

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»

**«Локальные системы автоматизированного управления
технологическими параметрами прокатки»**

Методические указания к лабораторной работе

г. Самара, 2017

Авторы-составители: **Михеев Владимир Александрович**
Ерисов Ярослав Александрович

Локальные системы автоматизированного управления технологическими параметрами прокатки [Электронный ресурс]: электрон. метод. указания к лаб. работам / Минобрнауки России, Самар. нац. исслед. ун-т. им. С. П. Королева; авт.-сост. В. А. Михеев, Я. А. Ерисов. – Электрон. текстовые и граф. дан. (1,06 Мбайт). - Самара, 2017. - 20 с.

Методические указания предназначены для студентов института ракетно-космической техники, обучающихся по дисциплине «Автоматизация металлургического производства» по направлению подготовки бакалавриата 22.03.02 "Металлургия".

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

ВВЕДЕНИЕ

Металлургия – одна из отраслей промышленности, в которой вопросы автоматизации производства и управления традиционно имеют ключевое значение при решении задач повышения эффективности производства и обеспечения качества продукции. Класс металлургических машин охватывает большое количество видов технологического оборудования, при этом каждый вид такого оборудования имеет свои особенности и специфику.

Для большинства металлургических машин и агрегатов характерны:

- значительная (до нескольких сотен метров) протяженность оборудования, задействованного в едином технологическом процессе;
- широкий диапазон технологических характеристик оборудования, – скорости до нескольких десятков м/с, единичные мощности отдельных агрегатов до нескольких тысяч кВт, технологические силовые нагрузки до нескольких десятков МН;
- высокие требования по точности поддержания технологических параметров;
- тяжелые и очень тяжелые условия работы (ударные нагрузки, высокая вибрация, высокая загазованность и запыленность окружающей среды, повышенная температура этой среды, работа оборудования с продолжительностью включения близкой к 100 %, во многих случаях непрерывный режим работы оборудования);
- жесткие требования по надежности и безотказности работы оборудования.

Очевидно, что перечисленные факторы, обусловленная ими необходимость освобождения человека от непосредственного участия в управлении металлургическими машинами на многих стадиях технологического процесса, равно как и исключительная сложность самих металлургических технологий, предопределили разработку и внедрение систем автоматизированного управления для металлургических агрегатов.

Развитие и совершенствование систем управления и автоматизации в металлургическом производстве связано как с развитием и усложнением самих металлургических машин и реализуемых на них технологических процессов, так и с развитием смежных отраслей промышленности, прежде всего приборостроения, техники электроприводов, электронной и вычислительной техники. В полной мере все сказанное относится к самым распространенным и наиболее сложным в аспекте автоматизации и управления металлургическим технологическим комплексам – прокатным станам.

Современный высокомеханизированный и автоматизированный прокатный стан создается и эксплуатируется при тесном взаимодействии технологов и механиков, специалистов по электроприводу, автоматическому управлению, технологическим измерениям, компьютерным системам и информационным технологиям, экономистов и специалистов других профилей. В этих условиях специалисты должны располагать знаниями, обеспечивающими возможность их совместной эффективной работы.

Целью данного учебного пособия имеет целью познакомить студентов специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» с современным состоянием и основными задачами автоматизированного управления технологическими процессами прокатки, принципами построения и функционирования автоматизированных систем управления прокатными станами и примерами их технической реализации.

1. Прокатные станы как объекты автоматизированного управления

Основная задача прокатного производства состоит в обеспечении требуемого качества проката, т.е. в обеспечении соответствия геометрических размеров, формы, физико-механических свойств и состояния поверхности проката заданным требованиям.

Процесс производства проката осуществляется в несколько стадий, каждая из которых включает следующие основные технологические операции:

- подготовка металла к прокатке;
- нагрев металла перед прокаткой (при горячей прокатке);
- прокатка металла;
- отделка проката.

Прокатка металла является основной технологической операцией процесса производства проката. Остальные технологические операции обеспечивают возможность осуществления прокатки и получение требуемого качества проката. Оборудование прокатного стана подразделяется на основное и вспомогательное. Основное оборудование обеспечивает собственно прокатку металла и состоит из одной или нескольких рабочих клеток, в которых размещаются прокатные валки, а также приводов вращения прокатных валков. Вспомогательное оборудование стана включает агрегаты, устройства и системы, предназначенные для перемещения прокатываемого металла, его разматывания и сматывания в бунты или рулоны, подогрева и охлаждения, резки и выполнения других вспомогательных операций.

Современные прокатные станы оснащены автоматизированными системами управления технологическим процессом прокатки (АСУ ТП прокатных станов) на основе микропроцессорных контроллеров и управляющих электронно-вычислительных машин (УВМ). Обычно АСУ ТП строится как иерархическая система управления. Непосредственное управление станом осуществляется локальными управляющими устройствами, составляющими нижний уровень иерархии. Следующий уровень образуют локальные системы, управляющие отдельными участками (зонами) стана, например, зоной нагревательных печей, черновой группой клеток стана и т.п. На верхнем уровне иерархии располагается система управления станом в целом, взаимодействующая с его зональными системами управления. АСУ ТП различных технологических агрегатов, в свою очередь, могут быть подчинены системе управления всем технологическим комплексом предприятия. В последнем случае следует говорить уже не об АСУ ТП, а об автоматизированной системе управления предприятием (АСУП).

Рассмотрим характерные функциональные задачи АСУ ТП прокатного стана (рисунок 1.1). Слежение за прохождением прокатываемого металла по всей технологической линии от склада заготовок до склада продукции является важнейшей информационной функцией АСУ ТП стана. Управление станом при прокатке партии полос складывается из подготовки стана к прокатке и управления процессом прокатки партии полос. Подготовка стана к прокатке очередной партии полос включает расчет программы прокатки и настройку стана.

Расчет программы прокатки партии полос заключается в определении законов изменения заданий локальным системам в функции времени и положения полос, обеспечивающих оптимальную прокатку партии полос.

Настройка стана заключается в выдаче локальным системам заданий, обеспечивающих приведение стана в исходное состояние для прокатки очередной партии

полос, и реализацию этих заданий локальными системами. Расчет программы прокатки выполняется зональными УВМ на основании характеристик партии полос таким образом, чтобы обеспечить оптимальное протекание процесса прокатки.

Управление прокаткой партии полос включает управление темпом прокатки и управление станом при прокатке отдельных полос партии. Управление темпом прокатки имеет целью обеспечить прокатку полос на стане с оптимальными интервалами между ними. Оно осуществляется УВМ зоны нагревательных устройств на основании программы прокатки с учетом информации о фактическом положении полос в линии стана. В результате формируются команды на выдачу заготовок из нагревательных устройств на стан. Управление станом при прокатке отдельной полосы партии можно подразделить на подготовку стана к прокатке полосы, управление процессом ее прокатки.

