

УДК 621.7.669.02

DOI <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2023-2-14>

Огінський Йосип Кузьмич, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-6376-2019

Власов Андрій Олександрович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0003-3253-6435

Грідін Олександр Юрійович, професор, доктор технічних наук, Падеборнський університет, Німеччина, ORCID: 0000-0001-9683-5464

Гречаний Олексій Миколайович, ст. викладач, PhD., Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0003-0524-4998,

Васильченко Тетяна Олександрівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-0340-3900

НОВИЙ НАПРЯМОК ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЛЯ МЕТАЛУРГІЇ І МАШИНОБУДУВАННЯ

Розроблено принципово новий спосіб отримання заготовок для сортопрокатного, трубного виробництва і машинобудування. Спосіб заснований на використанні процесу валкової розливки-прокатки, Розроблено принципово нову конструкцію установки розливки-прокатки, вона включає три валки-кристалізатори, які в сукупності з іншим оснащенням установки утворюють об'ємний міжвалковий простір, де створюється об'ємне масивне тіло заготовки, конструкція пристрою захищена патентом України на винахід. Спосіб і пристрій дозволяють отримувати суцільні та порожнисті заготовки, які можуть мати подвійне призначення. Конструктивні рішення базуються на апробованих авторських аналогах. Розробки пройшли первинну апробацію в умовах лабораторії кафедри металургійного обладнання Запорізького національного університету. Апробація мала експериментальний характер, основним завданням було випробування конструкції установки та нового способу. В результаті апробації встановлено технологічність способу та пристрою, підтверджено перспективність їх розвитку та застосування у промислових умовах. Підтверджено працездатність способу отримання заготовок та пристрою для його реалізації. Промислове виготовлення суцільних і порожнистих заготовок методом валкової розливки-прокатки дозволить поліпшити техніко-економічні показники металургійних і машинобудівних підприємств: скоротити металургійний цикл, знизити енергозатрати, зменшити металоємність обладнання, поліпшити екологічний стан. Результати розробок можуть бути використані підприємствами металургійного, машинобудівного комплексів, та оборонної галузі. Наявність заготовок нового типу дозволяє переглянути склад обладнання сортопрокатних та трубних цехів у напрямку скорочення його обсягу та енергоспоживання. У перспективі нові розробки стають основою створення нескінченної сортової прокатки.

Ключові слова: розливка-прокатка, валок-кристалізатор, кристалізація, пристрій валкової розливки-прокатки, бандаж, порожнисті та суцільні заготовки, суміщені процеси, штаба.

Вступ. Процес валкової розливки-прокатки є одним з найбільш перспективних напрямів у металургії та метало-переробних галузях. В умовах зростаючого енергодефіциту пріоритетними напрямками розвитку металургійного комплексу України та машинобудівних галузей стає створення, розвиток та впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій. Валкова розливка-прокатка (існує і інший термін – «беззлиткова прокатка») значною мірою відповідає всім цим вимогам. Валкова розливка-прокатка є процесом, при якому прокат формується безпосередньо з рідкого металу шляхом його кристалізації та деформації між двома валками, що охолоджуються.

Валкова розливка-прокатка продовжує залишатися одним із найбільш перспективних напрямків розвитку чорної та кольорової металургії, а також деяких галузей машинобудування. Валкова розливка-прокатка має перспективу розширення галузі застосування у напрямку отримання нових видів металургійної та машинобудівної продукції, у тому числі нових виробів, що мають нетрадиційні для валкової розливки-прокатки форми, розміри та параметри. До таких видів продукції, зокрема, належить заготовка, що використовується у прокатному виробництві та машинобудуванні.

Принципи безперервного розливання-прокатки. Основні принципи та особливості процесу валкової розливки-прокатки були вперше сформульовані в 1865 р. сером Г. Бессемером [1]. На рис. 1 наведено схему Г. Бессемера, яка дає уявлення про процеси отримання листа валковою розливкою-прокаткою. У цій першій роботі деталізовані специфічні елементи, які є і на сучасних установках: охолоджені валки (а), бічні обмежувачі, пристрої для очищення поверхні бандажів (е–f). На шляху до реалізації процесу виникли технічні складності, внаслідок чого його промислове використання відстало від ідеї майже на сто років. Початковим періодом промислового освоєння процесу валкової розливки-прокатки є 50-ті роки минулого століття.

Серед останніх технічних рішень найбільш значною та перспективною є розробка для виробництва суцільних та порожнистих заготовок методом валкової розливки-прокатки [2]; зазначена розробка є першою у світовій практиці, виконаною у цьому напрямі. Розробка [2] виконана у Запорізькому національному університеті (ЗНУ) кафедрою металургійного обладнання на рівні винаходу, патентовласником є ЗНУ. Розробка [2] характеризує собою початок нового етапу в чорній та кольоровій металургії у частині виготовлення заготовки для прокатного переділу та машинобудування.

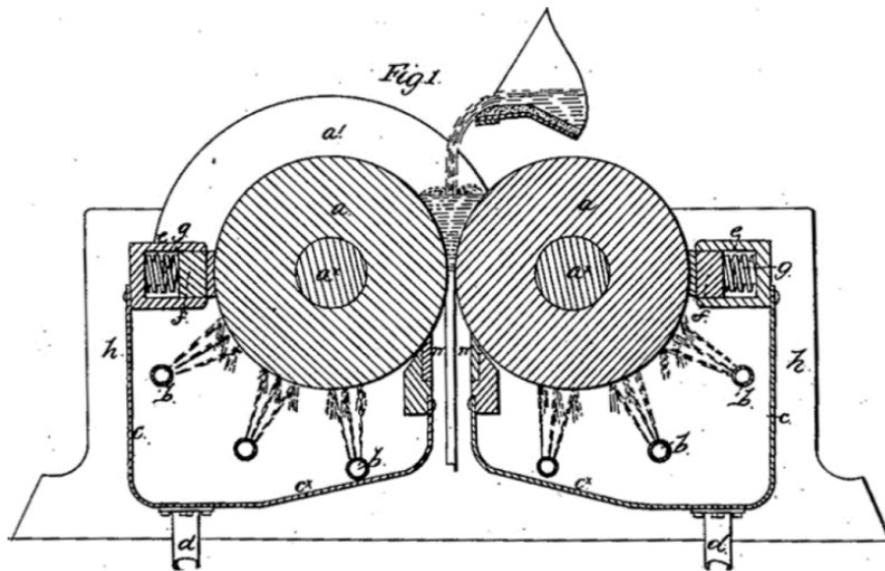


Рисунок 1 – Ескіз машини валкової розливки-прокатки (1865 р.) [1]
 а – валок; а' – фланець; а* – осьовий отвір; b – труби; с – огорожувальні камери;
 с* – похила поверхня камери; d – злив; е – корпус з кільцевим отвором;
 g – гвинти; f – дерев'яні блоки; h – станина.

