

УДК 621.771.01, 62-83-52, 669:658.011.56

Кожевников А. В.  
Сорокин Г. А.  
Кожевникова И. А.

## **КОРРЕКТИРОВКА НАСТРОЙКИ АСУ ТП ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА «1700» ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ» В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОКАТА И УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

В современных условиях эксплуатации непрерывных широкополосных станов горячей прокатки, когда может резко меняться профильный сортамент и необходима перенастройка стана, серьезное внимание уделяется корректности и надежности работы автоматизированных систем управления технологическим процессом прокатки. Авторами выявлены области, которые необходимо контролировать при работе систем АСУ ТП в вышеуказанных условиях:

- работа систем автоматического поддержания межвалкового зазора и его адаптивного регулирования в условиях температурного клина;
- учет системами АСУ температурного расширения рабочих валков в процессе прокатки;
- обеспечение адекватности работы петледержателей на сортаменте различной толщины с целью исключения вытяжек металла при прокатке сортамента толщиной менее 1,5 мм.

Данным проблемам посвящено немало исследований [1–3], однако в каждом конкретном случае, необходимо учитывать специфику технологического процесса и алгоритмическое обеспечение настройки АСУ ТП прокатных станов.

Цель работы – обеспечение корректности работы АСУ ТП непрерывной группы клетей широкополосного стана горячей прокатки за счет программной настройки системы автоматического поддержания межвалкового зазора, учета температурного расширения валков и стабилизации работы петледержателей.

Описание существующей системы управления на непрерывной группе клетей 1700 комбинированного стана «2800/1700». Регулирование толщины и ширины полосы производится с помощью системы регулирования межклетевого натяжения полосы и системы регулирования межвалкового зазора.

Система регулирования натяжения на непрерывной группе клетей 1700 реализована с помощью электромеханических петледержателей. При прокатке поддерживается заданное постоянное натяжение полосы в межклетевых промежутках.

Система автоматического регулирования зазора реализована на 4–6 клетях. На каждой клетке – система поддержания постоянного зазора (AGC). После непрерывной группы 1700 установлен толщиномер. Монитор толщины по измеренному отклонению толщины рассчитывает коррекцию на заданный межвалковый зазор для систем AGC клетей 4–6.

При прокатке без промежуточно-перемоточного устройства CoilBox частичная компенсация температурного клина производится с помощью системы поджатия заднего конца полосы (ПЗК) на клетях 1–3.

Недостатки существующей системы управления. В существующей системе регулирования толщины и ширины наблюдался ряд недостатков:

- система поддержания постоянного межвалкового зазора (AGC) программно реализованная на клетях № 4, 5, 6 фактически не функционировала. Коррекция от AGC на гидронажимные устройства на полосе не превышает  $\pm 0,01$  мм. При прокатке хвоста полосы уровень поджатия достигает 0,02 мм в попытке обжать участок полосы, прокатываемый без натяжения от петледержателей;
- работа AGC не учитывала режим работы главных приводов: прокатка в ограничении по току и / или по максимальной скорости. Это может привести к аварийной ситуации;
- работа «монитора толщины» приводила к резкому воздействию на гидронажимные устройства, и, следовательно, к снижению устойчивости прокатки, к утягиванию полосы

по ширине. Поэтому «монитор толщины» включался крайне редко: только при прокатке толстых профилей для вывода толщины полосы из области больших отрицательных отклонений;

- система поджатия заднего конца (ПЗК) на клетях 1–3 воздействует только на отдельном участке хвоста, что не обеспечивает качественной компенсации температурного клина на полосе;

- нет системы автоматического регулирования межвалкового зазора на клетях № 1–3;

- превышено заданное натяжение при подъеме петледержателей на голове полосы;

- неустойчива работа петледержателей при прокатке головы полосы;

- не учитывается влияние на толщину и ширину полосы: нагрева валков, заданного уровня натяжения полосы.

В результате описанных выше особенностей системы управления на непрерывной группе клетей 1700 качество прокатываемых полос главным образом определяется:

- качеством подката для группы клетей 1700 (равномерность прогрева и геометрические размеры);

- действиями оператора по предварительной настройке стана;

- оперативным ручным вмешательством оператора при прокатке полосы для поддержания заданной толщины и ширины.