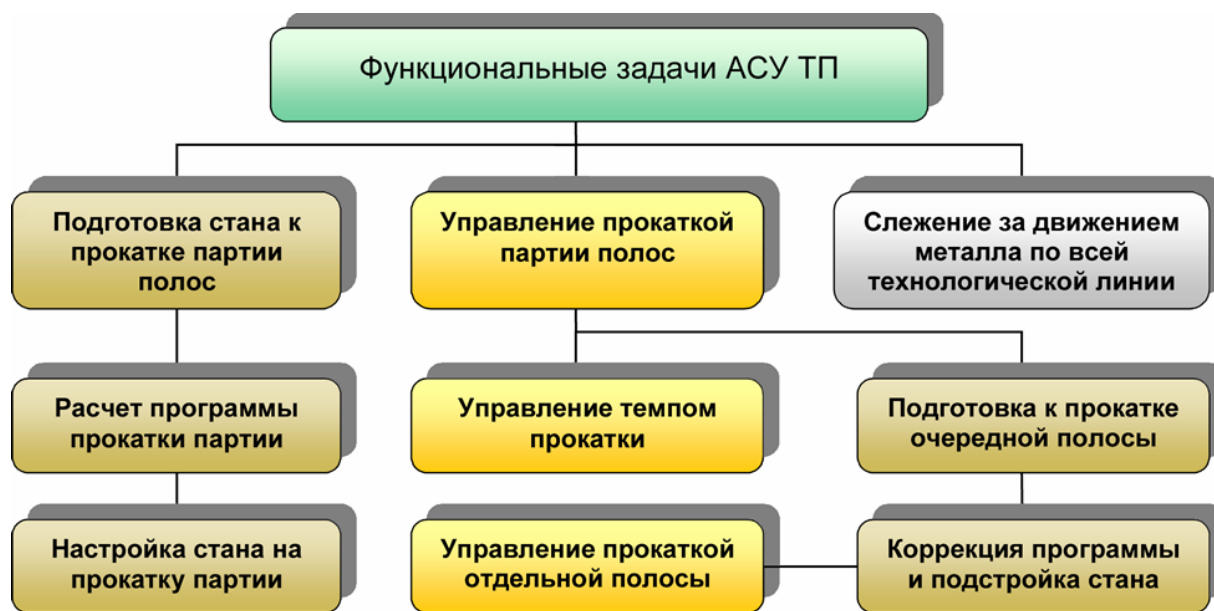


Рисунок 1.1. - Функциональные задачи АСУ ТП прокатного стана

Подготовка стана к прокатке очередной полосы партии включает коррекцию программы прокатки и подстройку стана. Коррекция программы прокатки выполняется с целью обеспечить оптимальную прокатку очередной полосы с учетом ее фактических характеристик. Подстройка стана заключается в приведении его устройств и систем в исходное состояние для прокатки очередной полосы в соответствии с откорректированной программой прокатки. Коррекция программы прокатки проводится зональными УВМ. При прокатке первой полосы партии коррекция выполняется на основании информации об отклонении фактических характеристик полосы от характеристик партии, на основании которых рассчитывалась программа. При прокатке последующих полос коррекцию целесообразно осуществлять на основании информации об отклонениях характеристик очередной полосы от характеристик предыдущей. Коррекция программы прокатки и подстройка для отдельных зон (агрегатов) стана может проводиться после прохождения полосой предыдущих зон (агрегатов) стана и уточнения фактических значений ее характеристик.

Управление процессом прокатки отдельной полосы партии сводится к изменению заданий локальным системам стана в функции времени и положения прокатываемой полосы в соответствии с откорректированной программой прокатки полосы и реализации

этих изменений локальными системами. Программа настройки стана рассчитывается на номинальные для данного типоразмера слябов пластические свойства, которые в реальных условиях имеют значительные разбросы, как вследствие колебаний теплосодержания сляба, так и вследствие вариаций химического состава прокатываемого материала. Поэтому величины давлений металла на валки оказываются отличными от расчетных, что приводит к отклонениям толщин металла по клетям и искажению профиля полосы на выходе из стана. Чтобы эти искажения были минимальными, предусматривается самонастройка клетей. Для черновой группы эта самонастройка осуществляется на основании расчета фактических пластических свойств данного сляба по величинам приращений давления металла на валки клетей.

Ухудшение пластичности прокатываемого металла означает увеличение давления металла на валки, и как следствие, увеличение толщин металла на выходе из клетей. Это увеличение в относительных единицах будет наиболее значительным в последних клетях стана, поскольку повышение в них давлений будет обуславливаться как ухудшением пластических свойств металла, так и увеличением его входных толщин, вследствие повышенных давлений в предыдущих клетях. Таким образом, уточнение обжатий означает перераспределение обжатий по клетям, обеспечивающее за счет некоторого увеличения величин обжатий в первых клетях возможно меньшие изменения давления в последних клетях.

Клетки чистовой группы оборудуются регуляторами толщины полосы, в которых по положению нажимного устройства и величине давления металла на валки, измеряемой с помощью месдоз, рассчитывается зазор между валками, т.е. толщина металла на выходе из валков. При отклонении рассчитанной величины зазора от заданного значения регулятор толщины, воздействуя на привод нажимного устройства, устраняет это отклонение.

Так как толщина металла в клетях рассчитывается по показаниям датчика положения нажимного устройства и величине давления металла навалки, то при износе валков и их тепловой деформации возникает ошибка. В результате этой ошибки толщина полосы, выходящей из стана, может иметь отклонение от требуемого значения. Для подстройки задания регуляторам толщины за последней клетью чистовой группы устанавливают рентгеновский или радиоактивный измеритель толщины ИТ, с показанием которого сопоставляется расчетная толщина полосы в последней клетке стана.

Помимо величин обжатий по клетям, программа настройки стана выдает также уставки регуляторов скоростей клетей, уточняемые по изменению положений роликов петледержателей. Если скорость валков последующей клетки неточно соответствует скорости предыдущей, то петля между этими клетями, образуемая петледержателем, будет либо увеличиваться, либо уменьшаться. Выявленное при этом изменение петли по изменению положения ролика петледержателя вызывает соответствующее изменение уставки регулятора скорости клетки, приводящее к восстановлению петли.

Как уже указывалось выше, управление температурой конца прокатки осуществляется изменением скоростного режима клетей чистовой группы. При достаточно быстром повышении скорости прокатки увеличение теплосодержания металла полосы компенсирует потерю тепла вследствие охлаждения из-за лучей испускания в окружающую среду и соприкосновения металла с валками клетей, в результате чего температура полосы на выходе из стана может не только сохраняться неизменной, но даже повышаться к концу полосы. Для достижения заданного перепада температур

полосы по ее длине, на выходе из чистовых клетей для каждого типоразмера полосы может быть найден требуемый закон изменения скорости прокатки в чистовой группе. В простейшем случае этот закон определяется величиной ускорения приводов клетей, задаваемой программой настройки стана при переходе с одного типоразмера полосы на другой. Для контроля скорости полосы на выходе из чистовой группы установлен измеритель скорости ИС. Фотопирометр ФП, установленный за последней клетью стана, выявляет отклонение фактической температуры полосы от допустимых пределов, осуществляет корректировку величины ускорения, задаваемого программой настройки.