Валкова розливка-прокатка у найзагальнішому вигляді продовжує залишатися перспективним напрямом у металургії завдяки своїм безумовним перевагам [3–6]: скорочення технологічного циклу; компактність агрегату; зниження енерговитрат (у тому числі, за рахунок скорочення технологічного циклу); за рахунок відсутності проміжного підігріву металу та мінімізація числа технологічних операцій; покращення екологічної обстановки виробництва (у тому числі, за рахунок відсутності проміжного підігріву); підвищення якості металу (зокрема, за рахунок покращення структури металу) більш висока продуктивність виробництва; скорочення чисельності персоналу.

За період із часів Г. Бессемера до теперішнього часу в галузі розливки-прокатки зроблено багато в частині обладнання та технологічних режимів, розширення розмірного та марочного асортименту. Особливо, в останні десятиліття, коли темпи розвитку валкової розливки-прокатки збільшилися, з'явилися також нові процеси на її основі. Все це незважаючи на те, що металургія, будучи вельми матеріалоемним виробництвом, не завжди в змозі виконувати своєчасне масштабне технічне переозброєння в зв'язку з високими витратами. До кінця минулого століття всі основні досягнення в області валкової розливки-прокатки були пов'язані переважно з виробництвом тонкого листа. В останні десятиріччя було опубліковано декілька праць, в яких повідомляється, наприклад, про виготовлення штаб з профільованим поперечним перерізом на агрегатах валкової розливки-прокатки [7–12] у Рейн-Вестфальській вищій технічній школі (м. Ахен, Німеччина). Подібні та інші роботи (у тому числі, дослідження, спрямовані на отримання біметалічних штаб методом валкової розливки-прокатки) виконувалися також у ГанOVERському та Падерборнському університеті (Німеччина) [13–17].

Метод Р. Бессемера є класичним, поряд із ним виникли й інші: з розміщенням осей обертання валків-кристалізаторів у вертикальній площині; з одним валком; з розміщенням валків на двох рівнях (у тандемі); зі змінною орієнтацією плоскості валків-кристалізаторів, з заморожуванням рідкого металу на один або два валка, а також різновиди названих способів. Найбільший інтерес на сьогоднішній день продовжують викликати агрегати прямого виготовлення штаб з двома валками-кристалізаторами. За оцінками експертів, у світовій індустрії експлуатується близько 600 агрегатів для отримання тонких штаб безпосередньо з розплаву, половина з яких працює в КНР [18], більшість установок використовуються для обробки кольорових металів та сплавів. Приблизно 90 % всіх установок прямого лиття тонких штаб, що працюють у світі, є машинами з дво валковим кристалізатором [18].

Напрями розвитку безперервного розливання-прокатки. Процес валкової розливки-прокатки динамічно розвивається, для його реалізації створюються нові технологічні схеми та види обладнання. За оцінками експертів, у світовій індустрії експлуатується близько 600 агрегатів для одержання тонких штаб безпосередньо з розплаву, більша частина з них працює у КНР [18]. В той же час, процес продовжує залишатися недостатньо вивченим і розкритим у частині відомостей про комплексний вплив головних технологічних параметрів на властивості металу: змінювання температури рідкого металу під час кристалізації та деформації, взаємозв'язку швидкості обертання валків і протяжності зони кристалізації-деформації, впливу товщини штаби та діаметру валків на закономірності формування зони деформації, виявлення фактичного відносного обтиску металу та його участі у формуванні властивостей. Є також невивчені питання щодо контактної взаємодії металу з валками, обладнання та ін. Головними методами вивчення процесу продовжують залишатися фізичне та математичне моделювання. Сучасні програмні засоби на сьогодні є недостатньо адаптованими для вирішення задачі валкової розливки-прокатки, оскільки в них використовуються маловивчені параметри, які можуть бути одержані тільки експериментально. Необхідність виконання експериментальних досліджень виникає і під час перевірки одержаних теоретичних залежностей, наприклад, енергосилових параметрів, у першу чергу, сили та моменту прокатки.

Процес валкової розливки-прокатки є багатофакторним, він протікає в присутності непростих фізико-хімічних явищ, механіки, трибології, теплотехніки, гідравліки. Складність і багатофакторність процесу вимагає відомостей з суміжних областей знань і робить його вельми наукоємним. На даний час у світовій практиці валкової розливки-прокатки сформувалися неповні відомості (іноді і суперечливі думки) практично за всіма основними ознаками: температурно-швидкісними параметрами розливки, швидкістю обертання валків діаметрів валків, матеріалів валків, способів і матеріалів покриття робочих поверхонь валків, формування мікроструктури металу в зоні кристалізації-прокатки в нестационарних умовах. Цілком очевидно, що стосовно отримання суцільних і порожнистих тіл, виникають додаткові труднощі.

Науково-методичні проблеми валкового розливання-прокатки. Математичне (комп'ютерне) моделювання, за всіх його достоїнств, на даний період часу до подібних завдань має обмежену застосовність і це пов'язано з тим, що процес валкової розлив-

ки-прокатки вивчений недостатньо і відсутність достовірних відомостей про фізичну сторону об'єкта, що вивчається, ніяк не сприяє створенню адекватної картини в математичній моделі. З цієї причини в даний час для вирішення технологічних завдань можуть бути використані ті комп'ютерні програми, які досить адекватно можуть відобразити фізику процесів, що відбуваються. До таких програм можна, наприклад, віднести ті, які призначені для вирішення теплових задач. В свою чергу, експериментальні методи при усіх своїх перевагах і достоїнствах часто мають обмежену придатність, оскільки вони, як правило, більш придатні для умов, в яких отримані результати. Крім того, в прихованих процесах вони мають обмежене застосування і через відсутність візуального контакту з металом, як це відбувається при валкової розливки-прокатки, де неможливе застосування, наприклад, термографічних вимірювань. Тому доцільним є комплексне використання (наскільки це можливо) розрахункових та експериментальних методів.

Всі переваги процесу валкової розливки-прокатки свідчать про доцільність та перспективність розширення області його застосування. У зв'язку з цим і на основі попередньо виконаних розробок та досліджень у авторів виникло рішення використання процесу валкової розливки-прокатки для отримання масивних заготовок, переважно, для прокатного переділу. Подібні спроби відомі у практиці експериментальних досліджень, вони проводилися ще в першій половині 20-го століття [19], але всі вони виконувались з використанням традиційних підходів (метод Г. Бессемера). З цієї причини перші випробування показали результати, що недостатньо обнадійливі, і метод не отримав свого подальшого розвитку. Незважаючи на інтерес з боку металургів, отримання заготовки методом валкової розливки-прокатки було припинено. Пізніше в результаті пошуку нових рішень було створено альтернативний процес – безперервної розливки сталі. Досягнуті успіхи в цій галузі визначили напрямок розвитку металургії на досить тривалий час і знизило інтерес до пошуку інших рішень. Крім того, металургія, будучи вельми матеріаломістким виробництвом, не в змозі виконувати масштабне технічне переозброєння у зв'язку з високим рівнем витрат і ця обставина також стала фактором стримування на шляху до розвитку процесів валкової розливки-прокатки в напрямку отримання заготовок. Іншими стримуючими факторами стали відсутність технічних рішень у частині обладнання та недостатня теоретична база для подібних процесів.

