



The results of measuring of moment of flexibility force and engines currents in glues duo No 2, 3, 4 in the period of free bar catching and interaction through the bar and also data of computer modeling are presented.

В. В. ВЕРЕНЕВ, ИЧМ им. З.И.Некрасова НАН Украины,
А. Ю. ПУТНОКИ, С. В. МАЦКО, ОАО «Запорожсталь»

УДК 621.78

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ ЧЕРЕЗ ПРОКАТЫВАЕМУЮ ПОЛОСУ

Постановка задачи

При исследовании динамики взаимодействия клетей через полосу во время непрерывной прокатки в большинстве случаев рассматривают переходные процессы по току и частоте вращения главных приводов [1]. С помощью этих параметров, измеряемых штатными приборами, оценивают преимущественно продольное усилие в полосе, находящейся в межклетьевом промежутке. При этом учитывается низкочастотная составляющая, соответствующая частотным свойствам главных приводов (2–5 Гц).

Вместе с тем в механическом оборудовании клетей имеют место колебательные процессы с более высокими частотами (10–50 Гц), которые фиксируются в случае измерения момента сил упругости [2]. Эти данные позволяют глубже определить процессы, происходящие в оборудовании при взаимодействии клетей через полосу.

В данной работе поставлена задача на примере черновой группы широкополосного стана 1680 ОАО «Запорожсталь» показать характер переходных процессов, прежде всего в линиях главного привода смежных клетей в процессе их взаимодействия через полосу, а также представить ряд вытекающих из этого следствий.

Исходные данные

Процесс и параметры непрерывной прокатки в черновых клетях стана 1680 описаны в [1]. На рис. 1 показана схема клетей черновой группы с указанием расстояний и средней толщины полосы в межклетьевом промежутке. Непрерывная прокатка осуществляется в парах клетей дуо—№1, №2—№3 и №3—№4. В клетях №1 и №2 установлены двигатели переменного тока с нерегулируемой частотой вращения; клетки дуо, №3 и №4 содержат двигатели постоянного тока. При непрерывной прокатке скорость клетки дуо подстраивается под скорость клетки №1, а скорость клетки №3—под скорость клетки №2. Все клетки содержат редукторный привод.

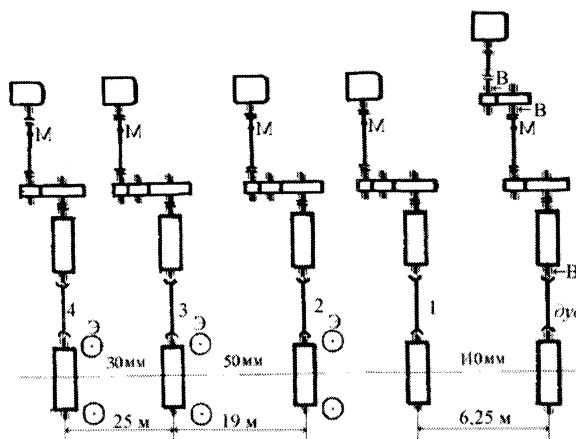


Рис. 1. Схема расположения черновых клетей стана 1680 с указанием межклетьевых расстояний и средней толщины полосы: *M* и *B* — точки, в которых измеряли момент сил упругости и вибрацию; *Э* — клетки с вертикальными валками

Во время опытно-промышленных исследований* измеряли момент сил упругости в главных линиях клетей (с помощью наклеиваемых на промежуточный вал тензорезисторов), а также температуру металла перед черновой группой, обжатия в клетях, ток и частоту вращения электродвигателей.

Кроме того, в ряде точек прокатной, шестеренной клетки и корпуса редуктора измеряли вибрацию.

Анализ результатов

Основное внимание уделяли характеру изменения момента сил упругости, поскольку штатные приборы для его измерения на прокатных станах, как правило, отсутствуют. В качестве параметра, характеризующего уровень динамической перегрузки, принят коэффициент динамичности *K*. Это позволяет проводить количественный сравнительный анализ переходных процессов в одной клетке при разных условиях прокатки или между клетями.

* При участии А.П. Даличука, П.П. Цымбала, П.В. Крота, В.В. Коренного, Н.И. Подобедова.

