

УДК 621.7.04

<https://doi.org/10.34185/tpm.1.2020.06>

Бондаренко С.В., Гридін О.Ю., Огінський Й.К., Кузьміна О.М., Фролов Я.В.

## Пристрій для валкової розливки-прокатки штаб з профільованим поперечним перерізом

Bondarenko S., Grydin O., Oginskiy Yo., Kuzmina O., Frolov Ya.

### Device for twin-roll casting of strips with profiled cross-section

**Мета.** Статтю присвячено розробці нового способу профілювання валків-кристалізаторів для процесу валкової розливки-прокатки з метою забезпечення можливості виготовлення штаб зі змінною за шириною геометрією, як одного з видів продукції, що знаходить все більше застосування у світі. **Метод.** Запропонований спосіб профілювання реалізується за допомогою профілюючих стрічок, які охоплюють один або обидва валки-кристалізатори. Таким чином досягається профілювання поверхні циліндричних водоохолоджуваних зсередини валків-кристалізаторів, яке відповідає необхідному виду профілю штаби. **Результати.** Для практичної реалізації запропонованого методу профілювання розроблено принципову схему пристрою для валкової розливки-прокатки штаб з профільованим поперечним перерізом. В роботі наведено розроблену схему пристрою валкової розливки-прокатки профільованих штаб з використанням нескінченних профілюючих стрічок, а також наведено принцип роботи розробленого пристрою для профілювання. **Наукова новизна.** Особливістю розробленого пристрою є те, що в ньому передбачено можливість синхронного повороту натяжного, профільованих і компенсаційно-натяжних роликів в площині, яка перпендикулярна до осі обертання валків-кристалізаторів, що забезпечує його універсальність. Таке виконання пристрою для валкової розливки-прокатки дозволяє виготовляти різні види профілів поперечного перерізу штаб. **Практична значимість.** На розроблений пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб отримано патент України на винахід. З метою подальшої практичної реалізації розробленого пристрою, з урахуванням корегувань, які забезпечать його практичну реалізацію на конкретній лабораторній установці валкової розливки-прокатки, було спроектовано пристрій валкової розливки-прокатки профільованих штаб. В роботі наведені основні конструкційні елементи та їх зовнішній вигляд у вигляді тривимірних моделей.

**Ключові слова:** валкова розливка-прокатки, профілювання, алюмінієвий сплав, штаба, поперечний переріз.

**Goal.** This article is devoted to the development of a new method of roll-crystallizers profiling for twin-roll casting in order to provide the possibility of manufacturing strips with variable geometry on width as one of the more widely used products in the world. **Method.** The proposed method of profiling is implemented by using profiling strips that cover one or both rolls-crystallizers. In this way achieved profiling of the surface of the cylindrical internally water-cooled rolls, which corresponds to the desired type of strips profiled cross-section. **Research results.** For the practical implementation of the proposed profiling method was developed device for twin-roll of strips with profiled cross-section. In this paper presented the basic scheme of developed device for twin-roll casting of strips with profiled cross-section using endless strips and given the principle of operation of developed device for profiling. **Scientific novelty.** A feature of the developed device is its universality, which provides the possibility of synchronous rotation of tension, profiled and compensating-tension rollers in perpendicular plane to the axis of rotation of the rolls-crystallizers. This implementation of the device for twin-roll casting allows to manufacture different types of strips with profiled cross-section. **Practical significance.** For developed device for twin-roll casting of strips with profiled cross-section has been obtained patent for the invention of Ukraine. For further practical implementation of the developed device, considering the adjustments that provide practical implementation on a specific laboratory twin-roll casting unit, the device of twin-roll casting of strips with profiled cross-section was designed. In the work are presented the basic structural elements and their appearance in the form of three-dimensional models.