Додатковою перевагою нового способу стає можливість підвищити якість заготовки, а в кінцевому підсумку і готової продукції (в прокатному виробництві – готового прокату). Застосовність заготівки, отриманої способом валкової розливки-прокатки, може бути дуже широкою, найбільшою мірою, вона може бути використана для масових прокатних виробництв – сортопрокатного та трубного. У трубопрокатному виробництві застосовують циліндричні заготовки, одержують їх методом безперервної розливки. При цьому найбільш проблемною частиною виробництва є одержання заготовки малого діаметра (100-150 мм). Цей діапазон розмірів характерний тим, що при виготовленні трубної заготовки традиційним методом безперервної розливки метал у своїй центральній частині має менш щільну структуру (при розливці традиційним способом утворюється осьова пухкість). Пояснюється це різними умовами кристалізації для заготовок різних перетинів, менш сприятливі вони для заготовки малого діаметра. (аналогічна картина має місце і при виробництві квадратної заготовки). У валковому кристалізаторі додаткова операція у вигляді деформації металу (на заключній стадії кристалізації) дозволяє усунути зазначені недоліки, ущільнити структуру, мінімізувати або повністю виключити осьову пухкість.

Виготовлення круглої заготівки методом розливки в валковому кристалізаторі має і іншу перспективу – отримання порожнистої заготовки. Однак порожниста заготовка може мати обмежене застосування в порівнянні з суцільною. Спосіб може мати обмеження для трубного переділу, оскільки виготовлення порожнистої заготовки супроводжує інтенсивне окалиноутворення на внутрішній поверхні гільзи-заготовки. З цієї причини метод має свої обмеження, його застосування може бути обмежена одержанням катано-ливої гільзи-заготовки як кінцевого продукту. Але він може бути успішно застосований для обмеженого марочного сортаменту або кінцевого застосування, наприклад, в якості заготівки для машинобудівного переділу. Тим самим він створює альтернативу процесу отримання гільзи з суцільної заготівки, оскільки виключається процес

прошивки. Однак проблема окалиноутворення (чи видалення окалини) поки залишається невирішеною.

Важливими супутніми позитивними факторами, характерними для нового способу, є поліпшення структури металу одночасно з покращенням геометрії труби. При прошивці заготовки способом поперечно-гвинтової прокатки виникає повздовжня і поперечна різностінність, що не усувається при розкатці гільзи в трубу. Причинами цього є природні технологічні особливості процесу прошивки (необхідність створення крутного і поступального переміщення заготовки що прошивається і відповідно виникнення супутнього вібраційного навантаження) і характер роботи обладнання в умовах динамічних навантажень. У пропонованому способі різностінність може бути зведена до мінімуму або повністю усунена. З цієї причини спосіб має хорошу перспективу і може бути успішно застосований, але для обмеженого марочного асортименту (наприклад, легированих сталей і кольорових металів).

Кругла заготовка може бути успішно використана і в сортопрокатному виробництві замість традиційної квадратної. Кругла форма може бути кращою, наприклад, якщо оцінювати заготовку з точки зору технології її отримання, формування властивостей та подальшого переділу, аж до отримання готового прокату. Якщо розглядати з позицій затвердіння та охолодження, то кругла заготовка є раціональнішою, оскільки в ній відсутні перепади температури по перерізу, відбувається рівносна кристалізація, що забезпечує досить рівномірний розподіл властивостей по перерізу.

Спосіб валкової розливки-прокатки може бути застосований для отримання квадратних (або прямокутних) заготовок без будь-яких обмежень за марочним асортиментом. Взагалі кажучи, заготовка квадратної форми для сортопрокатного переділу є традиційною, але з точки зору деформації не обов'язковою. Вона стала традиційною оскільки забезпечує технологічні зручності при транспортуванні, складуванні, огляді і ремонті, в більшості випадків і при нагріванні (в першу чергу, при її переміщенні в нагрівальній печі). Вибір і побудова системи витяжних калібрів з позицій вихідної заготовки (квадрат або коло) є рівноцінним. У деяких випадках кругла заготовка може виявитися кращою, наприклад, з позиції затвердіння і охолодження вона є більш раціональною, оскільки в ній відсутні перепади температури по перетину, та відбувається рівновісна кристалізація, що забезпечує досить рівномірний розподіл властивостей металу за об'ємом. У квадратній заготовці при охолодженні в першу чергу відбувається кристалізація в кутових зонах, відповідно, матиме місце нерівномірний розподіл властивостей по перетину (та за об'ємом).

Задача отримання масивних заготовок круглої або близької до квадратної форми нездійсненна способами традиційної двовалкової розливки, для цих цілей необхідні нові технічні рішення. Таким рішенням стало створення способу та пристрої для його реалізації, де забезпечується рівномірне по периметру теплове поле оброблюваного металу і на заключному етапі розливання (етапі деформації металу) створюється замкнутий деформуючий контур з боку валків-кристалізаторів. Створення рівномірного теплового поля, а також рівномірна деформація по периметру заготовки сприяють одержанню однорідної дрібнозернистої структури металу та, відповідно, підвищенню його властивостей. Пристрій, який призначений для цих цілей, зображено на рис. 2 [2]. Він включає три охолоджуваних зсередини валка-кристалізатора 1–3 і бічні обмежувачі 4–6. Валки-кристалізатори разом з обмежувачами утворюють ванну для металу, який обробляється. Пристрій містить також охолоджуваний зсередини стрижень конічно-циліндричної форми 7, розташований в центральній частині ванни, поздовжня вісь якого орієнтована у напрямку руху металу, який обробляється.

За рахунок розташування валків під кутом один до одного створюється замкнутий валковий контур, який забезпечує опрацювання металу, який твердіє і деформується, у всьому його обсязі. Стає можливим отримувати суцільні великогабаритні заготовки з рівномірним розподілом ущільненої структури металу та підвищеним рівнем його механічних властивостей. Водо-охолоджуваний стрижень є аналогом оправки на прошивному стані, він дозволяє створювати порожнину всередині заготовки. При розливці суцільної заготовки стає можливим створювати керований тепловий відбір від металу, що охолоджується, зазначений ефект створюється і регулюється шляхом зміни положення стрижня вздовж осі розливу.

