

УДК 621.771.06

Путники А. Ю.
Подобедов Н. И.**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЧИСТОВОЙ ГРУППЕ
КЛЕТЕЙ НА НЕПРЕРЫВНУЮ ПРОКАТКУ**

Непрерывная группа клетей широкополосного стана горячей прокатки представляет собой систему со сложными взаимосвязями между параметрами прокатки и процессами в оборудовании. Их установление непосредственно на действующих станах затруднено, а в ряде случаев невозможно, например, прямое измерение продольных усилий в прокатываемой полосе. Моделирование на ПЭВМ позволяет установить многие взаимозависимости и глубже постичь протекающие процессы.

Исследованию вопросов непрерывной прокатки посвящены монографии В. Н. Выдрина, А. П. Чекмарева, А. Н. Дружинина, П. И. Полухина, Ю. М. Файнберга и др. Здесь отметим две работы [1, 2], в которых вопросы взаимодействия клетей через прокатываемую полосу рассматриваются с учётом динамического фактора, прежде всего в полосе. В [1] решается система дифференциальных уравнений, записанная для межклетевых усилий в полосе при горячей прокатке. Учтена жесткость клетей, как безинерционных масс. В результате установлен характер изменения межклетевых натяжений при таких возмущениях как изменение положения нажимных винтов, скорости и натяжения в течение короткого процесса саморегулирования (0,015 с.) Определены условия, когда наступает петлеобразование. В работе [2] решена задача взаимодействия клетей через полосу при пропуске сварного соединения с учётом упругих крутильных колебаний в линии привода. Существенным ограничением является то, что динамические процессы рассматриваются в одной клетке. Скорость выхода полосы из предыдущей клетки и входа в последующую относительно рассматриваемой клетки остаётся без изменений. Все же при этом для непрерывного стана холодной прокатки раскрыт ряд закономерностей для переднего и заднего натяжения в полосе, опережения, нейтрального угла и усилия прокатки.

Целью данной работы является моделирование переходных процессов при взаимодействии непрерывной группы клетей через прокатываемую полосу для определения реакции участков группы клетей на возмущения, действующие в процессе установившегося режима прокатки, и рассмотрение взаимосвязи между параметрами, от которых зависят формирующиеся в динамике межклетевые натяжения.

Рассмотрим результаты моделирования, когда в первую чистовую клетку (№ 5) стана 1680 при установившемся режиме прокатки поступает скачкообразное увеличение толщины на 0,2 мм (рис. 1). Представляет интерес рассмотреть детальнее начальный участок реакции параметров. В клетке 5 разность скоростей $\Delta V_{56} = V_{ВХ6} - V_{ВЫХ5}$, натяжение T_{56} и T_{67} и момент сил упругости изменяются с частотой крутильных колебаний линии привода ~ 20 Гц. Эта же частота проявляется в $\Delta V_{67} = V_{ВХ7} - V_{ВЫХ6}$. Частота колебаний толщины на выходе из клетки 5 и опережения S_5 соответствует частоте колебаний упругой системы клетки $\beta_{КЛ5}$,

определяемой по формуле: $\beta_{КЛ5} = \sqrt{\frac{C_{КЛ} + C_{П}}{m}}$ ($C_{КЛ}$, $C_{П}$ – жёсткость клетки и полосы;

m – приведенная масса), что в [1,2] не отмечалось.

Увеличение обжатия в клетке 5 приводит к увеличению нагрузки на валки, скорость валков уменьшается и как следствие уменьшается скорость $V_{ВЫХ5}$ выхода полосы из клетки 5. Некоторое время скорость валков клетки 6 остаётся постоянной, как и скорость $V_{ВХ6}$. Незначительное рассогласование скоростей $\Delta V_{56} = V_{ВХ6} - V_{ВЫХ5}$ (до 0,004 м/с, рис. 1, в) приводит к кратковременному увеличению натяжения T_{56} (рис. 1, а), которое в свою очередь явилось возмущением для клетки 6. Кроме того, как видно из рис. 1г, на опережение в клетке 5 большее влияние оказало увеличение выходной толщины полосы ΔH_{15} , чем изменение скорости валков. После завершения короткого переходного процесса опережение увеличилось. Поэтому

