

Б.П.Середа, О.М.Тумко⁽¹⁾, І.В.Кругляк, А.К.Коваленко**РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ПРОКАТКИ ТА ПІСЛЯДЕФОРМАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПРУТКІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОЇ СТАЛІ ДІАМЕТРОМ БІЛЬШЕ 270 ММ**

*Запорізька державна інженерна академія,
(¹)ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь»*

Запропоновано метод виробництва прутків діаметром більше 270 мм із легованих та високолегованих сталей, що вміщує прокатку зливків на блюмінгу в ящиківому калібрі за декілька проходів, в овальному та круглому калібрах з кантовкою прямокутної штаби перед прокаткою в овальному калібрі та післядеформаційне охолодження до температури нижче 150 °С.

Предложен метод производства прутков диаметром больше 270 мм из легированных и высоколегированных сталей, который предусматривает прокатку слитков на блюминге в ящичном калибре за несколько проходов, в овальном и круглом калибрах с кантовкой прямоугольной полосы перед прокаткой в овальном калибре и последеформационное охлаждение до температуры ниже 150 °С.

Вступ. Під час світової економічної кризи найбільш актуально постають питання підвищення якості продукції і впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій у металургійній галузі України. За сучасних умов виробництво прутків діаметром більше 270 мм із легованих та високолегованих сталей здійснюється способом, що забезпечує індивідуальні умови деформування металу різних плавів за рахунок вибирання потрібних режимів деформації, застосування проміжного підігрівання зливків та заготовок до температур максимальної пластичності металу, проміжної обдирки заготовок для видалення створених поверхневих дефектів, а також їх вирубання або вогневого зачищення у гарячому стані [1,2]. Як результат такої обробки одержано металопродукцію, що характеризується високою якістю поверхні та інтенсивним проробленням осрової зони прутка. Проте зазначений метод містить операцію кування, яка є малопродуктивною й енергомісткою та із значними втратами металу на вигар, окалину, кускові відходи, абразивний порошок і стружку, що зумовлює високу собівартість поковок. Значне підвищення собівартості прутків та зменшення продуктивності процесу надає протифлокенова обробка.

Постановка завдання. Завданням дослідження є розробка оптимальних режимів прокатки на блюмінгу 1050 ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» та післядеформаційної обробки прутків діаметром більше 270 мм із вуглецевих, легованих та високолегованих сталей.

Головна частина досліджень. Авторами робіт [2,3] запропоновано метод виробництва прутків, що містить прокатку зливків на блюмінгу в ящиківому калібрі за декілька проходів, в овальному та круглому калібрах із кантовкою прямокутної штаби перед прокаткою в овальному калібрі та післядеформаційне охолодження до температури нижче 150 °С.

Проте такий метод не забезпечує необхідної якості прутків: готові прутки діаметром більше 270 мм із легованих та високолегованих сталей мають внутрішні дефекти у вигляді центральної пористості, розпушеності, флокенів, а також викривлення профілю (овальності) та поверхневі дефекти у вигляді закатів і підрізів.

Причиною центральної пористості та розпушеності є непророблення центральної частини зливка під час деформації в ящиківому калібрі з коефіцієнтом

витажки за один прохід від 1,1 до 1,2, з висотою розкату від 300 до 700 мм та діаметром валків від 950 до 1100 мм. Дія стискуючого тиску, що передається робочими валками з такими параметрами прокатки, не надходить до центральної частини профілю та створює в ній напруження, що розтягують та руйнують дірчасту серцевину зливка.

Причиною утворення флокенів є висока концентрація водню в сталі, яка одержана електродуговим способом, зменшення його розчинності в твердому розчині та дифузійної спроможності із зниженням температури, а також виникнення остаточного напруження під час процесу охолодження через нерівномірність температури за перерізом прокату [4].

Причиною порушення профілю та виникнення поверхневих дефектів у вигляді закатів, підрізів є нестабільна стійкість розкату під час прокатки овального профілю в круглому калібрі без використання привалкової арматури. Маніпуляційні лінійки блюмінгу, що призначені для передавання розкату з одного калібру на інший, не можуть виконувати у повному обсягу функції пропускань та через це не забезпечують необхідного стійкого положення овального розкату під час прокатки в круглому калібрі.