Свойства подката для непрерывной группы клетей 1700.

Подкат для группы клетей 1700 имеет характерную характеристику нагрева и форму продольной разнотолщинности, которая вызвана в основном неравномерным нагревом сляба.

При нагреве в методических печах выделяются непрогретые области от рейтеров глиссажных труб. Эти метки отчетливо прослеживаются в графиках усилия прокатки на группе клетей 2800 на рис. 1 (высокое усилие на холодных участках).

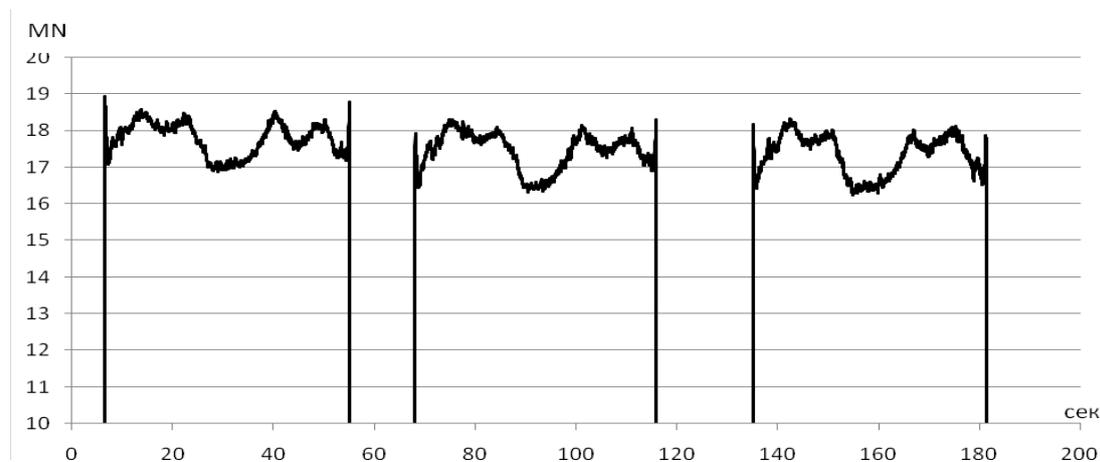


Рис. 1. Усилие прокатки на клети № 1

Перед группой клетей 1700 установлено приемно-перемоточное устройство CoilBox.

На свойства подката для клетей 1700 оказывают значительное влияние режимы работы CoilBox: «Байпас» или «Смотка».

При работе в режиме «Байпас» – приемно-перемоточное устройство CoilBox представляет собой дополнительный подводящий рольганг.

При прокатке в режиме «Байпас» значительно возрастает продольная разнотолщинность полосы. На неравномерность нагрева подката для клетей группы 1700, вызванную глиссажными метками, накладывается влияние температурного клина (снижение температуры заднего конца полосы при прокатке).

Возрастают требования к оператору по настройке стана и оперативному ручному вмешательству в регулирование толщины. При ошибках оператора возможен выход за пределы допуска по толщине и, следовательно, получение беззаказной продукции.

По выше описанным причинам режим «Байпас» редко используется.

Одна из основных причин прокатки в режиме «Байпас» – неисправность оборудования CoilBox.

При работе в режиме «Смотки» приемно-перемоточное устройство CoilBox сматывает подкат в рулон и при последующей размотке выдает его для непрерывной группы 1700.

В результате смотки в рулон характеристика нагрева подката существенно изменяется, а именно:

- размотка полосы из рулона начинается сразу же после окончания смотки. В результате температура переднего участка полосы и температура на первой глассажной метке практически не отличаются от температуры при работе в режиме Байпас;

- в смотанном рулоне снижена теплоотдача и происходит выравнивание температур между слоями. В результате на большинстве прокатываемых профилей – температура «хвоста» полосы и температура глассажных меток на «хвосте» полосы выше, чем на «голове». При прокатке тонких профилей (менее 2 мм) – температура хвоста и головы полосы находятся на одном уровне (см. рис. 2).