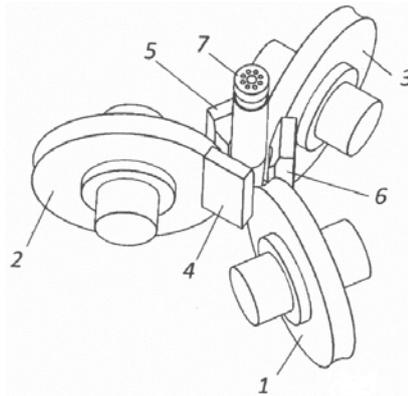


Рисунок 2 – Загальний вигляд пристрою для валкової розливки-прокатки суцільних та порожнистих тіл

1, 2, 3 – валки-кристалізатори; 4, 5, 6 – обмежувачі; 7 – конічно-циліндричний стрижень

Теоретичну основу процесів валкової розливки-прокатки складає сукупність базових областей знань, серед них насамперед слід виділити: теорію прокатки та теплотехнічні науки, трибологію, матеріалознавство, основи конструювання машин та механізмів. Кожна з названих областей знань, своєю чергою, включає свої специфічні для цього процесу розділи. При всьому тому, що всі області мають значну глибину знань, разом для повного уявлення про всі процеси в об'язі кристалізації-прокатки наявних відомостей недостатньо, тому багато досліджень носять емпіричний характер. З появою комп'ютерних можливостей завдання валкової розливки-прокатки вирішуються з використанням прикладних стандартних програм, доповнених спеціально розробленими модулями. Спеціалізованих програм для валкової розливки-прокати поки не створено і це є причиною того, що завдання вирішуються з вимушеними припущеннями, спрощеннями та непрогнозованою точністю. Серед стандартних програм найбільшою популярністю користуються засновані на методі кінцевих елементів, однак вони не призначені для прямих досліджень процесу валкової розливки-прокатки. Крім того, всі вони в ряді випадків мають обмежені можливості, наприклад, в частині дослідження об'ємних перетворень в осередку деформації, оскільки метод не має властивість адитивності. Більш раціональним, на нашу думку, для вирішення подібних завдань є використання програм на основі методу кінцевих об'ємів. Метод спочатку призначався для розв'язання задач гідрогазодинаміки і теплообміну, в пізніший період часу дослідники стали використовувати його для вирішення завдань теорії прокатки. Авторами [20–22] використовуються елементи методу кінцевих об'ємів для вирішення об'ємних завдань теорії прокатки. Метод використовується у новій якості з включенням необхідних доповнень, обґрунтування доцільності та ефективності нового підходу та окремі його фрагменти, які наведені нижче.

Не торкаючись глибоко теплотехнічних процесів і питань матеріалознавства слід зупинитися на питаннях теорії прокатки, а також на підходах до конструювання установок для валкової розливки-прокатки та їх окремих вузлів. Аналіз літературних джерел свідчить у тому, що у сучасній теорії прокатки не сформульовані фізично обґрунтовані пояснення кінематичних проявів, які супроводжують процес прокатки; по ряду основних положень не вироблено загальних підходів до вирішення задач пластичного перебігу металу; у поглядах на природу пластичного тертя при прокатці не вироблено загальних підходів; не створено у закінченому вигляді методи визначення енергосилових параметрів; по ряду основних положень існують спірні становища та протиріччя.

Базові положення теорії прокатки сформульовані для простих випадків (для прокатки на гладкій бочки), але і для них єдності думок щодо взаємозв'язку технологічних параметрів не вироблено. Комп'ютерні можливості для цих цілей використовуються неефективно, це проявляється, перш за все, у тому, що через відсутність коректних фізичних підходів при постановці завдань та формулюванні граничних умов результати моделювання можуть мати неадекватний характер. Тому результати комп'ютерного моделювання процесу прокатки не завжди викликають позитивну оцінку. Причини критичних оцінок у тому, що в сучасних підходах до комп'ютерного моделювання процесів прокатки недостатня увага приділяється постановці завдання, тестування моделі, не залучаються для цього результати експериментальних досліджень. Основою

будь-якого теоретичного рішення є коректно позначені початкові умови й у зв'язку дуже актуальним продовжує залишатися висловлювання авторів роботи [23], що постановка завдання має бути точніше, ніж рішення.

Відмінність та неоднозначність думок щодо оцінки фізичної суті параметрів прокатки, їх взаємозв'язку відзначається у багатьох роботах, серед них, зокрема, роботи присвячені проблемам пластичного тертя. З них випливає, що загальні закономірності пластичного тертя, придатні для вирішення досить широкого класу завдань теорії прокатки, не виявлено, єдність думок щодо основних положень пластичного тертя не досягнуто, що ускладнює вирішення технологічних завдань, робить їх результати неоднозначними та недостатньо достовірними.

На окремий і глибокий аналіз заслуговує завдання визначення енергосилових параметрів при валковій розливці-прокатці. Назване завдання у практичній діяльності часто залишається без глибокого аналізу, значною мірою так відбувається через відсутність коштів та методів її вирішення. Актуальність завдання викликана, зокрема, тим, що процес валкової розливки-прокатки супроводжується підвищеними динамічними навантаженнями, що зумовлені специфічними температурними умовами роботи. Для установок валкової розливки-прокатки характерними є температурні умови, що постійно змінюються, найбільшою мірою це відноситься до водоохолоджуваних валків. Валок за час свого повного обороту в умовах контакту з рідким металом зазнає складного теплового циклу від температурного максимуму до повного охолодження (практично до температури охолоджуючої води). Крім того, збірний валок крім бандажу та осі включає елементи кріплення, герметизації, підведення та видалення води, канали, порожнини, отвори, проточки. Сукупність названих елементів знижує характеристики міцності валка в порівнянні з суцільним і виникають додаткові вимоги щодо його міцності і надійності. Названі умови роботи валка визначають підвищені вимоги до точності його розрахунку і, насамперед, до точності визначення енергосилових параметрів процесу. За іншими критеріями слід також оцінювати і механічні властивості матеріалів, з яких виготовлені елементи складових валків. Сказане відноситься і до матеріалу бандажів, оцінювати який слід не тільки з позицій міцності, але й експлуатаційних якостей, наприклад, змінної твердості, використовувати для цього нові підходи. Створення точних методів визначення енергосилових параметрів розливки-прокатки за сучасного рівня знань є перспективною віддаленою майбутнього. Для практичних цілей на даний період часу можуть бути використані деякі найближчі рішення з числа існуючих [21, 22], доповнені відповідними поправками і уточненнями.