Регулирование температуры смотки полосы осуществляется изменением расхода охлаждающей воды по длине участка охлаждения. Температура, до которой охлаждается полоса, и скорость снижения температуры определяют механические свойства полосы и зависят как от марки стали (содержание углерода в стали), так и от геометрических размеров (толщины полосы). Для каждого типоразмера полосы заранее находится оптимальный закон снижения температуры, задающий расходы воды, подаваемой по секциям участка охлаждения. Корректировка этого распределения охлаждающей воды осуществляется с помощью пирометра, контролирующего фактическую температуру полосы перед моталками.

Контроль геометрических размеров прокатанной полосы осуществляется с помощью рентгеновского или радиоактивного измерителя толщины ИТ и фотоэлектрического измерителя ширины ИШ, установленных за последней клетью стана. Показания измерителя толщины, как это было показано выше, используется для сравнения с расчетной величиной зазора в последней клетке и подстройки установок регулятора толщины. Измеритель ширины является только указателем отклонения ширины от номинальной и наравне с измерителем толщины используется для оценки качества полосы, поступающей на смотку. Для оценки качественных показателей всей полосы измеряются не только отклонения толщины, ширины и температуры полосы от их номинального значения, но и длины участков полос, где эти отклонения имеются. Результаты этой оценки протоколируются системой и вносятся в сертификат качества данной полосы и партии полос.

2 Локальные системы автоматизированного управления технологическими параметрами прокатки

Как уже указывалось, управляемые переменные прокатного стана как объекта управления можно подразделить на две группы: переменные устройств стана и технологические переменные стана (рисунок 2.1). К управляемым переменным устройствам стана, характеризующим функционирование его устройств и систем, относятся:

- координаты и скорости движения рабочих органов устройств стана;
- силы и моменты, развиваемые устройствами стана;
- расходы и давления охлаждающей жидкости и т. п.

Технологические переменные стана непосредственно характеризуют процесс прокатки и включают:

- координаты и скорости движения полос;
- показатели геометрии полос (размеры поперечного сечения, характеристики формы полосы и ее длина);
- силы и моменты прокатки, натяжение полос между клетями;

- температуру прокатываемого металла.

Управление перечисленными переменными реализуют входящие в состав АСУ ТП локальные системы управления, которые в соответствии с классификацией управляемых переменных стана можно подразделить на системы управления переменными устройств стана и системы управления технологическими переменными стана.

Системы управления переменными устройств стана, или просто системы управления устройствами стана подразделяются на системы управления:

- положением и скоростью устройств;
- силами (моментами) устройств;
- расходами жидкости через устройства и т. п.

Системы управления технологическими переменными стана можно подразделить на системы управления:

- положением и скоростью перемещения проката;
- геометрическими параметрами прокатываемых полос;
- показателями состояния полос между клетями;
- температурой прокатываемого металла.

К системам автоматического управления геометрией проката относятся системы регулирования размеров поперечного сечения и показателей формы прокатываемых полос, а также системы раскроя полос. Автоматическое регулирование размеров поперечного сечения и показателей формы прокатываемых полос является основным средством получения проката, имеющего требуемые размеры поперечного сечения и форму.



Рисунок 2.1. - Управляемые переменные прокатного стана

Автоматический раскрой проката обеспечивает прорезку прокатанных полос на части требуемой длины с минимальными отходами. Системы автоматического управления

состоянием проката между клетями включают системы регулирования прогиба (провисания) полосы и системы регулирования натяжения полосы между клетями при непрерывной прокатке, или системы регулирования петли и натяжения. Автоматическое управление состоянием полосы между клетями при непрерывной прокатке имеет целью, прежде всего, обеспечить осуществление процесса непрерывной прокатки, который невозможен без постоянного управления этими показателями. Кроме того, управление состоянием полосы между клетями непрерывного стана способствует получению проката с требуемыми размерами поперечного сечения и требуемой формы. Системы автоматического управления температурой прокатываемого металла осуществляют регулирование температуры металла на различных этапах процесса прокатки с целью получения требуемых физико- механических характеристик проката.

Рассмотрим структуру основных локальных систем автоматического управления и математические зависимости, на которых базируется их реализация.

2.1 Система позиционного управления

Системы позиционного управления обеспечивают автоматическое управление подъемными столами, сталкивателями, приемниками слябов, направляющими линейками, нажимными устройствами горизонтальных и вертикальных валков клетей, механизмами установки раствора тянущих и формирующих роликов моталок и кареток измерителей ширины. Основа этих систем – следящий привод, который представляет собой замкнутую активную динамическую систему, управляющую перемещением объекта регулирования. При этом регулируемая величина с той или иной степенью точности воспроизводит перемещение, заданное управляющим воздействием.

В измерительном устройстве ИУ (рисунок 2.2) производится сравнение текущего значения регулируемой величины с управляющим воздействием (заданием) и на основе этого сравнения формируется сигнал ошибки — первичный сигнал управления. Информация о текущем значении регулируемой величины поступает в измерительное устройство по каналу главной обратной связи.

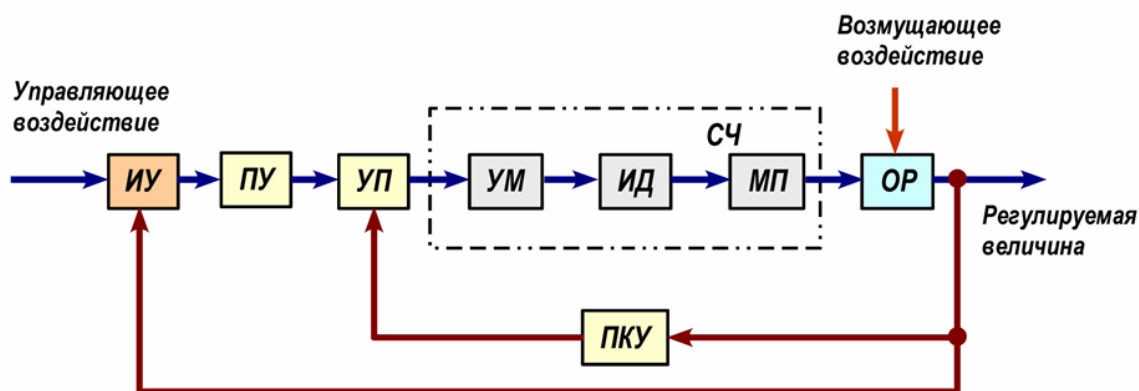


Рисунок 2.2 - Структурная схема следящего привода

Преобразующее устройство ПУ следящего привода служит для преобразования сигнала ошибки к виду, удобному для дальнейшего использования. Предварительный

усилитель УП предназначен для усиления сигнала по напряжению и мощности до значений, достаточных для управления усилителем мощности УМ. В этом усилителе производится также сравнение названного сигнала с сигналом, поступающим от параллельного корректирующего устройства ПКУ. Назначение ПКУ – улучшение качества регулирования. Так, при подсоединении датчика перемещения к выходу объекта регулирования ОР для повышения устойчивости следящего привода организуют дополнительный канал обратной связи с использованием сигнала от датчика скорости.