на участке 1 (рис. 1, д) в целом средняя скорость выхода полосы $V_{\text{вых}5}$ оказывается больше скорости $V_{\text{вх}6}$, что привело к уменьшению натяжения T_{56} . Это событие происходит раньше, чем к клету 6 подходит участок полосы с наведенным отклонением толщины (0,052 мм), образовавшемуся на выходе клетки 5, что соответствует началу второго участка II. Поскольку абсолютная величина возмущения со стороны полосы уменьшилась (с 0,2 мм на входе в клету 5 до 0,052 мм перед клетью 6) интенсивность переходных процессов по всем параметрам уменьшилась на порядок. Колебания натяжений T_{56} и T_{67} и опережений практически отсутствуют (рис. 2). Ввиду уменьшения скорости входа $V_{\text{вх}6}$ полосы в клету 6 из-за увеличения нагрузки на валки от возмущения $\Delta H_{06} = \Delta H_{15}$, натяжение T_{56} уменьшилось более существенно, чем T_{67} . Отклонение толщины на выходе из клетки 6 составило $\Delta H_{16} = 0,025$ мм (рис. 2, в).

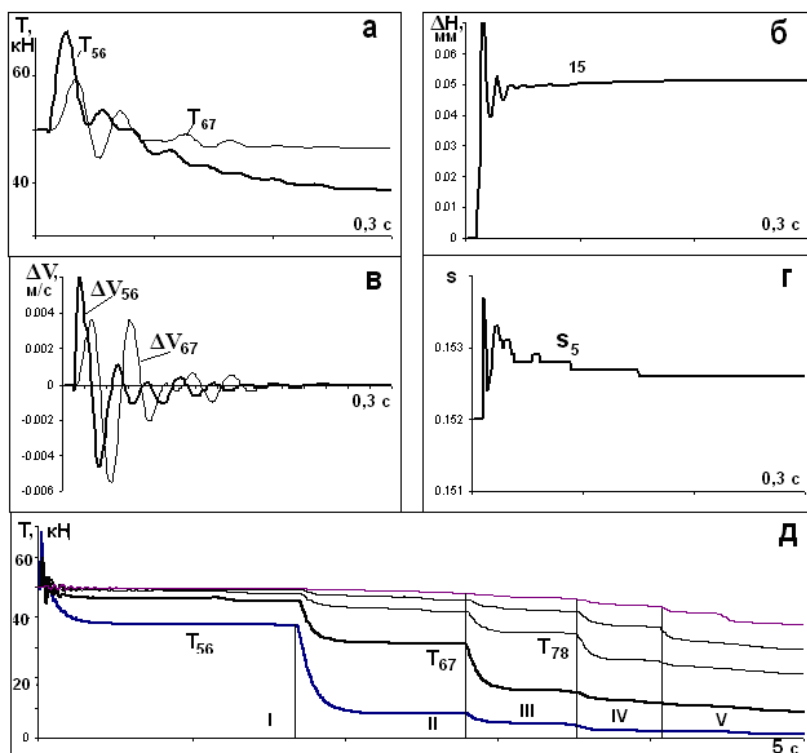


Рис. 1. Изменение параметров на начальном участке (0,3 с и 5 с) моделирования при входе в клету 5 отклонения толщины полосы +0,2 мм:

T – натяжение; ΔV – разность скоростей входа полосы в валки следующей клетки и выхода из предыдущей клетки; ΔH_{15} – отклонение толщины полосы на выходе из клетки 5; S_5 – опережение

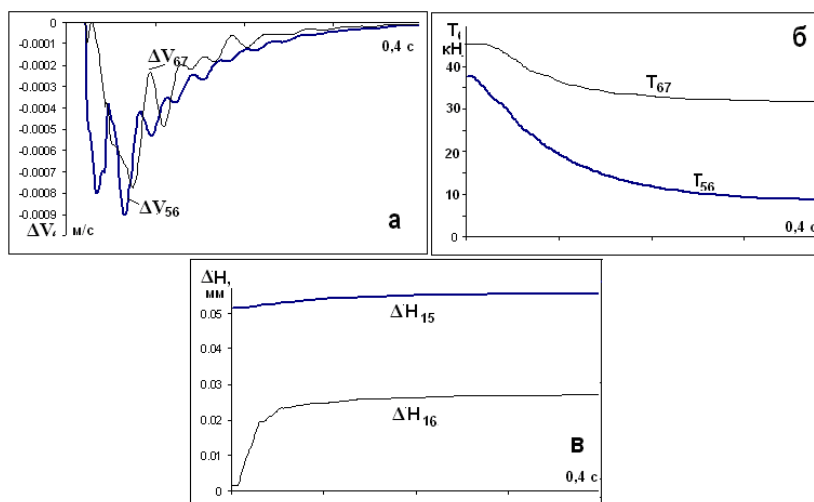


Рис. 2. Параметры ΔV , T и ΔH при входе в клету 6 с запаздыванием отклонения толщины $\Delta H_{06} = \Delta H_{15} = 0,052$ мм

