

УДК 621.74.47

А.М. НІКОЛАЄНКО <sup>(1)</sup>, професор, кандидат технічних наукЮ.П. ТАРАН <sup>(2)</sup>, інженерІ.П. ТРЕГУЛОВА <sup>(1)</sup>, студент

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ АЛЮМІНІЮ

<sup>(1)</sup> Запорізька державна інженерна академія<sup>(2)</sup> ВАТ «Крок-ГТ», м. Запоріжжя

Подано результати патентно-літературного огляду методів безперервного лиття та прокатки алюмінію. Викладено головні етапи розвитку та виконано порівняльний аналіз існуючих технологій.

Ключові слова: ливарна машина, кристалізатор, прокатний стан, заготовка, катанка

Після появи ідеї поєднання процесу прокатки з безперервним литтям технологія цього виробництва пройшла значний шлях розвитку. Спочатку катанку намагалися одержати, подаючи рідкий метал безпосередньо у міжвалковий проміжок. Цей спосіб, названий беззливковим прокатуванням, запропонував Г. Бессемер у 1865 р. [1]. Проте позитивні результати не було одержано ні із сталлю, ні з кольоровими металами через наявність тертя ковзання між початковою затверділою поверхнею зливка та поверхнею форми. При цьому відбуваються процеси створення тріщин і руйнування кірки, яка утворюється під час кристалізації. Розплавлений метал витікає на затверділу поверхню, що супроводжується появою неоднорідності структури зливка [2].

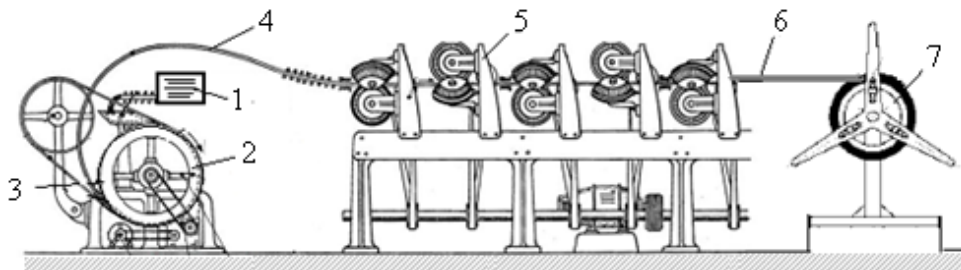
Надалі процес безперервної прокатки удосконалили та подавання металу на валки почали виконувати через насадки, які встановлено між ними. При цьому кристалізація та деформація металу частково розділяються, але через розташування валків поблизу кристалізатора, процес прокатки металу починається, коли серцевина зливка знаходиться ще у рідкому стані. При цьому не відбувається утворення усадкової раковини, проте зливки піддається обтисканню за температури переходу металу з рідкої фази на тверду, тобто наявності його низької пластичності. Як результат у його центральній частині утворюються тріщини, які заповнюються розплавом з вищим вмістом легуючих елементів. Окрім того, незатверділа частина металу витісняється у задню частину зливка. Усе це призводить до хімічної неоднорідності прокату за його перерізом і довжиною. Слід зазначити, що швидкість лиття у таких кристалізаторах є невеликою (1...2 м/хв.) через обмеження площі зіткнення розплавленого металу з охолоджуваними валками дугою захоплення [2]. Тому для біль-

шості марок стали, як і для сплавів кольорових металів, застосування цього способу не дозволяє одержувати продукцію високої якості.

Найбільшого поширення у сучасній металургії набула технологія, де обтискання злиwkів, одержаних безперервним литтям, відбувається після кристалізації металу. В результаті повного розподілу процесів кристалізації та деформації металу катанка на виході з прокатного стану має однорідну структуру, покращуються її механічні властивості та поширюється можливий сортамент [2].

