



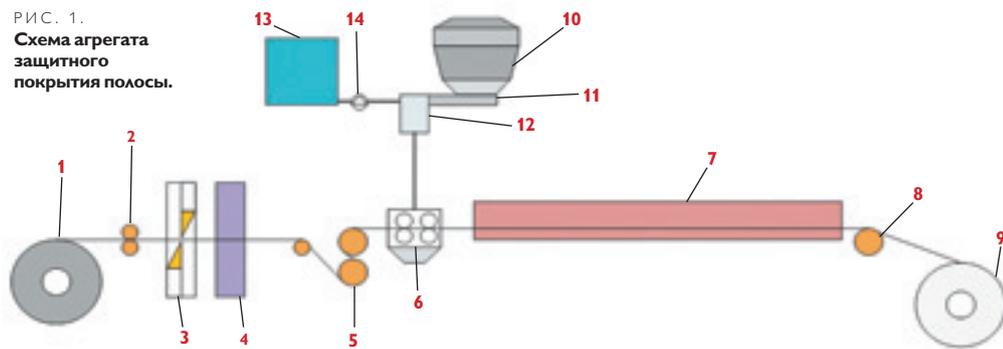
Реконструкция агрегатов обработки холоднокатанной полосы

Период проектирования и строительства большого количества агрегатов производства листовой рулонной стали в России пришёлся на период семидесятых-восемидесятых годов прошлого столетия. Применяемая элементная база и проектные решения в те годы значительно отличались от современных и это в настоящее время не позволяет производить на таких агрегатах продукцию, удовлетворяющую современным требованиям.

Как показывает опыт НПП «Машпром» и предприятия «Автоматизированные системы и комплексы», морально устаревшее оборудование в большинстве случаев с относительно небольшими затратами может быть модернизировано, что позволяет получать на таких агрегатах продукцию, удовлетворяющую современным требованиям, предъявляемым к качеству обработанной холоднокатанной полосы.

«Машпром» и «АСК» на протяжении более чем 30 лет занимаются вопросами

РИС. 1.
Схема агрегата
защитного
покрытия полосы.



- 1 Разматыватель;
- 2 Задающие ролики;
- 3 Гильотинные ножницы;
- 4 Сварочная машина МШЛ-150;
- 5 Тянущая клеть;
- 6 Узел покрытия;
- 7 Печная сушка;
- 8 Обводной ролик;
- 9 Моталка;
- 10 Бункер с оксидом магния;
- 11 Шнековый дозатор;
- 12 Гидрататор, мешалка;
- 13 Расходный бак конденсата;
- 14 Насос подачи конденсата в мешалку

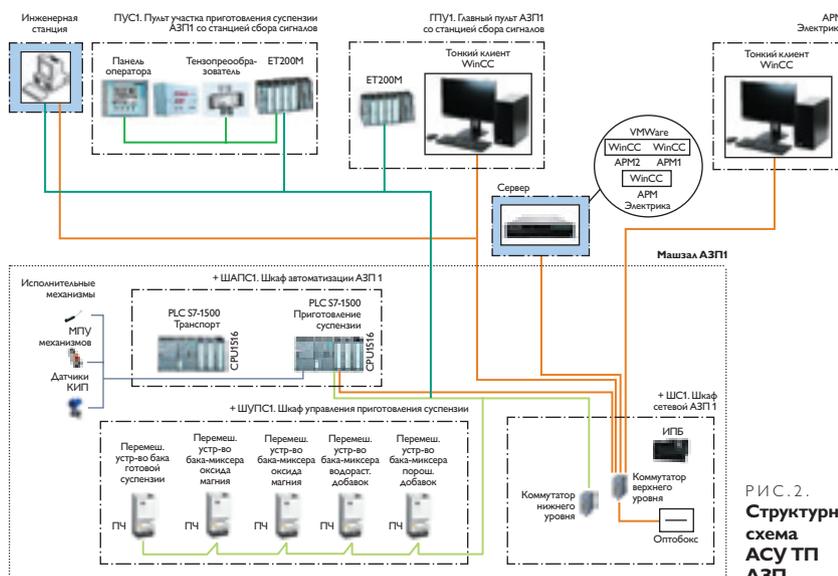


РИС. 2.
Структурная
схема
АСУ ТП
АЗП.