Дальнейшее прохождение заданного на вход в клеть 5 возмущения ослабляется ввиду выравнивания относительной разнотолщинности. Вместе с тем происходит поэтапное по участкам 2–5 уменьшение межклетевых натяжений. В большей мере уменьшается переднее натяжение в той клетке, в которую входит возмущение: сначала T_{56} при входе в 5-ю, затем T_{67} при входе в 6-ю клетку и т. д.

При достаточно больших возмущениях в промежутках возможно петлеобразование. Однако в действительности это не происходит ввиду включения в работу систем регулирования. Если возмущение в виде утолщения полосы поступает в одну из клеток внутри группы, например, в клетку 7, межклетевые натяжения уменьшаются, причем переднее и заднее натяжения этой клетки могут уменьшаться до нуля (рис. 3).

Аналогичное моделирование переходных процессов при поступлении в клетку полосы с уменьшенной толщиной даёт противоположные результаты по сравнению с рассмотренными (рис. 4). При входе в клетку 5 такого же возмущения обратного знака, т.е. $-\Delta h_{05}$, натяжения в промежутках увеличиваются. При этом увеличение натяжений более существенное, чем их уменьшение при задаче в клетку 5 утолщения. Если возмущение создаётся перед входом в клетку, находящейся внутри непрерывной группы, или перед последней клеткой, происходит быстрое падение заднего натяжения и образование петли аналогично рис. 3.

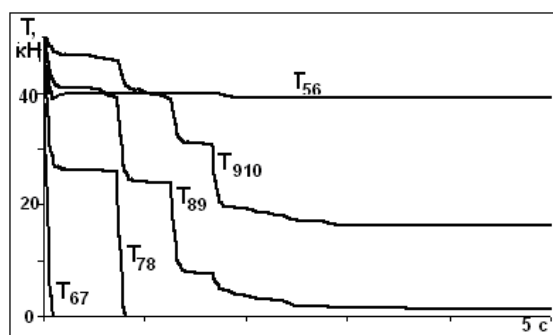


Рис. 3. Реакция межклетевых натяжений при задании в клетку 7 возмущения в виде отклонения толщины $\Delta H_{05} = 0,2$ мм

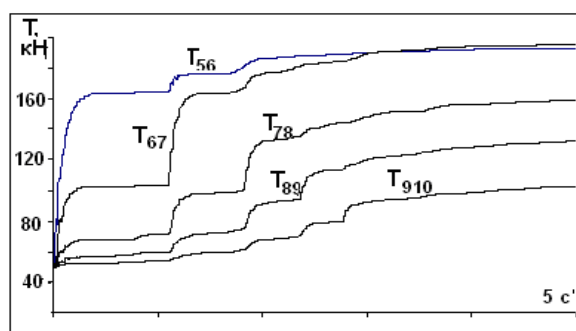


Рис. 4 Реакция межклетевых натяжений при задаче в клетку 5 отклонения толщины $\Delta H_{05} = -0,2$ мм

В рассмотренных случаях закономерности изменения межклетевых натяжений объясняются с учётом взаимосвязей между параметрами, от которых зависит формирование натяжений.

Принятое скачкообразное изменение входной толщины в непрерывной группе клеток стана горячей прокатки в действительности не наблюдается, однако такой подход к его заданию при моделировании позволил рассмотреть закономерности переходных процессов по ряду параметров, которые на станах не измеряются (опережение, скорости входа и выхода полосы, натяжение и др.). Резкое изменение толщины в процессе прокатки возможно, например, при управлении гидронажимными винтами. В таком случае результаты моделирования показали некоторое отличие от предыдущих вариантов. В частности, поднятие нажимных винтов

