

Список литературы

1. МеталлИнвест Северо-Запад «ММК-МЕТИЗ» увеличивает выпуск арматуры нового поколения. URL: <http://www.metal-in.ru/news/mmk-metiz-uvlechivaet-vypusk-armatury-novogo-pokoleniya/> (дата обращения 30.09.2013)

2. PC WIRE LINE ISF5: док. к обор.- Italia: Mario Frigerio S.p.A, 2006.-166с.

3. ТИ ММК-МЕТИЗ-К.ПР-28-2008. Производство проволоки и проката из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций на линии стабилизации [Текст]. – Магнитогорск: ОАО “ММК-МЕТИЗ”, 2008. - 33с.

4. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод совмещенного прокатно-волочильного проволочного стана: дис. ... док. техн. наук: 05.09.03 / Радионов Андрей Александрович.- Магнитогорск, 2009. – 334с.

УДК 621.771.067

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

***Н.В. Швидченко, С.И. Лукьянов, Р.С. Пишинограев,
Д.В. Швидченко***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
shvinikolaj@yandex.ru*

Аннотация

Существующий способ управления электроприводом отводящего рольганга стана горячей прокатки обеспечивает требуемое натяжение в полосе за счёт рассогласования скоростей транспортируемой полосы и бочек роликов рольганга. Наличие рассогласования скоростей приводит к повышенному износу бочек роликов и более частой их замене, что сопряжено с большими экономическими затратами. Предложена методика расчета требуемого момента электропривода ролика отводящего рольганга с учетом технологических особенностей циклов прокатки горячих полос. Предложен способ управления электроприводом отводящего рольганга, обеспечивающий снижение интенсивности износа бочек роликов, а также функциональная схема системы управления электроприводом ролика отводящего рольганга, реализующая

предложенный способ управления.

Ключевые слова: электропривод отводящего рольганга, износ бочек роликов, расчет моментов нагрузки электропривода, система управления, функциональная схема.

THE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC COLLECTING ROLLER TABLE OF HOT ROLLING BROAD-STRIP MILL

*N.V. Shvidchenko, S.I. Lukyanov, R.S. Pishnograev,
D.V. Shvidchenko*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University
Russia, Magnitogorsk
shvinikolaj@yandex.ru*

Abstract

The current control method of electric collecting roller table of hot rolling broad-strip mill provides the required tension in the strip due to the difference between the strip speed and the roller speed. This leads to the increased wear of roll barrels and great replacement costs. The authors suggest the calculation method for the required torque electric collecting roller table with the technological features of the rolling cycles of hot strips. The article contains the control method for electric collecting roller table in order to reduce the wear of barrels rolls. The functional diagram for controlling the electric collecting roller table, which implements the proposed control method, is also developed.

Key words: electric collecting roller table, wear of roll barrels, calculating load torque of electric drive, control system, functional diagram.

Актуальность работы

На широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) производится до 30% от общего объема выпуска стального проката в России и снижение себестоимости производства горячих полос является актуальной задачей [1]. Одним из резервов снижения себестоимости листовой продукции является увеличение срока эксплуатации оборудования стана за счет совершенствования систем управления электроприводами основных агрегатов стана. Во многом производительность стана и себестоимость производства полосы зависит от эффективности работы участка смотки и, в частности отводящего рольганга (ОР). ОР предназначен для транспортирования полосы от последней прокатной

клетки стана до моталок. В процессе транспортирования по рольгангу полоса охлаждается водой до требуемой по технологии температуры смотки (рис. 1).

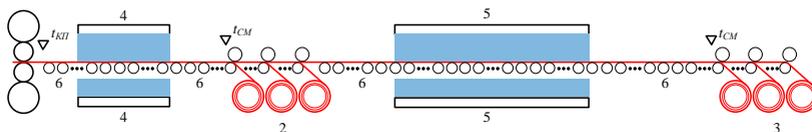


Рис. 1. Отводящий рольганг: 1 – нагревательные печи; 2 – приемный рольганг; 3 – вертикальный окалиноломатель; 4 – двухвалковая черновая клетка; 5 – универсальные четырехвалковые черновые клетки; 6 – промежуточный рольганг; 7 – летучие ножницы; 8 – чистовой роликовый окалиноломатель; 9 – четырехвалковые клетки чистовой непрерывной группы; 10 – отводящий рольганг; 11 – моталки

Для поддержания требуемого по технологии состояния роликового полотна ОР службами эксплуатации оборудования станов регулярно заменяется значительное количество роликов. Одной из причин замены роликов является чрезмерный абразивный износ их бочек, возникающий в результате трения на контактах с полосой. Количество роликов, заменяемых ежегодно по причине износа, достигает 100 штук, затраты на их замену превышают 10 млн. рублей в год. Снижение интенсивности износа бочек роликов позволит повысить срок их службы и снизить затраты на их замену [2, 3].