Взаимодействие клеток дуо-№1 (рис. 2)

При захвате металла валками максимальный момент сил упругости и коэффициент динамичности существенно зависят от зазоров в сочленении валок-шпиндель. За счет этого в клетке дуо K изменяется в пределах $K_{\text{ср}}=1,6-2,3$, $K_{\text{max}}=2,2-2,9$, в клетке №1 $K_{\text{ср}}=2,2-3,5$, $K_{\text{max}}=3,3-5,0$. Здесь левая граница соответствует измерениям после

установки в клетки шпинделей с новыми бронзовыми вкладышами.

При непрерывной прокатке, т.е. когда происходит захват полосы валками клетки №1, в то время как в клетке дуо продолжается прокатка, в линии привода клетки дуо на промежуточном валу между редукторами формируется явно выраженный положительный импульс, сопровождаемый

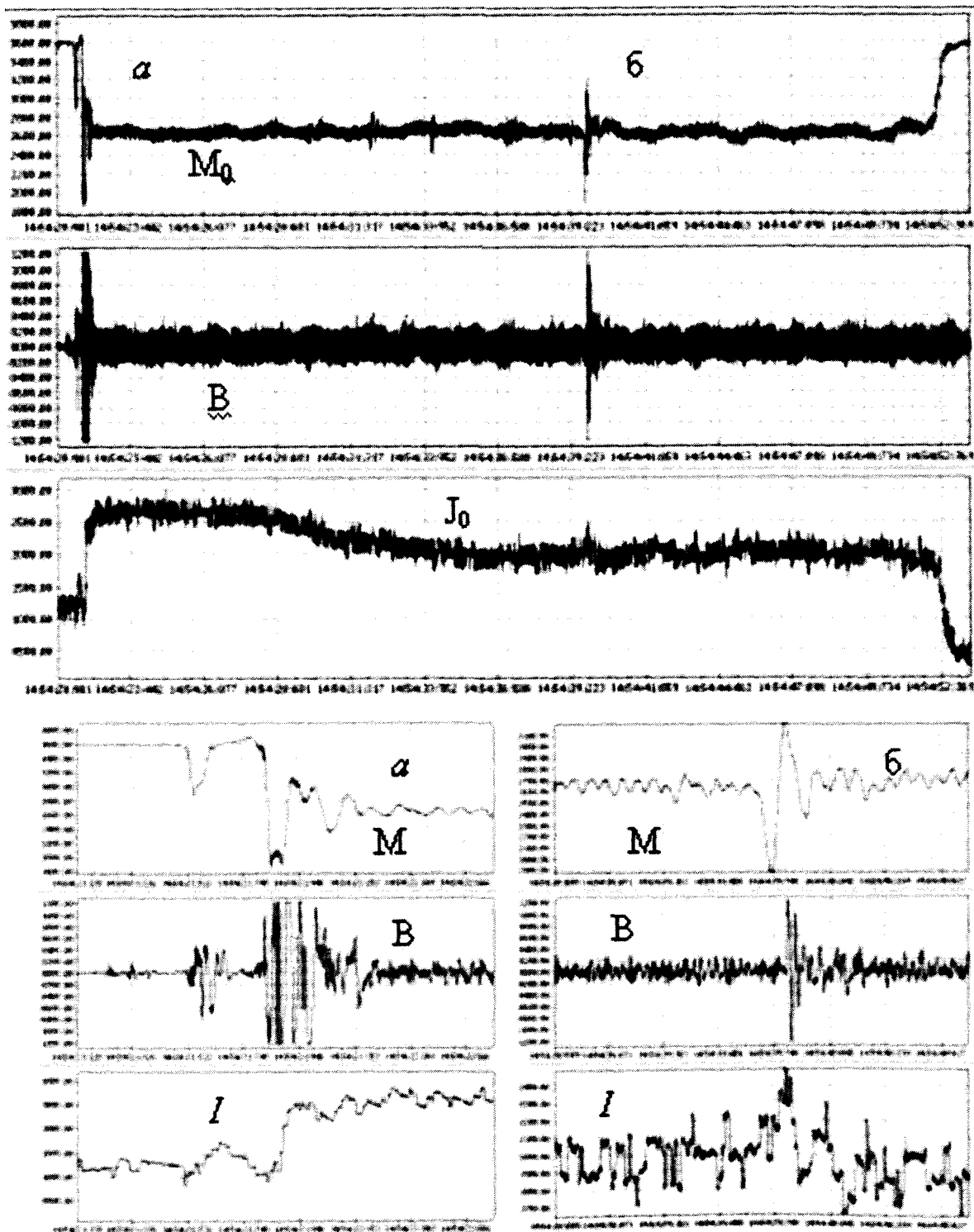


Рис. 2. Момент сил упругости M , вибрация B корпуса редуктора и ток I двигателя клетки дуо при непрерывной прокатке сляба в паре клеток дуо-№1