**Keywords:** twin-roll casting, profiling, aluminum alloy, strip, cross-section

Сьогодення в різних сферах життєдіяльності людини характеризується постійними змінами та появою нових тенденцій. Зокрема, це стосується й сфери виробничих процесів. Так, у зв'язку зі збільшенням кількості промислових підприємств одним з основних напрямів діяльності вже тривалий час є охорона навколишнього середовища. Найбільш характерна ця проблема для хімічної, металургійної та автомобілебудівної промисловості. Важливим способом зниження об'ємів вихлопних газів, що є продуктом роботи двигунів внутрішнього згоряння, є зменшення маси автомобіля, яке до того ж призводить до економії споживаного палива, що у результаті істотно запобігає викиду шкідливих речовин в атмосферу. Найчастіше зменши-

ти вагу автомобіля дозволяє заміна масивних сталевих деталей на елементи менших габаритів та/або меншої маси, які виготовлені з більш високоміцних матеріалів. Для такої заміни часто використовують більш легкі метали й сплави, наприклад, алюміній та його сплави. Однак заміна масивних сталевих елементів на алюмінієві не є панацеєю у зв'язку з тим, що більшість алюмінієвих сплавів поступається сталі в показниках відносної міцності та жорсткості. Тому актуальними продовжують залишатися роботи з розробки нових видів виробів й матеріалів, що зможуть конкурувати з вже існуючими й дозволять зменшити масу конструкцій, при цьому не знижуючи, а в деяких випадках навіть підвищуючи їх жорсткість та міцність.

Бондаренко Сергій Валерійович – к.т.н., НМетАУ  
Гридін Олександр Юрійович – д.т.н. ун-т Падеборн  
Огінський Йосип Кузьмич – д.т.н., проф. ЗНУ  
Кузьміна Ольга Михайлівна – к.т.н., доц. НМетАУ  
Фролов Ярослав Вікторович – д.т.н., проф. НМетАУ

Bondarenko S. - Ph.D., Assoc. Prof. NMetAU  
Grydin O. - Universität Paderborn  
Oginskiy Yo. - Ph.D., prof. ZNU  
Kuzmina O. - Ph.D., Assoc. Prof. NMetAU  
Frolov Ya. - Ph.D., prof. NMetAU

Одним з видів подібної металургійної продукції, що на сьогоднішній день має велику перспективу широкого впровадження, є штаби з профільованим поперечним перерізом та плоскі штаби з гетерогенними властивостями, які виготовляються як зі сталей, так і з різноманітних сплавів, зокрема алюмінієвих. Змінна товщина або регулювання властивостей по ширині та довжині штаби дозво-

ляють збільшити жорсткість й міцність виготовлених з цих штаб елементів конструкцій, а також локально підсилити місця кріплення даних елементів.

Найбільш відомим видом такого роду продукції у світі є штаби чотирьох видів: Patchwork Blanks, Tailor Welded Blank, Tailor Rolled Blanks и Tailor Heat Treated Blanks (рис. 1).

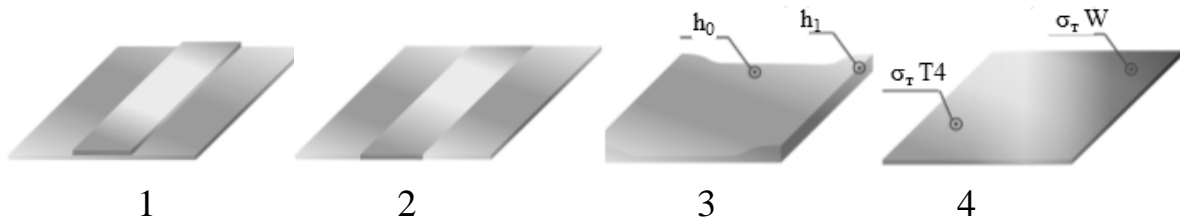


Рисунок 1 - Класифікація штаб з різними механічними властивостями за способом виробництва: 1 - Patchwork Blanks; 2 - Tailor Welded Blank; 3 - Tailor Rolled Blanks; 4 - Tailor Heat Treated Blanks [1]