Цель и задачи работы

Целью работы является увеличение срока эксплуатации роликов ОР средствами автоматизированного электропривода.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- проведение анализа и коррекция известных технологических требований к электроприводу роликов ОР с позиции снижения интенсивности износа бочек роликов;
- разработка способа и системы автоматического управления электроприводом роликов ОР, обеспечивающих выполнение новых технологических требований;
- экспериментальная оценка эффективности предложенных технических решений.

Основные результаты работы

Электропривод роликов ОР выполнен индивидуальным безредукторным от электродвигателей постоянного или переменного тока. По технологическим условиям ОР разделен на секции по 58-60 роликов в

каждой. Электропривод каждой секции ОР выполнен по групповой схеме силового питания всех электродвигателей от одного преобразователя. Система управления электроприводом секции ОР построена по принципу подчиненного регулирования параметров с внешним контуром регулирования ЭДС (рис. 2).

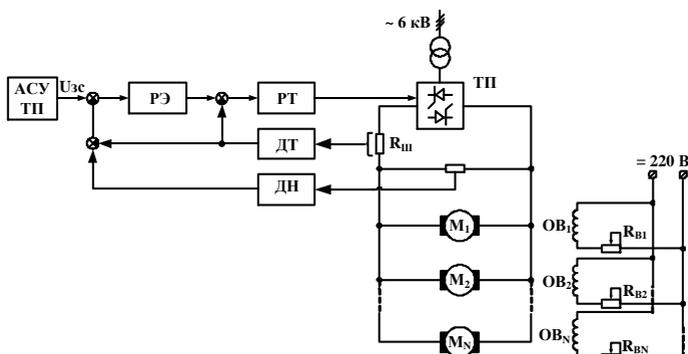


Рис. 2. Система управления электроприводом секции ОР: ТП – тиристорный преобразователь; РТ – регулятор тока; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; РЭ – регулятор ЭДС; $M_1 - M_N$ – электродвигатели роликов ОР

Задание на скорость электродвигателей роликов секции формируется в АСУ ТП стана в соответствии с предъявляемыми технологическими требованиями (рис. 3).

В результате анализа технологических требований и существующих систем управления электроприводом ОР установлено:

1. В режимах транспортирования головной и хвостовой частей полосы (режим I и режим III, рис. 3) обеспечивается выполнение лишь общих технологических требований по созданию натяжения в полосе за счет задания рассогласования скоростей образующих бочек роликов и скорости полосы. При этом обоснованные рекомендации по величине рассогласования скоростей отсутствуют, а значения рассогласования подбираются экспериментальным путем.

2. В режиме сопровождения полосы (режим II) задается равенство скорости образующих бочек роликов и полосы с целью исключения нежелательного в данном режиме трения на контактах ролики-полоса. При этом конкретные исследования по достижению равенства скоростей образующих бочек роликов и полосы на практике отсутствуют.

3. Отсутствуют конкретные технологические требования к электроприводу роликов ОР с позиции снижения интенсивности износа бочек роликов.

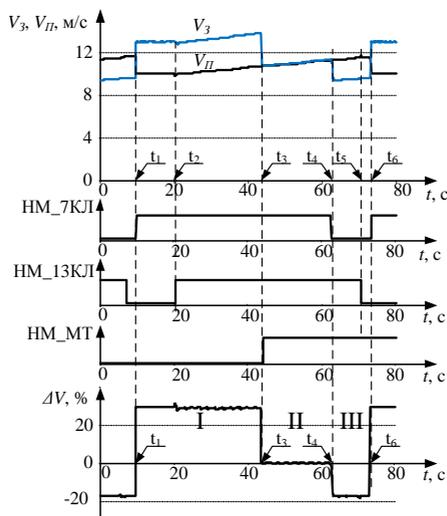


Рис. 3. Формирование скоростного режима роликовой секции ОР: V_3 – задание на скорость образующих бочек роликов секции отводящего рольганга; V_{II} – скорость полосы; HM_{7KJI} – сигнал наличия металла в 7-ой клетке (1-ая чистовая клетка); HM_{13KJI} – сигнал наличия металла в 13-ой клетке (последняя чистовая клетка); HM_{MT} – сигнал наличия металла в моталке; ΔV – рассогласование между заданной скоростью образующих бочек роликов и скоростью полосы

С целью определения причин интенсивного износа бочек ОР были проведены экспериментальные исследования на типовом ШСГП 2000 ОАО «ММК» по определению величин рассогласования скоростей движения полосы и образующих бочек роликов ΔV_i в различных режимах работы ОР. В результате исследований установлено:

1. Значительное рассогласование скоростей движения полосы и образующих бочек роликов ΔV_i является одной из причин интенсивного износа бочек роликов ОР.