Під час створення агрегатів для виробництва прокатних профілів за такою технологією головна складність полягала у розробці кристалізаторів, які забезпечували б досить високу швидкість виходу зливка та не знижували продуктивність прокатного стану. Успішному вирішенню цього питання для алюмінію, міді та деяких інших кольорових металів сприяла їх висока теплопровідність і досить низька температура плавлення. У 1947 р. італійським винахідником І. Проперці, запатентовано спосіб одержання катанки з кольорових металів методом безперервного лиття та прокатки (БЛП) та запропоновано конструкцію ливарно-прокатного агрегату (ЛПА), що реалізовує такий спосіб (рис. 1) [3].

ЛПА конструкції «*Properzi*» складається з роторної ливарної машини із замкнутим контуром водяного охолодження, прокатного стану та моталки. Розплавлений метал 1 поступає в жолоб мідного обода на ливарному колесі 2, що обертається, та кристалізується за рахунок охолодження його водою. Для використання жолоба як виливниці обід колеса охоплювали сталеву стрічкою 3 під кутом 180°. Після лиття одержана заготовка 4 проходить через валки прокатного стану 5, де її обтискають до необхідного діаметру. Готовий продукт у вигляді дроту 6 з рівною (без оксиду й усадкових раковин) поверхнею укладають на моталку 7.



1 - розплавлений метал; 2 - ливарне колесо; 3 - сталеві стрічка;  
4 – безперервної заготовка; 5 - прокатний стан; 6 - дрiт; 7 - моталка  
**Рисунок 1** – Принципова схема ЛПА конструкції «Properzi»

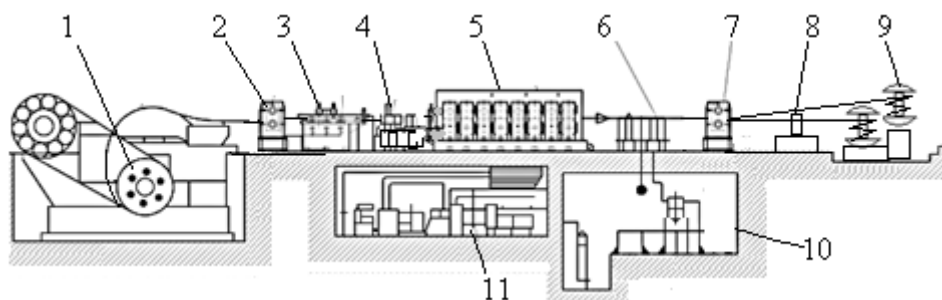
За таким способом виключають ковзання зливка щодо стінок кристалізатора, що обертається, і не потрібно докладати зусиль для його витягування, а для підвищення швидкості лиття досить збільшити діаметр кристалізатора або переріз жолоба [4,5].

Компанія «Continuus-Properti», що заснована у 1947 р. [м. Мілан (Італія)], згодом стала світовим лідером з розробки та виробництва обладнання БЛП. Спочатку технологію безперервного лиття та прокатки застосовували для виготовлення дроту зі свинцю і цинку. Проте з часом вона знайшла повсюдне застосування для виробництва катанки з алюмінію та міді, найважливіших матеріалів для кабельної промисловості. Перші лінії БЛП алюмінієвої катанки було встановлено у 1949-1950 р.р. на заводи компаній «Imperial Chemical Industries» (Великобританія), «Montecatini» (Італія) та «Pechiney» (Франція). Відтоді в різних країнах світу було здано до експлуатації більше ніж 400 ліній БЛП різної продуктивності. Нині більше 85 % алюмінієвої

катанки виробляють на обладнанні «Continuus-Properti» [5,6].

Збільшення попиту на кабельну продукцію, поява нових вимог до якості алюмінієвої та мідної катанки сприяли вдосконаленню технології безперервного лиття і прокатки, появи нових розробників та виробників ливарно-прокатних агрегатів у США, СРСР, Великобританії, Німеччині, КНР та ін. Так, у СРСР, зараз у Російській Федерації, з середини 50-х років ХХ століття створення ЛПА для виробництва алюмінієвої та мідної катанки здійснює ВАТ «АХК ВНДІ-МЕТМАШ». У 1961 р. його ливарно-прокатний агрегат ЛПА-АК, багато в чому схожий на італійський варіант, було введено до експлуатації на Дніпровському алюмінієвому заводі (м. Запоріжжя). Всього за розробками цієї організації на підприємствах металургійної промисловості впроваджено 20 подібних установок [2,5].

