

Бешта А. С. /д. т. н./, Куваев В. Н. /д. т. н./
НГУ

Егоров А. П. /к. т. н./, Потап О. Е. /к. т. н./,
Кузьменко М. Ю.
НМетАУ

Крячко А. П. /к. т. н./

НВП «Дніпрочорметавтоматика»

Динамическая модель двухниточной прокатки в черновой группе клетей мелкосортного стана

В статье предлагается динамическая модель двухниточной прокатки в черновой группе клетей на мелкосортном стане, на которой можно проводить исследования и использовать в системах автоматического управления технологическим процессом. Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: динамическая модель прокатки, мелкосортный стан, управление, исследования, прокатная клеть

Dynamic model of two-strand rolling in roughing train on small section mill, on which one may carry out investigation and use in systems of automatic control of engineering process, is suggested in the article.

Keywords: dynamic model of rolling, small section mill, control, investigation, rolling mill

Мелкосортный прокат, производимый на непрерывных станах, должен удовлетворять жестким требованиям к точности геометрических размеров по сечению. Достижению этой точности препятствует наличие большого числа технологических возмущений, действующих в процессе прокатки. Часть этих возмущений вносится в процесс заготовкой. К ним относятся, например, изменения температуры, размеров и механических свойств заготовки по длине. Другая часть возмущений обусловлена нерациональной настройкой прокатного оборудования (зазоров между валками и частот вращения валков) и особенностями протекания процесса прокатки в непрерывных группах клетей.

Компенсация указанных возмущений возможна только в условиях применения систем автоматического управления. При этом наиболее эффективным каналом оперативного воздействия на процесс прокатки является целенаправленная корректировка частоты вращения главных приводов прокатных клетей.

Задача управления значительно усложняется в условиях применения двухниточной прокатки в клетях черновой группы. При заполнении и освобождении металлом соседних прокатных ниток происходят резкие изменения режима деформации, являющиеся источником существенных возмущений для прокатки в чистовых группах.

От качественной настройки процесса в двухниточной черновой группе в значительной мере зависит точность готового профиля. В тоже время, отработанные алгоритмы управления ско-

ростным режимом прокатки в одностандартных группах клетей неприменимы в условиях двухниточной прокатки. Для создания и апробации таких алгоритмов первоочередное значение имеет разработка динамической математической модели двухниточной непрерывной сортовой прокатки, так как постановка экспериментов в промышленных условиях невозможна из-за высокой вероятности возникновения аварий и брака.

Цель работы

Создание математической модели процесса непрерывной прокатки в двухниточной группе клетей, учитывающей изменения во времени параметров заготовки, динамические изменения состояния металла в межклетевых промежутках, особенности работы автоматизированного электропривода валков, а также связь параметров проката в соседних нитках.

Результаты работы

Структура математической модели двухниточной непрерывной прокатки приведена на рис. 1.

Модель состоит из типовых блоков, моделирующих геометрические, кинематические и энергосиловые параметры прокатки в клетях (Кл), состояние металла в межклетевых промежутках (Пр), работу главных электроприводов валков прокатных клетей (Эп), а также параметры заготовки (БИЗ).

Блоки «Кл»

Моделирование процесса формоизменения проката в i -той клетке осуществляется в двух идентичных блоках (Кл i А и Кл i В), каждый из

