

УДК 621.77.23

Васекин А. В.
Капланова Е. В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ ПОЛОС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКОВ

Наряду с вводом в эксплуатацию в мире современных непрерывных и полунепрерывных широкополосных станов, в Украине продолжают работать ШСГП первого поколения [1]. Вопросы ресурсосбережения на таких станах стоят особенно остро. Рациональным путем ресурсосбережения здесь представляется оптимизация деформационных режимов, что позволяет с минимальными затратами получить довольно значительный эффект [2]. Одним из способов повышения эффективности производства на таких станах является снижение концевой обреза.

Целью работы является уточнение условий образования минимально искаженного конца полосы в плане и, как следствие, получение минимальной концевой обреза, для условий прокатки, характерных для ШСГП. Эта обрезь определяется длинами неравномерно деформированных переднего f_n и заднего f_z концов полосы, называемых также стрелами изгиба концов в плане.

Наличие вертикальных валков позволяет в определенной степени влиять на форму конца и величину стрелы изгиба. При проектировании режимов деформации, возможно, использовать усредненное значение стрелы $f_{cp} = \frac{f_n + f_z}{2}$, при этом стрела конца в форме «языка» принимается за положительную, а при форме в виде «рыбьего хвоста» – за отрицательную величину.

Ранее, на основании проведенного исследования [3], была получена зависимость:

$$\frac{f_{cp}}{B} = A_0 + A_1 \ln\left(\frac{\Delta h_{cl}}{B_{cl}}\right) + A_2 \cdot \left(\frac{B_{cl}}{H_{cl}}\right) A_3 \cdot \ln(\lambda_\Sigma) + A_4 \cdot \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{\Sigma \Delta h}\right) + A_5 \cdot \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{B}\right), \quad (1)$$

где $\Delta h_{cl} = 6,0 \div 48,0$ мм – величина обжатия в вертикальных валках в последнем проходе в отдельно стоящей универсальной обжимной клетки;

$\frac{B_{cl}}{H_{cl}} = 4,1 \div 13,3$ – отношение сторон поперечного сечения исходного сляба;

$\Delta h_B = 4,0 \div 40,0$ мм – абсолютное обжатие в вертикальных валках ШСГП;

$\Delta h = 6,0 \div 42,0$ – то же, в горизонтальных валках черновой группы;

λ_Σ – текущий суммарный коэффициент вытяжки (обжатия).

Переход от f_{cp} к $\frac{f_{cp}}{B}$ выполнен для устранения привязки к масштабу моделирования.

При использовании модели (1) для случая натурной прокатки была обнаружена ее недостаточная точность применительно к широким слябам с малой величиной суммарной вытяжки.

Вследствие этого был проведен ряд дополнительных лабораторных экспериментов методом физического моделирования на лабораторном стане с универсальной клетью, в этот раз с масштабом моделирования 1:15 (первый этап проводился в масштабе 1:20).

Был расширен диапазон изменения некоторых влияющих факторов при сохранении их количества ($n = 5$).

Условия проведения эксперимента подобны исследованиям на первом этапе [3].

По результатам дополнительных исследований уточнена зависимость (1), принявшая следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{f_{cp}}{B} = & -0,0488 - 0,0133 \ln\left(\frac{\Delta h_{сл}}{B_{сл}}\right) + 0,0033 \ln\left(\frac{B_{сл}}{H_{сл}}\right) - 0,0143 \ln(\lambda_{\Sigma}) - \\ & - 0,0207 \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{\Sigma \Delta h}\right) + 0,0062 \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{B}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 2 показана область определения зависимости (2).