Регулирующее воздействие (например, в виде вращающего момента), непосредственно прикладываемое к объекту регулирования ОР, создается с помощью силовой части СЧ следящего привода. Силовая часть состоит из усилителя мощности УМ (например, тиристорного преобразователя), исполнительного двигателя ИД и механической передачи МП. Перемещение исполнительным двигателем объекта регулирования происходит в направлении уменьшения сигнала ошибки. Если сигнал ошибки равен нулю, то значение регулируемой величины совпадает со значением управляющего воздействия (задания).

2.1.1 Позиционное управление нажимными устройствами рабочей клетки

В качестве примера реальной позиционирующей системы рассмотрим цифро-аналоговую систему управления винтовыми нажимными устройствами черновой клетки листового стана (рисунок 2.3). Цель управления нажимными устройствами – переместить верхний рабочий валок в положение, при котором зазор между валками S будет равным некоторому заданному значению S_0 , то есть обеспечить выполнение условия:

$$\Delta S = S_0 - S = 0,$$

где ΔS – рассогласование между заданным и фактическим зазорами.

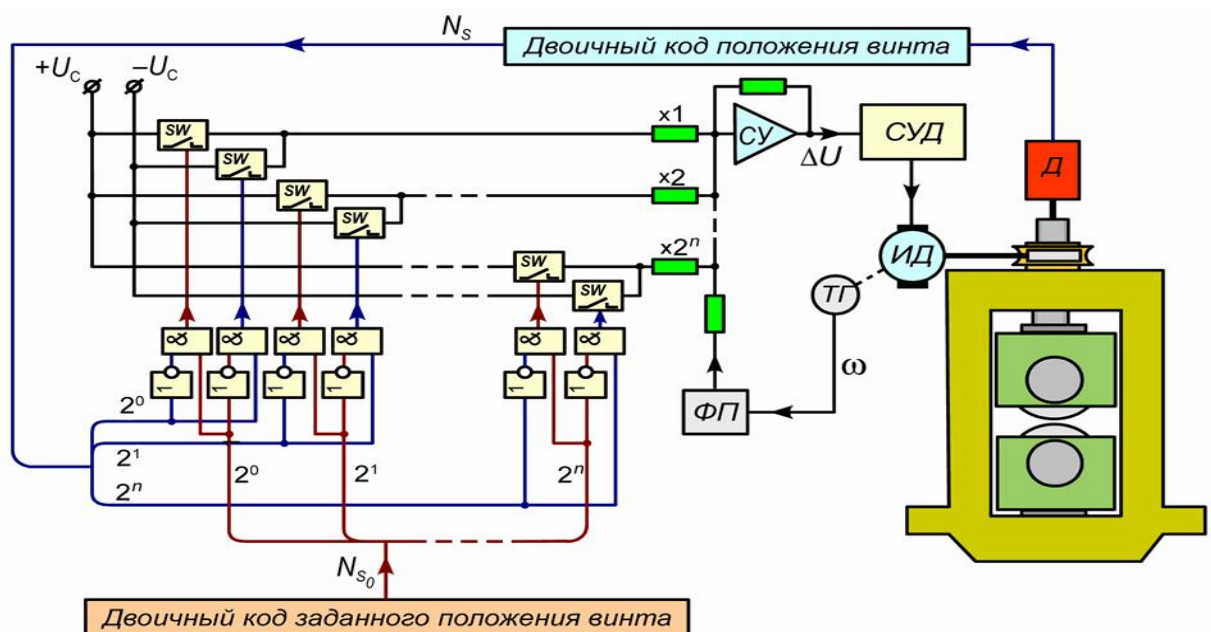


Рисунок 2.3. Система позиционного управления нажимными устройствами рабочей клетки в цифро-аналоговом исполнении

Нажимные винты приводятся во вращение исполнительным электродвигателем ИД через червячные редукторы. В канале главной обратной связи по перемещению используется цифровой датчик Д, связанный с нажимным винтом через кинематический редуктор. Датчик преобразует угол поворота винта в n -разрядный двоичный код N_s . Этот код поразрядно подается на n входов цифро-аналогового преобразователя. На другие n входов подается управляющее воздействие – код N_{s0} заданного положения нажимного винта, которое должно быть отработано системой.

Одноименные разряды кодов N_s и N_{s0} попарно поступают на логические ячейки, состоящие в каждом разряде из двух элементов «НЕТ» и двух элементов «И». Каждый элемент «И» управляет своим электронным ключом SW. Появление логической «1» на выходе элемента «И» вызывает замыкание ключа. В результате на соответствующий вход суммирующего усилителя СУ подается постоянное напряжение U_c от стабильного источника. Полярность напряжения U_c зависит от того, какой из сравниваемых кодов (N_{s0} или N_s) по данному разряду больше.

Сумматор СУ по каждому из n входов имеет свой коэффициент усиления (1, 2, 4...2n) в зависимости от того, какому разряду кода данный вход соответствует. Таким образом, на выходе СУ формируется напряжение $>U$, пропорциональное разности чисел, представленных кодами N_{s0} и N_s . Это напряжение подается в систему управления двигателем СУД нажимного механизма и вызывает вращение двигателя, перемещающего нажимные винты в направлении уменьшения рассогласования.

Для обеспечения необходимого предварения торможения нажимного механизма в системе предусмотрен дополнительный канал обратной связи по скорости. На дополнительный вход СУ подается напряжение с функционального преобразователя ФП, подключенного к тахогенератору ТГ, измеряющему частоту вращения двигателя ω . При соответствующем выборе параметров ФП достигается своевременное изменение полярности напряжения на выходе СУ, что обеспечивает интенсивное торможение механизма и его остановку при $S \approx 0$.

2.2. Система автоматического регулирования натяжения в черновой группе клетей

Характерной чертой современных конструкций непрерывных широкополосных станов горячей прокатки является объединение в непрерывные группы не только чистовых, но и черновых клетей. Так на станах «2286» (Франция), «2250» (Япония), «2300» (ФРГ) две последние черновые клетки объединены в непрерывную черновую подгруппу. На стане «2000» ОАО «Северсталь» и стане «2000» ОАО «ММК» (РФ) в непрерывную подгруппу объединены три последние черновые клетки. Создание непрерывных черновых подгрупп позволило повысить температуру металла на входе в чистовую группу клетей за счет сокращения теплоизучения раската в межклетевых промежутках. Что же касается систем управления главными приводами горизонтальных валков клетей этих подгрупп, то они соответствующим образом усложнились, поскольку потребовалось осуществить регулирование межклетевого натяжения. Принцип регулирования натяжения основан на зависимости:

$$\frac{M_i}{PR} = \varphi \pm \delta = \beta,$$

где M_i – полный момент на рабочем валке с учетом натяжения полосы;

P – вертикальная составляющая равнодействующей контактных сил в очаге деформации N (сила прокатки);

R – радиус рабочего валка;

φ – центральный угол, соответствующий положению точки приложения равнодействующей контактных сил;

δ – угол между равнодействующей контактных сил N и ее вертикальной составляющей P .