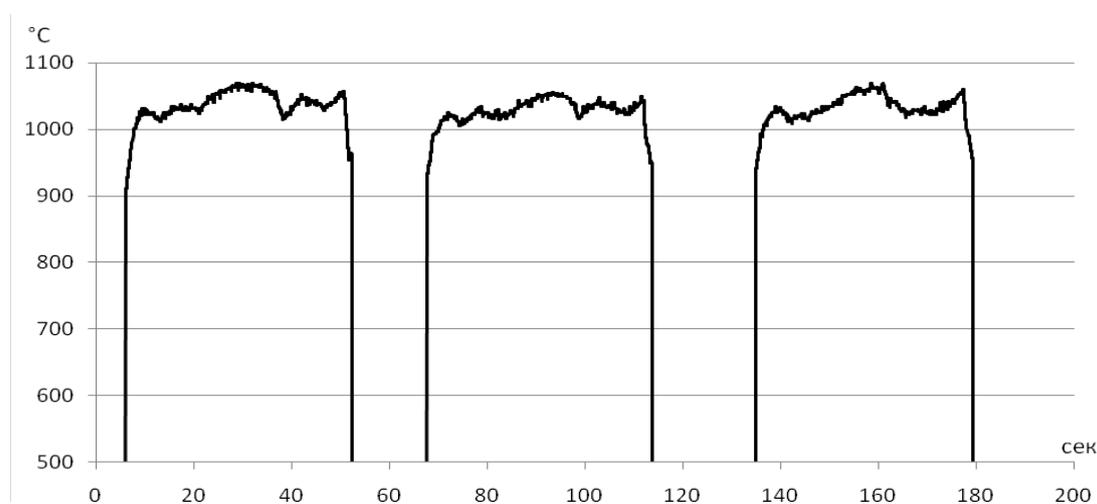


Рис. 2. Температура после CoilBox

При работе в режиме «Смотки» снижается продольная разнотолщинность полосы, сглаживаются глассажные метки, убирается температурный клин при прокатке, снижается нагрузка на оператора по оперативному вмешательству в работу стана. Большая часть металла (примерно 95 %) прокатывается в режиме «Смотки» [4].

Характеристики упругого растяжения клетей непрерывной группы 1700. Для клетей, которые участвуют в работе системы автоматического регулирования толщины, необходимо знать актуальную характеристику упругого растяжения – зависимость упругого растяжения клетки от усилия прокатки.

Снятие характеристик упругого растяжения клетей проведено по данным системы диагностики комплекса ИВА при калибровке клетки.

Валки при калибровке упираются друг в друга (находятся «в забое»). Движение нажимных устройств при калибровке равно растяжению клетки.

Усилие прокатки измеряется на клетях № 1, 2, 3 с помощью месдоз.

Усилие прокатки на клетях № 4, 5, 6 рассчитывается по давлению в поршневой и штоковой полостях цилиндров гидравлических нажимных устройств.

Кривые упругой деформации клетей можно аппроксимировать выражением:

$$X = aF^2 + bF + c, \text{ где } X \text{ – растяжение клетки, мм, } F \text{ – усилие прокатки, MN.}$$

$$\text{Клеть 1: } X = -0.0045F^2 + 0.35475F - 6.05625.$$

$$\text{Клеть 2: } X = -0.0032F^2 + 0.31065F - 5.76625.$$

Клеть 3:  $X = -0.00585F^2 + 0.37355F - 5.6825.$

Клеть 4:  $X = -0.01077F^2 + 0.413367F - 3.91567.$

Клеть 5:  $X = -0.00793F^2 + 0.3588F - 3.80687.$

Клеть 6:  $X = -0.0118F^2 + 0.40153F - 3.41587.$

Клетки 1, 2, 3 – аппроксимация справедлива для усилий в пределах 0–28 MN, коэффициент  $c$  – выбран из условия: при 25 MN растяжение клетки равно нулю.

Клетки 4, 5 – аппроксимация справедлива для усилий в пределах 0–19 MN, коэффициент  $c$  – выбран из условия: при 17 MN растяжение клетки равно нулю.

Клеть 6 – аппроксимация справедлива для усилий в пределах 0–17 MN, коэффициент  $c$  – выбран из условия: при 17 MN растяжение клетки равно нулю.