Їх класифікують за способом виробництва [1-4]. Patchwork Blanks – штаби, що виготовляють шляхом приварювання однієї штаби до поверхні іншої з метою локального посилення. При цьому штаби можуть бути як з різних матеріалів, так і з одного. Tailor Welded Blank (TWB) – штаби, за способом виробництва схожі на Patchwork Blanks, однак у випадку TWB зварювання кількох штаб з різних матеріалів та/або різної товщини виконується встик. Tailor Rolled Blanks (TRB) – штаби з профільованим поперечним перерізом, що виготовляються шляхом прокатки; Tailor Heat Treated Blanks (THTB) – штаби постійної товщини, які мають різні механічні властивості на різних ділянках, що досягається завдяки локальному застосуванню різних режимів термообробки. Через те, що RB та TWB схожі за способом виробництва, – дані штаби виготовляються шляхом зварювання – недоліки в них також подібні. Головним недоліком є небажана зміна властивостей матеріалу штаб в області зварного шва. Ця зміна викликана локальним нагріванням металу на ділянці, що прилягає до зони оплавлення, і наступним швидким охолодженням за рахунок вирівнювання температури в конструкції шляхом теплопровідності. Можна сказати, що виготовлення штаб, які відносяться до даних двох груп, досить добре вивчено у випадку використання сталей. Однак при спробі виготовлення профільованих штаб з алюмінію та його сплавів за даними технологіями проявляється погіршення показників міцності в безпосередній близькості до зварного шва [1, 5]. Дана особливість викликана впливом високої температури під час виконання зварювання, що може призвести згодом до їх руйнування при використанні в якості готової продукції або напівфабрикату [5]. Застосування прокатки для виготовлення TRB дозволяє використовувати всі переваги даного процесу, а саме високу продуктивність та точність геометричних розмірів. З цього, однак, випливають й головні недоліки даного способу виробництва, такі як висока вартість об-

ладнання, складність налаштування прокатного стану та висока енергоємність процесу.

Дану продукцію також виготовляють шляхом холодної прокатки штаб у профільюючих роликах. Головним недоліком даної технології є небезпека утворення таких дефектів, як тріщини, напливи та ін. при виготовленні штаб. Це пояснюється появою розтягуючих напружень, що виникають через різні коефіцієнти витяжки елементів штаби при прокатці. Для зменшення впливу різниці коефіцієнтів витяжки та забезпечення високої якості штаб збільшують кількість роликів та кількість проходів, що призводить до подовження тривалості виробничого циклу [6-8]. Саме тому дана технологія мало розповсюджена в промисловості. Технологія виробництва THTB полягає в локальному застосуванні різних режимів термообробки для окремих ділянок штаб та листів. Однак такі штаби не знаходять широкого промислового використання, оскільки процес характеризується високою вартістю та складністю виготовлення обладнання, необхідного для виготовлення THTB, а саме для виконання локальної термообробки.

В закордонних джерелах наводиться інформація про новий спосіб виробництва штаб постійної товщини з різними механічними властивостями, не включений дотепер в вищезгадану класифікацію. За основу даного способу взято технологію рівноканального кутового пресування [9, 10]. Однак і у цього способу виробництва існує ряд недоліків, основним з яких є вкрай обмежені розміри готового виробу по його довжині й ширині, а також велика кількість операцій з підготовки процесу та низька швидкість реалізації. Підводячи підсумок, можна сказати, що існуючі технологічні рішення з виготовлення штаб зі змінними характеристиками по довжині та ширині мають загальний недолік, а саме — високі енергетичні витрати на повний технологічний цикл, починаючи з отримання розплаву і закінчуючи готовою штабою, яка відноситься до групи Tailor Blanks.

