

PACS: 89.20.Bb

Е.А. Руденко, В.Е. Гончаров, Ю.И. Юрченко, С.В. Закарлюка

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ С НЕОБРЕЗНЫМИ КРОМКАМИ

Донецкий национальный технический университет

Статья поступила в редакцию 16 декабря 2020 года

Разработан способ прокатки листов с катаной кромкой на толстолистовом стане. Реализация способа позволит расширить диапазон толщин листов с обжатыми кромками, производимых на толстолистовых станах.

Ключевые слова: расход металла, обрезь, катаная кромка, моделирование, вертикальные валки, горизонтальные валки, форма раската, способ прокатки, проглаживание

Введение

Прокатка толстых листов характеризуется наибольшим расходом металла на тонну годного. Расходный коэффициент для листов из легированных сталей достигает 1.25, а в среднем по сортаменту составляет 1.16–1.18. Металл в основном перерасходуется на боковую и торцевую обрезь, величина которой определяется отклонением формы листовых раскатов в плане от прямоугольной. Уменьшение расхода металла при прокатке толстых листов является актуальной и экономической важной проблемой.

Существующие передовые технологии производства толстолиствого проката основаны на многократных обжатиях раската в клетки с вертикальными валками после поперечной прокатки в клетки с горизонтальными валками, а также на профилировании широких и узких граней сляба и раската путем переменного обжатия в горизонтальной и вертикальной черновых клетях толстолиствого стана [1–3].

Боковую обрезь уменьшают за счет снижения выпуклости листов по ширине и средней разноширинности в партии листов при их производстве с необрезными (обжатыми) кромками по всей длине. Кроме того, такой способ позволяет получать готовый лист без закатов и внутренних напряжений на узких гранях [2].

Применение известных технологий прокатки листов с обжатыми кромками эффективно только при производстве листов толщиной более 20 мм. Ограничение их минимальной толщины при прокатке по продольно-поперечной схеме обусловлено непараллельностью боковых кромок (продольной выпуклостью по ширине) и, как следствие, потерей раскатом устойчивости от поперечного изгиба при обжатии в вертикальных валках [4].

Ряд известных технологий прокатки листов с обжатыми кромками позволяют достигать толщины менее 20–25 mm. Однако эти технологии имеют недостатки, в частности требуют дополнительных проходов в вертикальных и горизонтальных валках с дополнительными кантовками, а также дополнительного оборудования для прижатия раската к роликам рольганга [5].

Цель настоящего исследования – разработка нового способа прокатки толстых листов с обжатыми кромками, позволяющего уменьшить их толщину до минимально возможных значений.

Результаты исследования

Суть способа заключается в предварительном обеспечении параллельности боковых кромок раската в первых черновых обжатиях сляба в вертикальных и горизонтальных валках.

Исследование выполняли методом физического моделирования на лабораторном стане. В качестве моделирующего материала использовали свинец. Лабораторные станы были оснащены вертикальными и горизонтальными валками диаметром 50 mm и соответствовали натурным значениям 1500 mm толстолистого стана с масштабом 1:30. Провели три серии опытов.

1-я серия опытов. Моделировали процесс прокатки слябов толщиной 240 mm, шириной 1500 mm и длиной 1800, 2700 и 3600 mm по поперечной схеме прокатки в горизонтальных валках универсальной реверсивной черновой клетки толстолистого стана. Размеры моделирующих образцов составили, mm: толщина – 8, ширина – 50, длина 60, 90 и 120. Исследовали изменение формы торцов скантованного на 90° сляба при поперечной прокатке (разбивке ширины) в горизонтальных валках черновой клетки. Поперечную прокатку образцов выполняли с суммарной вытяжкой $\lambda_{\Sigma} = 2$ за 2, 4 и 6 проходов до толщины 4 mm. При этом обжатия по проходам составили, mm: 2, 1 и 0.6–0.7.

В качестве исследуемого параметра приняли среднюю стрелу выпуклости переднего и заднего торцов раската при поперечной прокатке исходного, прямоугольного в плане сляба δf_{conv} , а в качестве независимых переменных – суммарную вытяжку при поперечной прокатке λ_{Σ} , дробные вытяжки по проходам (число проходов N), а также соотношение длины к толщине сляба L/H .