Принципову схему ливарно-прокатного агрегату конструкції «АХК ВНДІ-МЕТМАШ» наведено на рис. 2 [7].



1 - ливарна машина роторного типу, 2 - барабанні ножиці, 3 - правильно-тягова машина, 4 - зачищальна машина, 5 - прокатний стан, 6 - лінія охолодження, 7 - летючі ножиці, 8 - проводка моталки, 9 - двошпулева моталка, 10 - оливо-емульсійний підвал, 11 - підвал лінії охолодження

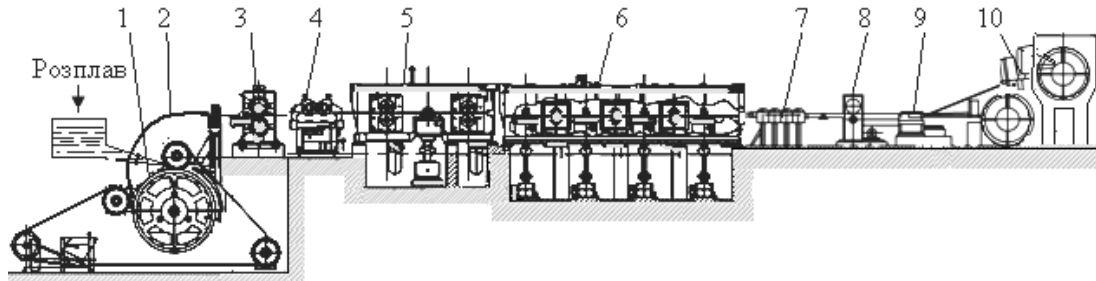
**Рисунок 2** – Принципова схема ливарно-прокатного агрегату конструкції «АХК ВНДІ-МЕТМАШ»

ЛПА конструкції ВАТ «АХК ВНДІ-МЕТМАШ» містить ливарну машину з мідною виливницею та системою водяного охолодження, де формується безперервний зливочок, барабанні ножиці для відрізання дефектних частин литої заготовки, машини для протягання та зачищення

крайок заготовок, стан для прокатки литої заготовки на катанку нескінченної довжини, вузол для охолодження катанки, летючі ножиці для різання катанки перед заправкою в барабан моталки або за умови виникнення аварійної ситуації, а також намотувальний пристрій із здвоєними

шпулями для одержання бухт катанки й автоматичного переходу із заповненого барабана на вільний. Готовий моток зв'язують і відправляють у місце зберігання.

У 1964 р. компаніями «Southwire» і «Western Electric» США шляхом модернізації ливарної машини та системи охолодження зливка в лінії «Properzi» розроблено ЛПА більшої продуктивності (рис. 3) [8].



1 – п'ятиколісна ливарна машина, 2 - заготовка, 3 - барабанні ножиці, 4 - правильно-тягова машина, 5 - машина підготовки, 6 - прокатний стан, 7 - лінія охолодження, 8 - летючі ножиці, 9 - проводка моталки, 10 - здвоєна барабанна моталка

**Рисунок 3** – Схема агрегату безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки «Southwire»

Для підвищення швидкості лиття в агрегаті збільшили довжину контакту литої заготовки з кристалізатором за рахунок збільшення кута охоплення його сталеву стрічкою з 180 до 270°. При цьому механізм натягнення стрічки виконали чотириколісним, а систему водяного охолодження зливка, такою, що здатна забезпечити інтенсивнішу кристалізацію металу. Необхідну якість катанки досягають шляхом настроювання технологічних параметрів лиття (фізичні та хімічні властивості розплаву, процес охолодження зливка), і прокатки заготовок (підбирання клітей і настроювання температурних режимів охолодження валків) [2,4,5].