Поряд з тенденцією використання більш легких й міцних матеріалів замість традиційних, сталевих, на нові технологічні рішення впливає постійне посилення вимог до екологічної чистоти виробництв при одночасному зменшенні собівартості виробничих процесів. Однією з технологій, які дозволяють поєднати в собі відносно низьку собівартість металургійного виробничого процесу (що дозволяє знизити ціну продукції) з високою екологічністю є технологія прямого виготовлення штаб з розплаву, яка має назву технології валкової розливки-прокатки [11, 12], що відома ще з патенту Генрі Бесемера 1865 року (рис. 2) [13]. На практиці, в

умовах металургійних підприємств, були реалізовані вимірювання кількості шкідливих викидів при використанні технології виготовлення гарячекатаної штаби із застосуванням машин безперервного лиття заготовки й агрегатів з кристалізаторами валкового типу, після чого отримані дані були перераховані на тону продукції. В цілому, отримані результати засвідчили значний потенціал технології валкової розливки-прокатки з точки зору екологічної чистоти виробничого процесу завдяки зменшенню кількості викидів газів, зокрема  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та  $\text{SO}_2$  [14].

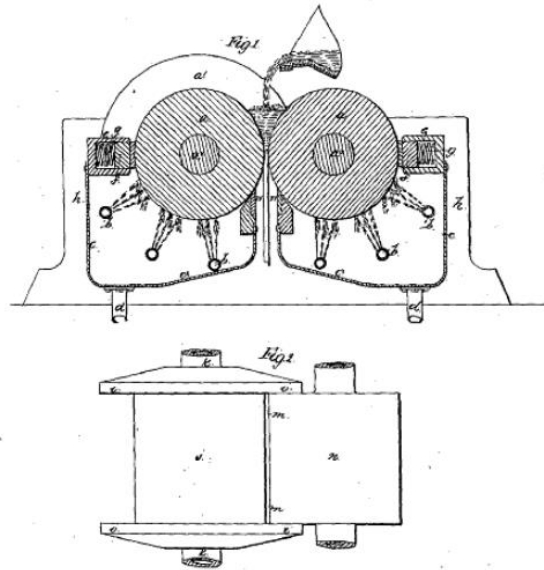


Рисунок 2 - Зовнішній вигляд агрегату валкової розливки-прокатки, запатентований Генрі Бесемером

Використання валкової розливки-прокатки для виготовлення штаб з профільованим поперечним перерізом є одним з найбільш цікавих і перспективних напрямів розвитку способів прямого виготовлення штаб з розплаву. На сьогоднішній день існує тільки один метод виготовлення штаб цим способом, а саме використання валків-кристалізаторів, на які наносять шар нікелю, після чого механічною обробкою поверхні надають профіль необхідної форми. Однак даний спосіб профілювання має ряд недоліків, що ускладнюють його промислове поширення. По-перше, профілювання валків-кристалізаторів, виконане за запропонованою схемою, вимагає наявності індивідуальної пари профільованих валків-кристалізаторів для кожного типорозміру профільованої штаби. По-друге, використання нікелю в якості матеріалу для профілювання вносить додаткові фінансові й часові витрати у зв'язку з відносно високою вартіс-

тю операції нанесення покриття та тривалістю самого процесу профілювання.

Тому існує необхідність в розробці нового способу профілювання, який не буде мати вищезазначених недоліків. Одним з можливих шляхів вирішення цієї задачі є застосування однієї або декількох – залежно від необхідної форми профілю поперечного перерізу штаби – профілюючих стрічок, які охоплюють один або обидва валки-кристалізатори. Таким чином, досягається профілювання поверхні циліндричних валків-кристалізаторів, яке відповідає необхідному виду профілю штаби. Описаний принцип було покладено в роботу оригінального пристрою для валкової розливки-прокатки штаб з профільованим поперечним перерізом, який було запатентовано у вигляді винаходу. Схема розробленого пристрою наведена на рисунку 3 [15].