Знак «плюс» в формуле соответствует случаю $T_0 > T_1$, где T_0 и T_1 – соответственно силы заднего и переднего натяжения полосы. Таким образом, при прокатке с преобладающим задним натяжением полный момент на валке $M_i > M_p = PR\varphi$, где M_p – момент, создаваемый силой P . Случаю $T_0 < T_1$ соответствует «минус» в формуле, при этом $M_i < M_p$.

В непрерывной подгруппе из двух клеток заданный закон регулирования реализуется системой управления двигателем привода горизонтальных валков первой (по ходу прокатки) клетки. При этом вторая клетка может иметь нерегулируемый привод, например, от синхронного двигателя переменного тока. В трехклетевой непрерывной подгруппе все клетки имеют регулируемый привод горизонтальных валков.

Для двигателя постоянного тока

$$M_i = C_M \Phi I,$$

где C_M – конструктивная постоянная;

Φ – поток возбуждения;

I – сила тока в цепи якоря двигателя.

При работе двигателя с неизменным потоком возбуждения закон регулирования межклетевого натяжения описывается зависимостью

$$I P = \text{const}.$$

Рассмотрим процесс регулирования натяжения в трехклетевой непрерывной подгруппе. Средняя (вторая) клетка не регулируется, она является базовой. Регулирование натяжения осуществляется приводами первой и третьей клеток.

На рисунке 2.4 приведена блок-схема системы регулирования натяжения применительно к регулирующей клетке. Величины I и P измеряются соответственно датчиками тока двигателя главного привода ДГП и измерителями силы прокатки ИС (месдозами). После входа металла в первую клетку и до его входа во вторую клетку осуществляется свободная (без натяжения) прокатка. За этот промежуток времени измеряется величина тока якоря двигателя главного привода $I_{св}$ и сила прокатки $P_{св}$. Значения этих величин поступают в делительное устройство ДУ, где вычисляется отношение $I_{св} / P_{св}$. Вычисленная величина $I_{св} / P_{св}$ запоминается в устройстве памяти ЗУ, после чего вход запоминающего устройства отключается от выхода делительного устройства. После входа металла во вторую клетку эта клетка оказывается связанной с первой клеткой через прокатываемый металл, что может привести к возникновению натяжения между этими клетками.

Целью регулирования является минимизация межклетевого натяжения, для чего измеряют значение силы тока $I_{совм}$ и силы $P_{совм}$ в первой клетке при совместной прокатке металла. На делительном устройстве вычисляется отношение $I_{св} / P_{св}$, после чего оно сравнивается с запомненным ранее отношением $I_{св} / P_{св}$ в устройстве сравнения УС.

- гидравлических или пневматических петледержателей, в конструкции которых заложен принцип независимости усилий в определенном интервале угла поворота рычага-петледержателя при неизменном давлении рабочего тела в цилиндрах;
- статических петледержателей, в которых натяжение измеряется специальными датчиками, смонтированными в опору ролика петледержателя;
- электромеханических петледержателей с безредукторным приводом от специальных бесколлекторных двигателей или двигателей постоянного тока с независимым возбуждением.

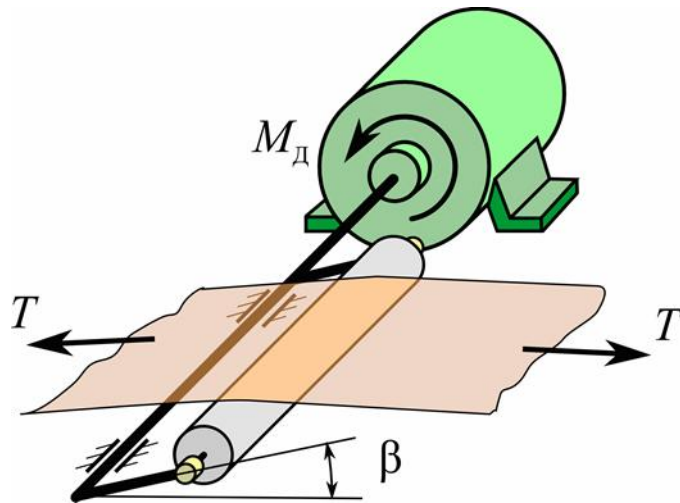


Рисунок 2.5. Электромеханический петледержатель с безредукторным приводом от специального двигателя постоянного тока

Последний из перечисленных видов САРН (рисунок 2.5) нашел наиболее широкое распространение на прокатных станах. В основу подобных систем положен принцип косвенного измерения натяжения в межклетевых промежутках.

Момент электродвигателя электромеханического петледержателя с безредукторным приводом уравнивает сумму моментов внешних сил, составляющих статический момент нагрузки механизма.

$$M_d = M_{\text{нат}} + M_{\text{изг}} + M_{\text{неур}} + M_{\text{п}} \pm M_{\text{тр}} \quad (2.1)$$

Анализ конструктивных и эксплуатационных параметров регуляторов натяжения чистовых групп широкополосных станов показывает, что основной составляющей статического момента механизма петледержателя является момент от натяжения. Соответственно, при определении закона регулирования натяжения моментом неуравновешенных частей механизма, моментом сил трения и моментом от изгиба полосы можно пренебречь. В этом случае (2.1) можно представить в виде

$$M_{\text{з}} = \frac{4\sigma B h R^2}{L} \sin \beta \cos \beta. \quad (2.2)$$

Из формулы (2.2) следует, что

$$dM_{\text{з}} = \frac{4B h R^2}{L} [\sin \beta \cos \beta d\sigma + \sigma (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta]. \quad (2.3)$$

Следовательно, для стабилизации натяжения (обеспечения $d\sigma = 0$) система регулирования должна обеспечить выполнение условия:

$$dM_{\Sigma} = \frac{4BhR^2\sigma}{L}(\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta = \frac{4TR^2}{L}(\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) d\beta, \quad (2.4)$$

где $T = sBh$ – сила натяжения полосы.

Уравнение (2.4) определяет структуру САРН: она должна иметь в своем составе устройства ввода исходных параметров (σ , B , h , β), вычислительные арифметические устройства, канал регулирования петли и канал регулирования момента двигателя. Структурная схема подобной САРН приведена на рисунке 2.6.