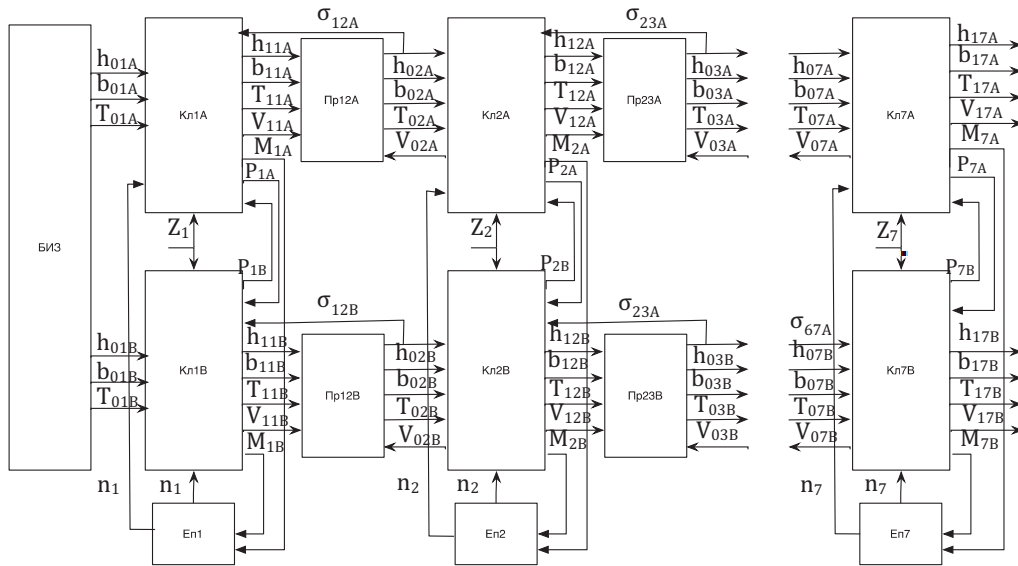


Рис. 1. Структурная схема модели процесса двухниточной непрерывной прокатки

которых моделирует прокатку в одной из двух прокатных ниток.

Детерминированная модель процесса формоизменения металла в валках построена на базе формул, полученных аналитически в результате линеаризации эпюр удельных нормальных напряжений в зонах скольжения металла по валкам [1]. При этом переход от прокатки в калибрах к прокатке на гладкой бочке осуществляется по методу соответственной полосы.

Входными переменными каждого блока $Кл_i$, моделирующего одну из ниток i -той клетки, являются геометрические размеры (ширина b_{0i} и высота h_{0i}) и температура подката T_{0i} , переднее $\sigma_{i,i+1}$ и заднее $\sigma_{i-1,i}$ удельное натяжения, а также частота вращения n_i прокатного двигателя и зазор между валками. К выходным переменным блока $Кл_i$ относятся геометрические размеры (ширина b_{1i} и высота h_{1i}) и температура проката T_{1i} , на выходе из клетки, скорости металла на входе V_{0i} и выходе V_{1i} клетки, усилие P_i и момент M_i прокатки [2].

В качестве постоянных параметров блока $Кл_i$ задаются передаточное число редуктора j_i , катающий радиус валков R_i и модуль жесткости клетки M_{ki} по данной прокатной нитке.

Учет упругой деформации элементов клетки при прокатке осуществляется путем изменения исходного зазора между валками под действием усилия прокатки в каждой из прокатных ниток. Взаимное влияние смежных прокатных ниток моделируется по методике работы [3], в которой использована расчетная схема валка в виде двух жестких стержней соединенных винтовой пружиной. При этом вертикальный размер проката на выходе каждой из ниток определяется выражениями

$$h_{1,iA} = z_i + A_1 \cdot P_{iA} + A_2 \cdot P_{iB}, \quad (1)$$

$$h_{1,iB} = z_i + B_1 \cdot P_{iB} + B_2 \cdot P_{iA}, \quad (2)$$

где z_i – зазор между валками до прокатки; h_{1A} , h_{1B} – высотные размеры приведенных полос на выходе клетки; A_1 и B_1 – коэффициенты, учитывающие жесткость валковой системы при действии усилия прокатки в данной нитке; A_2 и B_2 – коэффициенты, учитывающие жесткость валковой системы при действии усилия прокатки в смежной нитке.

Блоки «Пр»

Расчет межклетевых усилий в созданной модели осуществляется в блоках $Пр_{i,i+1}$, моделирующих состояние металла в промежутках между клетями. Входными переменными этих блоков являются скорость, геометрические размеры и температура проката на выходе из предыдущей клетки, а также скорость прокатки на входе в последующую клеть.

Выходными параметрами блоков $Пр_{i,i+1}$ являются удельное натяжение $\sigma_{i,i+1}$, а также геометрические размеры и температура проката на входе в последующую клеть.

Удельное натяжение $\sigma_{i,i+1}$ определяется в блоке $Пр_{i,i+1}$ как выходная величина аperiодического звена первого порядка, на вход которого подается относительная разность скоростей металла на входе в последующую и выходе из предыдущей прокатной клетки [4]

$$\sigma_{i,i+1} = E_{i,i+1} \cdot \frac{V_{0,i+1} - V_{1,i}}{V_{1,i}} \left[1 - \exp\left(-\frac{V_{0,i+1}}{L} t\right) \right], \quad (3)$$

где L – длина межклетевого промежутка, E – модуль упругости, который определяется с учетом текущей температуры металла.

Блоки «Еп»

В блоках Еп моделируется главный электропривод валков прокатных клетей постоянного тока независимого возбуждения с системой подчиненного регулирования частоты вращения [5].

Численные значения параметров описанной модели двухниточной прокатки приняты по данным калибровки профиля Ø10 мм мелко-сортного стана 250 металлургического комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» [6].

