

27. A.M. Skrebtsov, L.A. Dan, and T.V. Vilehzhanyna, «Yzmenenye svoystv seroho chuhuna posle termotsyklyrovaniya s hradyentom temperaturi» [«Changes in the properties of gray cast iron after thermal cycling with a temperature gradient»], *Teoriya y praktyka metallurhycheskykh protsessov – Theory and practice of metallurgical processes*, pp. 94-102, 1990. (Rus.)
28. A.M. Skrebtsov, V.V. Terzy, A.S. Kachykov, and E.L. Dan, «Termodyffuziya y elektrootrytsatelnost elementov v metallakh» [«Thermal diffusion and electronegativity of elements in metals»], *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, vol. 24, pp. 131-135, 2012. (Rus.)
29. L.A. Dan, «Yspolzovanye FHM kak sposob povysheniya razgharostoikosty chuhunnikh y stalnikh otylvok» [«Using FGM as a method to improve the fire resistance of cast iron and steel castings»], *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii – Bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy*, № 15(1), pp. 112-115, 2009. (Rus.)
30. E. Sondermann, F. Kargl, and A. Meyer, «In situ Measurement of Thermodiffusion in Liquid Alloys», *Physical Review Letters*, vol. 123, 255902, 2019. doi: **10.1103/PhysRevLett.123.255902**.
31. E. Jafar-Salehi, M. Eslamian, and M.Z. Saghir, «Effect of thermodiffusion on the fluid flow, heat transfer, and solidification of molten metal alloys», *Engineering Science and Technology*, vol. 19(1), pp. 511-517, 2016. doi: **10.1016/j.jestch.2015.09.007**.
32. O.M. Skrebtsov, V.V. Terzi, and D.M. Protsenko, «Unikalnyi eksperyment iz termodyfuzii elementiv u riddkomu chavuni» [«A unique experiment on thermal diffusion of elements in liquid cast iron»], *Chorna metalurhiia – Ferrous metallurgy*, № 58(10), pp. 785-786, 2015. doi: **10.17073/0368-0797-2015-10-785-786**. (Rus.)
33. L.A. Lepihin, and I.P. Manaenko, «The condition of the scaffold after blowing of one of the blast furnaces of Magnitogorsk Iron and Steel Works», *Steel in translation*, no. 3, pp. 41-48, 1961.
34. K.F. Starodubov, and V.N. Svechnykov, *Yzlozhnytsi [Molds]*. Kharkiv, Dnepropetrovsk, Ukraine: Stal Publ., 1932. (Rus.)
35. T. Wróbel, «Bimetallic layered castings alloy steel – grey cast iron», *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 48(2), pp. 118-125, 2011.
36. H.D. Kostenko, V.B. Bryk, and V.V. Horskyi, «Osnovnie zakonomernosty dyffuzyonnoho pereraspredeleniya lehyruiushchykh elementov pry formirovaniyu perekhodnykh sloev bymetallycheskykh otylvok na osnove zheleza» [«The main patterns of diffusion redistribution of alloying elements during the formation of transition layers of bimetallic castings based on iron»], *Teoriya y praktyka protsessov polucheniya bymetallycheskykh y mnohosloinnykh otylvok – Theory and practice of processes for producing bimetallic and multilayer castings*, pp. 10-15, 1987. (Rus.)

Стаття надійшла 13.05.2024

Стаття прийнята 08.06.2024

УДК 621.771

doi: 10.31498/2225-6733.48.2024.310685

© Григоренко В.У.¹, Заболотній О.М.²

СКЛАДОВІ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШВЕЛЕРІВ НА ОСНОВІ ЗМЕНШЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ

Вступ. В металургії заключним етапом виробництва є обробка металу в прокатних цехах. Основною складовою розробки технології прокатки сортових профілів є

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-1809-2842, gvu135gvu@i.ua

² аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-8458-176X, zabolotnii_o_m@aspirants.pstu.edu