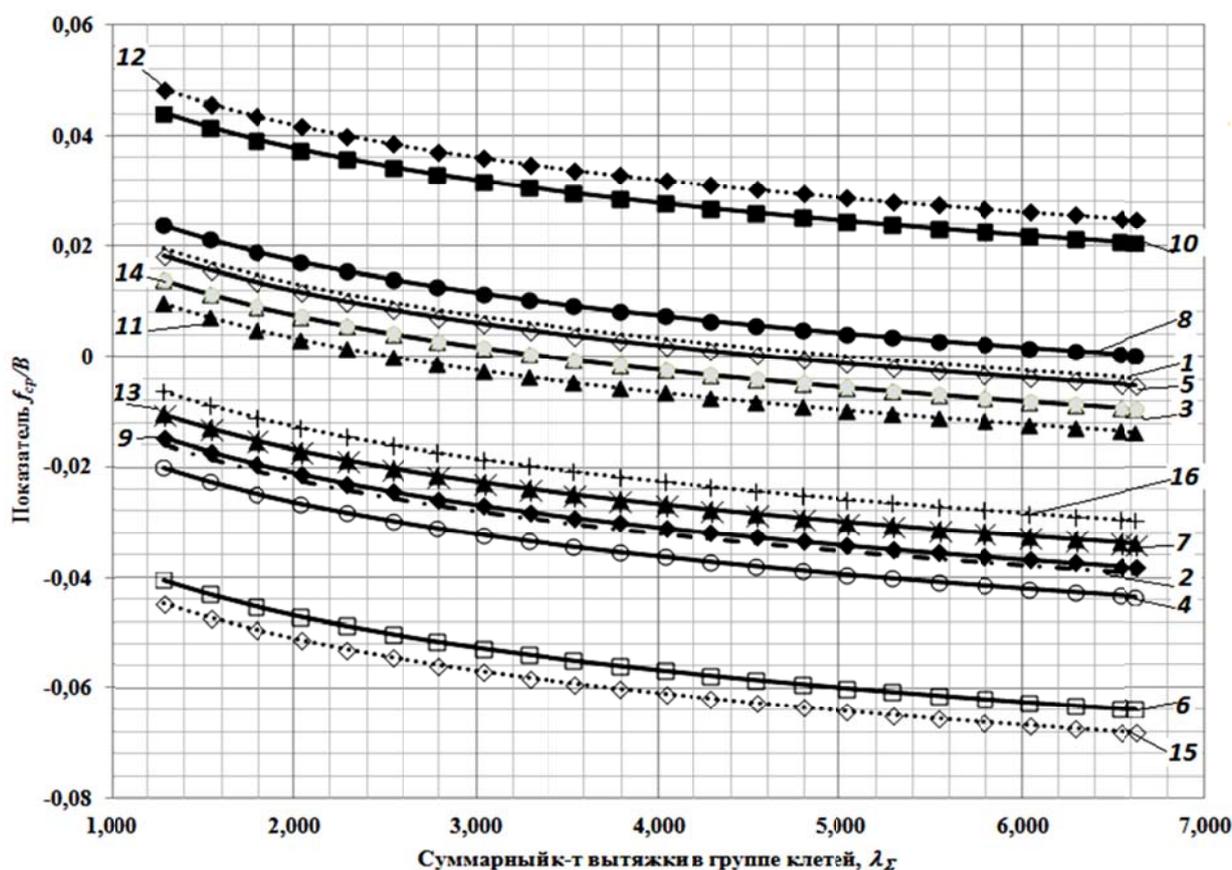


Рис. 2. Область определения функции (2) при всех сочетаниях экстремальных значений влияющих факторов $\left(\frac{\Delta h_{сл}}{B_{сл}}\right), \left(\frac{B_{сл}}{H_{сл}}\right), \left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{\Sigma \Delta h}\right), \left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{B}\right)$. Цифрами на графике обозначены:

- 1 – (min; min; min; min); 2 – (max; max; max; max); 3 – (min; max; max; max);
 4 – (max; min; max; max); 5 – (max; max; min; max); 6 – (max; max; max; min);
 7 – (max; min; min; min); 8 – (min; max; min; min); 9 – (min; min; max; min);
 10 – (min; min; min; max); 11 – (min; min; max; max); 12 – (min; max; min; max);
 13 – (min; max; max; min); 14 – (max; min; min; max); 15 – (max; min; max; min);
 16 – (max; max; min; min)

Как видно из рис. 2, даже теоретическое отсутствие стрелы изгиба $\frac{f_{cp}}{B} = 0$ невозможно при некоторых сочетаниях экстремальных значений влияющих факторов (например, при максимально возможном предварительном обжатии в вертикальных валках, практически не работающих ВВ в черновой группе и относительно узком слябе, форма концов будет представлять собой «рыбий хвост», все ярче проявляющийся с увеличением обжатия

