

УДК 621.771.237.005

Путники А. Ю.

КОЭФФИЦИЕНТ ВЫРАВНИВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЫ ПОЛОСОЙ

Известно, что коэффициент выравнивания показывает, как влияет исходная относительная разнотолщинность подката $\Delta H_o / H_o$ на относительную разнотолщинность полосы после прохода $\Delta h_1 / h_1$:

$$K_e = \Delta H_o / H_o / \Delta h_1 / h_1 .$$

Для его расчета пользуются формулой [1]:

$$K_e = (1 + M_k / M_n) \cdot (1 - \varepsilon) / \alpha ,$$

где M_k – жесткость клетки, $M_n = \partial P / \partial h_1$ – жесткость полосы в очаге деформации, ε – относительное обжатие, $\alpha = \partial P / \partial h_o / \partial P / \partial h_1$.

По значению общего коэффициента выравнивания $K_{e.общ.}$ непрерывной группы клеток оценивают выравнивающие свойства группы. В работе [1] дан анализ зависимости $K_{e.общ.}$ от ряда факторов (жесткость клетки и полосы, режим обжатий, число клеток или проходов и др.). Аналитические выражения для K_e получены при определенных допущениях и, что самое главное, для установившегося режима прокатки, когда непрерывная группа клеток заполнена полосой с межклетевыми натяжениями.

В процессе заполнения полосой чистой группы клеток широкополосного стана условия прокатки иные. Концевые участки полосы прокатываются без переднего (заднего) натяжения. Межклетевые натяжения последовательно формируются (обнуляются) по мере прохождения передним (задним) участком полосы клеток группы. Роль данного фактора в выравнивающей способности группы в указанном режиме работы не исследовалась.

Цель работы состоит в том, чтобы путем сравнения коэффициентов $K_{e.общ.}$, рассчитанных для режима заполнения и установившейся прокатки, определить различие в значениях $K_{e.общ.}$ и насколько правомочно пользоваться известными формулами [1].

Метод решения задачи состоял в численном моделировании системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику взаимодействия шестиклетевой непрерывной группы через прокатываемую полосу, с учетом транспортного запаздывания. Система уравнений представлена в работе [2].

Расчеты велись для двух режимов:

- а) установившийся режим прокатки с заданными межклетевыми натяжениями;
- б) заполнение полосой группы клеток. В обоих случаях моделирование для полос одного сорта размера велось при одинаковой настройке деформационно-скоростного режима клеток.

В качестве возмущения в обоих режимах на вход в непрерывную группу задавали отклонение толщины подката $\pm \Delta H_o$. В результате расчетов определяли межклетевые натяжения и толщину полосы после каждой клетки и на выходе из группы. Предполагалось, что соответствующие регуляторы после естественного саморегулирования переходных процессов поддерживают постоянными сформировавшиеся натяжения.

Рассмотрим сначала результаты моделирования режима заполнения непрерывной группы полосой (рис. 1). При задании полосы меньшей толщины ($-\Delta H_o$) во всех промежутках формируются натяжения. Процесс саморегулирования заканчивается через 3...6 с после заполнения группы полосой. Переходные процессы, обусловленные захватом полосы, сопровождаются колебаниями как натяжения, так и толщины полосы, частота которых совпадает с низшей частотой собственных крутильных колебаний в линиях привода. На представленных кривых хорошо видны «следы» взаимодействия через полосу и транспортного переноса (запаздывания) отклонений толщины полосы по клетям. Они же отражаются и на конечной разнотолщинности полосы за последней клетью.