Разработка математического аппарата для расчета системы косвенного регулирования толщины полосы по усилию прокатки. Приведенные ниже зависимости связывают между собой изменение толщины подката для клетки, изменение толщины полосы на выходе из клетки, ход нажимных устройств и свойства прокатываемой в данный момент полосы.

Расчет модуля полосы. Модуль полосы  $C_n = \frac{dF}{dH}$  – характеризует свойства полосы.

Зависимость усилия прокатки от свойств полосы имеет вид:

$$F = K_0 \sqrt{H},$$

где  $F$  – усилие прокатки, MN;  $H$  – обжатие на клетки, мм;  $K_0$  – коэффициент, учитывающий свойства полосы;  $K_0$  – рассчитывается при начале прокатки полосы и на протяжении полосы считается неизменным.

$$K_0 = \frac{F_0}{\sqrt{H}},$$

где  $F_0$  – усилие прокатки, измеренное при начале прокатки полосы, MN.

$$C_n = \frac{K_0}{2\sqrt{H}}.$$

Пренебрегая изменением обжатия на полосе:  $C_n = \frac{F_0}{2H}$ .

Расчет модуля клетки. Модуль клетки  $C_k = \frac{dF}{dX}$  характеризует свойства клетки:

$$C_k = \frac{1}{2aF + b}.$$

Пренебрегая изменением усилия на полосе:  $C_k = \frac{1}{2aF + b}$  коэффициенты  $a$  и  $b$  берутся

из эмпирических уравнений для каждой клетки, приведенных выше.

Расчет влияния хода нажимных винтов на изменение раствора клетки (на толщину полосы на выходе из клетки). После перемещения нажимных устройств на  $dS$  система переходит в новое состояние равновесия, при котором обжатие меняется на  $dH$ , растяжение клетки меняется на  $dX$ , усилие прокатки меняется на  $dF$ , раствор клетки меняется на  $dh$ .

$$dF = dHC_n, \quad dh = -dH, \quad dF = -dhC_n, \quad dh = dS + dX = dS + \frac{dF}{C_k},$$

$$dh = dS - \frac{dhC_n}{C_k}, \quad dS = dh \left( 1 + \frac{C_n}{C_k} \right).$$

Расчет влияния изменения толщины подката на изменение раствора клетки (на толщину полосы на выходе из клетки). После изменения толщины подката на  $dH_n$  система переходит в новое состояние равновесия, при котором обжатие меняется на  $dH$ , растяжение клетки меняется на  $dX$ , усилие прокатки меняется на  $dF$ , раствор клетки меняется на  $dh$ .

$$dF = dHC_n = (dH_n - dh)C_n, \quad dh = dX = \frac{dF}{C_k}, \quad dF = C_k dh, \quad (dH_n - dh)C_n = C_k dh,$$

$$dH_n C_n = C_k dh + C_n dh, \quad dH_n = dh \left( 1 + \frac{C_k}{C_n} \right).$$

Расчет влияния хода нажимных винтов и изменения толщины подката на изменение раствора клетки (на толщину полосы на выходе из клетки)  $dh = \frac{dH_n C_n}{C_n + C_k} + \frac{dS C_k}{C_n + C_k}$ .

Разработка системы автоматической регулировки зазора на клетях № 4, 5, 6. На клетях № 4, 5, 6 непрерывной группы 1700 установлены механические (МНУ) и гидравлические (ГНУ) нажимные устройства.

МНУ с электроприводом постоянного тока используются для изменения межвалкового зазора при сервисных, ремонтных работах, а также при аварийном состоянии оборудования гидравлических нажимных. Это операции – перевалки, ремонта оборудования, прокатки с выведенными из работы ГНУ.

Для изменения межвалкового зазора в процессе прокатки используются ГНУ.

Измерение усилия прокатки производится расчетным путем на основе показаний датчиков давления в поршневой и штоковой полости гидроцилиндров.

Нулевой уровень усилия измеряется перед прокаткой в процессе автоматической калибровки зазора валков.

При выполнении работы произведен анализ программы существующей системы автоматической регулировки зазора (AGC) на клетях № 4, 5, 6.

В программе реализована система регулирования на основе косвенного измерения раствора валков по усилию прокатки, контура ПИ-регулирования раствора валков, основного канала задания на зазор (рассчитывается при начале прокатки и после каждого ручного вмешательства в работу нажимных данной клетки), дополнительного канала задания на зазор от системы регулирования толщины полосы («монитор толщины»).