Модель реализована средствами пакета структурного моделирования MATLAB Simulink.

Для проверки адекватности модели осуществлялось моделирование процесса в условиях одновременной прокатки в обеих нитках. Принятый при моделировании временной график заполнения и освобождения прокатных клетей металлом, а также расположение заготовок в калибрах приведены на рис. 2.

Текущие значения вертикального и горизонтального размеров заготовки по длине формировались на выходе блока имитации заготовок «БИЗ» по нормальному закону распределения этих параметров в соответствии с эксперимен-

тальными данными, приведенными в [6] для условий моделируемого мелко-сортного стана. Математическое ожидание высоты и ширины заготовки принято равным 78 мм, а среднее квадратическое отклонение – 0,01 мм.

При моделировании имитировалось также снижение температуры по длине заготовки (температурный клин) от 1100 °С до 1060 °С. График изменения температуры был принят линейным.

Первоначальная настройка модели осуществлялась в отсутствие возмущений по размерам и температуре заготовки. При этом заданные частоты вращения прокатных двигателей подбирались таким образом, чтобы обеспечить начальные значения удельного натяжения от 5 до 10 Н/мм².

В результате моделирования были получены осциллограммы изменения геометрических, кинематических и энергосиловых параметров. Ниже в качестве примера приведены кривые изменения натяжения в 1-ом, 4-ом, 5-ом и 6-ом межклетевом промежутке черновой группы (рис. 3) и горизонтального размера проката на выходе из чистовой клетки (рис. 4).

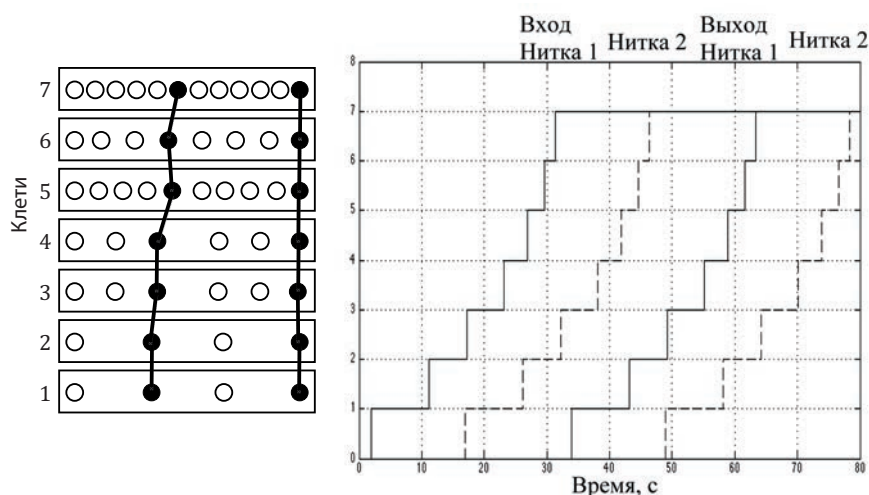


Рис. 2. График загрузки клетей и расположения заготовок в калибрах при моделировании

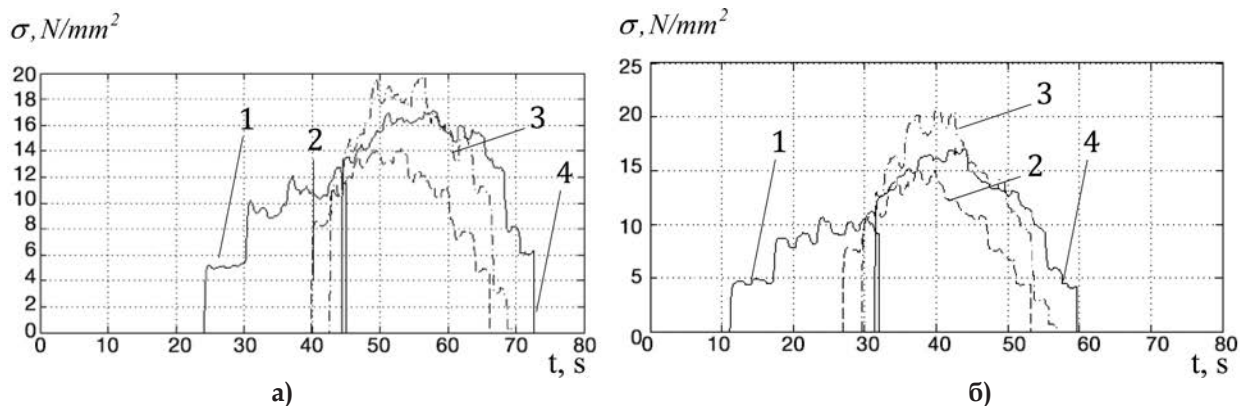


Рис. 3. Графики изменения межклетевых усилий:

а – правая нитка; б – левая нитка.