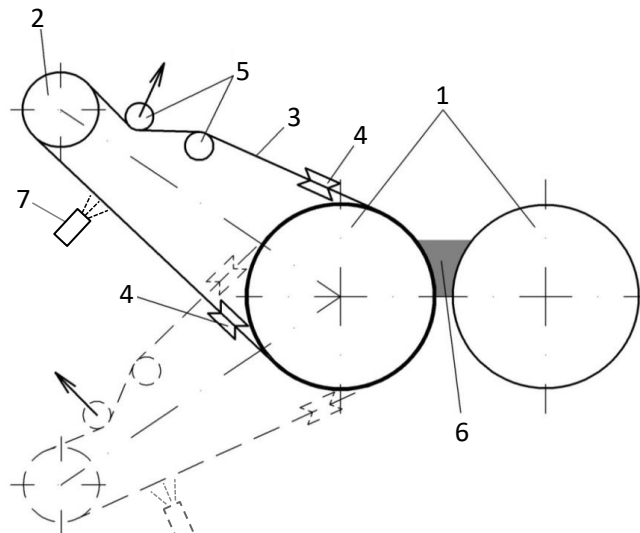


Рисунок 3 - Схема пристрою для валкової розливки-прокатки профільованих штаб (випадок профільовання одного з валків-кристалізаторів): 1 – валок-кристалізатор; 2 – натяжний ролик; 3 – профільююча стрічка; 4 – профільовані ролики; 5 – компенсаційно-натяжні ролики; 6 – метал в зоні кристалізації-деформації; 7 – нанесення розділового шару на профільюючу стрічку

Принцип дії пристрою полягає в наступному: сталеву профільюючу стрічку 3 охоплює валок-кристалізатор 1 і натяжний ролик 2. За допомогою даного натяжного ролика 2 відбувається попередній натяг профільюючої стрічки 3 для більш щільного її прилягання до валка-кристалізатора 1. Від небажаного переміщення уздовж бочки валка-кристалізатора 1 профільююча стрічка 3 утримується двома парами профільованих роликів 4. При розробці цього способу був прийнятий до уваги розігрів сталеві профільюючої стрічки, від якого вона збільшує свою довжину. Для компенсації термічного подовження передбачено два компенсаційно-натяжних ролики 5, які під час ведення про-

цесу підтримують натяг профільюючої стрічки 3. З метою запобігання налипанню алюмінію в ході валкової розливки-прокатки на поверхню профільюючої стрічки наноситься розділовий шар, в ролі якого може виступати бор-нітрид.

Для забезпечення більшої універсальності розробленого пристрою передбачена можливість синхронного повороту натяжного, профільованих і компенсаційно-натяжних роликів в площині, що перпендикулярна до осі обертання валків-кристалізаторів. Таке виконання пристрою для валкової розливки-прокатки дозволяє виготовляти різні види профілів поперечного перерізу штаб; приклади деяких з них представлені на рисунку 4.



Рисунок 4 - Деякі види поперечного перерізу профільованих штаб, що можна реалізувати за допомогою розробленого пристрою валкової розливки-прокатки

Згідно з наведеною схемою (рис. 3), з урахуванням корегувань, які забезпечують практичну реалізацію на конкретній лабораторній установці валкової розливки-прокатки, було спроектовано експериментальний пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб в умовах Падерборнського Університету м. Падерборн (ФРН) [16]. Корпус розробленого пристрою складається з двох кронштейнів (рис. 5), за допомогою яких даний пристрій кріпиться до кліті установки валкової розливки-прокатки.

Дані кронштейни утримують два горизонтальних профільованих ролики (рис. 6, а) за допомогою яких забезпечується стабілізація профільюючої стрічки під час розливки-прокатки. Профільовані ролики спільно з двома парами вертикальних роликів (рис 6, б) забезпечують відсутність переміщення профільюючої стрічки уздовж бочки валка-кристалізатора в процесі розливки-прокатки, що гарантує постійну геометрію профілю по всій довжині штаби.