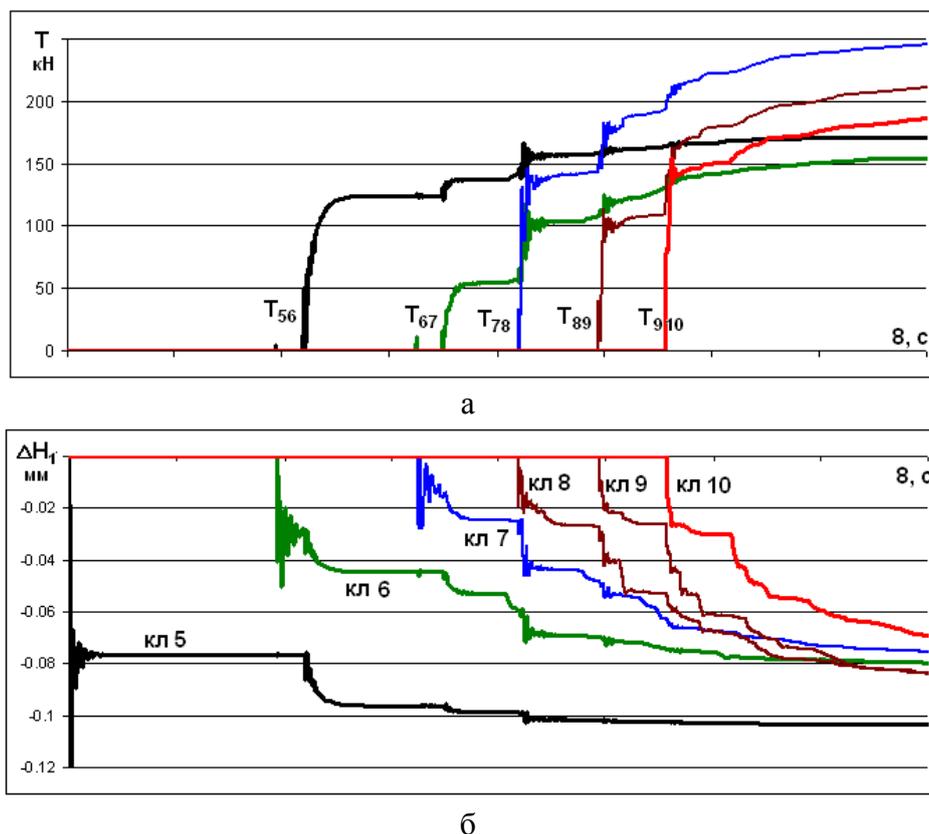


Рис. 1. Переходные процессы во время заполнения шестиклетевой непрерывной группы полосой при задании уменьшенной толщины подката:

а – межклетевые натяжения; б – отклонение толщины полосы после клеток. Стан 1680. При построении рисунка расстояние между клетями условно уменьшено в два раза.

Другая картина наблюдается при задании более толстой полосы ($+\Delta H_0$) (рис. 2). В промежутках 5–6 и 6–7 натяжение не формируется, происходит петлеобразование. В результате, в клетях 5 и 6 ведется свободная прокатка, а в клетях 7 – с передним натяжением. С запаздыванием формируется натяжение T_{8-9} . Свойство непрерывной прокатки к саморегулированию параметров процесса приводит к появлению натяжения T_{5-6} и далее с запаздыванием T_{6-7} . Положительное значение $+\Delta H_0$ на подкате во время заполнения группы полосой разбивает (отсутствует взаимодействие через полосу) непрерывную группу на кратковременные автономные подгруппы клеть 5, клеть 6, клеть 7, клетки 8–9–10. Отсутствие части натяжений способствует уменьшению разнотолщинности.

Таким образом, в режиме заполнения непрерывной группы полосой динамика формирования и значения межклетевых натяжений и отклонений толщины после клеток существенно зависят от знака и величины ΔH_0 . Изменяются также выравнивающие свойства группы. Результаты моделирования показали, что общий (и частные по клетям) коэффициент выравнивания существенно зависит от натяжений (рис. 3), на которые настроен установившийся процесс прокатки.

Однако на эти настроечные (расчетные, для задания параметров холостого режима) натяжения, затем формирующиеся в процессе заполнения группы полосой, существенно влияет знак и величины возмущения ΔH_0 . Поскольку отклонение толщины зависит от натяжений, то и коэффициенты выравнивания по клетям и всей группы зависят от T , что и показано на рис. 3.