образователи на современные с цифровым управлением. При этом АСУ ТП заменялась на современную во всех случаях. Так же чаще всего на новые менялись датчики и пульта управления. Изготовление шкафов и пультов управления производилось силами «АСК» с использованием в большинстве случаев комплектующих фирмы Siemens и облочек фирмы Rittal.

Основные решения, которые были использованы при реконструкции электрооборудования этих агрегатов, можно рассмотреть на примере агрегата защитного покрытия полосы (АЗП), схема которого представлена на РИС.1. АЗП предназначен для 2-х стороннего нанесения на полосу из электротехнической стали водной суспензии оксида магния для создания термостойкого защитного покрытия.

На РИС.2 приведена структурная схема АСУ ТП АЗП после реконструкции.

На агрегате для всех транспортных механизмов в качестве электроприводов использованы двигатели переменного тока с управлением от цифровых частотных преобразователей типа Sinamics G(S)-120, задания на скорость и момент которых поступают по информационной сети Profinet от программируемого контроллера Simatic S7-1500, отвечающего за управление транспортными механизмами. Достаточно сложные вычислительные задачи расчета радиуса рулона, момента потерь и момента инерции, характерные для приводов разматывателя и моталки решаются в контроллере. Там же в контроллере транспорта реализуются алгоритмы: СУРС — системы управления скоростью агрегата, СУНПП — система управления натяжением полосы в печи, ЗМТК — задания моментов в тянущей клетке (назначения и алгоритмы работы СУНПП и ЗМТК будут изложены в ниже).

Второй программируемый контроллер того же типа S7-1500 решает технологические задачи — приготовление суспензии и нанесение ее на обе стороны полосы. Контроллер собирает сигналы

реконструкции металлургического оборудования. Комплекс агрегатов достаточно велик. К наиболее крупным проектам по модернизации агрегатов обработки холоднокатанной полосы, которые были реализованы за последние 3 года относятся:

- непрерывно-травильный агрегат (НТА) — проведена полная модернизация АСУ ТП;
- 2 агрегата продольной резки (АПР) — выполнен проект и поставка механо и электрооборудования, внедрение запланировано на 2022 год;
- 2 агрегата защитного покрытия (АЗП) — установка новых систем стабилизации транспорта полосы и повышение качества смотки рулонов, новые участки приготовления суспензии, а так же полная замена автоматизированной установки подготовки покрытия полосы; полная замена электрооборудования с переводом электроприводов на переменный ток;
- 5 агрегатов выпрямляющего отжига (АВО) — полная реконструкция электрооборудования и АСУ ТП;

- 2 агрегата рекристаллизационного отжига (АРО) — проведена полная модернизация систем автоматизации;
- 2 агрегата обезуглероживающего отжига (АОО) — проведена модернизация систем автоматизации, механизмов стабилизации транспорта полосы, полная замена автоматизированных установок приготовления покрытия полосы.

В данной статье освещены наиболее типичные для перечисленных агрегатов проектные решения по автоматизации, а также наиболее сложные, на наш взгляд, задачи, которые были решены при их модернизации.

Модернизация электрооборудования прежде всего касалась перевода электроприводов механизмов агрегатов с постоянного на переменный ток соответственно с заменой двигателей постоянного тока на короткозамкнутые электродвигатели переменного тока с управлением от преобразователей частоты. В некоторых случаях Заказчик предпочитал оставить в эксплуатации двигатели постоянного тока, а заменить только тиристорные пре-

с многочисленных датчиков веса, расхода и давления жидкости, фотореле и конечных выключателей обрабатывает их, сравнивает с сигналами задания, поступающими в виде рецептов приготовления суспензии и затем формирует выходные управляющие сигналы на исполнительные механизмы, в качестве которых могут быть электроприводы или гидроприводы регулируемых заслонок или регулируемые по скорости частотные электроприводы.

