

УДК: 621.771.06: 620.178.35

В.В.Коренной, В.В.Вернев, А.М.Юнаков

ИНЖЕНЕРНОЕ РЕШЕНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ГЛАВНЫХ ЛИНИЯХ ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЕЙ КВАРТО

Предложен способ закрытия углового зазора в линии привода прокатной клетки перед захватом металла валками. Способ основан на изменении давления в плунжерах подушек рабочих валков, что позволяет прижать рабочий валок к опорному и уменьшит динамические нагрузки в главной линии стана. На математической модели исследовано движение валковой системы прокатной клетки при его реализации. Наиболее целесообразно использовать способ в черновых клетях станов НПС 1700 ММК им.Ильича и НТЛС 1680 ОАО «Запорожсталь».

прокатная клеть, динамика, угловой зазор, гидравлическая система, рабочий валок, опорный валок.

Состояние вопроса. Известно, что угловые зазоры в линии привода валков, прежде всего в сочленении валков со шпинделями, оказывают существенное влияние на динамические нагрузки во время захвата полосы валками. Динамическая составляющая момента сил упругости в этот период может увеличиваться в 2-4 раза [1, 2], что отрицательно сказывается на работе оборудования [3]. Предложены разнообразные способы и технические решения, направленные на уменьшение или закрытие зазоров к моменту захвата полосы валками: новые конструкции вкладышей универсальных шпинделей, различные системы уравновешивания шпинделей, приложение тормозного момента к валкам [4-8], ускорение привода перед захватом полосы [9-11]. Тормозные устройства позволяют полностью устранить влияние зазоров на ударные нагрузки. Однако они не нашли практического применения на действующих станах в связи с тем, что их установка затруднит перевалку валков. В способах, основанных на ускорении главного привода, требуется осуществлять перед каждым захватом полосы разгон всех вращающихся масс, включая зубчатые колеса редуктора и валки шестеренной клетки, что требует дополнительной энергии и усложняет работу линии.

Нами предложен новый способ, состоящий в использовании инерции опорного валка. В клетях кварты момент инерции опорного валка больше рабочего в 7-14 раз, в то же время частота вращения опорного в 1,5-2,5 раза меньше рабочего. Опорный валок вращается за счет фрикционного контакта с рабочим, который обеспечивается гидравлической системой уравновешивания рабочих валков. Гидравлическая система обладает достаточным быстродействием и позволяет быстро уменьшать или увеличивать давление в плунжерах подушек рабочих валков. В результате

этого происходит увеличение или уменьшение усилия прижатия бочки рабочих валков к бочке опорных валков.

При разрыве контакта рабочего и опорного валков частота вращения последнего уменьшается при его движении по инерции. Восстановление контакта и последующий разгон опорного валка за счет сил трения приводит к кратковременному уменьшению частоты вращения рабочего валка под нагрузкой. В результате этого угловой зазор в сочленении валок-шпиндель замыкается. Захват полосы валками в этот момент осуществляется при закрытых зазорах.

Целью исследования является проверка возможности реализации указанного способа путем математическое моделирование движения валковой системы применительно к черновой клети 3 стана НТЛС 1680.

Изложение основных материалов исследования. Расчетная схема движения верхнего опорного и рабочего валков и линии привода прокатной клети представлена на рисунке 1.

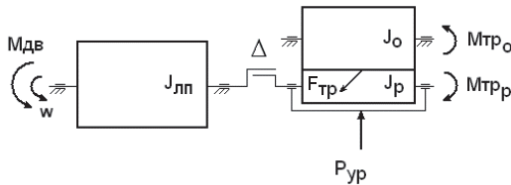


Рис. 1. Расчетная схема линии привода и валковой системы клети.