2-я серия опытов. Моделировали прокатку слябов в калиброванных вертикальных валках с переменным обжатием ширины по длине и последующим проглаживанием на начальную толщину в горизонтальных валках. Исследовали влияние обжатия в вертикальных валках и ширины сляба на увеличение ширины в контрольных сечениях (вынужденное уширение) после проглаживания раската в горизонтальных валках на исходную толщину. Переменное обжатие в вертикальных валках моделировали путем прокатки клиновидных образцов в ящичных калибрах.

Для этого изготовили 3 образца с шириной, увеличивающейся по длине на 5–6 mm. Через каждые 10–15 mm длины на образцы в местах измерения ширины нанесли поперечные линии. Размеры образцов следующие, mm: толщина – 8, длина – 80, ширина – 43–49, 56–61 и 63–68.

В качестве исследуемого параметра приняли вогнутость ширины боковой кромки профилированного и проглаженного сляба δf_{conc} , а в качестве независимых переменных приняли обжатие ширины сляба ΔB посредине его длины и ширину сляба B .

3-я серия опытов. Моделировали изменение формы торцов сляба при поперечной прокатке спрофилированного по ширине по вогнутой параболе и проглаженного сляба в горизонтальных валках. Использовали образцы первой серии опытов. Дополнительно ширину по их длине спрофилировали по вогнутой параболе со стрелой $\delta f_{\text{conc}} = 1 \text{ mm}$ на каждой стороне образца. Прокатку выполнили аналогично первому опыту, с суммарной вытяжкой $\lambda_{\Sigma} = 2$ за 4 прохода с обжатием 1 mm в каждом проходе. В качестве исследуемого параметра приняли стрелу выпуклости $+\delta f_{\text{avg}}$ или вогнутости $-\delta f_{\text{avg}}$ торцов раската при поперечной прокатке спрофилированного и проглаженного сляба, а в качестве независимых переменных – суммарную вытяжку при поперечной прокатке λ_{Σ} и дробность вытяжки по проходам (число проходов N).

На рис. 1 представлены результаты исследований влияния основных переменных процесса на параметр выпуклости торцевых граней при разбивке ширины δf_{conv} . Как видно из рисунка, с ростом длины образцов L и числа проходов N выпуклость боковых граней при разбивке ширины δf_{conv} уменьшается, а с увеличением вытяжки λ – возрастает.