При анализе программы выявлен ряд недочетов в непосредственной реализации алгоритма:

- параметры теплового расширения валков не настроены и неверно используются в программе (должно приводить к завышению обжатия от головы к хвосту полосы);
- реакция системы управления на ручное вмешательство оператора недостаточно проработана (после перестройки по *TAKE OVER* при первом нажатии кнопок ручного управления ГНУ на полосе коррекция от AGC удваивается);
- неправильно рассчитывается (завышен) модуль жесткости полосы (приводит к слишком резкому воздействию от AGC и «монитора толщины»);
- система AGC не прекращает воздействие при прокатке заднего края полосы (должно приводить к резкому обжатию заднего конца полосы, в результате чего возможны обрывы полосы и получение брака).

В результате выполнения работы данные ошибки были устранены.

После устранения ошибок было произведено опробование работы AGC клетей 4, 5, 6.

Для минимизации возможных негативных влияний при опробовании были снижены:

- ограничения на коррекцию от AGC до уровня  $\pm 0,25$  мм (исходно 1,3 мм);
- скорость движения ГНУ (мм/сек) до уровня 0,1 мм/сек (исходно 1,5 мм/сек).

Результаты опробования:

- при работе без AGC полосы практически всегда в допуске по толщине, прокатка устойчивая, разнотолщинность высокая;
- при работе AGC устойчивость прокатки снижается;
- влияние AGC на толщину нестабильное: способствует снижению разнотолщинности, но иногда приводит к превышению допуска на хвосте полосы;
- при повышении скорости движения ГНУ (до 0,2 мм/сек) значительно снижается устойчивость прокатки. При работе в комплексе с AGC на клетях 1, 2, 3 «подрыв» нажимных

на середине полосы приводит к резким рывкам полосы, требующим ручного вмешательства оператора;

- даже при повышенной скорости движения ГНУ не успевают обжимать глассажную метку на хвосте, что приводит к верхней границе допуска по толщине на хвосте полосы.

Основные проблемы при включении AGC 4, 5, 6 – превышение допуска по толщине на хвосте полосы, снижение устойчивости прокатки.

При опробовании выявлена необходимость внесения изменений в существующий алгоритм работы AGC и необходимость индивидуальной настройки параметров системы AGC для каждой из клетей. Результат настройки – набор параметров системы регулирования, который обеспечивает достаточные возможности по выравниванию полосы, но в тоже время не приводит к критическому снижению устойчивости прокатки.

В результате консультаций с технологическим персоналом и анализа данных системы диагностики выполнен ряд изменений в работе системы AGC:

- реализованы дополнительные блокировки по «замораживанию» воздействия AGC при работе вблизи ограничения по току и скорости главных приводов;

- помехи от работы станций радиосвязи в цехе приводят к сбоям в расчете усилия прокатки на клетях № 4, 5, 6. При работе AGC данные сбои приведут к получению брака или беззаказной продукции. Разработан программный алгоритм определения сбоев и блокировки работы AGC в случае сбоя;

- в работе AGC необходимо учитывать режим «Автоматический перекоп ГНУ на хвосте».

При активации данного режима на хвосте полосы – воздействие AGC замораживается;

- повышен приоритет ручного вмешательства оператора в работу нажимных устройств. Ручное вмешательство в работу нажимных устройств одной из клетей № 3, 4, 5, 6 приводит к «замораживанию» воздействия AGC как на данной клетке, так и на всех последующих по ходу прокатки. Далее рассчитывается новый заданный зазор, и работа AGC возобновляется. Данный алгоритм гарантирует, что воздействие оператора в работу нажимных устройств окажет воздействие на толщину полосы на выходе из стана и не будет нивелировано работой AGC последующих клетей;

- изменены пределы коррекции от AGC. Введены дополнительные разовые ограничения, которые действуют между ручными вмешательствами оператора. Суммарное ограничение коррекции на полосе оставлено на уровне 1,3 мм. Ограничения зависят от номера клетки, направления движения ГНУ, ширины полосы, режима работы CoilBox;

- изменена скорость движения ГНУ (мм/сек) при отработке коррекции от AGC. Скорость зависит от номера клетки, направления движения ГНУ;

- индивидуально для каждой клетки настроена «мертвая зона» для компенсации эксцентриситета валков;

- введена дополнительная отрицательная коррекция на начальное задание на зазор. Т. к. начальное задание на зазор измеряется на начале первой глассажной метки и, следовательно, является завышенным;

- реализован «мягкий» режим работы AGC. Задание на зазор корректируется с учетом среднего значения текущего зазора (за вычетом влияния на зазор от ПИ-регулятора).