Особливості конструктивних рішень валкового розливання-прокатки. Експериментальні методи завжди залишатимуться інструментом перевірки достовірності математичної моделі, результатів теоретичних розрахунків, отримання вихідних даних для створення нових математичних моделей, перевірки гіпотез, що висувуються. Все це стало передумовами для створення принципіально нової експериментальної установки, призначеної для одержання заготовки методом валкової розливки-прокатки. Технологічне завдання і розробка конструкції експериментального пристрою вирішувались, у тому числі, із залученням аналізу найближчих світових, а також авторських аналогів. Аналіз конструкцій установок, відомості про які опубліковані у відкритому друку, показав, що вони не змогли стати достатньою мірою аналогами, оскільки мають принципові відмінності за багатьма ознаками. Відомості в літературних джерелах часто носять характер ноу-хау і становлять комерційну таємницю. У відкритий друк надходять відомості про досягнення результатів, що становлять інтерес для споживачів і часто мають більшою мірою рекламний характер. У таких умовах ефективнішим засобом стає створення власних рішень на основі доступних засобів та джерел. Завдання, що стоїть, дуже ускладнюється тим, що ніяких аналогів для майбутніх рішень у світовій практиці немає оскільки подібна робота виконується вперше. З цієї причини аналіз деформаційних, кінематичних і енергосилових особливостей трансформації розплавленого металу по новому способу валкової розливки-прокатки проводився вперше. Для реалізації поставленого завдання необхідним стало виконання комплексу робіт, пов'язаних із виконанням проектно-конструкторських розробок, моделюванням, виготовленням обладнання та оснащення, а також виконання монтажних та пуско-налагоджувальних робіт.

Конструкції установок для валкової розливки-прокатки дуже різноманітні за своїми конструктивними ознаками. Багато в чому це викликано різноманітністю марочного і розмірного сортаменту штаб, що виробляються. До інших причин слід віднести відсутність єдності думок щодо взаємозв'язку технологічних параметрів процесу валкової розливки-прокатки та конструктивних ознак установок у частині швидкості розливання,

діаметрів валків, температурних та деформаційних режимів. Дуже різноманітними є конструкції валків-кристалізаторів, останнім часом стали широко використовуватися збірні валки. Конструкція такого валка-кристалізатора містить бандаж, який виготовляється з жароміцного матеріалу з високою теплопровідністю, внутрішня поверхня якого омивається водою, що циркулює в замкнутій системі [18, 24, 25]. У технічній літературі є також відомості про достатність інтенсивного тепловідбору примусового внутрішнього і зовнішнього повітряного охолодження валків [26], проте виключно повітряна схема охолодження інструмента практичного застосування поки що не отримала. У частині власних аналогів було використано розробки, які були виконані спільно з ГанOVERським та Падерборнським університетами Німеччини [13–17].

Дуже важливим чинником під час створення нових видів обладнання для поєднаних і комбінованих процесів є визначення енергосилових параметрів. Сказане відноситься до всіх видів обробки металів тиском, а також процесів і операцій, що відносяться до них. Існуючі підходи до визначення названих параметрів потребують серйозного перегляду. Визначення енергосилових параметрів прокатки є нелегкою задачею навіть для порівняно простих випадків, для складних процесів досить глибоких теоретичних вирішень не створено. Недолік теорії компенсується досягненнями практики, основу яких складає експериментальний матеріал. Ще більшою проблемною стає ситуація для випадків створення поєднаних процесів, де показники незнання підсумовуються. Причина відсутності досить надійних методів визначення енергосилових параметрів, зокрема, полягає і в тому, що не створено єдині концептуальні підходи до оцінки пластичного тертя.

У випадку поєднання процесів необхідним стає визначення тимчасових і кінематичних параметрів. Значною мірою це відноситься, наприклад, до безперервної прокатки. У частині теорії кінематичної взаємодії металу з інструментом за низкою положень не створено закінчених вирішень, про що свідчить відмінність поглядів з окремих питань, дискусійність і прямо протилежні точки зору. Однією з причин служить неоднозначність думок з питань пластичного тертя, про що сказано вище. Слід безумовно погодитися з дослідниками, зокрема, з автором роботи [27], які стверджують, що суміщені методи обробки металів тиском значною мірою знаходяться на початковому етапі розробки та далеко не всі можливості у технічному і технологічному плані досліджено та застосовано на практиці.

Нова установка значною мірою створена в розвиток авторських розробок, також використовуються стандартні і готові вироби, вона включає три валка-кристалізатора, які в сукупності з привалковим оснащенням утворюють об'ємний міжвалковий простір, у якому створюється можливість формувати об'ємну заготовку. Поздовжні осі валків-кристалізаторів розташовані в горизонтальній площині під кутом 120 градусів один до одного, тим самим створюється замкнутий валковий контур, який разом з обмежувачами забезпечує ущільнення металу в об'ємі кристалізації і деформації. Пристрій містить конічно-циліндричний стрижень для створення колового отвору в заготовці, для отримання суцільних заготовок стрижень не використовується.

Особливості авторського рішення валкового розливання-прокатки. Конструктивні особливості встановлення валкової розливки-прокатки у всіх випадках залежить від технологічної задачі, що вирішується, рівня закінченості її вирішення та достовірності отриманих результатів. Процес валкової розливки-прокатки порожнистих і суцільних заготовок є принципово новим і тому містить у собі безліч нерозкритих його особливостей у частині кінематики, енергосилових параметрів, характеру перебігу рідкого металу та його кристалізації, зовнішнього та внутрішнього тертя, а також їх взаємозв'язку, теплоперенесення та термодинаміки. Оскільки розробки технологічних основ створюються вперше, це віддзеркалюється лише на рівні первинних знань щодо устаткування. Нова технологія знаходиться на стадії свого зародження і всі положення в частині конструкції створюються вперше, тому деякі рішення створюються на основі гіпотетичних передумов.

Привід валків-кристалізаторів в новому пристрою груповий від одного електродвигуна змінного струму. Потужність приводу є функцією фізичних та технологічних характеристик та параметрів. До перших відносяться реальні фізичні властивості конкретного металу, що проходить стадії плавлення, потім – охолодження, кристалізації та пластичну деформацію. При цьому остання стадія протікає в монотонно змінюваних умовах. Спочатку протікає квазідеформація напіврідкого металу, на зміну їй приходить деформація, яка має вже певні ознаки, тобто ознаки традиційної пластичної деформації (які мають місце при поздовжній прокатці). Ознаки традиційної пластичної деформації є неповними, оскільки процес протікає в умовах змінного температурного поля і, відповідно, кристалізації, що не встановилася. Відповідно, не можуть бути стаціонарними

також умови тертя на контактi метал-валок. Умови тертя на контактi безпосередньо впливають на кiнематику осередка кристалiзацiї-деформацiї, в першу чергу, на протяжнiсть зон ковзання (вiдставання та випередження) та прилипання. Питання кiнематики осередка деформацiї при поздовжнiй прокатцi достатньо не вирiшенi навiть для простого випадку прокатки (прокатки на гладкiй бочцi). З деяких питань продовжують iснувати принциповi розбiжностi, наприклад, щодо протяжностi зони прилипання, мiсця її розташування або навiть iснування взагалi. Разом з тим, протяжнiсть зони прилипання в сукупностi з коректними уявленнями про умови тертя на контактi безпосередньо характеризує енергосилову картину процесу. Питання кiнематики процесу валкової розливки-прокатки у свiтовiй практицi не розглядаються, наскiльки можна судити з публiкацiй. Однiєю з причин є складнiсть процесу, його багатofакторнiсть, тому й труднощi створення достовiрних методiв розрахунку. Ще бiльш складним є процес отримання масивних тiл методом валкової розливки-прокатки. У разi, за вiдсутностi методiв розрахунку розробники i дослiдники використовують дуже наближенi власнi методики, рiзного роду аналоги i, не останню чергу, покладаються на iнженерну iнтуїцiю.