Исходными данными для расчета являются: w – угловая скорость линии привода на холостом ходу, $M_{дв}$ – момент двигателя, необходимый для вращения линии привода на холостом ходу, J_o – момент инерции опорного валка, J_p – момент инерции рабочего валка, $J_{лп}$ – момент инерции остальной части линии привода, $M_{трo}$, $M_{тp}$ – момент сил трения в подшипниках опорного и рабочего валков, m_o , R_o , m_p , R_p – масса и радиус опорного и рабочего валков, $P_{ур}$ – сила уравнивания рабочего валка, $F_{тр}$ – сила трения бочек рабочего и опорного валков.

Движение валковой системы и линии привода описывается следующей системой дифференциальных уравнений (1).

$$J_o \cdot \frac{d^2 \phi_o}{dt^2} = F_{тр} \cdot R_o - M_{трo}, \quad (1)$$

$$(J_p + J_{лп}) \cdot \frac{d^2 \phi_p}{dt^2} = -F_{тр} \cdot R_p - M_{тp} + M_{дв}.$$

В расчетной схеме учтены моменты сил трения в опорах всех вращающихся деталей. Для расчета приняли коэффициенты трения между опорным и рабочим валком - 0,1, а в подшипнике опорного валка – 0,0022. Во время холостого хода на рабочий валок действует сила давления в системе уравнивания $P_{ур}$. В момент времени $t = 4$ сек (рис. 2) снимают усилие уравнивания, при этом происходит уменьшение угловой скорости опорного валка и незначительное увеличение угловой

скорости остальной линии привода, что является реакцией двигателя постоянного тока на уменьшение нагрузки. Через 2 секунды ($t = 6$ сек) усилие уравнивания восстанавливают. В процессе прижатия рабочего вала к опорному во фрикционном контакте возникает сила трения $F_{тр}$, которая стремится восстановить номинальную угловую скорость опорного вала. Эта сила зависит от коэффициента трения и усилия прижатия между поверхностями бочек опорного и рабочего валков. Под действием момента сил трения в опорах и во фрикционном контакте угловая скорость рабочего вала уменьшается и угловой зазор выбирается (рис. 2). Во время закрытия углового зазора опорный валок не успевает разогнаться до своей номинальной скорости вращения. Его разгон занимает еще определенное время, в течение которого зазор в шпиндельном сочленении остается закрытым.

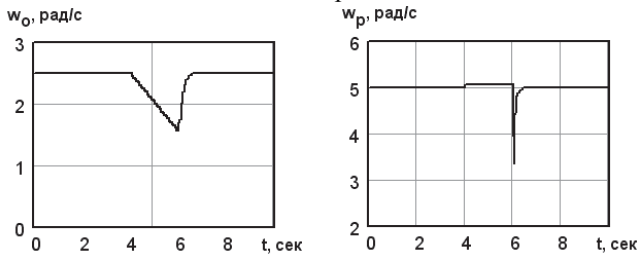


Рис.2. Пример результата расчета угловой скорости опорного (w_o) и рабочего (w_p) вала на компьютерной модели.

Определили значение угловой скорости опорного вала после потери контакта с рабочим валком (рис. 3а) и времени, за которое опорный валок восстановит свою угловую скорость после прижатия к нему рабочего вала (рис. 3б).

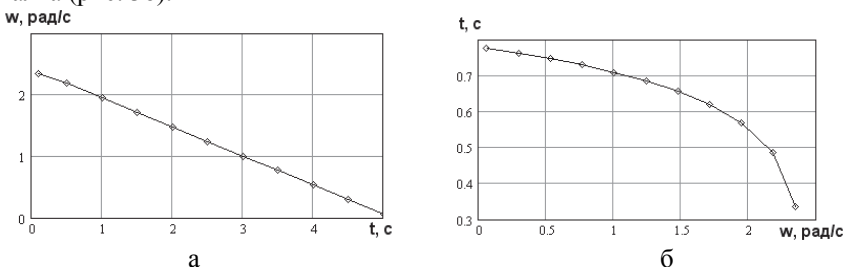


Рис.3. Угловая скорость опорного вала после разрыва контакта с рабочим валком (а) и время ее восстановления в зависимости от величины ее уменьшения (б).