калібрування валків. 90% сталі, що виплавляється, переробляється прокаткою. Методи калібрування прокатних валків постійно удосконалюються. Застосовують методи калібрування, в яких присутня значна нерівномірність деформування елементів профілю, що приводить до швидкого зношування валків і збільшення витрат. Постановка проблеми. Потрібно розвивати метод калібрування валків у виробництві швелерів на основі зниження нерівномірності деформування. Мета. Ціллю статті є аналіз методів калібрування валків для виробництва швелерів з зазначенням їх переваг та недоліків та обґрунтування застосування компонентів розвинутого методу калібрування валків на основі зниження нерівномірності деформування. Результати. Аналіз різних методів калібрування валків швелерів показав, що найменша нерівномірність деформації присутня у способі прокатки методом згинання. Досягається найбільша рівномірність деформації по ширині профілю, знижується знос валків у зв'язку із забезпеченням мінімальної різниці діаметрів валків у калібрі, зменшуються енерговитрати. Для зменшення нерівномірності деформування металу пропонується використовувати прямокутну заготовку чи штрипс. Наукова новизна. Вперше детально проаналізовані методи калібрування валків для прокатки швелерів. Для зменшення нерівномірності деформування полок та фланців в осередку деформації запропоновано застосовувати метод калібрування згинанням. Запропоновано вперше в якості заготовки застосовувати штрипс. Практичне значення. Застосування технології прокатки швелерів на основі розвинутого методу калібрування валків зі зниженою нерівномірністю деформування на перших проходах дозволяє знизити собівартість продукції та дати економічний ефект. **Ключові слова:** швелер, метод калібрування валків згинанням, нерівномірність деформування.

V.U. Hryhorenko, O.M. Zabolotnii. Components of the development of methods for calibrating rollers for rolling channels based on changed non-uniformity of deformation.

Introduction. In metallurgy, the final stage of production is metal processing in rolling shops. The main component of the development of technologies for rolling graded profiles is the calibration of rolls. 90% of the steel that is smelted is processed by rolling. Rolling mill calibration methods are constantly being improved. Calibration methods are used in which there is a significant uneven deformation of the profile elements, which leads to rapid wear of the rolls and an increase in costs. Formulation of the problem. It is necessary to develop a method of calibrating rolls in the production of channels based on the reduction of deformation unevenness. Goal. The purpose of the article is to analyze the methods of calibrating rolls for the production of channels with an indication of their advantages and disadvantages and to justify the application of the components of the developed method of calibrating rolls based on the reduction of unevenness of deformation. The results. The analysis of various methods of calibrating channel rolls showed that the smallest unevenness of deformation is present in the method of rolling by the bending method. The greatest uniformity of deformation along the width of the profile is achieved, the wear of the rolls is reduced in connection with ensuring a minimum difference in the diameters of the rolls in the gauge, and energy costs are reduced. To reduce the uneven deformation of the metal, it is suggested to use a rectangular blank or strip. Scientific novelty. For the first time, the methods of calibrating rolls for channel rolling were analyzed in detail. To reduce uneven deformation of shelves and flanges in the center of deformation in the gauge, it is proposed to use the bending calibration method. It is proposed to use strips as a blank for the first time. Practical meaning. The application of channel rolling technology based on the developed method of calibrating rolls with reduced unevenness of deformation in the first passes allows to reduce the cost of products and give an economic effect.

Key words: channel, method of calibrating rolls by bending, non-uniformity of deformation.

Постановка проблеми. В даний час, в зв'язку з кон'юнктурою, що постійно змінюється на ринку металопродукції, у виробників виникає необхідність застосування оригінальних технологічних та технічних рішень. Також зі зростанням вартості енергоносіїв постає питання зменшення витрат на одиницю продукції на виробництві. Тому методам калібрування валків, що є основою розробок технологій, приділяють постійно увагу [1].

При виробництві швелерів значні перспективи з удосконалення технології полягають у зменшенні кількості прокатних клітей, зниження енерговитрат, зменшенні зносу валків – витрат прокатних валків. Такий підхід для виробництва швелерів можливо реалізувати на основі зниження нерівномірності деформування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Швелер це важливий вид металургійної продукції, використовується для надання жорсткості та стійкості конструкції. Його особлива форма дає добрі результати при навантаженні на вигин і сприймає поздовжні навантаження. Така форма збільшує міцність і зменшує масу металопродукції. Сталевий швелер використовують як у капітальних будівлях, так і в будівництві металевих будівель: ангари, павільйони, автозаправки тощо. Різні швелери застосовується і у машинобудуванні.

Швелера виробляють в Україні за ДСТУ, в Європі – за DIN, EN, в Сполучених Штатах Америки – за ASTM, а також і за технічними умовами.