З часом компанія «Southwire Company LLC» (США) зайняла другу позицію в світі після «Continuus-Properzi S.P.A» (Італія) з випуску ливарно-прокатних агрегатів для виробництва катанки з алюмінію, міді та їх сплавів [4,8].

Останніми роками на ринку агрегатів безперервного лиття та прокатки кольорових металів активно пропонують свою продукцію китайські фірми «Far East (China) Group Limited» і «Hefei Smarter Technology Group Corporation» [9,10]. Проте, незалежно від виробника, ЛПА з роторними кристалізаторами мають практично однаковий склад головного технологічного обладнання. Відмінність полягає тільки в техніко-економічних показниках і конструкції деяких машин, які кожна компанія розробляє по своєму, вирішуючи завдання підвищення продуктивності агрегату та поліпшення якості готової продукції.

Зокрема, для усунення у місцях вигину заготовки значного механічного напруження, яке

сприяє появі тріщин і браку під час прокатки, конструкцію кристалізаторів виконують так, щоб вказані вигини були досить плавними. Окрім того, кут охоплення кристалізатора сталеву стрічкою впливає на швидкість лиття та продуктивність ЛПА. Так, компанія «Properzi» і ВАТ «АХК ВНДІМЕТМАШ» у своїх розробках використовують двоколісні ливарні машини, ЛПА китайського виробництва оснащують чотириколісними машинами, а в агрегатах «Southwire» застосовують п'ятиколісні ливарні машини [2,4,8-10].

Головним робочим органом ливарного колеса є мідний водоохолоджуваний обід з жолобом для металу. Його конструкція у різних машинах навіть однієї і тієї ж фірми-виготівника може відрізнитися, проте всі ободи мають приблизно однакові тепловідвідні властивості [5].

Після прокатки відливої заготовки дріт одержаного діаметру змотують у бухти масою приблизно 2,0 т. У ливарно-прокатних агрегатах ВАТ «АХК ВНДІМЕТМАШ» працюють шпулеві здвоєні моталки з вертикальною віссю обертання, які пристосовані для змотування пластичнішої катанки. У ЛПА китайського виробництва застосовують здвоєні моталки кошикового типу, де дріт укладають у вертикальні бухти без натягнення. У агрегатах «Properzi» та «Southwire» встановлюють здвоєні моталки кошикового типу або моталки французької фірми «OTT» з горизонтальними барабанами, які застосовують для намотування жорсткішої катанки [2,4,8-10].

Є відмінності і в комплектуванні прокатних станів. Так, ЛПА, що випускають у Російській Федерації, мають двенадцятиклетьові прокатні стани з двовалковими клітьми, які зібрані у два

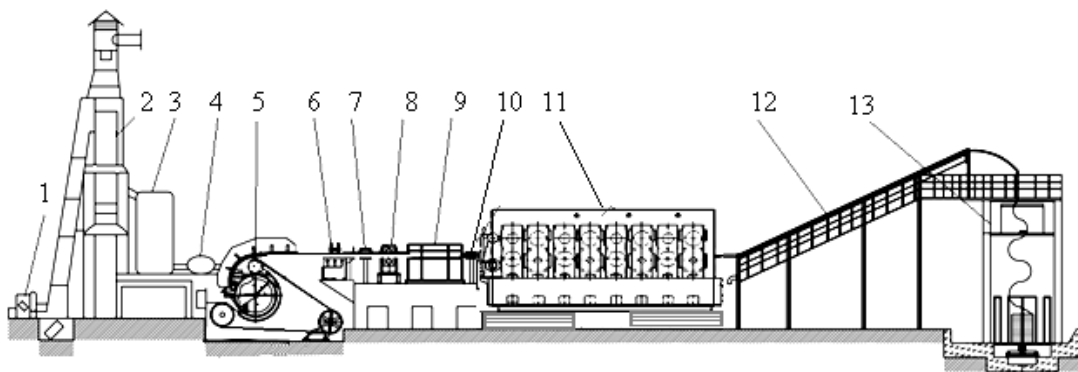
блоки, що містять по шість клітей із загальним приводом. Між блоками встановлюють летючі ножиці для обрізання переднього кінця. У прокатних станах компанії «*Properzi*» використовують двовалкові робочі клітей у чорновій групі та тривалкові клітей – у чистовій групі. Загальну кількість клітей варіюють від 8 до 15. Прокатні стани ЛПА фірми «*Far East Group Limited*» (China) укомплектовано тривалковими клітейми у кількості 15 штук [4,5,8-10].