Тому було поставлене завдання модернізації методу виробництва прутків діаметром більше 270 мм з метою забезпечення необхідної точності розмірів профілю, гарантованої відсутності внутрішніх та поверхневих дефектів, а також високої продуктивності процесу. Для цього у методі виробництва прутків зазначеного діаметра, який містить прокатку зливків на блюмінгу в ящиковому калібрі за декілька проходів, в овальному та круглому калібрах та післядеформаційне охолодження до температури нижче 150 °С, операцію прокатки у ящиковому калібрі виконують за опуклості дна калібру 5...8 мм, до того в останньому проході ящикового калібру виконують обтиснення, відношення розміру якого до діаметра готового прокату дорівнює 0,28...0,38, та в овальному калібрі здійснюють обтиснення, що дорівнює 5...8 f , де f - розмір опуклості дна калібру. Окрім того, для конструкційних сталей ферито-перлітного та перлітного класів післядеформаційне охолодження прутків до температури нижче 150 °С виконують із середньою швидкістю 3,5...4,5 град/год. Прокатка в ящиковому калібрі з опуклістю дна калібру 5...8 мм дозволяє одержати розкат, дві грані якого увігнуті на 5...8 мм. Після кантування такого розкату на 90° та прокатки в овальному калібрі бокова «спинка» овального розкату має грань близьку до плоскої, ширина якої дорівнює близько 0,33...0,45 діаметра готового прокату та більше 0,25 висоти передчистового овалу.

Наявність рівної та широкої бокової «спинки» овальної штаби забезпечує добру стійкість під час транспортування вздовж рольгангу та під час подавання розкату до круглого калібру. Окрім того, наявність такої «спинки» дозволяє здійснити прокатку овальної штаби в круглому калібрі з відносною стійкістю без використання привалкової арматури, що дуже необхідно через неможливість застосування на блюмінгу будь-якої привалкової арматури.

Якщо опуклість дна ящикового калібру складає менше 5 мм та стиснення в овальному калібрі перевищує 35 мм, то на передчистовому профілі не одержують плоску «спинку» через розширення та розкат різко втрачає стійкість під час транспортування рольгангом та прокатки в круглому калібрі.

У такому разі овальний профіль може надходити до чистового круглого калібру не точно в вертикальному стані, а в трохи нахиленому, та метал краще притискається до одних ділянок калібру та гірше до інших, що спричинює різницю у

зовнішньому вигляді відповідних ділянок поверхні чистового профілю: там, де метал добре притискається до стінок калібру - поверхня набуває гладкого стану, а на ділянках, де метал притискається не дуже сильно - поверхня виявляється шорсткою та зморшкуватою. Окрім того, похиле розміщення овалу в чистовому круглому калібрі веде до повороту розкату кругом повздожньої вісі на 90° та подальшого проходження крізь калібр в такому горизонтальному положенні. Як результат згортання штаби чистовий профіль перевернується: в місцях, що співпадають з роз'ємом валків, виявляються видавлені та широкі задирки, а по дну рівчака не виконується профіль через те, що висота заданого розкату менше висоти калібру.

Додаткові зусилля лінійок для утримання розкату значно погіршує захоплення металу валками та процес прокатки стає неможливим. Збільшення опуклості дна ящикового калібру більше 8 мм веде до того, що під час прокатки прямокутного профілю з обтисненням до 60 мм стримується передчистовий профіль з увігнутими гранями, прокатка якого в круглому калібрі супроводжується виникненням закатів та глибоких зморшок. Під час прокатки в останньому проході ящикового калібру з обтисненням, відношення розміру якого до діаметра готового прокату менше 0,28, в осьовій зоні прутка залишається центральна дірчатість через непророблення центральної частини зливка під час деформації в ящиковому калібрі. Якщо відношення розміру обтиснення в останньому проході ящикового калібру до діаметра готового профілю більше 0,38, то через високу ступінь деформації на поверхні розкату, особливо по його ребрах з'являються розриви, які під час подальшої прокатки в овальному та круглому калібрах розкатуються, трансформуючись у тріщини, прокатні плини на поверхні прутка.

Під час прокатки в овальному калібрі з обтисненням менше 40 мм в осьовій частині готового прокату спостерігаються внутрішні дефекти через непророблення центральної частини зливка та розвитку в ній розтягуючих напружень, що сприяють збільшенню розмірів дефектів у напрямку прокатки.