в ГВ черновой группы – график 7). Это подтверждает известный вывод о том, что обжатие в последнем проходе в универсальной обжимной клети существенно влияет на вид концов раската [5] и частично соответствует результатам [4] в части прокатки на гладкой бочке. Применение предварительного обжатия, особенно для режимов прокатки на ШСГП с малым суммарным обжатием по ширине, позволяет получить в черновой группе полосы с формой концов, близкой к прямоугольной. Особенно это выражено при прокатке относительно широких полос. Дальнейшее увеличение Δh_{cl} приводит к образованию вогнутого конца раската. На рис. 3 показана поверхность, образованная семейством кривых вида (2), обеспечивающая теоретическое достижение условия $f_{cp}/B = 0$.

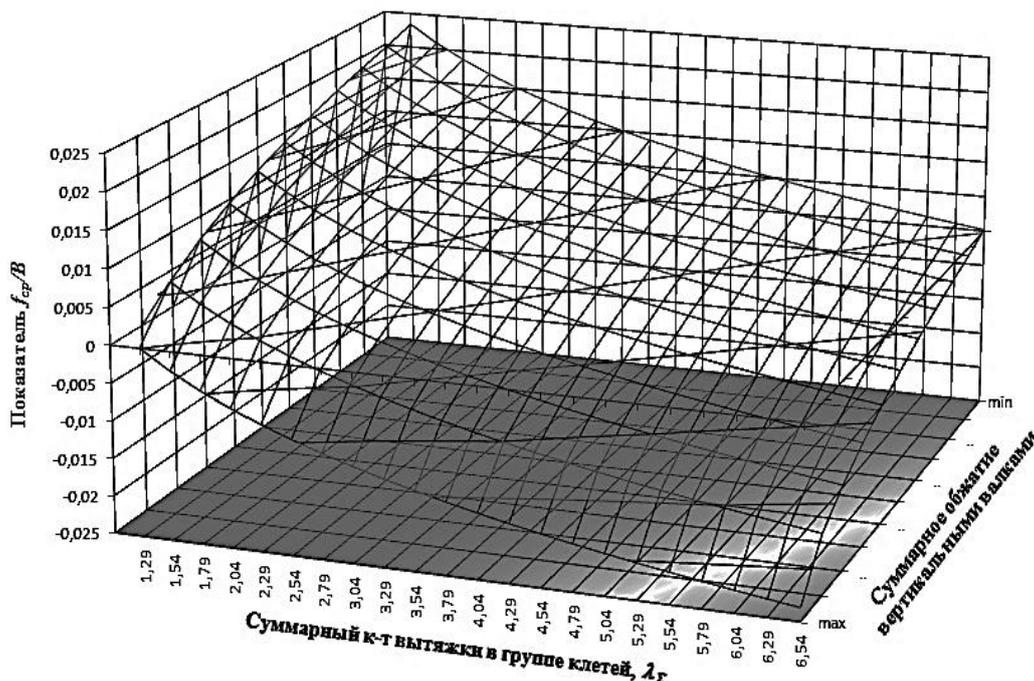


Рис. 3. Область семейства кривых вида (2), с набором факторов, обеспечивающих нулевое значение стрелы изгиба концов в плане на всем диапазоне суммарного коэффициента вытяжки и суммарного обжатия вертикальными валками

Вместе с тем, применение нестрогого критерия вида $\left(\frac{f_{cp}}{B}\right)_{\min} \leq \frac{f_{cp}}{B} \leq \left(\frac{f_{cp}}{B}\right)_{\max}$,

что и применяется на практике, позволяет расширить диапазон допустимых решений модели.