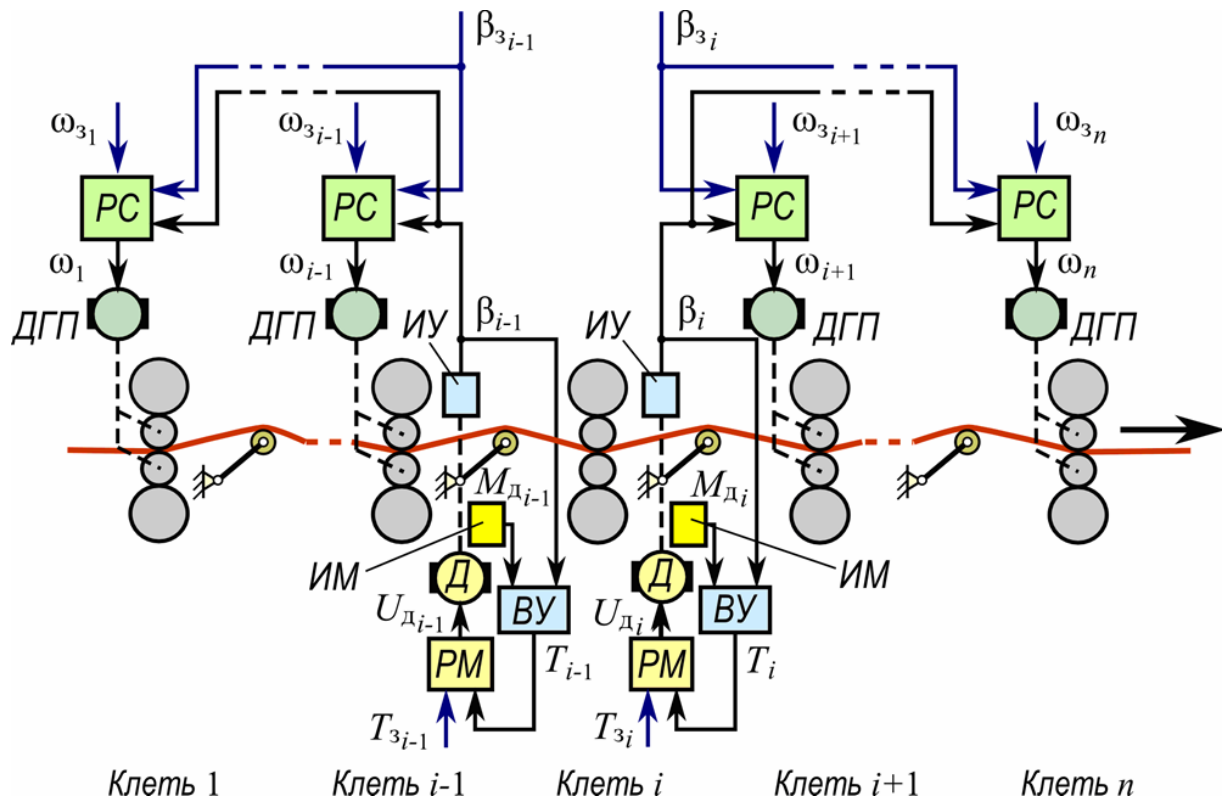


Рисунок 2.6 - Система регулирования натяжения в чистовой группе непрерывного широкополосного стана с электромеханическими петледержателями

Средняя клетка непрерывной группы принимается в качестве опорной (например, для группы из семи клеток опорной является четвертая). На участке до опорной клетки (клеть i на рис. 3.6) сигналы коррекции натяжения подаются на предшествующие клетки, на участке за опорной клетью – на последующие клетки.

Рассмотрим работу САРН на участке между клетями i и $i+1$ (рис. 3.6). Рычаг петледержателя, расположенного в межклетевом промежутке, устанавливается в необходимое положение приводом петледержателя Д. Угол подъема рычага β_i и момент на валу привода $M_{д\ i}$ измеряются измерителями ИУ и ИМ.

Вычислительное устройство ВУ по значениям β_i и $M_{д\ i}$ определяет расчетное значение натяжения T_i , действующего в полосе между клетями i и $i+1$. Расчет выполняется с учетом моментов $M_{п\ i}$, $M_{изг\ i}$ и $M_{неур\ i}$. Регулятор момента РМ анализирует отклонение расчетного натяжения T_i от заданного значения $T_{з\ i}$ и в функции этого отклонения

вырабатывает управляющее воздействие U_{di} на двигатель привода петледержателя D , осуществляя регулирование величины T_i .

Заданное (рабочее) положение рычага петледержателя β_{zi} во время прокатки обеспечивается корректировкой частоты вращения валков клетки $i+1$ относительно начальной уставки ω_{zi+1} . Регулятор скорости РС двигателя главного привода ДГП управляет частотой вращения валков ω_{i+1} в функции отклонения угла подъема рычага β_i от заданного значения β_{zi} . Аналогично строятся САРН для остальных межклетевых промежутков (см. рисунок 2.6).

На рисунке 2.7 приведена структурная схема системы стабилизации натяжения (ССН), базирующейся на статическом петледержателе. В исходном положении ролик петледержателя находится на уровне линии прокатки.

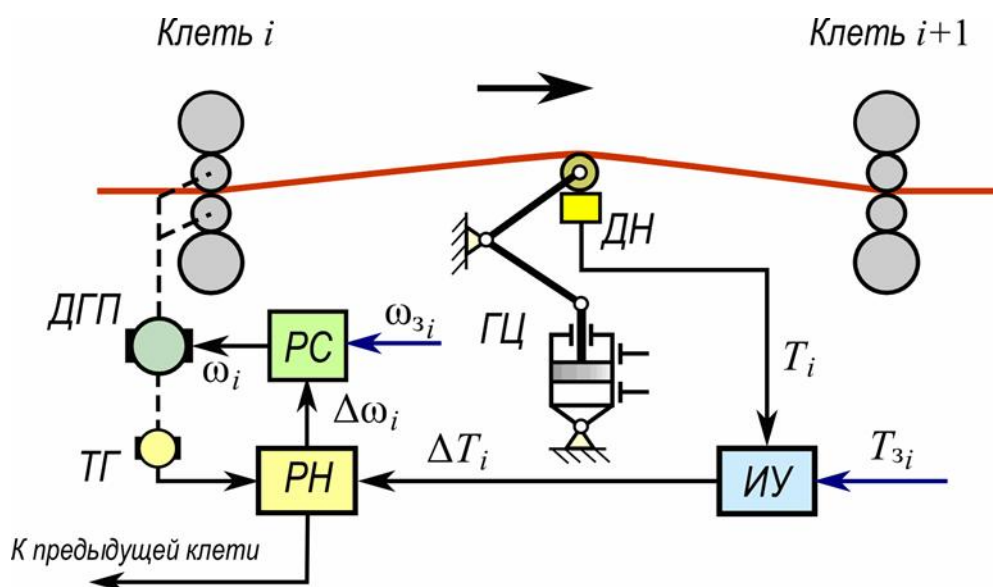


Рисунок 2.7. Структурная схема системы стабилизации натяжения с статическим петледержателем и датчиком натяжения