Для виробництва швелерів, що відповідають перспективним та сучасним критеріям якості, конкурентоспроможності, експлуатаційної надійності тощо в Україні введені такі стандарти:

- ДСТУ 3436-96 «Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент» [2];
- ДСТУ 8807:2018 «Балки двотаврові і швелери сталеві спеціальні. Сортамент» [3];
- ДСТУ 7551:2014 «Швелери. Сортамент» [4];
- ДСТУ 7549:2014. «Швелери сталеві гарячекатані з відігнутою полицею для вагонеток. Сортамент» [5].

Сортамент» [5].

Розвитку методів калібрування валків для прокатки сортової продукції в наш час приділяють увагу [6-8]. Це потрібно з причини потреби в підвищенні якості металопродукції і зниження витрат на її виробництво.

Процес швелерної прокатки має 3 основних етапи:

- 1 етап – формування чорнового швелерного профілю в різних калібрах;
- 2 етап – подальша прокатка в чорнових калібрах з отриманням передчистового профілю;
- 3 етап – отримання готового профілю з контролем довжини полиць у контрольному калібрі.

Для формування чорнового профілю швелера з заготовки прямокутної форми майже у всіх методах використовують різні калібри (рис. 1).

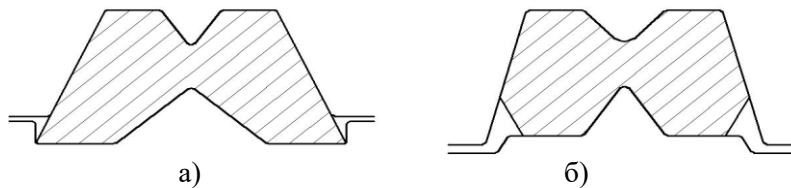


Рис. 1 – Різні калібри: а – напівзакритий; б – закритий знизу

При цьому форми квадратної заготовки не є наближеною до форми профілю і в процесі прокатки виникає велика нерівномірність деформування металу.

Особливістю при прокатці швелерів з заготовки квадратного профілю є забезпечення наявності фальшивих частин фланців в кутах між полкою та фланцями у чорнових калібрах (рис. 2).

Це потрібно для забезпечення в калібрах наступних клітей кута в 90 градусів між полицею та фланцями. Це присутнє у більшості методів калібрування валків [6].

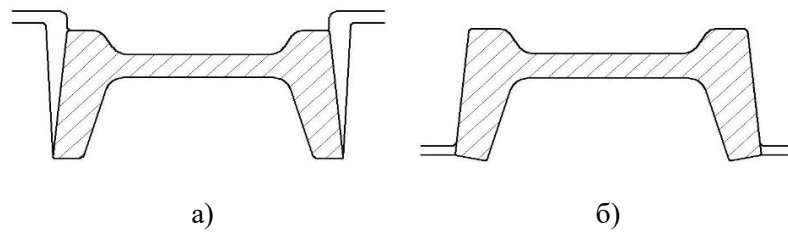


Рис. 2 – Фальшиві фланці (в кутах між полицею та фланцями) у напівзакритому (а) та закритому (б) калібрах

На сьогодні практика з виробництва швелерів має 5 основних способів прокатки швелерів [6] (рис. 3), що відрізняються між собою формою чорнових калібрів:

- балочний спосіб прокатки;
- коритний спосіб прокатки;
- спосіб прокатки в калібрах із збільшеним ухилом дійсних фланців та вигнутої стінкою;
- спосіб прокатки у розгорнутих калібрах;
- прокатка за способом згинання.