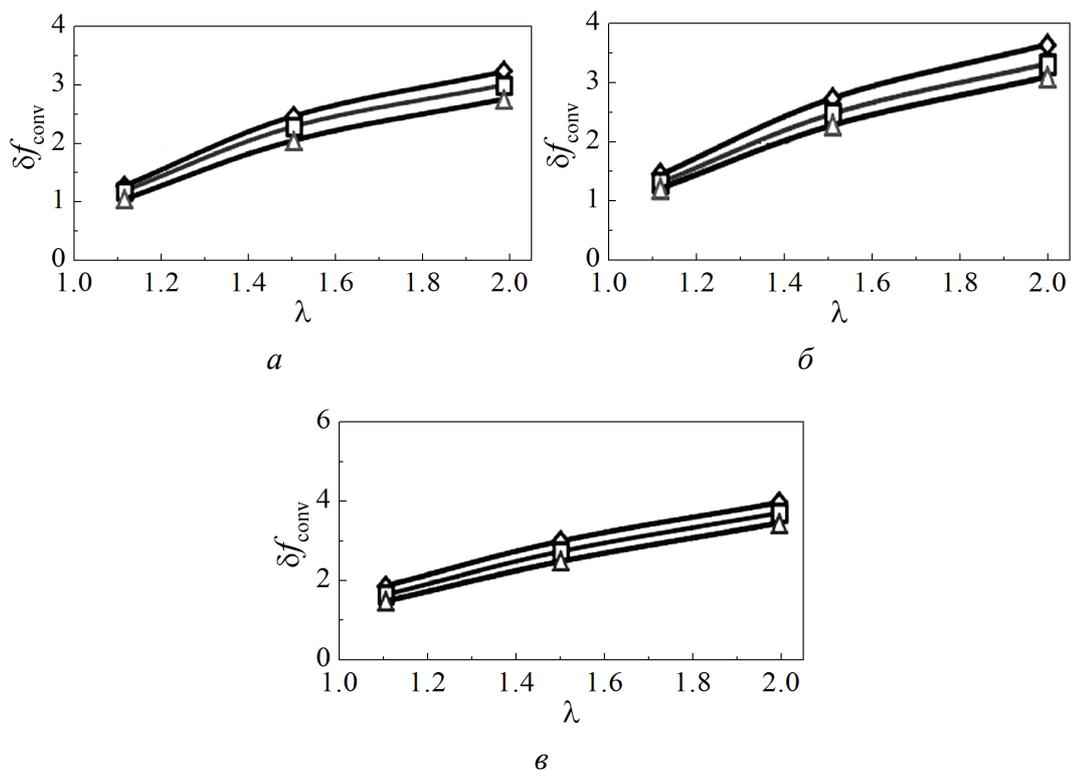


Рис. 1. Влияние длины образцов L (\diamond – 60 mm, \square – 90, \triangle – 120), вытяжки λ и количества проходов (a – $N = 2$, $б$ – 4, $в$ – 6) при разбивке ширины на выпуклость торцов δf_{conv}

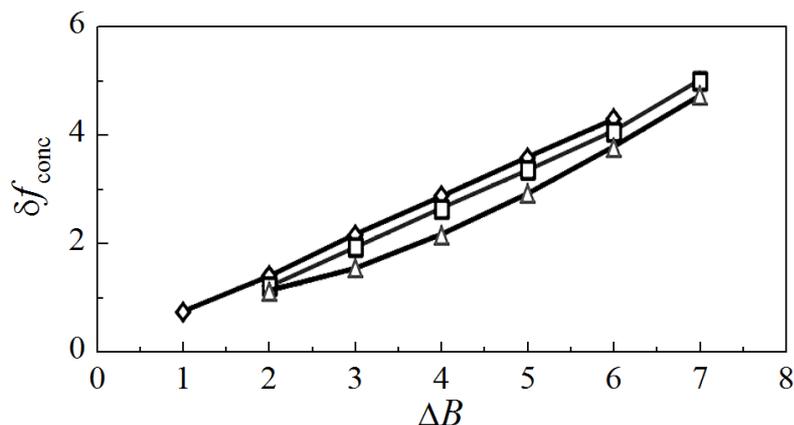


Рис. 2. Влияние обжатия по ширине ΔB и ширины B на вогнутость боковых граней раската δf_{conc} : \diamond – $B = 44-49$, \square – $56-62$, \triangle – $63-68$

Влияние основных переменных на параметр вогнутости боковых граней раската δf_{conc} показано на рис. 2, из которого следует, что при одном и том же значении обжатия по ширине ΔB величина δf_{conc} возрастает с уменьшением ширины B .

На рис. 3 представлено влияние переменных на изменение стрелы вогнутости торцов сляба f_{avg} при поперечной прокатке спрофилированного и проглаженного сляба в горизонтальных валках.

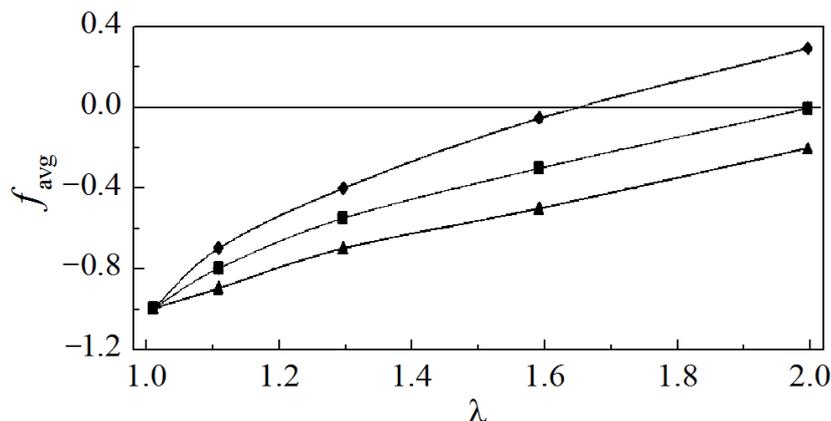


Рис. 3. Изменение формы торцов спрофилированного и проглаженного сляба при поперечной прокатке в горизонтальных валках: \diamond – $L = 60$ mm, \blacksquare – 90 , \blacktriangle – 120

Анализ результатов проведенного исследования показал, что необходимая вогнутость торцов спрофилированного и проглаженного сляба в 2–3.5 раза меньше выпуклости торцов раската при поперечной прокатке с аналогичным режимом обжатий исходного, прямоугольного в плане сляба. Установлено, что в каждом проходе продольное течение металла по ширине очага деформации определяется разными причинами в зависимости от последовательности входа металла в очаг деформации: по краям металл удлиняется в

зависимости от значения обжатия и вытяжки, а на участке посередине ширины – по закону наименьшего сопротивления. Следовательно, в процессе выравнивания торца раската продольная вытяжка металла посередине ширины компенсирует не только профильную вогнутость, но и суммарное по проходам удлинение краев участка торца сляба.