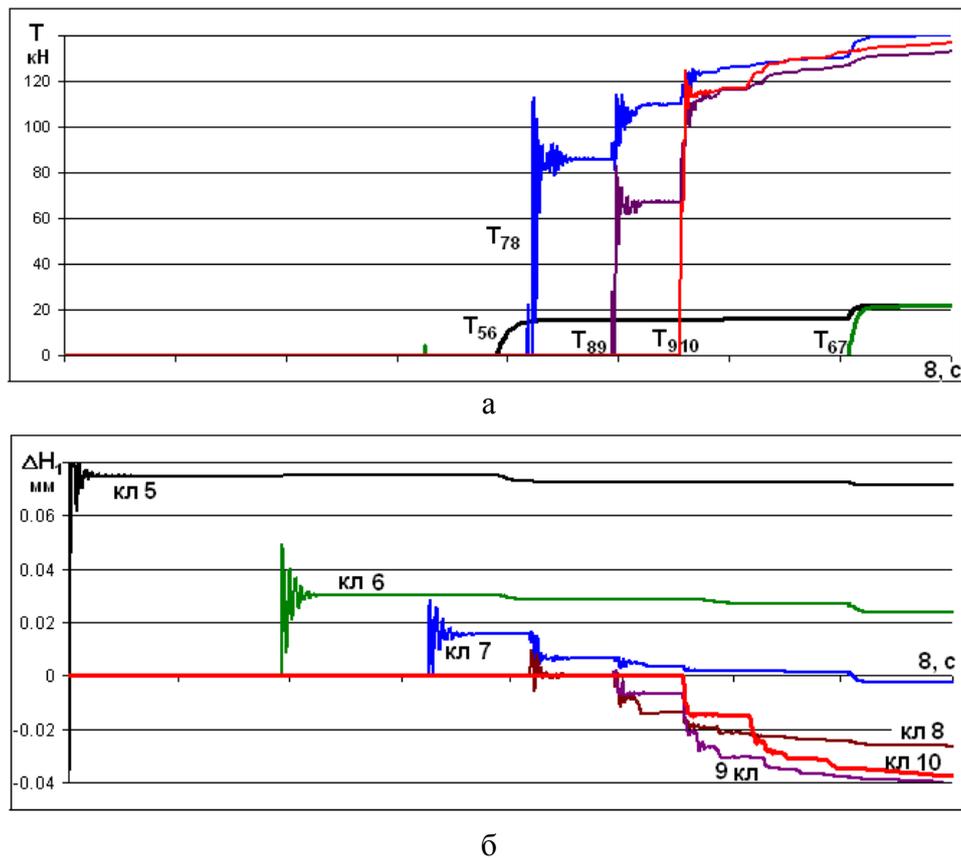


Рис. 2. Переходные процессы во время заполнения шестиклетевой непрерывной группы полосой при задании увеличенной толщины подката:
 а – межклетевые натяжения; б – отклонение толщины полосы после клеток

Увеличение $K_{в.общ.}$ при уменьшении настроечного натяжения и увеличении ΔH_0 объясняется уменьшением формирующихся натяжений. Кроме того, в первых промежутках начинается петлеобразование, а в клетях свободная прокатка, когда натяжения отсутствуют и не влияют на отклонение толщины.

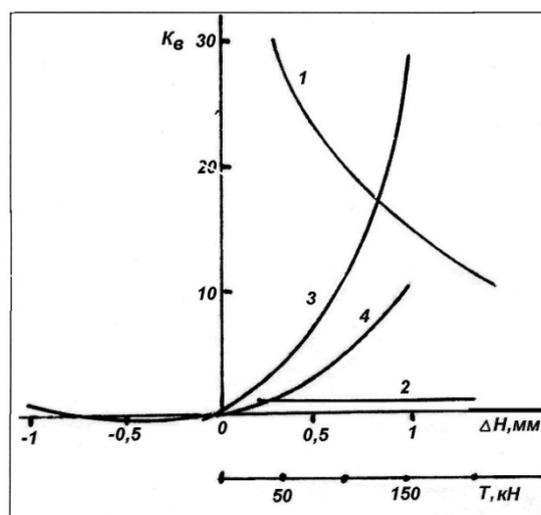


Рис. 3. Зависимость коэффициента общего выравнивания $K_{в}$ продольной разнотолщинности от настроенного межклетевого натяжения T (1 – при $\Delta H_0 = +1$ мм, 2 – $\Delta H_0 = -1$ мм) и отклонения входной толщины (3 – при $T = 50$ кН, 4 – при $T = 200$ кН)