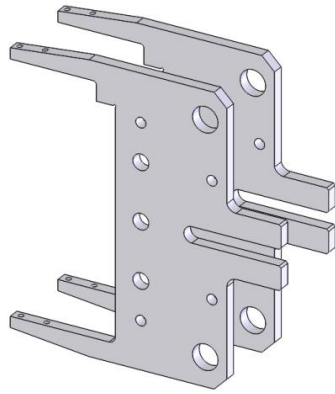


Рисунок 5 - Тривимірне зображення кронштейнів, які виконують функцію корпусу пристрою валкової розливки-прокатки профільованих штаб

На якість профільованих штаб також впливає натяг профілюючої стрічки; його величина повинна забезпечувати щільне прилягання профілюючої стрічки до поверхні бандаж валка-кристалізатора в ході всього процесу валкового розливу-прокатки. Для забезпечення натягу профілюючої стрічки в

конструкції пристрою передбачено горизонтальний натяжний ролик, який компенсує подовження профілюючої стрічки в результаті впливу високих температур під час протікання процесу розливки-прокатки (рис. 7).

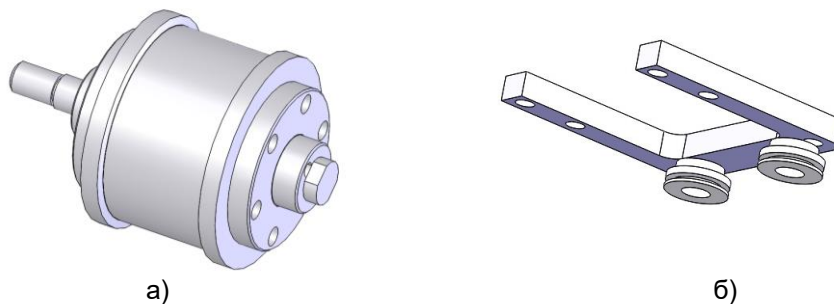


Рисунок 6 - Тривимірне зображення горизонтального профільованого ролика (а) і пари вертикальних роликів (б), які використовуються в пристрої валкової розливки-прокатки профільованих штаб



Рисунок 7 - Горизонтальний натяжний ролик пристрою валкової розливки-прокатки профільованих штаб

Тривимірне зображення розробленого пристрою валкової розливки-прокатки профільованих штаб в зборі представлено на рисунку 8, а. На рисунку 8, б наведено схематичний вигляд лабораторної установки валкової розливки-прокатки зі встановленою піччю для підготовки розплаву, а також з зафіксованим на кліті пристроєм валкової

розливки-прокатки профільованих штаб з профілюючою стрічкою.

Слід зазначити, що конструкція розробленого пристрою дозволяє використовувати його на агрегатах валкового розливу-прокатки з обмеженим вільним простором (див. рис. 8, б).

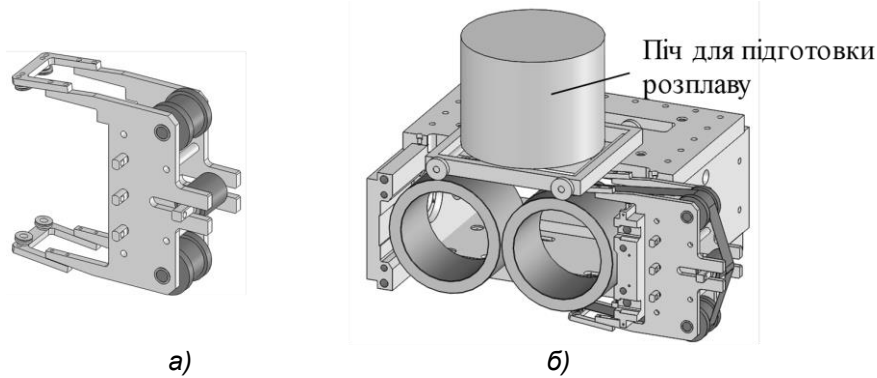


Рисунок 8 - Тривимірне зображення пристрою валкової розливки-прокатки профільованих штаб (а) і кліті машини валкової розливки-прокатки з встановленим пристроєм валкового розливу-прокатки профільованих штаб та профілюючою стрічкою (б)

#### Висновки

Проведено літературний огляд способів отримання профільованих металевих штаб зі змінними характеристиками по ширині та довжині виробу та плоских штаб з гетерогенними властивостями.