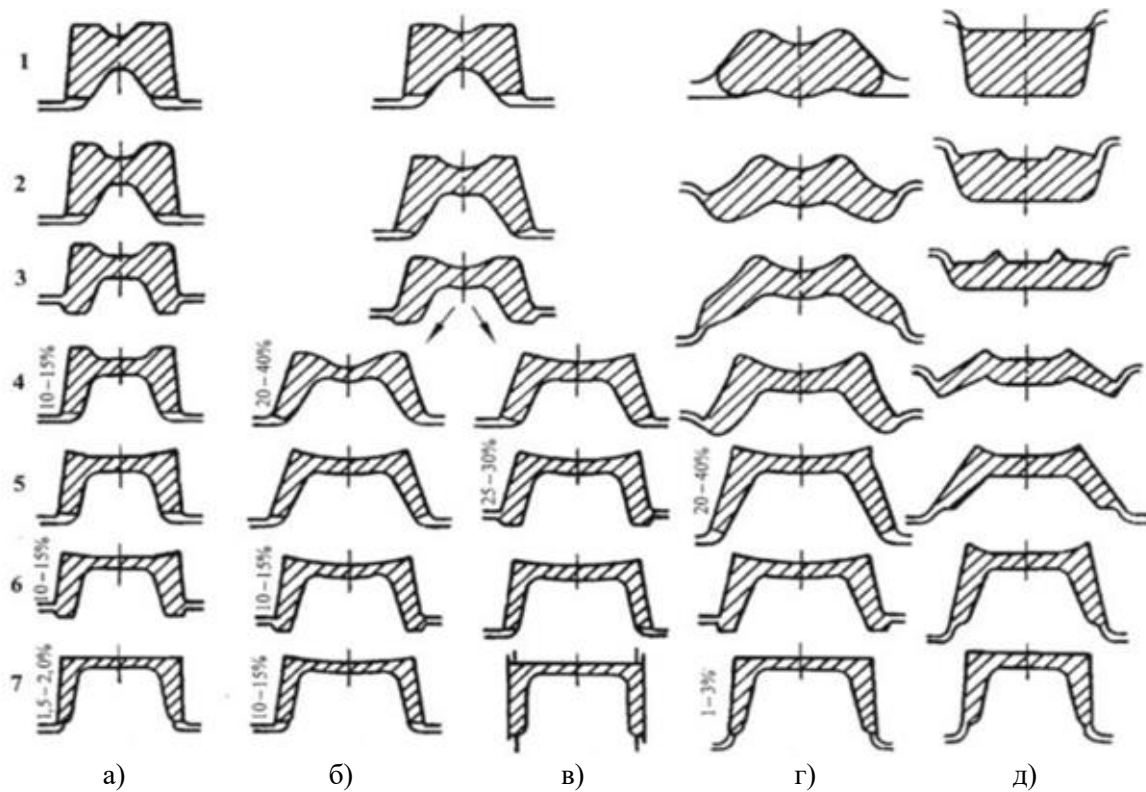


Рис. 3 – Методи калібрування валків для прокатки швелерів: а – зі збільшеним ухилом дійсних фланців та прямою стінкою (коритний спосіб); б – зі збільшеним ухилом дійсних фланців та зігнутою стінкою; в – з застосуванням універсального чистового калібру; г – з розгорнутими дійсними фланцями та зігнутою стінкою; д – згинання прямих дійсних фланців [6]

Деформування фальшивих фланців швелера у калібрах відбувається виключно у закритих частинах калібрів. Наявність фальшивих фланців забезпечує запас металу для уникнення утяжки під час формування малих зовнішніх радіусів закруглень між полкою та фланцями у чистовому калібрі.

Фланці переважно обтискують по товщині. Важливою частиною калібрування валків для прокатки швелера є застосування одного або двох контрольних калібрів. За допомогою таких калібрів здійснюють контроль виконання розмірів дійсних фланців за довжиною та забезпечують необхідну форму поперечного профіля швелера.

Переважно контрольний калібр передує останньому чистовому калібру. Однак у разі необхідності додаткового контролю може використовуватись ще один контрольний калібр, розташований між чорновими калібрами (чорновий контрольний калібр). Існує два типи контрольних калібрів: закритий та напівзакритий (рис. 2).

Завершується калібрування швелерів в 1-2 чистових калібрах, в яких, на відміну від чорнових, немає фальшивих фланців. Чистовий калібр завжди виконують закритим, дійсні фланці остаточно формуються в відкритих частинах калібру, що має забезпечити отримання профілю з гострими зовнішніми кутами.

Як правило, швелер прокатують дійсними фланцями вниз, що полегшує стік охолоджувальної води та видалення окалини, але бувають і винятки [6].

Балковий метод калібрування валків для прокатки швелерів. Балковий метод [6] схожий з калібруванням валків за профілем двотаврової балки.

Перевага даного способу полягає у використанні загальних розрізних та чорнових калібрів (3-4 калібра) для прокатки двотаврових балок для прокатки швелерів. На сьогодні такий спосіб виробництва застосовується досить рідко. Причина – значна нерівномірність деформування в калібрах.

Коритний методи калібрування валків для прокатки швелерів. У цьому методі застосовують збільшені випуски у чорнових та чистових калібрах. При прокатці по коритному способу використовують прямополичні швелерні калібри з прямою стінкою та збільшеним випуском до 10-15% у чорнових калібрах та до 1,5-2,0% у чистовому.