Технологiчний комплекс нового типу у складi трьох основних вузлiв представлено на рис. 3.

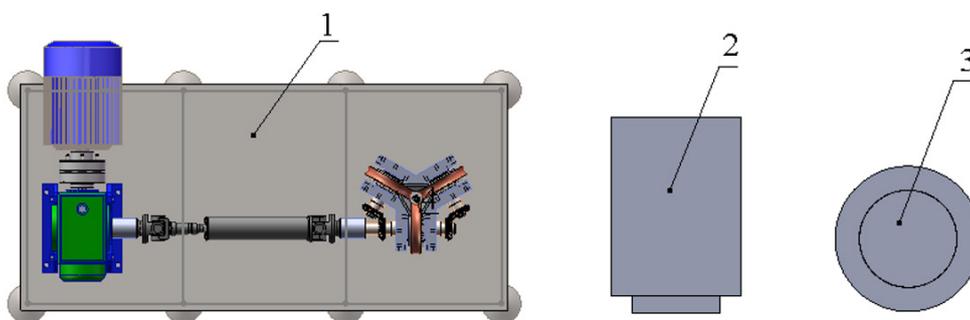


Рисунок 3 – Схема розташування установки валкової розливки-прокатки і допоміжного обладнання

1 – пристрій валкової розливки-прокатки і допоміжне механічне обладнання (електродвигун, редуктор, шпіндель); 2 – піч підігрівальна; 3 – піч плавильна

Деталі та вузли установки виготовлялися на машинобудівному підприємстві «Завод Запоріжмашпром», підприємство знаходиться в м. Запоріжжя. Остаточний монтаж основного (виготовленого) і допоміжного обладнання, збирання готових та стандартних виробів (двигун, редуктор, шпіндель), монтаж електрообладнання, наладка, настройка виконувалася силами співробітників кафедри виконувалось безпосередньо в лабораторії кафедри металургійного обладнання ЗНУ. Установка валкової розливки-прокатки в зборі з приводом представлена на рис. 4. Заключні випробування розробок проводилася у умовах лабораторії, основним завданням експериментальних досліджень було випробування конструкції установки та підтвердження технологічних прогнозів щодо поведінки обсягів розплавленого металу при його контактi з технологічним інструментом.



Рисунок 4 – Установка валкової розливки-прокатки в зборі з приводом

У лабораторних експериментах досліджуваними металами були свинець та алюміній. Свинець є загально визнаним модельним матеріалом у світовій практиці досліджень процесів обробки металів тиском. Свинець у частині досліджень реології дозволяє виявити нові невідомі раніше пластичні властивості та поширити їх на інші групи металів та які можуть бути, зокрема, реологічно складними [28], також в деяких випадках стає можливим, отримавши первинні відомості про енергосилові параметри процесу, екстраполювати деякі результати на випадки деформації інших металів.

Висновки. Створено принципово новий спосіб та пристрій для отримання методом валкової розливки-прокатки порожнистих і суцільних заготовок, які призначені для прокатного виробництва і машинобудування. Конструкція пристрою включає три валки-кристалізатори, які в сукупності з іншим оснащенням установки дозволяють утворити об'ємний міжвалковий простір, в якому відбуваються температурні, кристалічні та деформаційні перетворення металу і створюється об'ємне масивне тіло заготовки. Пристрій створений на базі розробок, захищених патентом України на винахід. Було проаналізовано деформаційні, кінематичні і енергосилові особливості трансформації розплавленого металу в пристрої для валкової розливки-прокатки нового типу.

Розроблено лабораторний дослідницький комплекс, що, зокрема, включає: експериментальний пристрій, нагрівальну і плавильну піч, а також стандартні і готові вироби (редуктор, електродвигун, основа та ін.). Розроблено конструкторську документацію на виготовлення деталей і вузлів установок валкової розливки-прокатки. Відповідно до розробленої конструкторської документації виготовлені деталі і вузли установки валкової розливки-прокатки на підприємстві «Завод Запоріжмашпром», м. Запоріжжя. На лабораторній базі кафедри металургійного обладнання ЗНУ розміщено дослідницький комплекс, проведені перші експериментальні дослідження. Метою досліджень було перевірка працездатності обладнання в цілому та окремих його агрегатів, вузлів, елементів, вивчення функціональності установки і процесу, відповідність розробленим параметрам і технологічності процесу в цілому.

Виготовлена експериментальна партія суцільних і порожнистих заготовок у кількості по 10 штук. Отримані в ході апробації заготовки, будучи за своїм призначенням аналогом заготовок, які використовуваної переважно в прокатному виробництві, за своїми параметрами відповідають своєму призначенню.

Результати опробувань підтвердили працездатність запропонованого способу та пристрою для реалізації способу. Промислове виготовлення суцільних і порожнистих заготовок методом валкової розливки-прокатки дозволить поліпшити техніко-економічні показники металургійних і машинобудівних підприємств: скоротити металургійний цикл, знизити енергозатрати, зменшити металоємність обладнання, поліпшити екологічний стан. Результати роботи можуть бути покладені в основу створення дослідно-промислової установки та після проведення додаткових досліджень використані підприємствами металургійного та машинобудівного комплексів для створення промислового обладнання.

Потенційними замовниками результатів розробок можуть бути представники металургійної, машинобудівної та оборонної галузей (ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь», АТ «Мотор Січ», Запорізький ливарно-механічний завод», завод «Інтерпайп Сталь» та ін.).

Бібліографічний перелік

1. Пат. 49053 США, В22D11/0622. Improvement in the manufacture iron and steel/ Bessemer H. (США). № 49053 ; опубл. 25.07.1865. 4 р.
2. Пат. 122095 Україна, Винахід В22D 11/06 від 10.09.2020 р. Огінський Й.К., Таратута К.В., Грідін О.Ю., Ершов С.В., Востоцький С.М. Пристрій для валкової розливки-прокатки металевих суцільних і порожнистих заготовок.
3. Zapuskalov N. Comparison of continuous strip casting with conventional technology / N. Zapuskalov // ISIJ International. 2003. Vol. 43 (№ 8). P. 1115–1127.
4. Данченко В.Н. Кардинальные изменения технологии и проблемы теории производства стального проката. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 8–9. С. 13–19.
5. Wechsler R. The status of twin-roll casting technology. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. 2003. Vol. 32 (№ 1). P. 58–63.
6. Klos W., Höckling J.-U., Becker, L. Ernenputsch. Herstellung innovativer Stahlkonzepte über das Bandgießverfahren. *Proceeding of 28. Aachner Stahlkolloquium, Aachen, 2013*. P. 217–227.
7. Daamen M. Experimental and Numerical Investigation of Double Roller Casting of Strip with Profiled Cross Section / M. Daamen, T. Förster, G. Hirt // ICTP 2011. Vol.2. P. 93-98.