в клетки 5 (рис. 5, а) приводит к уменьшению обжатия и нагрузки в этой клетке. Как следствие, окружная скорость валков и входа полосы в валки и ее выхода из валков должны увеличиваться. Однако под влиянием всех возмущений опережение в клетки 5 уменьшается, что в итоге ведет к увеличению натяжения T_{56} на участке 1. Затем с транспортным запаздыванием в клетку 6 поступает полоса с увеличившейся толщиной $\Delta H_{06} = \Delta H_{15}$. Поэтому, начиная с участка 2, характер изменения межклетевых натяжений повторяет вариант задачи в клетки увеличения толщины полосы на рис. 1, д. Подъем нажимных винтов в одной из клеток внутри непрерывной группы приводит к противоположной картине. В этом случае происходит наибольшее увеличение натяжений, однако более всего возле той клетки, в которой появилось управляющее воздействие (рис. 5, б).

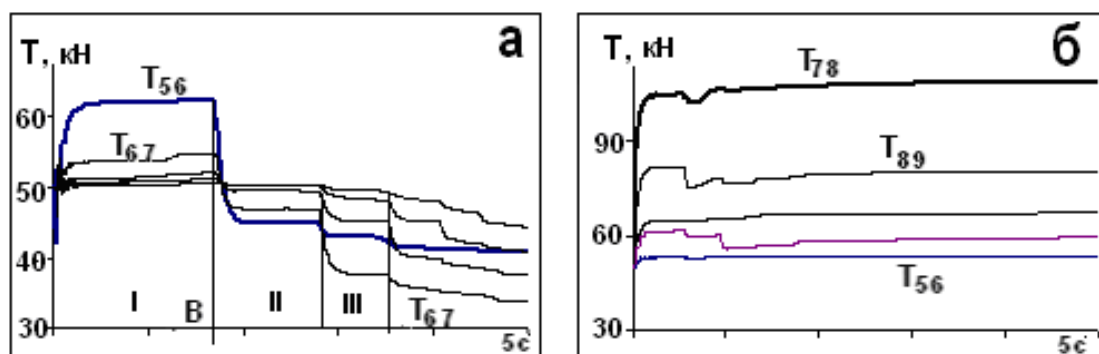


Рис. 5. Изменение межклетевых натяжений при подъёме нажимных винтов на 0,2 мм в клетях № 5 (а) и № 8 (б). Стан 1680

Срабатывание нажимных винтов в первой клетке непрерывной группы в сторону опускания вызывает уменьшение натяжений на участке 1 и последующее их увеличение на остальных участках по мере поступления возмущения в клетки (рис. 6, а). Однако подобное воздействие в одной из клеток внутри группы приводит к уменьшению межклетевых натяжений (рис. 6, б) вплоть до петлеобразования в полосе, входящей в валки регулируемой клетки. Следует отметить, что петлеобразование, а по сути, потеря устойчивости прокатки в промежутке, происходит быстро при незначительной величине воздействия.

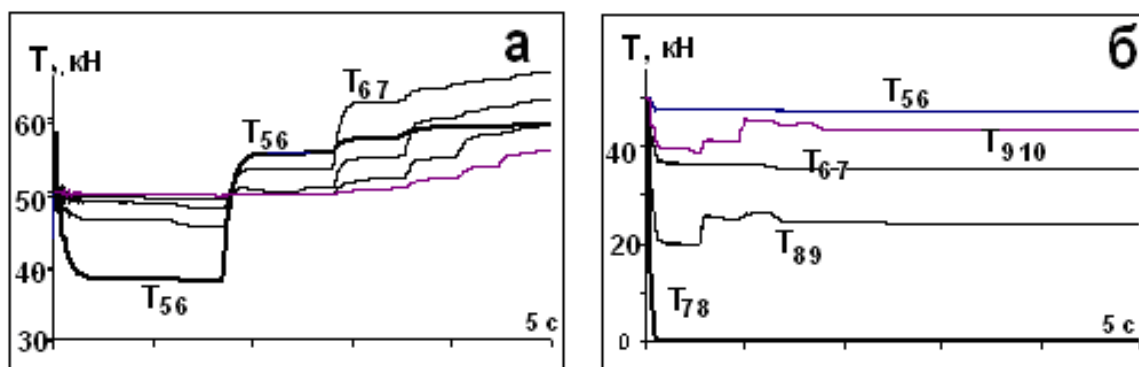


Рис. 6. Изменение межклетевых натяжений при опускании нажимных винтов на 0,2 мм в клетях № 5 (а) и № 8 (б). Стан 1680