После входа металла в клеть $i+1$ ролик петледержателя устанавливается гидроцилиндром ГЦ в рабочее положение, характеризующееся небольшим превышением над уровнем прокатки (порядка 50 мм). В этом положении ролик удерживается гидроцилиндром в течение всего цикла прокатки. Измерение вертикальной составляющей действующей на ролик петледержателя силы от натяжения полосы, ее массы и момента изгиба осуществляется датчиками натяжения ДН, установленными в опорах ролика. Разница T_i между заданным усилием T_{zi} и измеренным T_i вычисляется измерительным устройством ИУ и является регулирующим воздействием, поступающим в регулятор натяжения полосы РН. Туда же поступает сигнал от тахогенератора ТГ о частоте вращения двигателя главного привода клетки ДГП. Регулятор натяжения воздействует на регулятор скорости РС двигателя привода, обеспечивая стабилизацию заданного натяжения за счет корректировки частоты вращения рабочих валков.

2.4 Системы автоматического регулирования толщины полосы в чистовой группе клеток

Система автоматического регулирования толщины полосы (САРТ) –одно из ключевых звеньев в АСУ ТП непрерывного широкополосного стана. Ее назначение – обеспечение минимальной продольной разнотолщинности готовой полосы. Основным критерием оценки САРТ является точность регулирования, обеспечиваемая совершенной аппаратурой управления и быстродействующими приводами изменения раствора валков.

2.4.1 САРТ на основе метода Головина – Симса

Наибольшее распространение в составе САРТ современных широкополосных станов горячей прокатки получили системы, реализующие зависимость Головина – Симса:

$$h_1 = S_0 + \frac{P}{C_k}, \quad (2.5)$$

где h_1 – толщина прокатываемой полосы;

S_0 – раствор ненагруженных валков (при отсутствии металла в клети);

P – сила прокатки (вертикальная составляющая силы давления металла на валки);

C_k – коэффициент жесткости клети в направлении силы прокатки.

Другими словами, сила прокатки определяет величину деформации клети (растяжение станины, сжатие нажимных винтов, прогиб валков и т.д.),из-за чего зазор между валками при прокатке и, соответственно, толщина прокатанной полосы увеличиваются. Коэффициент C_k представляет собой обобщенную оценку жесткости клети и является для данной клети константой.

В соответствии с (2.5) для обеспечения полной компенсации продольной разнотолщинности (поддержания постоянной величины h_1)необходимо регулировать раствор валков S_0 в процессе прокатки в зависимости от изменения силы прокатки P , выполняя условие

$$DS = DP C_k, \quad (2.6)$$

где S – изменение раствора валков, необходимое для обеспечения заданной толщины полосы h_1 при изменении силы прокатки на величину P .

Таким образом, при увеличении силы прокатки относительно некоторого номинального значения на P , система регулирования должна уменьшить раствор валков на величину $>S$ и наоборот. Очевидно, что изменение раствора валков повлечет за собой изменение силы прокатки. Процесс стабилизируется при изменении силы прокатки на величину:

$$DP = dh C + C, \quad (2.7)$$

где dh – величина скомпенсированной продольной разнотолщинности при идеально работающем регуляторе толщины;

C_p – коэффициент жесткости прокатываемой полосы,

P_0 – изменение силы прокатки при полной компенсации разнотолщинности.

Недостатком метода является невозможность устранения отклонений толщины, обусловленных эксцентриситетом валков. При уменьшении величины раствора вследствие эксцентриситета валков увеличивается сила прокатки, что воспринимается системой регулирования как увеличение раствора, для компенсации которого требуется включить привод нажимного устройства в сторону сведения валков. В результате система регулирования вместо увеличения раствора и возвращения его величины к заданному значению будет, наоборот, уменьшать этот зазор, увеличивая тем самым колебания толщины полосы.

Структурная схема САРТ на основе метода Головина – Симсаприменительно к регулятору толщины одной клетки приведена на рисунке 2.8. Рабочая клетка снабжена измерителем силы прокатки ИС (месдоза) и датчиком положения нажимных винтов ДП, с помощью которого измеряется раствор валков. При настройке регулятора толщины ему задаются номинальное значение силы прокатки P_3 и соответствующая этой силе начальная величина раствора валков S_3 .

В устройстве сравнения УС1 вырабатывается сигнал отклонения ΔP как разность действительной P_D и заданной P_3 сил прокатки. С выхода УС1 напряжение, пропорциональное ΔP , подается на вход фильтра Ф, который подавляет гармонические составляющие сигнала ΔP , обусловленные эксцентриситетом валков. С выхода фильтра Ф сигнал без гармоник ΔP_{cp} поступает на вход суммирующего усилителя СУ. Коэффициент передачи этому входу настраивается таким образом, чтобы обеспечить учет коэффициента жесткости клетки C_k в соответствии с (2.7).