8. Daamen M. Effects of the variation of profile shape on the geometric accuracy and microstructure in profile strip casting / M. Daamen, M. Vidoni, L. Henke, G. Hirt // *Steel Research International*. 2012. P.1223-1226.
9. Vidoni M. Advances in the Twin-roll Strip Casting of Strip with Profiled Cross Section / M. Vidoni, M. Daamen, G. Hirt // *Key Engineering Materials*. 2013. – Vol.554-557. P.562-571.
10. Vidoni M. Profile Strip Casting with Inline Hot Rolling: Numerical Simulations for the Process Chain Design / M. Vidoni, A. Mendel, G. Hirt // *Key Engineering Materials*. 2014. Vol.611-612. P.1568-1575.
11. Daamen M. Tailored strips by welding, strip profile rolling and twin roll casting / M. Daamen, D. D. Julca, G. Hirt // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol.907. P. 29-39.
12. Daamen M. Bandgießen und Weiterverarbeitung profilierter Bänder und hochmanganhaltiger Stähle / M. Daamen, M. Vidoni, G. Hirt // 28. ASK Aachener Stahlkolloquium. 2013. P 207-216.
13. Гридин А.Ю., Огинский И.К., Шапер М. Технологический литейно-прокатный комплекс экспериментальных исследований процессов валковой разливки-прокатки Падерборнского университета. Пластическая деформация металлов : Коллективная монография. Днепр : Акцент ПП, 2017. С. 210-220.
14. Пат. 113368 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб / Гридін О. Ю. (UA), Огинський Й. К. (UA), Бондаренко С. В. (UA), Шапер М. (DE); заявник та патентовласник Національна металургійна академія України. № 201600100; Заявл. 04.01.16. Опубл. 10.01.17, Бюл. №1. 5с.: з іл.
15. Хвист В.А., Гридин А.Ю., Огинский И.К. Стабилизация положения стальной полосы в валковом кристаллизаторе при получении биметаллического алюминиево-стального композита способом валковой разливки-прокатки. *Сучасні проблеми металургії*, 2012. № 15. С. 3–13.
16. Пат. 104950 Україна. Винахід, МПК (2006.01) B22D 11/06, B21В 27/03, B21В 27/08 Валок для валкової розливки-прокатки / Гридін О.Ю., Огинський Й.К., Данченко В.М., Головка О.М. (Україна); заявник та патентовласник Національна металургійна академія України. № 201213079; Заявл. 16.11.12. Опубл. 25.03.14, Бюл. №6. 6 с.: з іл.
17. Grydin O.Yu., Ogins'kyu Y.K., Danchenko V.M., Bach F.-W. Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips. *Metallurgical and Mining Industry*, 2010. № 5 (2). P. 348–354.
18. Georgi-Maschler T. Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung an einer Aluminium-Bandgießanlage. Proceeding of 28. Aachner Stahlkolloquium. Aachen, 2013. P. 187–196.
19. Кодрон К. Горячая обработка металлов : в 2 т. Т. 2 : Производственные процессы горячей обработки металлов. Москва : МАКИЗ, 1929. 326 с.
20. Oginskiy I.K. New approaches to the definition of power parameters of rolling based on finite volume method. *Metallurgical and Mining Industry*, 2011, (7) p. 20-26.
21. Огинский И.К., Данченко В. Н., Самсоненко А. А., Бояркин В. В. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров. Днепропетровск : Пороги, 2011. 355 с.
22. Огинский И. К. Новые подходы к определению энергосиловых параметров прокатки на основе метода конечных объемов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2015. № 7. С. 15-21.
23. Тарновский И. Я. Поздеев А. Н., Ганаго О. А. и др. Теория обработки металлов давлением. Вариационные методы расчета усилий и деформаций. Под редакцией И. Я. Тарновского. Москва : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. 672 с.
24. Menet P.-Y. Strip Casting Technology. A Key to Product Quality / P.-Y. Menet, F. Basson, K. Maiwald, R. Cayol // *Proc. of Melt Quality Workshop*. Madrid, 2001. P. 25–29.
25. Пат. 2002793061 ЄВП, B22D11/06. Giesswalze und verfahren zur herstellung einer giesswalze / Hohenbichler G., Eckerstorfer G., Reiter T., Damasse J.-M. (Німеччина) – № WO2003057390A; заявл. 18.12.2002; опубл. 18.12.2003. 10 с.
26. Mucciardi F. Waterless Caster for Matte/Slag Granulation / F. Mucciardi, E. Palumbo, N. Jin // *Proc. of Copper 99-Cobre 99, TMS*. 1999. Vol. 4. P. 153–169.
27. Фастыковский А.Р. Совмещенные процессы, использующие резервные силы трения в очаге деформации при прокатке : монография Новокузнецк : Изд-во НПК, 2007. 246 с.
28. Шломчак Г.Г. Реометаллика. Днепро : Лира. 2021. 312 с.

References

1. Pat. 49053 USA, B22D11/0622. Improvement in the manufacture of iron and steel/ Bessemer H. (USA). No. 49053; published 07.25.1865. 4 p.m.
2. Pat. 122095 Ukraine, Invention B22D 11/06 from 10.09.2020 Oginskyi Y.K., Taratuta K.V., Gridin O.Yu., Yershov S.V., Vostocki S.M. Device for roll casting-rolling of solid and hollow metal blanks.
3. Zapuskalov N. Comparison of continuous strip casting with conventional technology / N. Zapuskalov // *ISIJ International*. 2003. Vol. 43 (№ 8). P. 1115–1127.