Метод калібрування валків зі збільшеним ухилом дійсних фланців і зігнутою полицею. У цьому способі прокатки практично повністю усуваються недоліки коритного способу прокатки, за рахунок використання калібрів з прямими полицями та зігнутою стінкою. До того ж, коритний спосіб прокатки прийнято вважати окремим випадком прокатки в калібрах зі збільшеним ухилом та зігнутою стінкою.

Метод калібрування валків з розгорнутими дійсними фланцями та зігнутою стінкою [6]. Як показала практика такий метод дає добрі результати при прокатці швелерів. Сутність даного способу прокатки полягає в тому, що перехід від розгорнутого майже до горизонталі калібру до прямополичного здійснюється поступово із застосуванням низки перехідних кривополичних калібрів, які забезпечують плавну формозміну розкату. Це розвиток способу прокатки в калібрах зі збільшеним ухилом дійсних фланців і зігнутою полицею.

Існує низка методів розрахунку розгорнутого калібрування швелерів. Ці методи умовно об'єднані в три групи [9]:

1. Розрахунок серії калібрів за горизонтальними проекціями та регламентованим розкриттям полук;
2. Розрахунок за середньою лінією та кутам розкриття полиць пропорційно обтисненням;
3. Розрахунок калібрів за методом відповідної смуги.

Найбільш розповсюджений є другий метод. Цей метод впроваджено при прокатці швелерів на стані 550 [9-10].

Метод розрахунку калібрування валків для прокатки швелерів у розгорнутих калібрах вперше запропонований Старченко Д.І. Принцип методу є у з'єднанні двох розгорнутих калібрів для прокатки кутиків в один швелерний.

В методі Ілюковича В.М. при розрахунках використовують перші три калібри балочного типу з відкритими фланцями, розрахунок ведуть проти напрямку прокатки. Калібр 4 і наступні – розгорнутого типу. Розрахунок за цим методом проводиться за горизонтальними проекціями, величина поширення приймається конструктивно.

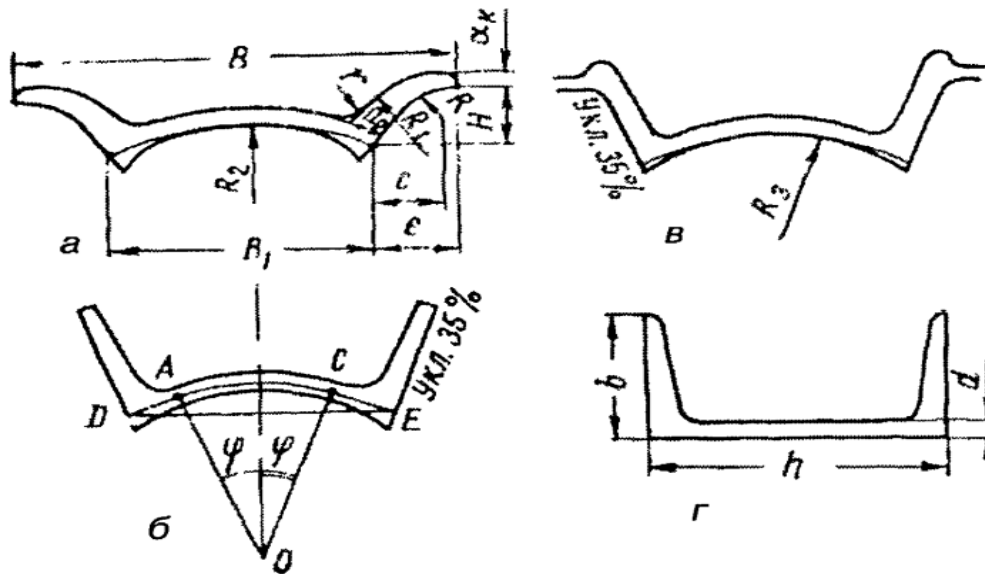
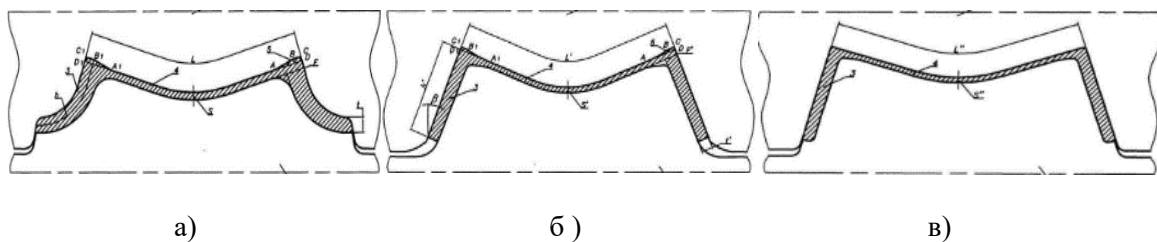