Данный режим имеет ряд преимуществ перед существующим алгоритмом работы AGC:

а) заданием является средний уровень зазора на полосе, а не в значительной степени случайное значение, измеренное на голове полосы;

б) коррекция от AGC на полосе менее резкая и не выходит за ограничения. Выравнивание разнотолщинности производится на всей длине полосы;

в) воздействие AGC только сглаживает отклонения толщины от среднего тренда заданного оператором при настройке стана. Результат работы AGC становится более предсказуемым для оператора. При срабатывании блокировок и «замораживании» коррекции от AGC толщина полосы остается в пределах допуска.

Корректировка работы системы «Монитор толщины». «Монитор толщины» – это система автоматической регулировки толщины полосы, работающая на основе данных

толщиномера, установленного после стана 1700. «Монитор толщины» воздействует на клетки с гидравлическими нажимными устройствами и активным режимом AGC.

Исходными данными для работы системы являются: заданная толщина полосы на выходе группы клеток 1700, измеренное отклонение толщины полосы на выходе стана 1700, настройка скоростных режимов клеток, модуль клетки и модуль полосы, рассчитанные в программе активных AGC.

Результат работы «монитора толщины» – это рассчитанная коррекция обжатия полосы, которая передается в клетки с активным режимом AGC.

Работа «монитора толщины» не удовлетворяет технологический персонал по следующим причинам:

- работа системы приводит к резкому воздействию на гидронажимные устройства и, следовательно, к снижению устойчивости прокатки,
  - на полосе требуется оперативное ручное вмешательство оператора в скоростные режимы клеток,
  - существующая работа системы приводит к утягиванию полосы по ширине,
  - нажимные устройства клеток иногда движутся разнонаправленно, что приводит одновременно к утяжке полосы в одном межклетевом промежутке и образованию петли в другом
- До начала выполнения данной работы «Монитор толщины» технологическим персоналом стана «2800/1700» использовался крайне редко.

Единственный используемый рабочий режим «монитора толщины» – выбор AGC только для клетки № 6 и ручное включение/отключение оператором «монитора толщины» на участке горячей середины полосы.

Результат работы данного режима предсказуем для оператора – производится «подрыв» клетки № 6 на рассчитанное значение и, следовательно, частично компенсируется «провал» по толщине на середине полосы. При «подрыве» клетки № 6 требуется ручное вмешательство оператора в скоростные режимы клеток № 5, 4, 3, 2, 1.

На данной стадии выполнения работы «провал» по толщине на середине полосы компенсируется введенной в работу системой AGC на клетях № 1, 2, 3 и, следовательно, «монитор толщины» технологическим персоналом не используется.

При выполнении работы произведен анализ программы «монитор толщины», определены основные точки регулировки.

При анализе программы выявлены незначительные недочеты в непосредственной реализации алгоритма: некорректно учитывается влияние хода нажимных устройств клеток № 4 и № 5 на прогнозируемую толщину полосы после клетки № 6 (запаздывает по времени). Данное запаздывание мало и не оказывает критичного воздействия на расчет коррекции монитора толщины. В результате выполнения работы – данная ошибка была устранена.

Ранее при настройке системы AGC клеток № 4, 5, 6 были определены параметры работы гидравлических нажимных устройств, которые обеспечивают достаточные возможности по выравниванию полосы, но в тоже время не приводят к критическому снижению устойчивости прокатки.

При выполнении работы данные параметры применены в программе «монитора толщины»: выставлена максимальная скорость движения нажимных устройств, снижена величина максимального хода нажимных устройств.