Исходя из сказанного выше предложено условие, связывающее компенсирующую вогнутость и суммарную вытяжку в поперечных проходах, а также значение выпуклости торца раската при прокатке исходного прямоугольного сляба:

$$\delta f_{\text{conc}}(1 + \lambda) = \delta f_{\text{conv}}. \quad (1)$$

Данную зависимость можно применять в системе автоматического управления формой раската в плане. Для этого необходимо установить профилирующее обжатие сляба в вертикальных валках.

Для определения параметра $\delta f_{\text{conv}}/L$ получили регрессионную модель

$$\delta f_{\text{conv}}/L = 0.0347 - 0.0038(L/H) + 0.0009N + 0.0233\lambda. \quad (2)$$

Ошибка аппроксимации $\varepsilon = 3.35\%$, коэффициент множественной корреляции $R = 0.995$.

Для определения параметра $\delta f_{\text{conc}}/B$ получили регрессионную модель

$$\delta f_{\text{conc}}/B = 0.0044 - 0.0023(B/H) + 0.791(\Delta B/B). \quad (3)$$

Ошибка аппроксимации $\varepsilon = 3.8\%$, коэффициент множественной корреляции $R = 0.996$.

Таким образом, результаты адекватны, ошибка аппроксимации составила $\varepsilon = 3.3-3.8\%$, коэффициент множественной корреляции – $R = 0.995-0.996$.

Выполненные исследования позволили разработать способ производства толстых листов с обжатыми кромками. Он основан на принципе предварительной подготовки параллельных боковых кромок раската на стадии черновой прокатки в вертикальных и горизонтальных валках, а также последующей чистовой прокатки в универсальной клетке готовых листов с обжатием кромок во всех проходах. Способ включает три стадии (рис. 4).

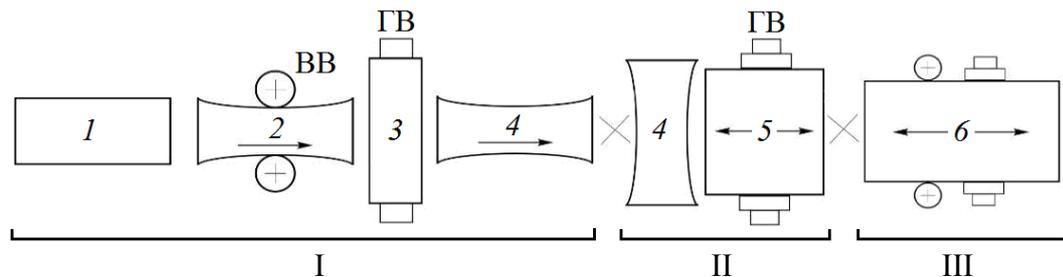


Рис. 4. Схема прокатки толстых листов с обжатыми кромками: I–III – стадии; 1 – сляб, 2 – профилирование узких граней в ВВ, 3 – проглаживание в ГВ, 4 – кантовка раската на 90°, 5 – поперечная прокатка в ГВ, 6 – прокатка в ВВ–ГВ до заданной толщины

I. Профилирование боковых сторон исходного, прямоугольного в плане сляба путем переменного обжатия в вертикальных валках (ВВ) по вогнутому параболическому закону, проглаживание сляба по толщине в горизонтальных валках (ГВ) и кантовка на 90° .

II. Поперечная прокатка сляба (разбивка ширины) до заданной ширины с последующей кантовкой сляба на 90° .

III. Прокатка раската в продольном направлении в системе ВВ–ГВ в реверсивном режиме с проглаживающими обжатиями в ВВ и заданным режимом обжатий в ГВ до толщины готового листа.

Поперечная прокатка слябов с вогнутой шириной при определенных значениях суммарной вытяжки и частных вытяжек (числа проходов) позволяет получать ровные торцы раската.

С целью упрощения расчетов параметров формообразования и удобства применения в системах регулирования получили зависимость для определения максимального обжатия ширины сляба посередине его длины при профилировании ΔB . Используя уравнение (2), приравняли значения выпуклости торцов при разбивке ширины к значениям вогнутости ширины сляба после его обжатия в вертикальных и проглаживания в горизонтальных валках.