Также определили время полного закрытия углового зазора в шпиндельном сочленении при различной начальной угловой скорости опорного вала и углового зазора (рис. 4).

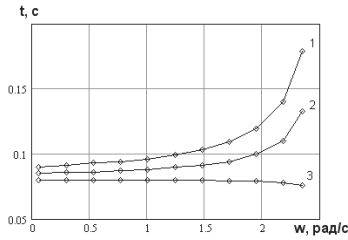


Рис.4. Время закрытия углового зазора в зависимости от абсолютной угловой скорости опорного вала. Величина углового зазора: 1 – 0,05 рад, 2 – 0,02 рад, 3 – 0,01 рад.

Результаты моделирования движения рабочего вала после восстановления контакта с опорным показали, что время закрытия зазора в шпинделе, равного 0,02 рад, составляет $\Delta t_6 = 0,09-0,14$ с. Это время зависит от того, насколько уменьшилась скорость вращения опорного вала. Установлено, что угловая скорость опорного вала клетки 3 уменьшается с ускорением $0,475 \text{ рад/с}^2$.

Эффективность предлагаемого способа оценили путем моделирования 3-х массовой крутильной системы. Определяли максимальное значение динамического момента ($M_{дин}$) в момент нагружения линии привода постоянным моментом сопротивления ($M_{ст}$) при различной величине углового зазора в шпиндельном сочленении. При максимальном значении углового зазора 0,1 рад, максимальный динамический момент на шпиндельном участке составит 790 кНм, на моторном участке – 245 кНм. При закрытом угловом зазоре максимальная динамическая составляющая момента уменьшается на шпиндельном участке в 2,1 раза, на моторном участке в 1,9 раза (рис. 5).

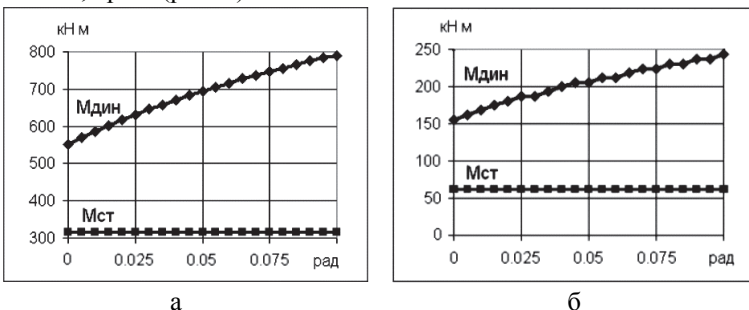


Рис.5. Зависимость максимального динамического момента ($M_{дин}$) на участках линии привода прокатной клетки от углового зазора в шпиндельном сочленении: а) универсальный шпиндель, б) промежуточный вал между двигателем и редуктором.

Реализация предложенного способа предлагается следующим образом. При подходе полосы к валкам на некоторое расстояние от датчика наличия металла поступает сигнал на регулирующее устройство плунжеров подушек рабочих валков. Устройство дает команду на уменьшение давления в плунжерах, при этом верхний рабочий валок под действием силы тяжести опускается. Угловая скорость опорного валка под действием момента сил трения в подшипниках уменьшается. Непосредственно перед захватом полосы (расстояние до валков около 1 м), другой датчик наличия металла посылает сигнал на регулирующее устройство, которое дает команду на увеличение давления в плунжерах. В результате рабочий валок прижимается к опорному. Места установки датчиков наличия металла, следовательно, моментов снятия и восстановления давления, необходимо уточнять в реальных промышленных условиях на конкретной прокатной клети.