Запропоновано новий спосіб виготовлення профільованих металевих штаб, що полягає у використанні процесу валкової розливки-прокатки, де профілювання відбувається за рахунок викори-

стання однієї або декількох (залежно від необхідної форми профілю поперечного перерізу штаби) профілюючих стрічок, які охоплюють один або обидва валки-кристалізатори.

Наведено схему процесу та конструкції окремих елементів устаткування для його реалізації, показані можливі види перерізу отримуваних штаб.

#### Бібліографічний опис

1. A review on tailored blanks. Production, applications and evaluation / M.Merklein, M. Johannes, M. Lechner, A. Kuppert. // Journal of Materials Processing Technology. – 2014. – Vol.214. – С. 151–164.
2. Geiger M. Aluminum tailored heat treated blanks / M. Geiger, M. Merklein, U. Vogt. // Production Engineering. – 2009. – Vol.3. – P. 401–410.
3. Kinsey B. A novel forming technology for tailor-welded blanks / B. Kinsey, Z. Liu, J. Cao // Journal of Materials Processing Technology. – 2000. – Vol.99. – P. 145-153.
4. Ku T.-W. Tailored blank design and prediction of weld line movement using the backward tracing scheme of finite element method / T.-W. Ku, B.-S. Kang, H.-J. Park // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2005. – Vol. 25(1-2). – P. 17–25
5. Naeem M. Welding aluminum tailored blanks with Nd:YAG lasers for automotive applications [Електронний ресурс] / M. Naeem, R. Jessett // Practical welding today. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/welding-aluminum-tailored-blanks-with-ndyag-lasers-for-automotive-applications>.
6. Kopp R. A New Rolling Process for Strips with a Defined Cross Section / R. Kopp, P. Böhlke// CIRP Annals. – 2003. – Vol.52(1). – P. 197-200.
7. Kopp R. Flexibly rolled sheet metal and its use in sheet metal forming / R. Kopp, C. Wiedner, A. Meyer // Advanced materials research. – 2005. – Vol.6-8. – P. 81-92
8. Sheng Z. Q. Formability of tailor-welded strips and progressive forming test / Z. Q. Sheng. // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. – Vol.205 (1-3). – P. 81–88.
9. Olejnik L. Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej/ L. Olejnik, J. Goliński, A. Rosochowski //, IX konferencja (FIMM'15) 17-19.05.2015, Jabłonna, Prace Naukowe – Mechanika. – 2015. – №267. – P. 155-160.
10. Rosochowski A. New method of producing tailored blanks with constant thickness / A. Rosochowski, L. Olejnik // Procedia Engineering. – 2017. – Vol.207. – P. 1433-1438.
11. Schwerdtfeger K. Benefits, Challenges and Limits in New Routes for Hot Strip Production / K. Schwerdtfeger // ISIJ International. – 1998. – Vol.38(8). – P. 852-861.
12. Сталінський Д.В. Сучасний рівень технології безперервного валкового лиття-прокатки тонких стрічок та вибір оптимального варіанту суміщеного агрегату для умов України / Д.В. Сталінський, Л.А. Вакула // Металургическая и горнорудная промышленность. – 2010. - №5(263). - С. 52-57.
13. Bessemer H. Improvement in the manufacture iron and steel. US Patent №49053, July 25, 1865. – 4 p.
14. Ганжин В. Технология XXI века. Перспективы России [Електронний ресурс] / В. Ганжин, Ю. Киселев // ЭСКО. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: [http://journal.esco.co.ua/2005\\_5/art70.htm](http://journal.esco.co.ua/2005_5/art70.htm).
15. Пат. 113368 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб / Гридін О.Ю. (UA), Огінський 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.

16. Гридин А. Ю. Технологический литейно-прокатный комплекс экспериментальных исследований процесса валковой разливки-прокатки Падерборнского университета / А. Ю. Гридин, И. К. Огинский, М. Шапер // Пластична деформація металів. – 2017. – С. 210-217.

