності процесу виготовлення смуг безперервною розливкою у валковій ливарно-прокатній кліті.

Експерименти показали, що при використанні розробленої методики рідка сталь добре утримується прокатними валками: рідкий метал взаємодіє з чавунною стружкою, яка добре утримується на прокатних валках-кристалізаторах завдяки буртикам і швидко кристалізується з бокової поверхні, що перешкоджає її виливанню в міжвалковий простір. Дослідження показали, що рідкий метал попадає на валок, взаємодіє з чавунною стружкою і не проливається між валками.

В результаті експерименту були виготовлені смуги товщиною 2–4 мм, зі швидкістю розливання 50–70 м/хв, час затвердіння рідкої сталі було зафіксовано 0,8–1,0 с.

Результати дослідження занесено в табл. 1, де порівнюються показники валкової розливки для виготовлення штаби без використання суспензії і з використанням.

Таблиця 1. Результати дослідження розливання металу при виготовленні смуг на валкових машинах безперервного лиття

№ п/п	h, мм	Без суспензії				З використанням суспензії			
		v_d , м/хв	$t_{кр}$, с	$v_{охол}$, °С/с	$K_{вит}$	v_d , м/хв	$t_{кр}$, с	$v_{охол}$, °С/с	$K_{вит}$
1	2	72	1,0	950	1,05	72	0,8	1300	1,02
2	2,5	75	1,1	920	1,04	75	0,9	1280	1,015
3	3	81	1,2	900	1,03	81	1,0	1230	1,01

Позначення в табл. 1: v_d – швидкість лиття сталі; $t_{кр}$ – час кристалізації; $v_{охол}$ – швидкість охолодження; $K_{вит}$ – коефіцієнт витрат рідкого металу.

З табл. 1 видно, що в кожному експерименті, не залежно від товщини смуги, швидкість охолодження металу при валковій розливці збільшується на 18 – 20 %, а час кристалізації зменшується на 18 – 20 % при використанні суспензії, яку, в нашому дослідженні утворює здрібнена чавунна стружка, в порівнянні з таким же експериментом, але без суспензії.

Результати досліджень підтвердили ефективність безперервної розливки рідкої сталі у валки-кристалізатори, які мають буртики для утримання чавунної стружки, що дозволяє збільшити швидкість кристалізації, зменшити час охолодження рідкого металу, забезпечити відсутність витікання сталі між валковий простір, що забезпечує збільшення випуску готової

продукції, зменшує коефіцієнт витрату металу, збільшує продуктивність процесу виготовлення смуги.

Висновки:

1. Проаналізовано можливості введення додаткових центрів кристалізації і використано здрібнену чавунну стружку в якості кристалізатора-охолоджувача, що забезпечує збільшення швидкості та зменшення тривалості кристалізації рідкої сталі в валках-кристалізаторах при валковій безперервній розливці сталі на 18-20 %.

2. Запропоновано нову технологію безперервної валкової розливки сталі у валки-кристалізатори та визначено нову конструкцію валків-кристалізаторів для здійснення безперервної валкової розливки металу, що дозволить уникнути виливання рідкої сталі у міжвалковий простір, що дає можливість зменшити коефіцієнт витрат рідкого металу.

3. Визначено швидкість охолодження та час кристалізації металу, коефіцієнт витрату рідкої сталі

за новою технологією з використанням пропонуємого обладнання, що дозволяє обрати оптимальні режими обробки.

Список літератури: 1. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / В. Н. Данченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 7. – С. 1-8. 2. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография / А. А. Минаев. – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с. 3. Данченко В. М. Теория процесів обробки металів тиском: Підручник/ Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с. 4. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits //Iron and Steelmaker, 2002. – № 7 – P. 41-49. 5. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K. Latest technology for cost and productivity of QSP process // SEAIISI Quarterly, 2001. – 30. – №2. – P.10-15. 6. Пат. № 2466808 Российская Федерация, МПК В21В1/46 Литейно-прокатный агрегат для производства листовой холоднокатаной продукции из алюминия и его сплавов [Текст] / Тонконогов В. Я., Чеботарёв В. А., Гесслер Ю. В., Самсонов А. В., Дегтярёв И. Л.; Патентообладатель: Открытое акционерное общество Акционерная холдинговая компания "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова" (ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ")(RU). – заявл. 26.06.2011, опубл. 20.11.2012. – 6 с. 7. Патент України № 58851 МПК В21В1/16 Спосіб прокатки безперервно литої заготовки [Електронний ресурс] / Шум В. Б., Смирнов С. М., Ємченко А. В.; Алексеев О. В., Асикін А. А., ВАТ "Донецький металургійний завод". – заявл. 21.10.2010, опубл. 26.04. 2011, Бюл. № 8. – Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html. 8.Затуловский, С. С. Суспензионная разливка [Текст] / С. С. Затуловский. – К: Наукова думка, 1981. – 260 с. 9. Ретроспективный анализ массива опубликованных патентов, характеризующие развитие литейно-прокатных модулей за период 2000-2013 г.г. в Украине и России [Н.Н.Бережной, Чубенко В.А., А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.А.Шепель, В.А.Чубенко]// Технологический аудит и резервы производства. – 2015, №1/1 (21) – С. 4-7. 10. Патент України № 100153 МПК В21В1 Ливарно-прокатна кліть / М.М.Бережний, В.А. Чубенко, А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.О.Шепель, В.А.Чубенко, ДВНЗ «Криворізький національний університет». – заявл. 05.02.2015, опубл. 10.07.2015, Бюл.№ 13.