Збільшення обтиснення в овальному калібрі понад 40 мм веде до надлишкового розширення та одержання передчистового овалу без плоскої «спинки», завдяки чому знижується стійкість овалного розкату в круглому калібрі та перевернується чистовий профіль. Окрім того, підвищення обтиснення більше 40 мм супроводжується погіршенням якості поверхні прокату через появу розривин на передчистовому профілі.

Якщо післядеформаційне охолодження прокату конструкційних та інструментальних сталей перлітного та ферито-перлітного класів виконувати зі швидкістю більше 4,5 град/год, то в готовому прокаті можуть з'явитися флокени. В такому разі охолодження прутків здійснюється з такою нерівномірністю за перерізом профілю, що водень, розчинений в сталі з поверхневих шарів, які складаються з феритної та цементитної фаз, дифундує до центральної частини прутка, де зберігся аустеніт, що має значно більшу розчинність водню, ніж ферит. Як результат, центральна частина прутка збагачується воднем, який не може видалитися з металу через зниження дифузійної активності із зменшенням температури металу.

Фазові перетворення та зниження розчинності водню в сталі із зменшенням температури супроводжуються утворенням флокенів у зонах, збагачених воднем. Післядеформаційне охолодження прокату до 150°C із середньою швидкістю менше 3,5 град/год. гарантує відсутність флокенів у металі, проте такий режим потребує додаткових витрат на підігрівання металу під час охолодження та зменшення продуктивності стану через зниження пропускної спроможності колодязів уповільненого охолодження прокату, продуктивність яких визначатиме

продуктивність стана: збільшення часу охолодження на 20...25% зменшує продуктивність усього процесу на ту же величину. Окрім того, зменшення швидкості післядеформаційного охолодження прокату зумовлює додаткові втрати металу на окалину.

За умов ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпрспецсталь», що спеціалізується на виробництві якісних сталей, досліджували вплив опуклості дна ящикового калібру, розміру обтиснення при останньому проході в ящиковому калібрі, обтиснення в овальному калібрі та швидкості післядеформаційного охолодження прокату на точність розмірів профілю, якість поверхні, макроструктуру прокату та продуктивність процесу.

З метою реалізації процесу прокатки для валків блюмінгу 1050 розробили спеціальну схему калібрування. Всього на валках, окрім гладкої частини бочки валків, здійснено нарізання одного ящикового, одного овального та одного круглого калібрів. При цьому опуклість дна ящикового калібру вирівняли шляхом переточування на чотирьох рівнях: 4, 7, 8 та 10 мм.

Як експериментальний матеріал використовували зливки сталей 18Г, 17Г1С, 45Г та 40ХГМ, масою 7,4 або 6,7 т, одержані електродуговим способом, що мали в рідкому металі від 3 до 6 ррт водню. Хімічний склад дослідних плавов наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідних плавов

Марка сталі	Кількість плавов	Вміст хімічних елементів, %						
		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>
20Г	8	0,17...0,20	0,25...0,35	0,81...0,93	0,011...0,025	0,012...0,028	0,05...0,10	0,10...0,20
17Г1С	8	0,16...0,19	0,22...0,38	1,25...1,50	0,011...0,027	0,012...0,029	0,05...0,10	0,10...0,20
45Г	7	0,43...0,48	0,19...0,29	0,65...0,87	0,013...0,03	0,013...0,029	0,05...0,10	0,10...0,20
40ХГМ	4	0,39...0,43	0,19...0,32	0,75...0,91	0,011...0,028	0,015...0,024	0,18...0,24	0,93...1,17

Зливки піддавали нагріванню у рекуперативних колодязях до температури 1250 °С, витримували з нею протягом 2...4 год. та прокатували на прутки діаметром 300 або 330 мм за схемами, наведеними в табл.2. При цьому температура поверхні розкату, що виміряли оптичним пирометром, наприкінці прокатки складала 1020...1100 °С.

Після прокатки розкати розкрюювали роторними пилками на прутки довжиною 4...6 м та завантажували до неопалюваних колодязів

Режим охолодження колодязів варіювали шляхом змінювання температури металу під час завантаження від 700 до 880 °С, змінювання маси металу, що завантажують до колодязя від 90 до 160 т, та підйомом кришки колодязя на відстань 0,1...0,2 м від її стінок. Температуру охолоджуваного металу вимірювали пересувною термопарою, яку розміщували в отворі кришки.