Для этого величины δf_{conc} и δf_{conv} выразили следующим образом:

$$\delta f_{\text{conc}} = 0.0044B - 0.0023B(B/H) + 0.791B(\Delta B/B), \quad (4)$$

$$\delta f_{\text{conv}} = 0.0347L - 0.0038L(L/H) + 0.0009LN + 0.0233L\lambda. \quad (5)$$

Полученные выражения (4) и (5) подставили в условие (1):

$$\begin{aligned} & [0.0044B - 0.0023B(B/H) + 0.791B(\Delta B/B)](1+\lambda) = \\ & = 0.0347L - 0.0038L(L/H) + 0.0009LN + 0.0233L\lambda. \end{aligned} \quad (6)$$

После преобразований (6) получили выражение для расчета обжатия ширины сляба посередине его длины ΔB :

$$\begin{aligned} \Delta B = & [0.0439L - 0.0048L(L/H) + 0.00114LN + 0.0259\lambda L - 0.00556B + \\ & + 0.0029(B/H) + 0.00556B\lambda - 0.0029\lambda(B/H)] / (1+\lambda). \end{aligned} \quad (7)$$

Использование зависимости (7) в системе управления формой раската в плане позволит расширить диапазон толщины листов, производимых с катаной кромкой.

Выводы

Получена зависимость для определения профилирующего обжатия сляба в вертикальных валках на основе известного механизма выравнивания вогнутых торцов раската, связывающего компенсирующую вогнутость, суммарную вытяжку в поперечных проходах и значение выпуклости торцов при прокатке исходного прямоугольного сляба.

Предложен способ прокатки толстых листов, позволяющий производить готовые листы с обжатыми кромками во всем диапазоне толщин сортамента толстолистого стана. Данный способ отличается использованием продольного проглаживания спрофилированного в вертикальных валках сляба перед кантовкой на 90° .

1. Пат. 2019324 Россия, МКИ В 21 В 1/38. Способ прокатки толстых листов с обжатыми кромками, Н.Ш. Орджоникидзе, А.Н. Рыбкин, Е.А. Руденко и др.; заявитель и патентообладатель Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь». – № 5034739; заявл. 03.03.92; опубл. 15.09.94, Бюл. № 17.
2. И.П. Шабалов, З.К. Шафигин, А.Н. Муратов, Ресурсосберегающие технологии производства толстолистого проката с повышенными потребительскими свойствами, Металлургиздат, Москва (2007).
3. Е.А. Руденко, О.М. Юрьев, Л.А. Забира, Металл и литье Украины № 12, 26 (2006).
4. Ф.Е. Долженков, Ю.В. Коновалов, В.Г. Носов и др., Повышение качества толстых листов, Металлургия, Москва (1984).
5. Е.А. Артамонова, Производство толстых листов высокого качества, Институт «Черметинформация», Москва (1987) (Обзорная информация) Серия: Прокатное производство. Вып. 3, с. 10–13.

Е.А. Rudenko, V.E. Goncharov, Y.I. Yurchenko, S.V. Zakarlyuka

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ROLLING OF THICK SHEETS WITH MILL EDGES

A method for rolling of thick sheets with mill edges at a thick-sheeted rolling mill has been developed. Being realized, the method is able to provide a wider range of the thickness of sheets with mill edges that are produced at thick-sheeted rolling mills.

Keywords: metal consumption, cuttings, rolled duty, model technique, edging roll, horizontal roll, roll technology, planishing

Fig. 1. Effect of sample length L (\diamond – 60 mm, \square – 90, \triangle – 120), stretching λ and the number of width breakdown passes N ($a - N = 2$, $b - 4$, $c - 6$) at the ends bulge δf_{conv}

Fig. 2. The effect of width reduction ΔB and the width B on the concavity on the side faces of the roll δf_{conc} : $\diamond - B = 44-49$, $\square - 56-62$, $\triangle - 63-68$

Fig. 3. Change in the shape of the ends of a profiled slab and an ironed one during transverse rolling in horizontal rolls: $\blacklozenge - L = 60$ mm, $\blacksquare - 90$, $\blacktriangle - 120$

Fig. 4. Rolling scheme for thick sheets with swaged edges: I–III – stages; 1 – slab, 2 – profiling of narrow edges in vertical rolls, 3 – ironing in horizontal rolls, 4 – tilting of the roll at 90° , 5 – transverse rolling in horizontal rolls, 6 – rolling in vertical rolls–horizontal rolls to a given thickness