Bibliography (transliterated): 1. Danchenko V. N. Prohressyvnnye protsessy obrabotky metallov davlenyem [Tekst] / V. N. Danchenko // *Metallurhycheskaya y hornorudnaya promyshlennost'*. – 2011. – No 7. – P. 1-8. 2. Mynaev A. A. Sovmeshchennyye metallurhycheskye protsessy [Tekst]: monohrafiya / A. A. Mynaev. – Donetsk: Tekhnopark Don HTU UNYTEKh, 2008. – 522 p. 3. Danchenko V.M. Teoriya protsesiv obrobky metaliv tyskom: Pidruchyk/ Danchenko V.M., Hrynkevych V.O., Holovko O.M. – Dnipropetrovsk: Porohy, 2008. – 370 p. 4. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits //Iron and Steelmaker, 2002. – No 7 – P. 41-49. 5. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K. Latest technology for cost and productivity of QSP process // SEAIISI Quarterly, 2001. – 30. – No 2. – P.10-15. 6. Pat. No 2466808 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V21V1/46 Lyteyno-prokatnyy ahreat dlya proyzvodstva lystovoy kholodnokatanoy produktsyy yz alyumynyya y eho splavov [Tekst] / Tonkonohov V. Ya., Chebotarëv V. A., Hessler Yu. V., Samsonov A. V., Dehtyarëv Y. L.; Patentobladatel': Otkrytoe aktsyonerno obshchestvo Aktsyonernaya kholdynhovaya kompanyya "Vserossiyskiy nauchno-ysledovatel'skiy y proektno-konstruktorskiy ynstytut metallurhycheskoho mashynostroeniya ymeny akademika Tselykova" (OAO AKhK "VNIIMETMASH")(RU). – zayavl. 26.06.2011, opubl. 20.11.2012. – 6 p. 7. Patent Ukrainy No 58851 MPK V21V1/16 Sposib prokatki bezperervno lytoyi zagotovki [Elektronnyy resurs] / Shum V. B., Smirnov Ye. M., Yemchenko A. V.; Aleksyeyev O. V., Asykin A. A, VAT "Donets'kyu metalurhiynyy zavod". – zayavl. 21.10.2010, opubl. 26.04. 2011, Byul. No 8. – Rezhym dostupu: \www/URL: http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html. 8. Zatulovskyy, S.\S. Suspenzyonnaya razlyvka [Tekst] / S. S. Zatulovskyy. – Kyev: Naukova dumka, 1981. – 260 p. 9. Retrospektyvnyy analiz massyva opublikovanykh patentov, kharakteryzuyushchye razvytye lyte yno-prokatnykh moduley za peryod 2000-2013 h.h. v Ukrainy y Rossyy [N.N.Berezhnoy, M.M., Chubenko V.A., A.A.Khinots'ka, S.O.Matsyshyn, A.A.Shepel', V.A.Chubenko]// Tekhnolohycheskyy audyt y rezervy proyzvodstva. – 2015, No 1/1 (21)/ – P. 4-7. 10. Patent Ukrainy No 100153 MPK V21V1 Lyvarno-prokatna klit' / M.M.Berezhnyy , V.A. Chubenko, A.A.Khinots'ka, S.O.Matsyshyn, A.O.Shepel', V.A.Chubenko, DVNZ «Kryvoriz'kyu natsional'nyy universytet». – zayavl. 05.02.2015, opubl. 10.07.2015, Byul. No 13

Поступила (received) 15.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Чубенко Вікторія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, ДВНЗ «Криворізький національний університет», тал.0507472823, e-mail: victoria_4@rambler.ru

Chubenko Victoria Anatolievna –Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Krivoy Rog National University tel.: 0507472823, e-mail: victoria_4@rambler.ru

Хіноцька Алла Анатоліївна – старший викладач кафедри металургії чорних металів та ливарного виробництва ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Hinotskaya Alla Anatolievna – Senior Lecturer of Department of Corn Metallurgy Metals Krivoy Rog National University

Чубенко Валерій Андрійович – ДВНЗ «Криворізький національний університет», студент

Chubenko Valeriy Andreevich – Student, Krivoy Rog National University