колебаниями момента сил упругости (рис. 2, в). Появление подобного импульса возможно только в результате действия мгновенного подпора, который приводит к увеличению момента сопротивления на валках клетки дуо. Коэффициент динамичности импульса составляет $K_{\text{осп}}=1,7$, $K_{\text{омакс}}=2,1$. Частота колебаний момента практически такая же, что и при захвате полосы. Таким образом, как результат взаимодействия клетей через полосу, отклик в линии привода клетки дуо характеризуется коэффициентом динамичности, соизмеримым с его значением при захвате полосы. Подобная реакция наблюдается в токе двигателя клетки дуо, в то время как при захвате полосы пиковые значения в токе отсутствуют. Измерение тока двигателя (рис. 2, б) с большой частотой позволяет качественно судить о колебательном процессе в механической части крутильной системы линии привода клетки дуо при взаимодействии клетей. О том, что взаимодействие клетей дуо и №1 через полосу существенное, подтверждает уровень вибрации корпуса редуктора, соизмеримый с вибрацией при захвате полосы валками клетки дуо (рис. 2).

Одновременные колебания с равной частотой моментов сил упругости в обеих клетях указывают на то, что с такой же частотой колеблется и продольное усилие в полосе. После завершения переходного процесса в главных линиях режим прокатки в клетях стабилизируется: соотношение скоростей в клетях самоуставливается на уровне, соответствующем межклетьевому усилию (подпору или натяжению при отсутствии корректирующих сигналов системы регулирования).

Взаимодействие клетей №2–№3 и №3–№4 (рис. 3, 4)

В данных парах клетей при свободном захвате полосы динамические нагрузки и коэффициент

динамичности также существенно зависят от угловых зазоров в линии привода. Средние и максимальные значения K (в разные периоды измерений и техническом состоянии оборудования) лежат в пределах: $K_{2\text{ср}}=2,3-4,0$, $K_{2\text{макс}}=3,0-4,7$; $K_{3\text{ср}}=2,5-3,8$, $K_{3\text{макс}}=3,3-4,5$; $K_{4\text{ср}}=2,5-3,0$, $K_{4\text{макс}}=3,0-3,3$.

Анализируя реакцию главных линий клетей №2 и №3 на захват полосы соответственно в клетях №3 и №4, приходим к следующему. Несмотря на сравнительно большое расстояние между клетями, в клетях №2 и №3 возбуждаются колебания момента с низшей формой собственной частоты линии привода. Реакция момента имеет вид явно выраженных биений, что объясняется близостью двух низших собственных частот линий. Значение коэффициента динамичности при взаимодействии клетей составляет: $K_{2\text{ср}}=1,6$, $K_{2\text{макс}}=2,1$; $K_{3\text{ср}}=2,1$, $K_{3\text{макс}}=2,3$. Это меньше, чем при собственном захвате полосы. Однако значения K следует признать все же значительными, поскольку перегрузки действуют на зубчатые зацепления.

В паре клетей №3–№4 данные записи тока показывают, что в период захвата полосы и взаимодействия клетей характер изменения тока не отражает колебательный процесс в крутильной системе главных линий (рис. 4).

Вид реакции (отклика) линии привода клетей №2 и №3 на захват полосы соответственно в клетях №3 и №4 отличается от вида реакции клетки дуо на захват сляба в клетях №1. В клетях №2 и №3 первый пик момента всегда меньше второго, явно выражены биения колебаний. В клетях дуо явно выражен первый максимальный импульс момента сил упругости с последующими колебаниями незначительной амплитуды.