2. Для всех исследуемых случаев транспортирования головной части полосы выполняется основное требование по созданию натяжения в полосе за счет превышения скорости роликов рольганга относительно скорости полосы. При этом в большинстве случаев рассогласование скоростей является избыточным.

3. В режиме сопровождения технологическое требование по согласованию фактической скорости образующих бочек роликов и полосы не выполняется.

В связи с изложенным задачу увеличения срока эксплуатации ро-

ликов ОР предложено выполнить путем уменьшения рассогласования скоростей образующих бочек роликов и полосы в основных режимах работы ОР при безусловном выполнении требований по созданию растягивающих усилий в головной и хвостовой частях полосы.

Данное решение потребовало разработки методики расчета требуемых по технологии значений моментов электродвигателей $M_{двi}$ роликов ОР и соответствующих заданий на скорости образующих бочек роликов ОР в основных режимах его работы. Согласно известной методике общий момент электродвигателя ролика ОР определяется по выражению [4]:

$$\begin{aligned} M_{двi} &= M_{ХХi} + M_{динi} + M_{нагрi} = \\ &= M_{ХХi} + M_{динi} + M_{Ci} + M_{трi}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $M_{ХХi}$ – момент холостого хода i -го электродвигателя; $M_{динi}$ – динамический момент i -го электродвигателя; $M_{нагрi}$ – полезный момент нагрузки i -го электродвигателя, необходимый для перемещения полосы в одном межроликовом пространстве ОР; M_{Ci} – момент сопротивления, обусловленный наличием сил трения в подшипниках ролика под действием веса полосы в одном межроликовом пространстве; $M_{трi}$ – момент транспортирования полосы, обусловленный наличием сил трения на контакте ролик-полоса в одном межроликовом пространстве.

Анализ трех составляющих момента электродвигателя ролика ОР в выражении (1) показал, что они соизмеримы и пренебрегать их значениями при расчете общего момента нельзя. Проведены экспериментальные и теоретические исследования данных составляющих и их изменения в зависимости от технологических условий прокатки.

В результате анализа распределений токов холостого хода электродвигателей роликов ОР стана 2000 ОАО «ММК» установлено: распределение токов холостого хода неравномерно вдоль линии ОР и существенно зависит от скорости образующих бочек роликов и фактора времени эксплуатации роликов. Предложено создавать массив моментов холостого хода электродвигателей роликов ОР вначале каждого межремонтного периода при прокрутке роликов рольганга на холостом ходу на различной скорости образующих бочек роликов в пределах рабочего диапазона скоростей. При этом доказано, что в течение одного межремонтного периода ток холостого хода электродвигателя ролика ОР изменяется на величину, не превышающую 5%, при условии исправного состояния подшипниковых узлов [5].

На основании анализа временных диаграмм изменения задания на скорость образующих бочек роликов установлено: за время цикла про-

катки электропривод роликов ОР, в основном, работает в динамическом режиме; временные диаграммы изменения задания на скорость не являются стационарными для различных сортментов полос; в явном виде из общего тока электродвигателя выделить его динамическую составляющую в числовом выражении невозможно. Поэтому принято решение: расчет динамической составляющей момента электродвигателя выполнять с помощью динамической модели электропривода роликов ОР. С этой целью для технологических параметров электропривода роликов ОР стана 2000 ОАО «ММК» составлена динамическая модель. Доказана адекватность расчетов на данной модели экспериментальным данным [6].

Расчет составляющей момента нагрузки электродвигателя ОР выполнен по известной методике [4]:

$$M_{\text{НАГР}i} = G_M \cdot K_{\text{ТР}} \cdot R_{\text{Ц}} + G_M \cdot \mu \cdot R_P, \quad (2)$$

где G_M – вес полосы в одном межроликовом пространстве; $K_{\text{ТР}}$ – коэффициент трения в подшипниках ролика; μ – коэффициент трения скольжения ролика по полосе; $R_{\text{Ц}}$ – радиус цапфы ролика; R_P – радиус ролика.