В представленных вариантах моделирования характер поведения параметров, их взаимосвязи и влияние, реакция на возмущение впервые рассмотрены крупным планом, в отличие от работ [1, 2]. Учёт крутильной податливости линий привода, инерционности упругой системы клетки и транспортного запаздывания позволил глубже раскрыть закономерности переходных процессов, что способствует повышению точности решения задачи. Моделирование динамического, включая статическое, взаимодействия всех клеток непрерывной группы через

прокатываемую полосу, рассмотрение не только короткого промежутка времени до 0,015 с, как это принято в [1], а в период прохождения возмущения через все клетки, позволило существенно прояснить полноту процессов, одновременно протекающих во всех клетях.

ВЫВОДЫ

1. При непрерывной прокатке исследовано влияние на динамику процесса таких возмущений как скачкообразное изменение толщины на входе в клетки и срабатывание нажимных винтов с учётом упругих колебаний оборудования и транспортного запаздывания. Увеличение (уменьшение) толщины полосы на входе в первую клетку группы приводит к постепенному уменьшению (увеличению) межклетевых натяжений по мере прохождения возмущения через клетки. Увеличение входной толщины полосы в одной из клеток внутри непрерывной группы приводит к быстрому петлеобразованию с обеих сторон клетки.

2. При подъёме (опускании) нажимных винтов в первой клетке группы вначале во всех промежутках формируется увеличение (уменьшение) натяжения (особенно в первом), затем по мере поступления наведенной разнотолщинности полосы с запаздыванием в следующие клетки межклетевые натяжения уменьшаются (увеличиваются). Подъём (опускание) нажимных винтов в клетях внутри группы приводит к увеличению (уменьшению, вплоть до петлеобразования) натяжений.

3. Время саморегулирования процесса прокатки при действии возмущения в отдельной клетке составляет 0,3–0,5 с., однако во всей группе клеток оно соответствует времени прохождения через клетки возмущения от 12 с. до 20 с., если возмущение приложено на входе группы.

4. Разработанная компьютерная модель позволяет определить пределы возмущений (разнотолщинность и температура полосы, воздействия нажимных винтов и скорости, эксцентриситет валков и др.), при которых процесс прокатки остаётся устойчивым и размеры полосы на выходе из группы в заданных пределах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные широкополосные станы, управляемые ЭВМ / М. А. Беняковский, М. Г. Ананьевский, Ю. В. Коновалов [и др.] – М. : Металлургия, 1984. – 240 с.
2. Прокатка металла со сварными соединениями. / В. Л. Мазур, В. И. Мелешко, Д. П. Галкин [и др.] – М., Металлургия, 1985. – 112 с.
3. Путники А. Ю. Модель динамического взаимодействия смежных черновых клеток широкополосного стана при непрерывной прокатке. / А. Ю. Путники, В. В. Веренев // *Металл и литьё Украины*. 2002. – №11–12. – С. 26–30.
4. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 : монография / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники, А. Г. Маншилин, С. В. Мацко – Днепропетровск : ИМА-пресс, 2011. – 184 с.

REFERENCES

1. Avtomatizirovannye shirokopolosnye stany, upravlyaemye JeVM / M. A. Benjakovskij, M. G. Anan'evskij, Ju. V. Kononov [i dr.] – M. : Metallurgija, 1984. – 240 s.
2. Prokatka metalla so svarnymi soedinenijami. / V. L. Mazur, V. I. Meleshko, D. P. Galkin [i dr.] – M., Metallurgija, 1985. – 112 s.
3. Putniki A. Ju. Model' dinamiceskogo vzaimodejstvija smezhnyh chernovyh kletej shirokopolosnogo stana pri nepreryvnoj prokatke. / A. Ju. Putniki, V. V. Verenev // *Metall i lit'jo Ukrainy*. 2002. – №11–12. – S. 26–30.
4. Dinamicheskie processy v kletjah shirokopolosnogo stana 1680 : monografija / V. V. Verenev, V. I. Bol'shakov, A. Ju. Putniki, A. G. Manshilin, S. V. Macko – Dnepropetrovsk : IMA-press, 2011. – 184 s.

Путники А. Ю. – канд. техн. наук, докторант ЗНТУ

Подобедов Н. И. – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ИЧМ

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье;

ИЧМ – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАНУ, г. Днепропетровск.

E-mail: al.putniki@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.10.2014 г.