4. Danchenko V.N. Radical changes in technology and problems in the theory of rolled steel production. *Metallurgical and mining industry*. 2000. No. 8–9. P. 13–19.
5. Wechsler R. The status of twin-roll casting technology. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. 2003. Vol. 32 (№ 1). P. 58–63.
6. Klos W., Höckling J.-U., Becker, L. Ernenputsch. Herstellung innovativer Stahlkonzepte über das Bandgießverfahren. *Proceeding of 28. Aachner Stahlkolloquium, Aachen, 2013*. P. 217–227.
7. Daamen M. Experimental and Numerical Investigation of Double Roller Casting of Strip with Profiled Cross Section / M. Daamen, T. Förster, G. Hirt // *ICTP 2011*. Vol.2. P. 93-98.
8. Daamen M. Effects of the variation of profile shape on the geometric accuracy and microstructure in profile strip casting / M. Daamen, M. Vidoni, L. Henke, G. Hirt // *Steel Research International*. 2012. P.1223-1226.
9. Vidoni M. Advances in the Twin-roll Strip Casting of Strip with Profiled Cross Section / M. Vidoni, M. Daamen, G. Hirt // *Key Engineering Materials*. 2013. – Vol.554-557. P.562-571.
10. Vidoni M. Profile Strip Casting with Inline Hot Rolling: Numerical Simulations for the Process Chain Design / M. Vidoni, A. Mendel, G. Hirt // *Key Engineering Materials*, 2014. Vol.611-612. P.1568-1575.
11. Daamen M. Tailored strips by welding, strip profile rolling and twin roll casting / M. Daamen, D. D. Julca, G. Hirt // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol.907. P. 29-39.
12. Daamen M. Bandgießen und Weiterverarbeitung profilierter Bänder und hochmanganhaltiger Stähle / M. Daamen, M. Vidoni, G. Hirt // *28. ASK Aachener Stahlkolloquium*. 2013. P.207-216.
13. Hrydin A.Yu. Oginsky I.K., Shaper M. Technological casting-rolling complex of experimental studies of roll casting-rolling processes of the Paderborn University. *Plastic deformation of metals: Collective monograph*. Dnipro: Accent PP, 2017. P. 210-220.
14. Pat. 113368 Ukraine, IPC (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Device for roll casting-rolling of profiled shafts / Hrydin O. Yu. (UA), Oginskyi Y. K. (UA), Bondarenko S. V. (UA), Shaper M. (DE); the applicant and patent holder is the National Metallurgical Academy of Ukraine. No. 201600100; Application 04.01.16. Publ. 10.01.17, Bul. No. 1. 5 p.: with illustrations.
15. Khvyst V.A., Hrydyn A.Yu., Oginsky Y.K. Stabilization of the position of the steel strip in the roll crystallizer during the production of a bimetallic aluminum-steel composite by the method of roll casting-rolling. *Modern problems of metallurgy*, 2012. No. 15. P. 3–13.
16. Pat. 104950 Ukraine. Vynahid, IPC (2006.01) B22D 11/06, B21B 27/03, B21B 27/08 Roll for roll casting-rolling / Hrydin O.Yu., Oginskyi Y.K., Danchenko V.M., Golovko O.M. (Ukraine); the applicant and patent holder is the National Metallurgical Academy of Ukraine. No. 201213079; Application 16.11.12. Publ. 25.03.14, Bul. No. 6. 6 p.: with illustrations.
17. Grydin O.Yu., Ogins'kyi Y.K., Danchenko V.M., Bach F.-W. Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips. *Metallurgical and Mining Industry*, 2010. № 5 (2). P. 348–354.
18. Georgi-Maschler T. Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung an einer Aluminium-Bandgießanlage. *Proceeding of 28. Aachner Stahlkolloquium, Aachen, 2013*. P. 187–196.
19. Kodron, K. Hot processing of metals: in 2 vols. T. 2: Производственные процессы хойти обработка металлов. Moscow: MAKIZ, 1929. 326 p.
20. Oginskyi I.K. New approaches to the definition of power parameters of rolling based on finite volume method. *Metallurgical and Mining Industry*, 2011, (7) p. 20-26.
21. Oginsky I.K., Danchenko V.N., Samsonenko A.A., Boyarkin V.V. Metal deformation processes based on multi-roll gauges. Dnipropetrovsk: Porogy, 2011. 355 p.
22. Oginsky I. K. New approaches to determining energy-force parameters of rolling based on the method of finite volumes. *Metallurgical and mining industry*, 2015. No. 7. P. 15-21.
23. Tarnovsky, I. Ya., Pozdeev, A. N., Ganago, O. A., et al. Theory of metal processing by pressure. Variational methods of calculating forces and deformations. Edited by I. Ya. Tarnovsky. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-technicheskoe izdatelstvo literatury po chernoi i tsvetnoi metallurgii, 1963. 672 p.
24. Menet P.-Y. Strip Casting Technology. A Key to Product Quality / P.-Y. Menet, F. Basson, K. Maiwald, R. Cayol // *Proc. of Melt Quality Workshop, Madrid, 2001*. P. 25–29.
25. Pat. 2002793061 EVP, B22D11/06. Giesswalze und verfahren zur herstellung einer giesswalze / Hohenbichler G., Eckerstorfer G., Reiter T., Damasse J.-M. (Germany) – No. WO2003057390A; statement 18.12.2002; published 18.12.2003. 10 s.
26. Mucciardi F. Waterless Caster for Matte/Slag Granulation / F. Mucciardi, E. Palumbo, N. Jin // *Proc. of Copper 99-Cobre 99, TMS*. 1999. Vol. 4. P. 153–169.
27. Fastykovsky A.R. Combined processes using reserve forces of friction in the center of deformation during rolling: monograph Novokuznetsk: Izd-vo NPK, 2007. 246 p.
28. Shlomchak H.G. Rheometallics. Dnipro: Lyra. 2021. 312 p.

Ogins'kyi Josef, professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhia a National University, ORCID: 0000-0001-6376-2019

Vlasov Andrii, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0003-3253-6435

Grydin Olexandr, associate professor, doctor of technical sciences department of materials science, University of Paderborn, Germany, ORCID: 0000-0001-9683-5464

Hrechanyi Oleksii, senior lecturer, Ph.D, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0003-0524-4998

Vasilchenko Tetyana, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID 0000-0002-0340-3900

A NEW DIRECTION OF MANUFACTURING PREPARATION FOR METALLURGY AND MECHANICAL BUILDING

A fundamentally new method of obtaining blanks for grade rolling, pipe production and machine building has been developed. The method is based on the use of the roll casting-rolling process. A fundamentally new design of the casting-rolling installation has been developed, it includes three crystallizer rolls, which, together with other equipment of the installation, form a volumetric inter-roll space, where a three-dimensional massive body of the workpiece is created, the design device is protected by a patent of Ukraine for an invention. The method and device make it possible to obtain solid and hollow blanks that can have a dual purpose. Design solutions are based on proven original analogs. The developments have undergone initial testing in the laboratory of the department of metallurgical equipment of the Zaporizhzhia National University. The testing was experimental in nature, the main task was to test the design of the installation and the new method. As a result of the approbation, the manufacturability of the method and device was established, the prospects of their development and application in industrial conditions were confirmed. The workability of the method of obtaining blanks and the device for its implementation has been confirmed. The industrial production of solid and hollow billets by the roll casting-rolling method will improve the technical and economic indicators of metallurgical and machine-building enterprises: shorten the metallurgical cycle, reduce energy costs, reduce the metal capacity of equipment, and improve the environmental condition. The results of the development can be used by enterprises of metallurgical, machine-building complexes, and the defense industry. The availability of new type of blanks allows to revise the composition of the equipment of rolling mills and pipe shops in the direction of reducing its volume and energy consumption. In the future, new developments become the basis for the creation of endless graded rolling.

Key words: casting-rolling, roll-crystallizer, crystallization, roll casting-rolling device, bandage, hollow and solid blanks, combined processes, headquarters.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2023 р.