Выполнено сравнение рассчитанных по выражению (2) значений моментов нагрузки $M_{\text{НАГР}i}$ с величинами моментов нагрузки, рассчитанными по выражению:

$$M'_{\text{НАГР}i} = (c\Phi) \cdot (I_{\text{ДВ}i} - I_{\text{ХХ}i} - I_{\text{ДИН}i}), \quad (3)$$

где $I_{\text{ДВ}i}$, $I_{\text{ХХ}i}$, $I_{\text{ДИН}i}$ – экспериментально полученные значения токов электродвигателей роликов ОР в режиме транспортирования, в режиме холостого хода и динамическая составляющая тока электродвигателя, рассчитанная на динамической модели [6]. Установлено, что ошибка расчета может достигать 190% и известная методика расчета $M_{\text{НАГР}i}$ по выражению (2) требует уточнения.

В результате экспериментальных исследований на стане 2000 ОАО «ММК» было установлено, что на нагрузку электродвигателей роликов ОР существенное влияние оказывает фактор включения/выключения ламинарного охлаждения полосы. Разработана методика определения составляющей момента нагрузки электропривода ролика ОР, обусловленной действием ламинарного охлаждения полосы:

1. Выполняется последовательный разгон роликов секций ОР до установившихся значений скорости V_{Pi} образующих бочек роликов в пределах рабочего диапазона скоростей.
2. На установившейся скорости измеряются значения токов холо-

стого хода электродвигателей роликов I_{XXi} .

3. Выполняется открытие клапанов нижних секций ламинарного охлаждения.

4. Измеряются значения токов якоря электроприводов роликов ОР $I_{ДВи}$.

5. По выражению $M_{Лi} = (c\Phi) \cdot (I_{ДВи} - I_{XXi})$ рассчитываются составляющие моментов нагрузки электроприводов роликов, обусловленные действием воды, попадающей на бочку ролика.

6. Для полученных значений $M_{Лi}$ выполняется расчет средних значений моментов $M_{Л-СР}$ на каждом уровне скорости образующих бочек роликов ОР.

7. По полученным значениям $M_{Л-СР}$ рассчитывается регрессионная зависимость.

Для технологических параметров стана 2000 горячей прокатки по предложенной методике в диапазоне скоростей прокатки 2...20 м/с получено регрессионное уравнение:

$$M_{Л}(V_p) = 3,84 \cdot 10^{-2} \cdot V_p^2 + 0,434 \cdot V_p. \quad (4)$$

Доказана адекватность расчетов по выражению (4) экспериментальным данным.

С учетом выражений (2) и (3) выполнен расчет требуемых по технологии значений моментов нагрузки электродвигателей роликов ОР. Доказана адекватность экспериментальным данным результатов расчета требуемого по технологии момента нагрузки, рассчитанного с учетом ламинарного охлаждения.

Предложена методика расчета общего момента электродвигателя ролика ОР:

1. Предварительно создается массив моментов холостого хода M_{XXi} для каждого электропривода ролика ОР.

2. Для текущего сортамента проката выполняется расчет динамического момента $M_{Динi}$ электропривода ролика ОР на разработанной динамической модели по изменению задания на скорость транспортирования V_3 .

3. Для электроприводов роликов, находящихся в зоне действия ламинарного охлаждения, выполняется расчет значений моментов $M_{Лi}$ по выражению (3).

4. Выполняется расчет величины момента сопротивления электропривода ролика ОР по выражению:

$$M_{Ci} = G_M \cdot K_{TP} \cdot R_{Ц}.$$

5. Выполняется расчет момента транспортирования $M_{ТРi}$ электропривода ролика ОР по выражению:

$$M_{ТРi_МАХ} = G_M \cdot \mu_{СЦ_МАХ} \cdot R_P,$$

где $\mu_{СЦ_МАХ} = 0,3$ – максимальное значение коэффициента трения (коэффициент сцепления) между роликом и полосой [4].

6. Выполняется расчет общего момента электродвигателя ролика отводящего рольганга $M_{ДВи}$ в зависимости от текущего режима транспортирования полосы:

1) в режиме транспортирования головной части полосы:

$$M_{ДВи} = M_{ХХi} + M_{Сi} + M_{ТРi} + M_{Ли} + M_{ДИНи};$$

2) в режиме сопровождения полосы:

$$M_{ДВи} = M_{ХХi} + M_{Сi} + M_{Ли} + M_{ДИНи};$$

3) в режиме транспортирования хвостовой части полосы:

$$M_{ДВи} = M_{ХХi} + M_{Сi} - M_{ТРi} + M_{Ли} + M_{ДИНи}.$$

Проведенные исследования позволили уточнить известные технологические требования к электроприводу роликов ОР с позиции снижения износа роликов:

1. Электропривод роликов ОР в рабочих режимах транспортирования полосы должен обеспечить реализацию известных технологических требований в пределах диапазона изменения сил сцепления на контакте ролик-полоса.