В деяких випадках склад технологічного обладнання лінії доповнюють спеціальними пристроями. На компоновку лінії впливають запланована потужність, використовувана сировина, хімічний склад і фізичні властивості одержаної катанки. Так, якщо виробляють катанку із сплавів алюмінію, то перед станом встановлюють індуктор для додаткового підігрівання та вирівнювання температури заготовки. Під час виробництва твердої катанки між чорною та чистовою групами клітей прокатного стану встановлюють секцію охолодження, подібну до секції, яка працює перед моталкою [7].

У технологічній лінії кожного ЛПА є пічна ділянка, яка призначена для підготовки металу до лиття. Якщо агрегат встановлений на виробництві, де немає електролізерів, то на пічній ді-

лянці виконують і розплавлення алюмінію. Повну схему технологічної лінії безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки на прикладі ЛПА типу «*LY-1600*» (КНР), що обладнано чотириколісною роторною ливарною машиною та моталкою кошикового типу, наведено на рис. 4 [9].

Скип завантажувальної машини місткістю 1,2 т подає алюмінієві брикети до газової плавильної печі шахтного типу. Висота шахти складає 4,5 м, внутрішній діаметр – 1,5 м. Метал після розплавлення прямує в одну з двох роздавальних печей місткістю 10 т, обладнаних електромагнітними мішалками. Підготовлений до лиття метал очищують від шлаку, піддають дегазації та далі самопливом через дозуючу камеру горизонтально направляють у жолоб ливарного колеса діаметром 1600 мм, охопленого сталеву стрічкою. Під дією води, що охолоджує, розплавлений алюміній кристалізується у виливниці колеса, що обертається, та у вигляді безперервного зливка подається у прокатний стан за допомогою переднього тягового та правильного пристроїв. У разі незадовільної якості лиття заготовку розрізають гідравлічними ножицями на дрібні мірні шматки до тих пір, поки вона не відповідатиме встановленим вимогам.



1 - завантажувальна машина, 2 - шахтна плавильна піч, 3 - дві круглі роздавальні печі, 4 - очищуючий дегазуючий пристрій, 5 - чотириколісна машина безперервного лиття, 6 - правильний пристрій, 7 - передній тяговий пристрій, 8 - гідравлічні ножиці, 9 - індукційний нагрівач, 10 - подаючий пристрій, 11 - прокатний стан, 12 - пристрій для загартування й охолодження, 13 - здвоєний бухтівщик кошикового типу

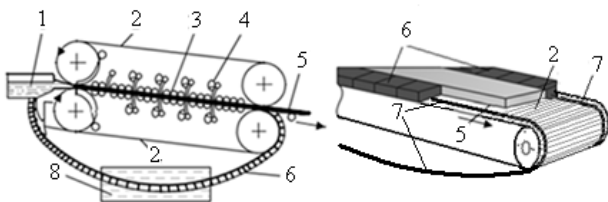
**Рисунок 4** – Технологічна лінія безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки «LY-1600»

Під час виробництва дроту з алюмінієвих сплавів заготовку перед прокаткою нагрівають з використанням індукційного нагрівача. Прокатний стан складається з 15 тривалкових клітей і має привід постійного струму. Після прокатки дріт діаметром 9,5 мм піддають процесам загартування, охолодження та сушіння та подають на здвоєну моталку кошикового типу, яка складається з робочої платформи, направляючих роликів, затискного тягового пристрою, пристрою

утворення кілець і пристрою намотування катанки. Щоб уникнути ушкодження поверхні катанки за умови її перегину перед формуванням бухти, застосовують 32-х роликів направляючий пристрій, який утворює дугу радіусом 1000 мм. Затискний тяговий пристрій разом з пристроєм утворення кілець укладає катанку в приймальний кошик, після наповнення якого відбувається заміна його на новий.