Основываясь на данных измерений, можно следующим образом интерпретировать динамику процесса взаимодействия клетей №2–№3 и №3–

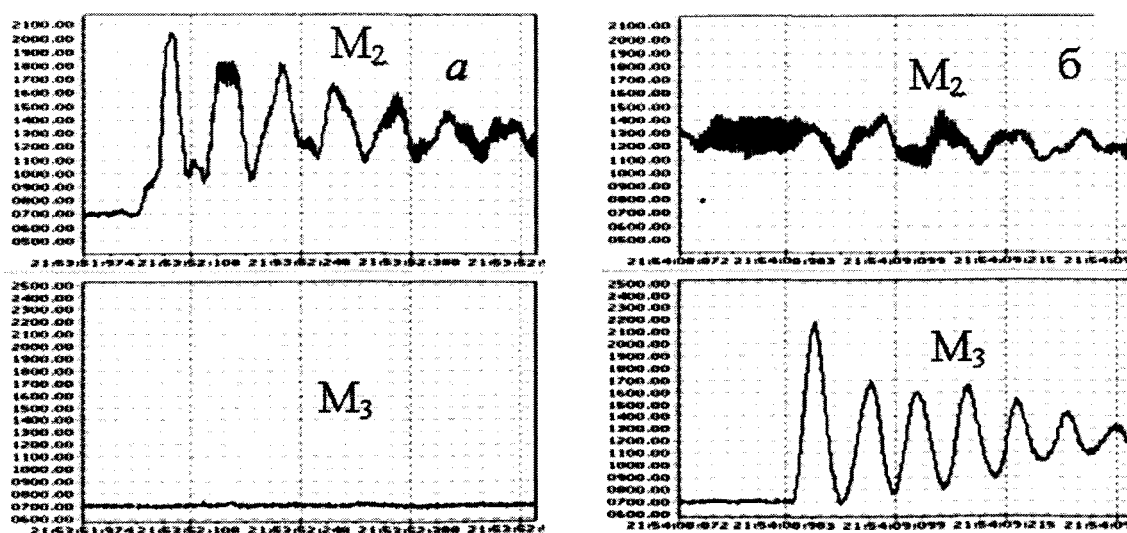


Рис. 3. Момент сил упругости M в линии привода клетки №2 при захвате полосы (а) и взаимодействии (б) с клетью №3

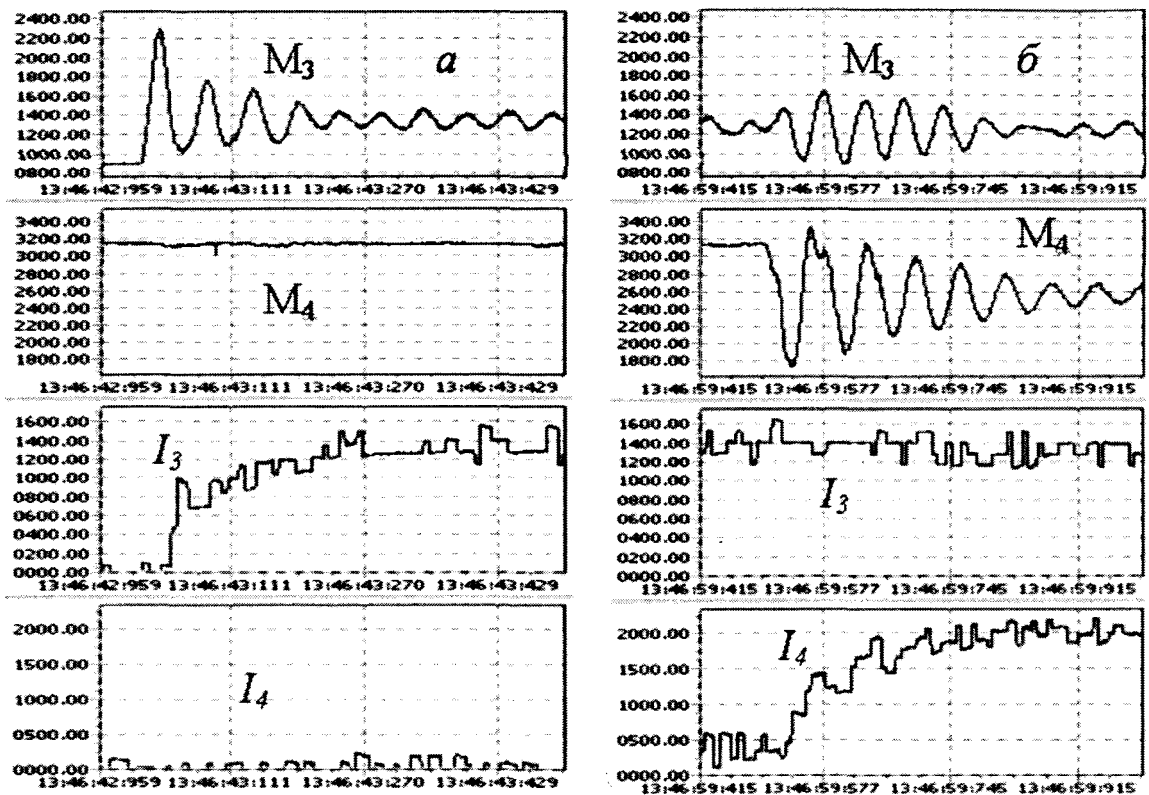


Рис. 4. Момент сил упругости M и ток I двигателя клетей №3 и №4 при захвате (а) и взаимодействии (б) клетей