Рис. 4 – Побудова чистових калібрів за методом Ілюковича В. М.: а – кривополичний розгорнутий калібр; б – чистовий калібр; в – передчистовий калібр; г – готовий профіль [9]

Метод Кочетова за принципом майже такий, як і метод Старченко В.М. Цей метод існує у двох варіантах: – із застосуванням контрольного калібру; – без використання контрольного калібру. На практиці ці методи не отримали широкого практичного застосування.

В методі Антонюка С.М. і Бергемана Г.В. функції згинання і контролю висоти полиць поєднані в останньому чорновому кривополичному калібрі (рис. 5). Надалі прокатку ведуть у чистовій групі клітей у відкритому передчистовому прямополичному калібрі. Цей метод на стані 550 «ДМЗ» показав гарні результати і використовується у виробництві на стані 550.



наступних за смуговими калібрами здійснюють поступове згинання профілю при невеликих обтисканнях у прямополичних калібрах з прямою або зігнутою стінкою (рис. 6). Однак із практики відомі випадки, де згинання профілю здійснюється лише у чистовому калібрі, тобто всі чорнові калібри – смугові.

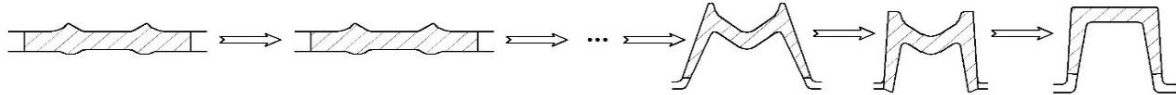


Рис. 6 – Схема швелерного калібрування прокатних валків за способом згинання

Метою статті є аналіз методів калібрування валків для виробництва швелерів із вказанням їх переваг та недоліків, обґрунтування можливості застосування розвинутого «Методу калібрування валків у виробництві швелерів на основі зниження нерівномірності деформування».

Виклад основного матеріалу.

Переваги і недоліки коритного методу калібрування валків для прокатки швелерів:

- підвищене бокове обтиснення фланців;
- можливість переточування валків зі збереженням початкових розмірів калібрів з меншим зніманням металу діаметру;
- термін експлуатації прокатних валків збільшується;
- за рахунок меншої глибини врізу струмків у валки знижується витрата енергії та знос прокатних валків під час прокатки, підвищується міцність валків.

Особливість методу калібрування валків зі збільшеним ухилом дійсних фланців і зігнутою полицею.

Контроль висоти дійсних фланців здійснюється за допомогою контрольних чорнового та передчистового калібрів напівзакритого типу.

Після кожного контрольного проходу прокатки виконують в закритому швелерному калібрі, до того ж рекомендується після кожних чотирьох проходів використовувати контрольний калібр.

Переваги і недоліки методу калібрування з розгорнутими дійсними фланцями та зігнутою стінкою:

- досягається найбільша рівномірність деформації за шириною профілю;
- зменшується знос валків у зв'язку із забезпеченням мінімально можливої різниці діаметрів валка в калібрі валків;
- скорочується витрата енергії при прокатці;
- зростає ширина калібрів, отже, на бочці валків можна розмістити меншу кількість калібрів;
- різко погіршуються умови входу смугового профілю в згинальний прямополичний калібр, а також центрування в ньому.

Цей метод є перспективним при виробництві швелерів.

Переваги і недоліки метод калібрування валків для прокатки швелерів за способом згинання.

При прокатці за способом згинання посилюються такі переваги розгорнутого калібрування, як:

- досягається найбільша рівномірність деформації за шириною профілю;
- зменшується знос валків у зв'язку із забезпеченням мінімально можливої врізу калібрів у валки та найменшої різниці діаметрів валка у калібрі;
- скорочується витрата енергії при прокатці.

Такі позитивні переваги є важливими з точки зору розвитку методу калібрування валків для виробництва швелерів.

Незважаючи на перераховані вище переваги, даний спосіб калібрування має ряд істотних недоліків:

- зростає ширина калібрів, отже на бочці валків можна розмістити меншу кількість калібрів, а також збільшується сила прокатки;

– різко погіршуються умови входу смугового профілю в згинальний прямополичний калібр, а також центрування в ньому.