Після уповільненого післядеформаційного охолодження прутки обточували до діаметра 20...30 мм та піддавали ультразвуковому контролю.

Таблиця 2 – Результати дослідного виробництва прокату діаметром 300 та 330 мм

№ дос-ліду	Марка сталі	Діаметр прокату, мм	Опуклість дна ящи-кового калібра, мм	Обтиснення при останньому проході в ящиковому калібрі, мм	Обтиснення в овальному калібрі, мм	Середня швидкість охоло-дження, град/год	Відхилення від номе-нального розміру , мм	Макро-структура прокату	Якість поверхні прокату
1	45Г	300	10	105	43	4	4	щільна	Закати, зморшки
2	20Г, 17Г1С	300	8	105	43	4	3	щільна	без дефектів
3	45Г, 20Г	300		105	43	4	3	щільна	без дефектів
4	20Г, 40ХГМ	300	4	105	43	4	10	щільна	підрізи, закати, змошки, викривлення профілю
5	17Г1С, 20Г	300	7	105	43	4	3	щільна	без дефектів
6	45Г, 17Г1С	300	7	80	43	4	3	осьова пористість	без дефектів
7	20Г	300	7	90	43	4	3	щільна	без дефектів
8	17Г1С	300	7	115	43	4	4	щільна	Розривні тріщини, прокатні плини
9	45Г, 20Г	300	7	105	35	4	3	осьова пористість	без дефектів
10	17Г1С, 45Г	300	7	105	40	4	3	щільна	без дефектів
11	17Г1С, 45Г	300	7	105	52	4	3	щільна	без дефектів
12	20Г	300	7	105	58	4	12	осьова пористість	підрізи, закати, змошки, викривлення профілю
13	17Г1С	300	7	105	43	3	3	щільна	без дефектів
14	17Г1С	300	7	105	43	3,5	3	щільна	без дефектів
15	17Г1С	300	7	105	43	4,5	3	щільна	без дефектів
16	17Г1С	300	7	105	43	5	3	флокени	без дефектів
17	17Г1С, 20Г	330	7	90	43	4	4	осьова пористість	без дефектів
18	17Г1С, 20Г	330	7	100	43	4	4	щільна	без дефектів

Встановлено, що досліди 2, 3, 5, 7, 10, 11, 14, 15 забезпечують необхідну якість проката та максимальну продуктивність процесу. Збільшення та зменшення опуклості дна калібру погіршує якість поверхні прокату (досліди 1 та 4) та знижує точність прокату (дослід 4). Зменшення обтиснення в останньому проході у ящиковому калібрі та в овальному калібрі спричинює осьову пористість у макроструктурі прокату (досліди 6, 9, 17). Збільшення обтиснення під час останнього проходу в ящиковому калібрі веде до утворення розривин на поверхні профілю (дослід 8). Збільшення обтиснення в овальному калібрі супроводжується викривленням профілю та утворенням закатів і підрізів (дослід 12).

Зменшення швидкості післядеформаційного охолодження спричинює зниження продуктивності, додаткові простой стану (дослід 13), а збільшення швидкості післядеформаційного охолодження веде до утворення флокенів у металі (дослід 16).

Висновки. Завдяки вибиранню оптимальних режимів обробки металів тиском та післядеформаційної обробки запропоновано метод виробництва, що дозволяє позбутися таких недоліків як центральна пористість, рихлість, флокени, а також викривлення профілю (овальність) та поверхневі дефекти у вигляді закатів й підрізів і забезпечити необхідну якість прутків із легованих та високолегованих сталей.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Охрименко Я.М.* Технология кузнечно-штамповочного производства. - М.: Машиностроение, 1976. - 560 с.
2. *Чижиков Ю. М.* Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов. - М.: Металлургия, 1965. - 496 с.
3. *Мерекин Б.В.* Некоторые вопросы калибровки прокатных валков. - М.: Металлургия, 1964. - 345 с.
4. *Середа Б.П.* Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів. - Запоріжжя: ЗДІА, 2002. - 265 с.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2008 р.

Рецензент, проф. А.У.Григоренко