### References

1. A review on tailored blanks. Production, applications and evaluation / M.Merklein, M. Johannes, M. Lechner, A. Kuppert. // Journal of Materials Processing Technology. – 2014. – Vol.214. – С. 151–164.
2. Geiger M. Aluminum tailored heat treated blanks / M. Geiger, M. Merklein, U. Vogt. // Production Engineering. – 2009. – Vol.3. – P. 401–410.
3. Kinsey B. A novel forming technology for tailor-welded blanks / B. Kinsey, Z. Liu, J. Cao // Journal of Materials Processing Technology. – 2000. – Vol.99. – P. 145-153.
4. Ku T.-W. Tailored blank design and prediction of weld line movement using the backward tracing scheme of finite element method / T.-W. Ku, B.-S. Kang, H.-J. Park // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2005. – Vol. 25(1-2). – P. 17–25
5. Naeem M. Welding aluminum tailored blanks with Nd:YAG lasers for automotive applications [Електронний ресурс] / M. Naeem, R. Jessett // Practical welding today. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/welding-aluminum-tailored-blanks-with-ndyag-lasers-for-automotive-applications>.
6. Kopp R. A New Rolling Process for Strips with a Defined Cross Section / R. Kopp, P. Böhlke// CIRP Annals. – 2003. – Vol.52(1). – P. 197-200.
7. Kopp R. Flexibly rolled sheet metal and its use in sheet metal forming / R. Kopp, C. Wiedner, A. Meyer // Advanced materials research. – 2005. – Vol.6-8. – P. 81-92
8. Sheng Z. Q. Formability of tailor-welded strips and progressive forming test / Z. Q. Sheng. // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. – Vol.205 (1-3). – P. 81–88.
9. Olejnik L. Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej/ L. Olejnik, J. Goliński, A. Rosochowski //, IX konferencja (FIMM'15) 17-19.05.2015, Jabłonna, Prace Naukowe – Mechanika. – 2015. – №267. – P. 155-160.
10. Rosochowski A. New method of producing tailored blanks with constant thickness / A. Rosochowski, L. Olejnik // Procedia Engineering. – 2017. – Vol.207. – P. 1433-1438.
11. Schwerdtfeger K. Benefits, Challenges and Limits in New Routes for Hot Strip Production / K. Schwerdtfeger // ISIJ International. – 1998. – Vol.38(8). – P. 852-861.
12. Stalinskiy D.V. Suchasniy riven texnologiyi bezperernvogo valkovogo lyttya-prokatky tonkyx strichok ta vybir optimalnogo variantu sumishhenogo agregatu dlya umov Ukrayiny / D.V. Stalinskiy, L.A. Vakula // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. - №5(263). - S. 52-57.
13. Bessemer H. Improvement in the manufacture iron and steel. US Patent №49053, July 25, 1865. – 4 p.
14. Ganzhyn V. Teknologiya XXI veka. Perspektivy Rossii [Elektronniy resurs] / V. Ganzhyn, Yu. Kiselev // ESKO. – 2005. – Rezhim dostupu do resursu: [http://journal.esco.co.ua/2005\\_5/art70.htm](http://journal.esco.co.ua/2005_5/art70.htm).
15. Pat. 113368 Ukraine, MPK (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Pristriy dlya valkovoi raslivki-prokatki profilyovanyx schtab / Grydin O.Yu. (UA), Oginskiy Yo.K. (UA), Bondarenko S.V. (UA), Schaper M. (DE); zayavnik ta patentovlasnik National Metallurgical academy of Ukraine. – № 201600100; zayavl. 04.01.16; opubl. 10.01.17, Byul. №1. – 5 s.: z il.
16. Grydin A. Yu. Teknologicheskiy liteyno-prokatniy kompleks eksperimetalnux issledovaniy processa valkovoy razlivki-prokatki Paderbornskogo universiteta / A. Yu. Grydin, Yo. K. Oginskiy, M. Schaper // Plastic deformation of metals. – 2017. – С. 210-217.

Стаття поступила: 25.12.2019