Разнонаправленность движения нажимных устройств клеток № 4, 5, 6 при работе «монитора толщины» вызывается работой AGC одновременно в 2 режимах: коррекция позиции по показаниям толщиномера и коррекция позиции по усилию прокатки.

Разработана и введена в работу система автоматического переключения режимов AGC клеток № 4, 5, 6.

При включении «монитора толщины»:

- в системе AGC отключается режим поддержания постоянного зазора на основе измерения усилия прокатки;

- межвалковый зазор корректируется от «монитора толщины» на основе показаний толщиномера на выходе непрерывной группы клетей 1700.

При выключении «монитора толщины» производится расчет нового заданного раствора валков и включается режим поддержания заданного зазора на основе измерения усилия прокатки.

Внесенные изменения были успешно промышленно опробованы в тестовом режиме: рассчитанная коррекция от «монитора толщины» регистрировалась в системе диагностики IBA без влияния на работу нажимных устройств.

Произведено опробование работы «монитора толщины» на полосе.

В результате консультаций с технологическим персоналом и анализа данных системы диагностики выполнен ряд изменений в работе «монитора толщины»:

- усилено воздействие клетей № 4 и № 5 в общей коррекции толщины: введены дополнительные коэффициенты усиления, снижена постоянная времени низкочастотного фильтра на рассчитываемую коррекцию;

- увеличен общий уровень рассчитываемой коррекции: настроены коэффициенты усиления регулятора толщины полосы.

Результат промышленного опробования работы системы «монитор толщины» представлен на рис. 3.

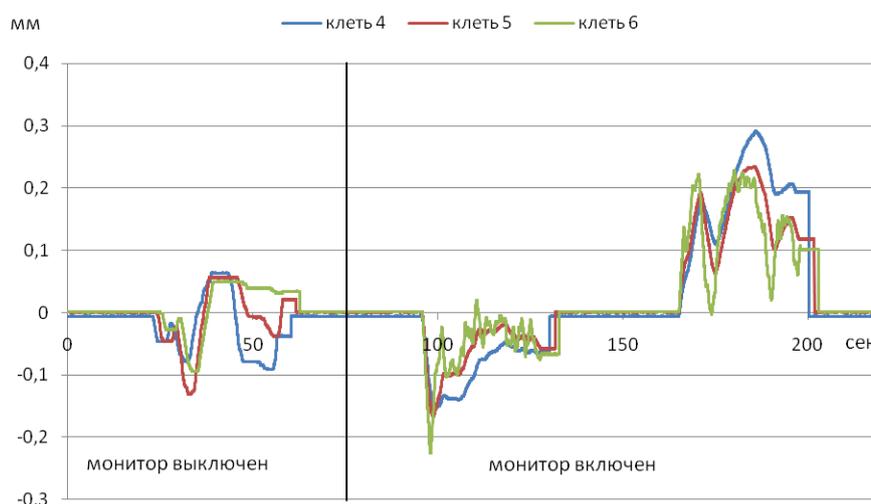


Рис. 3. Коррекция AGC

## ВЫВОДЫ

1. Проведена корректировка и модернизация алгоритмов и режимов работы адаптивной системы поддержания постоянного зазора (AGC) на клетях № 1–6 непрерывной группы «1700» полунепрерывного комбинированного стана горячей прокатки «2800/1700» ЛПЦ-1 ПАО «Северсталь».

2. В алгоритмах работы системы AGC учтены физические явления, связанные с температурным расширением валков в процессе прокатки.

3. Скорректированы алгоритмы работы межклетевых петледержателей непрерывной группы клетей «1700».

4. Откорректирована и внедрена в работу подсистема AGC – «Монитор толщины».

5. Указанные мероприятия программно-реализованы в контроллерах SimadynD ACU ТП стана «2800/1700», успешно промышленно опробованы и внедрены в производство горячего проката в ЛПЦ-1 с ноября 2014 г.