Переваги такого способу формування профілю будуть ефективними у разі застосування його для виробництва малих розмірів швелера. У цих випадках ширини бочки валка буде достатньо для виробництва.

Вище приведений аналіз способів виробництва швелерів показав, що найменша нерівномірність деформації присутня при прокатці за способом згинання. Досягається найбільша рівномірність деформації за шириною профілю, зменшується знос валків у зв'язку із забезпеченням мінімально можливого врізу калібрів у валки через найменшу різницю діаметрів валка у калібрі, скорочується витрата енергії при прокатці. В цьому методі пропонується для зменшення нерівномірності деформування на першому етапі формування профілю використовувати прямокутну сортову заготовку або заготовку з штрипсових станів [11, 12].

В цьому способі основним недоліком є мала площа поперечного перерізу заготовки. Це не дає можливість прокатувати максимально можливу кількість довжин швелерів. Виходом з цього недоліку є застосування прямокутної заготовки достатньою товщиною та довжиною.

Основними перевагами пропозиції є:

- зниження нерівномірності деформації металу у чорнових калібрах;
- зменшення кількості змінного обладнання (валків);
- зменшення часу нагріву заготовки;
- зменшення зносу валків, обумовлене зменшенням часу деформування металу в чорновій групі та підвищенням температури прокатки в чистовій групі;
- зменшення витрат електроенергії в чорновій групі;
- вирівнювання температури по перерізу розкату.

Розробка і застосування технологій прокатки швелерів на основі розвитку методу калібрування валків згинанням з прямокутної заготовки чи з штрипса із зниженням нерівномірності деформування у перших проходах знижує витрати на впровадження змін та дає значний економічний ефект у вигляді зниження собівартості продукції.

Висновки

В металургії в прокатних цехах при виробництві швелерів переходять на використання розгорнутого методу калібрування. Використовують квадратну заготовку. При цьому у перших чорнових калібрах відбувається інтенсивне нерівномірне деформування, що обумовлено неналежним наближенням форми вихідної квадратної заготовки до фасонного профілю.

Для зниження нерівномірності деформування металу в осередку деформування в калібрах запропоновано застосовувати розвинутий метод калібрування згинанням з використанням прямокутної заготовки або штрипса. При цьому у перших проходах аналогічних смуговій прокатці пропонується застосовувати максимальні коефіцієнти деформації. Кількість проходів в чорновій групі може зменшитися. Коефіцієнти деформації в чорновій групі будуть максимальні. Подальші передчистові і чистові калібри можливо залишити, в основному, без змін, що мінімізує витрату грошових ресурсів і часу для впровадження змін, а також гарантує отримання профіля належної якості.

Перелік використаних джерел:

1. Максименко О. П., Штода М. М., Нікулін О. В. Основи калібровки прокатних валків: Навчальний посібник. Кам'янське : ДДТУ, 2023. 156 с. URL: <https://dspace.mipolytech.educa-tion/handle/mip/570> (дата звернення: 15.05.2023).
2. ДСТУ 3436-96. Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент. [Чинний від 1999-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1998. 13 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ 8807:2018. Балки двотаврові і швелери сталеві спеціальні. Сортамент. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 7 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 7551:2014. Швелери. Сортамент. [Чинний від 2015-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2014. 3 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 7549:2014. Швелери сталеві гарячекатані з відігнутою полицею для вагонеток. Сортамент. [Чинний від 2015-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2014. 3 с. (Інформація та документація).

6. Илюкович Б. М., Нехаев Н. Е., Меркурьев С. Е. Прокатка и калибровка : в 6 т. Днепропетровск : Днепро-ВАЛ, 2002. Т. 5 : Калибровка двутавровых профилей, рельсовых профилей и профилей особо сложной формы. 482 с.
7. Gupta N. K. Steel Rolling. Principle, Process & Application. London, 2021. 526 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003182399>.
8. Kumar A., Rath S., Kumar M. Simulation of plate rolling process using finite element method. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 42. Part 2. Pp. 650-659. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.050>.
9. Современные технологии производства швеллеров с применением развернутой калибровки валков / Г. В. Бергеман и др. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2007. 64 с.
10. Бергеман Г. В. Освоение производства крупногабаритного профиля швеллера № 30П в условиях среднесортного стана «550». *Металл и литьё Украины*. 2016. № 2(273). С. 36-41.
11. Григоренко В. У., Заболотній О. М. Аспекти з розвитку методів калібровки валків сучасного виробництва сортових профілів. *Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій в контексті відбудови і сталого розвитку України: тези доповідей Міжн. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 28-29 листопада 2023 р. Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2023. С. 50-52.*
12. Григоренко В. У., Заболотній О. М. До розробки методу розрахунку калібрування валків горячої прокатки фасонних профілів зі зниженою нерівномірністю деформації. *Університетська наука - 2024 : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф., м. Дніпро, 23-24 травня 2024 р. Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2024. Т. 1. С. 29-30.*