Недоліком технології виробництва алюмінієвої катанки на роторних ливарно-прокатних агрегатах є неможливість одержання сортових і стрічкових заготовок шириною більше ніж 400 мм [2].

На початку 70-х років XX століття фірми «Hazelett Strip Casting Corporation» (США), «Mhoolen» (Бельгія) і «Kruppindustrietechnik» (Німеччина) розробили технологічний процес «SMS-MEER Contirod» для виробництва з кольорових металів і сплавів не лише катанки певного діаметру, але і широких штаб [2,4]. Більшість машин ливарно-прокатного агрегату «SMS-MEER», їх функціональне призначення, а також принцип ведення технологічного процесу, є аналогічними ЛПА «Properzi». Відмінність полягає в тому, що замість роторної ливарної машини використовують рухливий кристалізатор стрічкового типу «Hazelett» (рис. 5) [11].



1 - ємність з розплавленим металом, 2 - сталеві стрічки, 3 - компенсуючі ролики, 4 - форсунки для подавання води, 5 - безперервнолитої заготовка, 6 - ланцюг гребель-блоків, 7 - направляючі гребель-блоків, 8 - ємність з водою

**Рисунок 5** – Принципова схема машини безперервного лиття «Hazelett»

Конструктивно такий кристалізатор виконано у вигляді двох нескінченних похило розташованих і безперервно рухомих паралельно одна одній сталевих стрічок 2, у проміжок між якими з місткості 1 подають розплавлений метал. Ширину відливного зливка обмежують двома ланцюгами гребель-блоків 6, які встановлюють на спеціальні направляючі. Для кристаліза-

ції металу на сталеві стрічки з внутрішньої сторони через форсунки 4 подають воду, що охолоджує. За допомогою роликів 3 забезпечують притиснення сталевих стрічок 2 до безперервнолитої заготовки 5 за умови її усадки у процесі кристалізації.

Для охолодження гребель-блоків у направляючих є канал, де циркулює вода. Під час роботи машини швидкості руху заготовки 5 і сталевих стрічок 2 з бічними обмежувачами 6 є однаковими. Товщина одержаних штаб на таких ливарних машинах може складати 9...70 мм, а ширина – до 1600 мм. Швидкість розливання становить 5...10 м/хв., що робить ефективною подальшу прокатку безперервно-литої заготовки. Після виходу з кристалізатора ланцюги гребель-блоків проходять через ємність з водою 8 для остаточного охолодження, а заготовка зачищається і прямує в прокатний стан. Для ведення процесу прокатки металу без натягнення чорнова група має одну-три кліти з окремими приводами, а чистова група – дві кліти. На вході та виході чистової групи клітей встановлено пристрої для стабілізації температури металу, що прокатують. Нині технологія безперервного лиття та прокатки «Hazelett» є світовим лідером з виробництва алюмінієвої штаби [2,11].

**Висновки.** Маючи безперечні переваги перед іншими ливарними технологіями, метод безперервного лиття та прокатки є ефективним тільки за умови масового виробництва. Під час виготовлення невеликих обсягів, застосування ЛПА є нерентабельним, оскільки через часті переходи з одного типорозміру профілю на інший потрібні додаткові комплекти каліброваних валків і значні витрати часу на переналадження обладнання. За таких умов ефективнішими стають установки безперервного лиття та пресування кольорових металів методом конформ, де для переходу на інший сортамент виробу необхідно тільки замінити прес-матрицю [4,12].