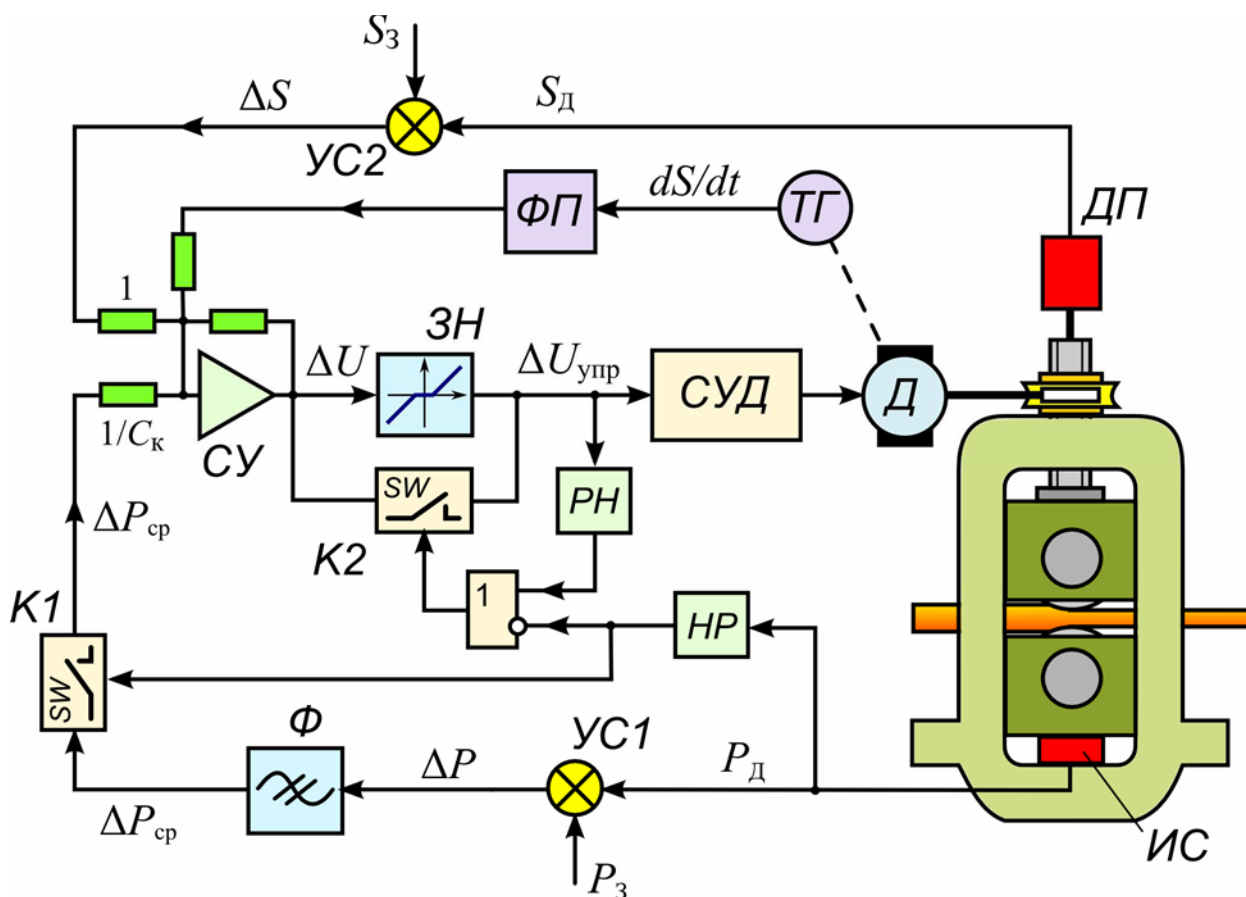


Рисунок 2.8. САРТ, реализующая зависимость Головина – Симса

Подача напряжения с выхода Ф на вход СУ осуществляется только в том случае, если металл находится в валках, что обеспечивается электронным ключом К1. Сигнал на замыкание ключа – логическая «1» поступает с нагрузочного реле НР, срабатывающего при появлении сигнала P_D на выходе измерителя силы ИС. Отключение сигнала ΔP при отсутствии прокатки необходимо для начальной настройки нажимного механизма на заданный размер S_3 .

На второй вход сумматора СУ поступает сигнал отклонения $>S$, формируемый устройством сравнения УС2 как разность действительного $S_{Д}$ и заданного S_3 растворов валков. Если в процессе прокатки сила РД не отличается от номинального значения P_3 , а установленный раствор валков $S_Д$ равен заданному S_3 , сигналы $>P$ и $>S$ равны 0, и напряжение на выходе сумматора СУ, соответственно, отсутствует. Изменение силы прокатки, вызванное колебаниями толщины подката, наличием участков с различной температурой и другими факторами, приводит к возникновению сигнала $DP \neq 0$, что вызывает появление на выходе СУ управляющего напряжения $>U$. Это напряжение поступает на вход системы управления двигателем привода нажимного устройства СУД. Двигатель запускается и начинает перемещать валки в направлении, при котором знак $>S$ противоположен знаку $>P$. При этом напряжение $>U$, пропорциональное сумме $DS + DP$, начинает уменьшаться по мере перемещения валка (по мере увеличения $>S$). Работа привода прекращается при достижении $>U = 0$ на выходе сумматора СУ.

Допустим, что на вход клетки поступил участок полосы с повышенной толщиной. Увеличение обжатия в клетки вызовет увеличение силы прокатки, в результате чего толщина полосы на выходе из клетки также увеличится. Появление на выходе УС1 положительного напряжения, пропорционального $>P$, вызовет появление на выходе СУ отрицательного напряжения $-DU @ DP$. В результате привод нажимных винтов переместит верхний валок вниз, т. е. в сторону уменьшения раствора валков, чему соответствует отрицательная величина S . Перемещение верхнего валка вниз означает увеличение обжатия, а, следовательно, и увеличение силы прокатки, что приведет к некоторому росту уровня сигналов P и $>P$, однако уровень сигнала $>S$ на входе СУ в процессе сведения валков изменяется быстрее, чем напряжение $>P$, поэтому результирующее напряжение на выходе СУ уменьшается и достигает величины $>U = 0$.

Помимо сигналов $>P$ и $>S$ на сумматор СУ через функциональный преобразователь ФП поступает напряжение с тахогенератора ТГ двигателя привода нажимного устройства, пропорциональное скорости движения механизма. При соответствующем выборе параметров ФП достигается своевременное изменение полярности $>U$ на выходе СУ, что обеспечивает перевод двигателя в тормозной режим и его точную остановку.

В процессе работы регулятора толщины при малых отклонениях толщины от заданного значения напряжение на входе СУД может оказаться слишком малым, чтобы обеспечить в силовой цепи двигателя ток, достаточный для создания крутящего момента, превышающего момент сил трения покоя в механизме. В результате неподвижный якорь двигателя длительное время может находиться под током, что вызовет его перегрев. Чтобы исключить эту возможность, в схеме регулятора предусмотрен блок зоны нечувствительности ЗН. Ширина зоны нечувствительности определяется величиной порогового напряжения $U_{п}$. Блок ЗН обеспечивает вычитание из $>U$ независимо от его полярности порогового напряжения $U_{п}$. Эта разность напряжений поступает на вход СУД только в том случае, если $DU > +U_{п}$ или $DU < -U_{п}$.

Таким образом, при малом уровне $>U$ двигатель нажимного устройства обесточен. При превышении напряжением $>U$ порогового значения $U_{п}$ на входе СУД появляется напряжение, равное разности $U - U_{п}$. Это напряжение вызывает срабатывание реле напряжения РН, подключенного к входу СУД. Срабатывание РН, в свою очередь, вызывает появление логической «1» на выходе элемента «ИЛИ», что приводит к замыканию электронного ключа К2, соединяющего выход СУ со входом СУД напрямую, минуя блок ЗН. В результате напряжение на входе СУД увеличивается скачком с $U - U_{п}$

до U . Такое увеличение напряжения гарантирует возникновение в силовой цепи тока, при котором момент двигателя выше момента статического сопротивления покоя.

Следует отметить, что зона нечувствительности включается в работу только тогда, когда металл находится в валках, что обеспечивается подачей инвертированного сигнала нагрузочного реле НР на второй вход элемента «ИЛИ», управляющего электронным ключом К2. Очевидно, что динамические показатели двигателей привода нажимного устройства являются одним из основных факторов повышения точности регулирования, а частота и продолжительность включений двигателей определяются частотой возмущающих воздействий и шириной зоны нечувствительности регулятора. В этой связи на станах горячей прокатки все более широкое распространение получают гидравлические нажимные устройства (например, в виде гидроцилиндров, установленных под подушками нижнего опорного валка), которые совмещают в себе функции силового канала регулирования толщины и защиты клетки от перегрузок.