Полученная модель позволяет легко определять требуемый технологический параметр при проектировании ресурсосберегающего режима прокатки на ШСГП. Определим, например, величину суммарного обжатия вертикальными валками в черновой группе, обеспечивающую минимальное значение стрелы. В качестве исходных, зададимся размерами сечения сляба

$\frac{B_{cl}}{H_{cl}} = \frac{1950}{150} = 13$, толщиной черновой полосы $\Delta h_{cl} = 35,0$ мм. Допустим, что сляб был предва-

рительно обжат в вертикальных валках на величину $\Delta h_{cl} = 14$ мм. Используя (2), получим:

$$-0,0488 - 0,0133 \ln\left(\frac{14}{1950}\right) + 0,0033 \ln(13) - 0,0143 \ln\left(\frac{150}{35}\right) - 0,0207 \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{150 - 35}\right) + \\ + 0,0062 \ln\left(\frac{\Sigma \Delta h_B}{1950}\right) \rightarrow 0 \Rightarrow \Sigma \Delta h_B = 46,76 \text{ мм.}$$

Средняя ошибка аппроксимации экспериментальных данных полученной моделью до 15 %, коэффициент корреляции $R = 0,89$.

ВЫВОДЫ

1. Уточнена полученная в ранних исследованиях зависимость изменения стрелы изгиба концов раската от полного набора технологических факторов режима деформации.

2. Расширен диапазон влияющих факторов при сохранении их количества (отношение ширины к толщине исходного сляба; степени деформации в направлении ширины и толщины; соотношение абсолютного обжатия в вертикальных и горизонтальных валках; суммарная вытяжка в черновой группе клетей ШСГП). Показано, что интенсивность деформации в вертикальных валках существенно влияет на формообразование концов раската.

3. Показана возможность использования полученной модели при проектировании ресурсосберегающих режимов деформации в черновых группах ШСГП, оборудованных вертикальными валками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Ю. В. *Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос* / Ю. В. Коновалов. – М. : «Теплотехник», 2008. – С. 297.
2. Шепель А. А. *Совершенствование технологий и оборудования процесса прокатки на широкополосных станах первого поколения* / А. А. Шепель // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2014. – № 5/1 (19). – С. 46–50.
3. Васекин А. В. *Модели формоизменения концов толстых широких раскатов в плане при прокатке в системе горизонтальных и вертикальных валков* / А. В. Васекин // *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 6. – С. 14–17.
4. Руденко Е. А. *Исследование параметров формоизменения слябов после многократного обжатия в гладких и калиброванных вертикальных валках* / Е. А. Руденко, М. О. Фролова // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 178–182.
5. Васекин А. В. *Снижение потерь металла в обжимном и листопрокатном производствах в условиях ОАО «ММК им. Ильича»* / А. В. Васекин, Н. А. Карнаушенко // *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць*. – Вип. 15. – Маріуполь, ПДТУ, 2005. – С. 93–96.

REFERENCES

1. Konovalov Ju. V. *Spravochnik prokatchika. Spravochnoe izdanie v 2-h knigah. Kniga 1. Proizvodstvo gorjachekatanyh listov i polos* / Ju. V. Konovalov. – M. : «Teplotehnik», 2008. – S. 297.
2. Shepel' A. A. *Sovershenstvovanie tehnologij i oborudovanija processa prokatki na shirokopolosnyh stanah pervogo pokolenija* / A. A. Shepel' // *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*. – 2014. – № 5/1 (19). – S. 46–50.
3. Vasekin A. V. *Modeli formoizmenenija koncov tolstyh shirokih raskatov v plane pri prokatke v sisteme gorizontal'nyh i vertikal'nyh valkov* / A. V. Vasekin // *Metall i lit'e Ukrainy*. – 2009. – № 6. – S. 14–17
4. Rudenko E. A. *Issledovanie parametrov formoizmenenija sljabov posle mnogokratnogo obzhatija v gladkih i kalibrovannyh vertikal'nyh valkah* / E. A. Rudenko, M. O. Frolova // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 4 (33). – S. 178–182.
5. Vasekin A. V. *Snizhenie poter' metalla v obzhimnom i listoprokatnom proizvodstvah v uslovijah ОАО «ММК им. Ил'ича»* / A. V. Vasekin, N. A. Karnauschenko // *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu: zb. nauk. prac'*. – Vip. 15. – Mariupol', PDTU, 2005. – S. 93–96.

Васекин А. В. – ст. преп. ГВУЗ «ПГТУ»

Капланова Е. В. – ст. преп. ГВУЗ «ПГТУ»

ГВУЗ «ПГТУ» – ГВУЗ Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: A_V_Vasekin@mail.ru