1 – в первом межклетевом промежутке; 2 – в четвертом межклетевом промежутке;

3 – в пятом межклетевом промежутке; 4 – в шестом межклетевом промежутке черновой группы клетей

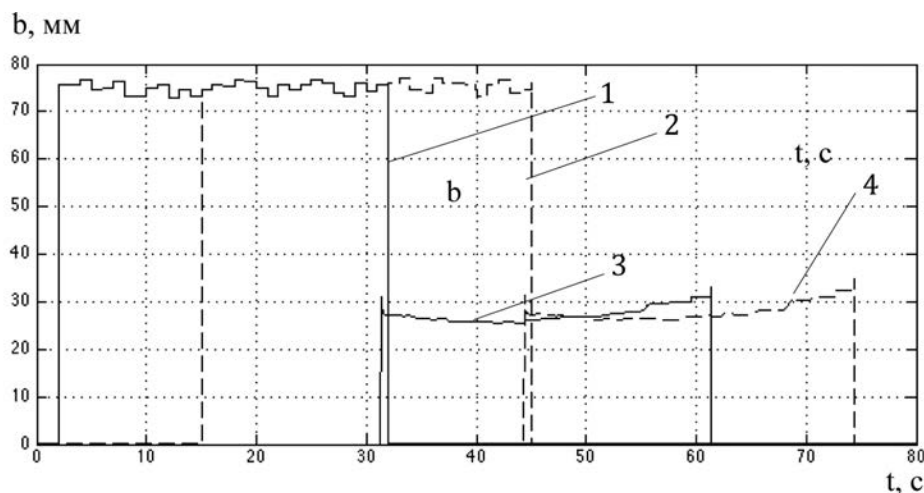


Рис. 4. Графики изменения горизонтального размера проката на выходе из первой (1, 2) и последней (3, 4) клетки черновой группы по первой нитке (1, 3) и второй нитке (2, 4)

Анализ полученных результатов моделирования показал, что геометрические размеры (ширина, обжатие, вытяжка), кинематические (опережение, скорость прокатки) и энергосиловые (момент прокатки) параметры соответствовали значениям, экспериментальным исследованиям, полученным в работе [6], что доказывает адекватность модели реальному объекту.

Выводы

1. Разработанная динамическая модель двухниточной прокатки в черновой группе клетей адекватно описывает процесс прокатки на стане 250 металлургического комбината «Арселор-Миттал Кривой Рог» и может быть использована в системах автоматического управления технологическим процессом прокатки на мелко-сортных станах.

2. Колебания натяжения в межклетевых промежутках зависят в основном от заполнения черновой группы клетей по прокатной нитке, взаимовлияние прокатных ниток, но слабо зависят от положений прокатных калибров по ниткам на бочке вала.

Библиографический список

1. Упрощенные уравнения для моделирования процесса прокатки на сортовых станах / В. С. Егоров, О. Е. Потап. – Днепропетровск,

1985. – 19 с. – Деп. В ин-те «Черметинформация», № 2947чм-85.

2. Моделирование АСР натяжения проката на непрерывном сортовом стане / О. Е. Потап, А. П. Егоров, М. Ю. Кузьменко. – Краматорск: ДДМА. – 2012. – № 2(10Е). – 215 с.

3. Математическая модель клетки при двухниточной прокатке / А. П. Егоров, В. С. Егоров // Теория и практика металлургии. – 1999. – № 1. – С. 57-59.

4. Передаточные функции сил натяжения полосы в межклетевых промежутках непрерывного прокатного стана / В. С. Егоров, В. И. Стахно, О. Е. Потап. – Днепропетровск, 1984. – 19 с. – Деп. В ин-те «Черметинформация», № 2642чм-84.

5. Расчет линейных регуляторов в системах автоматического управления / А. П. Егоров, В. Б. Зворыкин, Г. С. Щербина. – Днепропетровск: НметАУ, 2010. – 112 с.

6. Разработка методов и технических решений по увеличению точности и размеров сечений и качества арматурного проката на мелкосортном стане 250-3 СПЦ-1 КТМК «Криворожсталь»; Отчет о НИР / Научно-исследовательский институт металлургии и материаловедения / Руководитель А. А. Дударенко – № ГР0103V003750; Инв. № 4.23-2003. – Днепропетровск, 2003. – 117 с.

Поступила 20.01.2015