### Бібліографічний список

1. **Целиков, А. И.** Металлургические машины и агрегаты : настоящее и будущее [Текст] / А. И. Целиков. – М. : Металлургия, 1979. – 144 с.
2. **Pat. USA No. 49053.** Manufacture of iron and steel / H. Bessemer. – Patented 25.07.1865.
3. **Pat. USA No. 2710433.** Continuous metal casting machine. I. Properzi. – Patented 25.02.1949, Published. 14.06.1955.
4. **Gorohov, Yu. V.** Development of the Combine Continuous Process of Foundry and Extrusion [Text] / Yu. V. Gorohov, S. V. Belyaev, I. V. Uskov etc. // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2014. – Vol. 7, Iss. 4. – Pp. 436-442.
5. **Исследовательская группа ИНФОМАЙН.** Обзор рынка алюминиевой катанки в России. – Изд. 2-е, июль 2013 [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.infomine.ru/research/4/309>.
6. **«Континуус-Проперци»** – новая история [Электронный ресурс] / Режим доступа : [www.rmo.ru/ru/nmоборудование/nmоборудование/2005-3/22\\_24\\_nmo\\_3\\_05.pdf](http://www.rmo.ru/ru/nmоборудование/nmоборудование/2005-3/22_24_nmo_3_05.pdf). – Выборка: 01.03.2017.

7. **Коркушко, В. С.** Исследование, разработка и совершенствование оборудования и технологии литейно-прокатных агрегатов по производству алюминиевой катанки: дисс. канд. техн. наук в виде научного доклада / Владимир Степанович Коркушко. – М. 1999. – 55 с.
8. **Southwire Company LLC** [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.southwire.com/documents/-SCR-Aluminum-Brochure.pdf>. – Выборка: 01.03.2017.
9. **Far East (China) Group Limited** [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://shcablemachinery.ru/1-4-continuous-casting-rolling-line>. – Выборка: 01.03.2017.
10. **Hefei Smarter Technology Group Corporation** [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://smartermachinery.ru/profile/company-profile/154612/0>. – Выборка: 01.03.2017.
11. **Contirod technology** [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.hazelett.com/en/products/twin-belt-casting-machines/aluminum-strip-casting-machines/aluminum-technology>. – Выборка: 01.03.2017.
12. **Горохов, Ю. В.** Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов [Текст] / Ю. В. Горохов, В. Г. Шеркунов, Н. Н. Довженко и др. – Красноярск : Изд-во Сибирского федерального университета, 2013. – 224 с.

**НИКОЛАЕНКО АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ**, кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: [tetri@ukr-net](mailto:tetri@ukr-net)

**ТАРАН ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ**, инженер, ОАО «Крок-ГТ» (Украина, Запорожье). E-mail: [krok-gt@krok-gt.zp.ua](mailto:krok-gt@krok-gt.zp.ua)

**ТРЕГУЛОВА ИЛЬМИРА ПАВЛОВНА**, студент кафедры автоматизации технологических процессов, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: [admin@zgia.zp.ua](mailto:admin@zgia.zp.ua)

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЯ

Представлены результаты патентно-литературного обзора методов непрерывного литья и прокатки алюминия, изложены основные этапы развития и выполнен сравнительный анализ существующих технологий.

Ключевые слова: литейная машина, кристаллизатор, прокатный стан, заготовка, катанка

**NIKOLAENKO ANATOLIY**, Candidate of Technical Sciences, Professor of Department of Automation of Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: [tetri@ukr-net](mailto:tetri@ukr-net)

**TARAN YURIY**, engineer, OAJ «Krok-GT», (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: [krok-gt@krok-gt.zp.ua](mailto:krok-gt@krok-gt.zp.ua)

**TREGULOVA ILMIRA**, Student of Department of Automation of Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: [admin@zgia.zp.ua](mailto:admin@zgia.zp.ua)

### FEATURES OF TECHNOLOGIES OF CONTINUOUS CASTING AND ROLLING OF ALUMINIUM

The results of the review of patents and literature concerning of methods of continuous casting and rolling of aluminum are reported. The main stages of development of existing technologies are set out and their comparative analysis is performed.

Key words: casting machine, crystallizer pan, rolling mill, billet, wire rod

Стаття надійшла до редакції 03.03.2017 р.

Рецензент, проф. М.Ю. Пазюк

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>