Во время установившегося режима прокатки клетки, линии привода и межклетевые промежутки постоянно находятся под нагрузкой. Те же самые возмущения со стороны подката $\pm\Delta H_0$ (± 1 мм) вызывают существенно меньшие колебания во всех системах, чем во время захвата полосы валками при заполнении группы. Наибольшему изменению подвергается натяжение в первом промежутке $T_{5в}$ – увеличение или уменьшение в два раза в зависимости от величины и знака ΔH_0 . В последнем промежутке оно практически не изменяется. Поэтому отклонение Δh_1 после клеток также существенно меньше и составляет $\pm 0,0004$ мм. Общий коэффициент выравнивания практически не зависит от ΔH_0 и для рассмотренных параметров прокатки полосы $2,5 \times 1250$ мм составляет $K_{в.общ.} = 264$. Как видим, различие в значениях общего коэффициента выравнивания непрерывной группы клеток при заправке и установившемся режиме прокатки весьма существенные.

Аналогичные результаты моделирования заполнения группы получили при задании таких возмущений, как отклонение температуры полосы ΔT °С на входе, скорости прокатки ΔV в одной из клеток и др. Картина формирования натяжений и разнотолщинности и определение коэффициентов выравнивания существенно усложняется, если учитывать варианты одновременного действия, например, двух возмущений – $\pm\Delta H_0$ и $\pm\Delta T$ °С. Решение задачи заполнения на основе дифференциальных уравнений дает наиболее точные результаты.

ВЫВОДЫ

Общий и частные по клетям коэффициенты выравнивания относительной продольной разнотолщинности в режиме заполнения непрерывной группы клеток полосой существенно отличаются от коэффициентов в режиме установившейся прокатки с заданными натяжениями и зависят от знака и величины возмущения на входе в группу. При расчете коэффициентов для режима заполнения по известным формулам может быть допущена значительная методическая ошибка. Для определения выравнивающей способности группы при действии возмущений во время заправки необходимо осуществлять моделирование динамического взаимодействия клеток через полосу.

Полученные результаты показывают, что процесс заполнения непрерывной группы полосой весьма чувствительный к возмущениям со стороны полосы, поступающей в стан. Если наперед определить величину возмущения и его знак (или сумму возмущений), путем корректировки деформационно-скоростного режима группы клеток можно парировать его влияние на отклонение толщины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Повышение точности листового проката* / И. Н. Меерович, А. И. Герцев, В. С. Горелик, Э. Я. Классен // М. : *Металлургия*. – 1969. – 264 с.
2. *Путноки А. Ю. Модель динамического взаимодействия смежных черновых клеток широкополосного стана при непрерывной прокатке* / А. Ю. Путноки, В. В. Верев // *Металл и литье Украины*. – 2002. – № 12. – С. 26–30.
3. *Вьер И. В. К описанию процесса выравнивания продольной разнотолщинности полос при холодной прокатке* / И. В. Вьер // *Производство проката*. – 2002. – №5. – С. 22–24.

REFERENCES

1. *Povyshenie tochnosti listovogo prokata* / I. N. Meerovich, A. I. Gercev, V. S. Gorelik, Je. Ja. Klassen // M. : *Metallurgija*. – 1969. – 264 s.
2. *Putnoki A. Ju. Model' dinamicheskogo vzaimodejstvija smezhnyh chernovyh kletej shirokopolosnogo stana pri nepreryvnoj prokatke* / A. Ju. Putnoki, V. V. Verenev // *Metall i lit'e Ukrainy*. – 2002. – № 12. – S. 26–30.
3. *Vier I. V. K opisaniju processa vyravnivaniya prodol'noj raznotolshhinosti polos pri holodnoj prokatke* / I. V. Vier // *Proizvodstvo prokata*. – 2002. – №5. – S. 22–24.

Путноки А. Ю. – канд. техн. наук, докторант каф. ОМД ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: al.putnoki@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.09.2015 г.