1) при транспортировании головной части полосы тянущее усилие, формируемое роликом, не должно превышать предельной величины силы сцепления $F_{СЦ_МАХ} = M_{ТР_МАХ}/R_P$;

2) в режиме сопровождения полосы при ее смотке на моталку усилие транспортирования должно быть равно нулю;

3) в режиме транспортирования хвостовой части полосы тормозящее усилие не должно быть больше по абсолютной величине предельно допустимой величины силы сцепления $F_{СЦ_МАХ} = |-M_{ТР_МАХ}/R_P|$.

2. В системе управления электроприводом роликов ОР должна быть предусмотрена возможность расчета полных моментов электродвигателей по разработанной методике и напряжения задания на скорость их вращения.

В соответствии с разработанными технологическими требованиями и с учетом наметившейся тенденции перехода от групповой схемы питания электродвигателей роликов ОР к индивидуальной

предложена функциональная схема системы управления электроприводом ролика ОР.

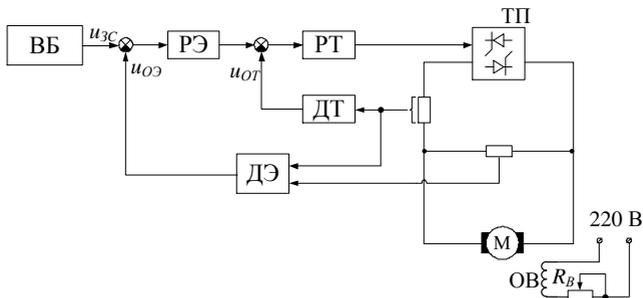


Рис. 4. Функциональная схема системы управления электроприводом ОР

Отличительной особенностью схемы является наличие в ее структуре вычислительного блока ВБ (рис. 4), выполняющего расчет требуемого по технологии момента электродвигателя ролика ОР и соответствующего задания на скорость вращения якоря электродвигателя (рис. 5).

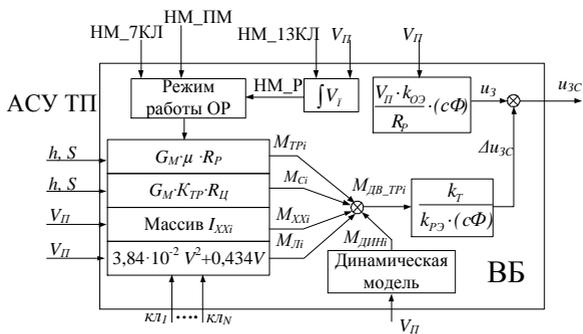


Рис. 5. Структурная схема блока ВБ

С целью апробации результатов исследований для технологических параметров прокатки листа на стане 2000 ОАО «ММК» разработан алгоритм коррекции задания на скорость второй секции ОР в режиме транспортирования головной части полос. Алгоритм внедрен в действующую систему управления, что подтверждается соответствующим актом.

По результатам обработки более 30 временных диаграмм установлено, что в результате внедрения алгоритма коррекции за три месяца эксплуатации для 13% прокатанных на стане полос рассогласова-

ние скоростей между роликами и полосой в режиме транспортирования головной части полосы было снижено более чем в 2 раза. Ожидаемый эффект от внедрения алгоритма коррекции составляет 360 тыс. руб. в год.

Список литературы

1. Катунин В.В., Антипин В.Г. Черная металлургия России в начале XXI века // Бюллетень «Черная металлургия». – 2013. - №3 - С. 10-15.

2. Поляков Б.А., Варшавский Е.А., Каретный З.П. и др. Опыт повышения эффективности работы отводящего рольганга НШС // Сталь. – 1987.– №9. – С.64 - 67.

3. Давильбеков Н.Х., Клеменьтьев В.А., Курпанов Г.Г. и др. Увеличение стойкости роликов отводящего рольганга листопрокатных станов // Сталь. – 2003, № 10. – С. 44-47.

4. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребенник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов: Учебник для вузов. В 3 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – 679 с.

5. Пишнограев Р.С. Исследование токов холостого хода электродвигателей роликов отводящего рольганга стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» // «Электротехнические комплексы и системы» – Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2005 – Вып. 10. – С. 167-172.

6. Швидченко Н.В., Лукьянов С.И., Пишнограев Р.С. и др. Разработка математической модели электропривода отводящего рольганга широкополосного стана горячей прокатки // Математическое и программное обеспечение систем в промышленности и социальной сфере: Междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: МГТУ, 2011. – Ч. II. С. 71-77.