№4. При заполнении очага деформации металлом клетки №3 (№4) и начале роста момента прокатки на валках частота вращения последних начинает уменьшаться из-за упругого закручивания валопровода, одновременно уменьшается скорость входа металла в очаг деформации клетки №3 (№4). Частота вращения валков и скорость выхода полосы из предыдущей клетки №2 (№3) некоторое время остаются без изменений. В результате такого рассогласования скоростного режима двух смежных клетей в полосе формируется подпор. Однако ввиду недостаточной жесткости полосы в продольном направлении и большого межклетьевого расстояния между горизонтальными клетями подпор создается между горизонтальной клетью, где произошел захват полосы, и вертикальной клетью, расположенной перед горизонтальной. На участок вертикальная клеть—предыдущая горизонтальная клеть подпор не распространяется. Поэтому клеть №2 (№3) не реагирует на подпор.

Затем в результате упругого раскручивания главной линии скорость валков и входа полосы в очаг клетки №3 (№4) увеличивается, происходит формирование и резкое увеличение межклетьевого натяжения. При этом направление вращения валков вертикальной клетки способствует его распространению в полосе до предыдущей клетки. Скачкообразное действие натяжения на валки клетки №2 (№3) вызывает колебания момента сил упругости в этой клетке.

Таким образом, различие во взаимодействии клетей дуо—№1 и №2—№3 или №3—№4 состоит в том, что в первой паре при согласованной скорости прокатки в полосе в начальной фазе формируется подпор, передающийся непосредственно валкам клетки дуо и стремящийся увеличить в ней момент сопротивления на валках. В двух других парах клетей подпор не «доходит» до предыдущей клетки из-за наличия эджеров, эта клеть реагирует на скачкообразное натяжение, следующее за подпором. Этим объясняется разный вид реакции динамического взаимодействия в рассмотренных парах клетей.

Уточнить процессы, происходящие на начальном этапе взаимодействия клетей, позволяют данные компьютерного моделирования [2]. На рис. 5 показан один из вариантов расчетов для двух клетей с двигателями постоянного тока. В момент $t=0,01$ с происходит захват полосы валками второй клетки, в то время как в первой клетке ведется прокатка. За счет упругого закручивания валопровода, в частности на шпиндельном участке (\bar{M}_{23}), частота вращения валков второй клетки начинает заметно уменьшаться. Это приводит к уменьшению скорости входа полосы во вторую клетку и началу роста подпора T_{12} в полосе, поскольку скорость ее выхода из валков первой клетки некоторое время остается постоянной. Подпор T_{12} действует в качестве дополнительного к моменту прокатки возмущения и приводит к дополнительному упругому закручиванию валопровода первой