Выводы. Для снижения динамики переходного процесса предложен способ закрытия к моменту захвата углового зазора в шпиндельном сочленении прокатной клети кварто широкополосного стана. Способ прост, не требует проведения дорогостоящей реконструкции прокатной клети, однако предполагает оснащение клети датчиками наличия металла. Его эффективная реализация возможна при точном автоматическом управлении давлением в гидросистеме.

По предварительной оценке использование способа позволит уменьшить динамическую составляющую нагрузки в прокатной клети при захвате полосы валками примерно в 2 раза.

Данное инженерное решение является наиболее приемлемым для клетей которые работают на небольшой постоянной скорости, таких как все черновые клети НШС 1700 ММК им.Ильича и клети 1 и 2 НТЛС 1680 ОАО «Запорожсталь».

1. *Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680* / [В.В. Веренев, В.И. Большаков, А.Ю.Путноки, А.Г.Маншилин, С.В. Мацко] ИМА-пресс, Днепропетровск, 2011. – 184 с.
2. *Динамика процессов прокатки* / [Коцарь С.Л., Третьяков В.А., Цупров А.Н., Поляков Б.А.]. – М.: Металлургия, 1997. – 255 с.
3. *Смирнов В.В., Яковлев Р.Я.* Механика приводов прокатных станов. – М.: Металлургия. – 1977. – 216 с.
4. *Патент РФ № 727247* Тормозное устройство для выборки люфтов в линии привода прокатного стана В21В 35/00 / Дудко В.Ф., Кибирев А.А., Опубл. 15.04.1980.
5. *Патент РФ № 745569* Способ выборки люфтов в приводе прокатной клети кварто В 21 В 35/00 / Меерович И.М., Гесслер Ю.В., Ройзен М.Я. и др., Опубл. 05.07.1980.
6. *Патент РФ № 1148658* Способ горячей прокатки в неререверсивной универсальной клети В21В 35/14 / Хлопонин В.Н., Каретный З.П., Коцарь С.Л. и др., Опубл. 07.04.1985.

7. *Хлопонин В.Н.* Снижение динамических нагрузок при захвате металла валками / В.Н.Хлопонин, С.Л.Коцарь, В.А.Третьяков. // Известия ВУЗов черной металлургии. – 1986. – №11. – С.153–154.
8. *Патент РФ № 2148444* Способ горячей прокатки в неререверсивной универсальной клети В21В 1/26 / Тищенко А.Д., Евсюков В.Н., Бубнов С.Ю. и др., Оpubл. 10.05.2000.
9. *Безударный* захват полосы клетями чистовой группы стана. / С.Л. Коцарь, Б.А. Поляков, А.Н. Цупров и др. // Сталь. – 1980. – № 3. – С.213-215.
10. *Патент РФ № 718192* Способ управления скоростным режимом чистовой группы клетей непрерывного широкополосного стана А21В 37/00 / Коцарь С.Л., Поляков Б.А., Цупров А.Н. и др., Оpubл. 28.02.1980.
11. *Патент РФ № 771839* Способ выборки зазоров в кинематической цепи прокатной клети Н02Р 5/46 / Гринчук П.С., Калашников Ю.Т., Пономарев В.И. и др., Оpubл. 15.10.1980.

*Статья рекомендована к печати
академиком НАН Украины В.И.Большаковым*

В.В.Коренной, В.В.Верёнов, О.М.Юнаков

Інженерні рішення зменшення динамічних навантажень у головних лініях чорнових клітей кварто

Запропоновано спосіб закриття кутового зазору в лінії приводу прокатної кліті перед захопленням металу валками. Спосіб заснований на зміні тиску в плунжері подушок робочих валків, що дозволяє притиснути робочий валок до опорного і зменшити динамічні навантаження в головній лінії стану. На математичній моделі досліджено рух валкової системи прокатної кліті при його реалізації. Найбільш доцільно використовувати спосіб в чорнових клітях станів НШС 1700 ММК ім.Ілліча і НТЛС 1680 ВАТ «Запоріжсталь».