References:

1. O.P. Maksymenko, M.M. Shtoda, and O.V. Nikulin, *Osnovy kalibrovky prokatnykh valkov: Navchalnyi posibnyk* [Basics of rolling mill calibration: Tutorial]. Kamianske, Ukraine: DDTU Publ., 2023. (Ukr.)
2. *Shvelery stalevi hariachekatani. Sortament* [Hot-rolled steel channels. Assortment], State Standart 3436-96, Kyiv, 1998. (Ukr.)
3. *Balky dvotavrovi i shvelery stalevi spetsialni. Sortament* [I-beam beams and special steel channels. Assortment], State Standart 8807:2018, Kyiv, 2018. (Ukr.)
4. *Shvelery. Sortament* [Channels. Assortment], State Standart 7551:2014, Kyiv, 2014. (Ukr.)
5. *Shvelery stalevi hariachekatani z vidihnutoiu polytseiu dlia vahonetok. Sortament* [Hot-rolled steel channels with a bent shelf for trolleys. Assortment], State Standart 7549:2014, Kyiv, 2014. (Ukr.)
6. B.M. Yliukovych, N.E. Nekhaev, and S.E. Merkurev, «Kalybrovka dvutavrovikh profylei, relsovikh profylei y profylei osobo slozhnoi formi» [«Calibration of I-beams, rail profiles and profiles of particularly complex shapes»], in *Prokatka y kalybrovka* [Rolling and calibration], vol. 5, Dnepropetrovsk, Ukraine: Dnepro-VAL Publ., 2002, 482 p. (Rus.)
7. N.K. Gupta, Steel Rolling. Principle, Process & Application. London, 2021. **doi: 10.1201/9781003182399**.
8. A. Kumar, S. Rath, and M. Kumar, «Simulation of plate rolling process using finite element method», *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, part 2, pp. 650-659, 2021. **doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.050**.
9. H.V. Berheman, S.M. Antoniuk, M.V. Kraev, Y.V. Pelikh, and K.S. Antoniuk, *Sovremennye tekhnologii proizvodstva shvellorov s prymenenyem razvernutoi kalybrovki valkov* [Modern technologies for the production of channels using expanded calibration of rolls]. Dnepropetrovsk, Ukraine: ART-PRESS Publ., 2007. (Rus.)
10. H.V. Berheman, «Osvoenye proizvodstva krupnobyarytnoho profylya shvellera № 30P v uslovyiakh sredne-sortnoho stana «550» [«Development of production of large-sized channel section No. 30P in the conditions of medium-grade mill «550»], *Metall y lytё Ukrainy – Metal and casting of Ukraine*, № 2(273), pp. 36-41, 2016. (Rus.)
11. V.U. Hryhorenko, and O.M. Zabolotnii, «Aspekty z rozvytku metodiv kalibrovky valkov suchasnoho vyrobnytstva sortovykh profiliv» [«Aspects of the development of roll calibration methods for the modern production of graded profiles»], in *Proceedings of Int. sci.-tecn. conf. «Problems and prospects of the development of modern technologies in the context of reconstruction and sustainable development of Ukraine»*, Dnipro, 2023, pp. 50-52. (Ukr.)

12. V.U. Hryhorenko, and O.M. Zabolotnii, «Do rozrobky metodu rozrakhunku kalibruvannia valkiv horiachoi prokatky fasonykh profiliv zi znyzhenoiu nerivnomirnistiu deformatsii» [«To the development of a method for calculating the calibration of hot rolling rolls of shaped profiles with reduced deformation unevenness»], in Proceedings of Int. sci.-tecn. conf. «University science - 2024», Dnipro, 2024, vol. 1, pp. 29-30. (Ukr.)

Стаття надійшла 13.02.2024

Стаття прийнята 02.04.2024