Технический эффект, достигаемый в рамках реализации указанных выше мероприятий:

- увеличение производства проката за счет использования режима «Байпас» при прокатке металла толщиной 2,5 мм и более в ширинах менее 1 250 мм в среднем на 7 тыс. тонн в год;

- снижение расхода металла в среднем на 0,1 кг/т за счет уменьшения вытяжек от некорректной работы петледержателя на тонком металле, повышение энергоэффективности работы привода петледержателя (снижение токов нагрузки в момент подъема петлевика);
- повышение качества проката за счет улучшения геометрии и снижения продольной разнотолщинности (выкатывание глассажных меток в режиме Байпас) с помощью адаптивного регулирования межвалкового зазора в зависимости от усилия прокатки с учетом температурного расширения валков.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяков А. В. *Температурный режим работы валков прокатных станов* / А. В. Третьяков, А. В. Грачев, П. Т. Орешкин. – Москва : *Металлургия*, 1964. – 112 с.
2. Ульченко Е. Г. *Решение многомерной задачи теплопроводности конечного цилиндра в виде произведения решений одномерных задач* / Е. Г. Ульченко // *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. : Технические науки.* – 2009. – № 3 (25). – С. 237–241.
3. Мецгеряков В. Н. *Математическое описание сил и моментов нагрузки петледержателя* / В. Н. Мецгеряков, Е. Е. Диденко // *Электротехнические комплексы и системы управления.* – № 4. – 2010. – С. 18–23.
4. Кожевников А. В. *Разработка мероприятий по повышению эффективности производства горячего проката на стане 2800/1700 при использовании режима Байпас* / А. В. Кожевников, И. А. Кожевникова, Г. А. Сорокин; под ред. А. Г. Корчунова // *Механическое оборудование металлургических заводов: Междунар. сб. науч. тр. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014 – Вып. 3. – С. 204–209.*
5. Кожевников А. В. *Адаптивное управление петледержателем широкополосного стана горячей прокатки* / А. В. Кожевников, Г. А. Сорокин // *Производство проката.* – № 4. – 2015. – С. 39–43.

#### REFERENCES

1. Tret'jakov A. V. *Temperaturnyj rezhim raboty valkov prokatnyh stanov* / A. V. Tret'jakov, A. V. Grachev, P. T. Oreshkin. – Moskva : *Metallurgija*, 1964. – 112 s.
2. Ul'chenko E. G. *Reshenie mnogomernoj zadachi teploprovodnosti konechnogo cilindra v vide proizvedenija reshenij odnomernyh zadach* / E. G. Ul'chenko // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Ser. : Tehničeskie nauki.* – 2009. – № 3 (25). – S. 237–241.
3. Meshherjakov V. N. *Matematicheskoe opisanie sil i momentov nagruzki petlederzhatelya* / V. N. Meshherjakov, E. E. Didenko // *Jelektrotehničeskie kompleksy i sistemy upravlenija.* – № 4. – 2010. – S. 18–23.
4. Kozhevnikov A. V. *Razrabotka meroprijatij po povyšheniju jeffektivnosti proizvodstva gorjachego prokata na stane 2800/1700 pri ispol'zovanii rezhima Bajpas* / A. V. Kozhevnikov, I. A. Kozhevnikova, G. A. Sorokin; pod red. A. G. Korchunova // *Mehanicheskoe oborudovanie metallurgičeskikh zavodov: Mezhdunar. sb. nauch. tr. – Magnitogorsk : Izd-vo Magnitogorsk. gos. tehn. un-ta im. G.I. Nosova, 2014 – Vyp. 3. – S. 204–209.*
5. Kozhevnikov A. V. *Adaptivnoe upravlenie petlederzhatelem širokopolosnogo stana gorjachej prokatki* / A. V. Kozhevnikov, G. A. Sorokin // *Proizvodstvo prokata.* – № 4. – 2015. – S. 39–43.

Кожевников А. В. – канд. техн. наук, доц. зав. каф. электроэнергетики и электротехники ФГБОУ ВПО «ЧГУ»;

Сорокин Г. А. – ассистент ФГБОУ ВПО «ЧГУ»;

Кожевникова И. А. – д-р техн. наук, доц., зав. каф. металлургии, машиностроения и технологического оборудования ФГБОУ ВПО «ЧГУ».

ФГБОУ ВПО «ЧГУ» – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Череповецкий государственный университет»

E-mail: kojevnikovav@chsu.ru avk7777@bk.ru, george5th@list.ru, kojevnikovaia@chsu.ru

*Статья поступила в редакцию 10.06.2015 г.*