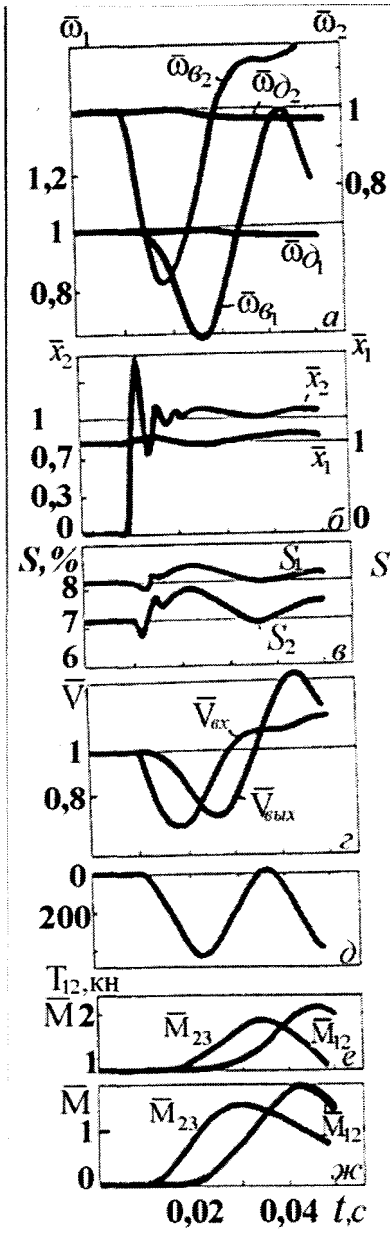


Рис. 5. Характер изменения параметров в начальный период взаимодействия клеток №1 и №2 через прокатываемую полосу при ее захвате валками второй клетки: $\bar{\omega}_{в1}, \bar{\omega}_{в2}, \bar{\omega}_{д1}, \bar{\omega}_{д2}$ — относительная угловая скорость валков и двигателей; \bar{x} — относительная деформация станин клеток; S — опережение; \bar{V} — относительная скорость выхода металла из клетки №1 и входа в клетку №2; T_{12} — подпор; \bar{M} — относительный момент сил упругости на моторном (12) и шпиндельном (23) участках клеток №1 (e) и №2 (ж). Участок 0–0,01с соответствует установившемуся режиму прокатки клетки №1 перед захватом полосы клетью №2

клетки (кривая \bar{M}_{23} на рис. 5, e). С некоторым запаздыванием начинают уменьшаться частота вращения валков первой клетки и скорость выхода полосы из нее. В соответствии с колебаниями разности скорости полосы на выходе из первой клетки и на входе во вторую клетку колеблется продольное усилие T_{12} в полосе.

Возмущение со стороны полосы (подпор) вызвало колебания момента сил упругости в первой клетке при коэффициенте динамичности на шпиндельном (\bar{M}_{23}) и моторном (\bar{M}_{12}) участках, равном соответственно 1,9 и 2,3 (рис. 5, e). Из рис. 5 определяем, что частота вращения валков $\bar{\omega}_в$ и скорость полосы \bar{V} на входе и выходе из клеток на начальном участке могут значительно изменяться. Следует отметить, что уменьшение частоты вращения двигателей ω_d обеих клеток происходит заметно позже, чем валков.

По данным рис. 5 определяем, что угловая скорость валков $\omega_в$ и полосы на входе и выходе из клеток на начальном этапе может значительно изменяться. Отметим также, что уменьшение скорости двигателей ω_d обеих клеток происходит заметно позже, чем валков.

Таким образом, исследование «невидимого» начального участка переходного процесса, параметры которого не фиксируются измерителями существующих систем регулирования, позволяет сделать вывод о его существенном влиянии на последующее формирование и развитие характера изменения технологических, кинематических и силовых параметров при взаимодействии клеток через полосу.

Выводы

Измерение момента сил упругости в главных линиях взаимодействующих смежных клеток позволяет глубже исследовать начальный участок переходных процессов в механическом оборудовании и прокатываемой полосе.

В парах клеток дуо-№1, №2-№3 и №3-№4 при работе в режиме непрерывной прокатки во время захвата полосы валками второй клетки отмечено существенное взаимодействие. Оно состоит в том, что в линии привода первой клетки возбуждаются колебания момента, соизмеримые с колебаниями при свободном захвате полосы. При этом в клетях дуо-№1 возмущение через полосу передается в виде быстронарастающего подпора, а в клетях №2-№3 и №3-№4 — в виде натяжения.

Привлечение компьютерной модели позволило установить характер изменения и взаимодействия технологических параметров (опережения, скорости выхода и входа полосы, частоты вращения валков) и силовых параметров (моментов сил упругости, силы прокатки и деформации клетки), которые не фиксируются существующими на станах измерителями на начальном участке переходного процесса.

Дальнейшее развитие исследований направлено на изучение влияния отклонения технологических параметров (температуры и толщины полосы, скорости прокатки, рассогласование скоростей в клетях) на продольную разнотолщинность

и динамические нагрузки в оборудовании, а также параметров оборудования (податливости упругих связей, моментов инерции, диаметра валков) на технологические параметры. Это позволит определить рациональное соотношение между параметрами технологии и оборудования.

Литература

1. Непрерывная прокатка / Под ред. В.Н.Данченко. Днепропетровск: РВА "Дніпро-ВАЛ". 2002. С. 22–31.
2. Путники А.Ю., Веренев В.В. Модель динамического взаимодействия смежных черновых клеток широкого полосного стана при непрерывной прокатке // *Металл и литейное производство в Украине*. 2002. №12. С. 26–30.