Для ввода и вывода в контроллеры аналоговых и дискретных сигналов от датчиков, от пультовой аппаратуры используются удаленные станции ввода-вывода ET200, связанные с S7-1500 сетью Profinet и расположенные рядом с источниками сигналов и приводами исполнительных механизмов.

Человеко-машинный интерфейс реализован с помощью программного пакета WinCC, установленного на сервере, связь с оператором осуществляется через тонкие клиенты, находящиеся на пультах управления.

Сетевая структура системы управления построена на основе сетей Profinet и Ethernet с использованием сетевых узлов, созданных на базе управляемых коммутаторов промышленного исполнения.

Для отладки программ и поиска неисправностей используются сервер диагностики со аппаратными и программными средствами ИВА PDA и инженерная станция с программным обеспечением средств разработки программ контроллера и системы визуализации WinCC фирмы Siemens.

Для перечисленных выше агрегатов актуальными являются следующие технологические задачи:

- оптимальное задание натяжения полосы после нанесения на нее жидкой суспензии перед входом в печь отжига, эта задача решается в системе управления натяжением полосы перед печью (СУНПП);
- выбор оптимального распределения моментов между S-роликками для устранения проскальзывания полосы в тянущей клетки, эта задача решается в системе задания моментов в тянущей клетки (СЗМТК);
- регулирование толщины покрытия в узле нанесения теплоизоляционного покрытия на верхнюю и нижнюю стороны полосы.

Описание СУНПП

На агрегатах после машины нанесения покрытия полоса, провисая под собственным весом, поступает в печь отжига и ложится в ней на рольганг. Если время от момента нанесения покрытия до момен-



та опускания полосы на ролик в печи недостаточно, то покрытие не успевает засохнуть и повреждается печными роликками. Положение точки соприкосновения полосы с печным роликком зависит от натяжения полосы, чем больше натяжение, тем больше расстояние до точки соприкосновения, а значит больше время высыхания. Так как оператор не видит положение полосы в печи, то возникает задача теоретического определения положения точки опускания полосы на ролик в печи в зависимости от заданного натяжения.

Еще одна задача, связанная с оптимальным выбором заданного натяжения полосы перед печью — это определение высоты захода полосы в печь. Зная это положение, оператор может устанавливать с помощью печных заслонок минимальные размеры щели, в которую заходит полоса, чтобы уменьшить потери тепла из печи и не повредить покрытие полосы.

Для определения кривой провисания полосы принимается допущение, что полоса представляется как гибкая нить, а кривая провисания имеет форму параболы с вершиной в точке соприкосновения полосы с печным роликком с координатами $(x_0 = 0, y_0 = 0)$. Тогда можно по известным координатам двух точек параболы определить координаты по оси x и y любой другой точки в кривой провисания полосы. Для определения 1-ой точки с координатами (x_1, y_1) между машиной покрытия и печью на расстоянии L_1 от машины покрытия устанавливается лазерный датчик, измеряющий расстояние до нижней поверхности полосы (y_1) относительно уровня печных роликков. Второй точкой с известными координатами

(x_2, y_2) является верхняя точка в кривой провисания — это крайний ролик машины покрытия.

Тогда расстояние по горизонтали (L_0) между верхней и нижней точками в кривой провисания полосы (между машиной покрытия и точкой соприкосновения полосы с роликками в печи) определяется по формуле:

$$L_0 = (x_2 - x_0) = L_1 + L_1(y_1 + \sqrt{y_1 y_2}) / (y_2 - y_1),$$

А высоты захода полосы в печь (y_3) определяется по формулам:

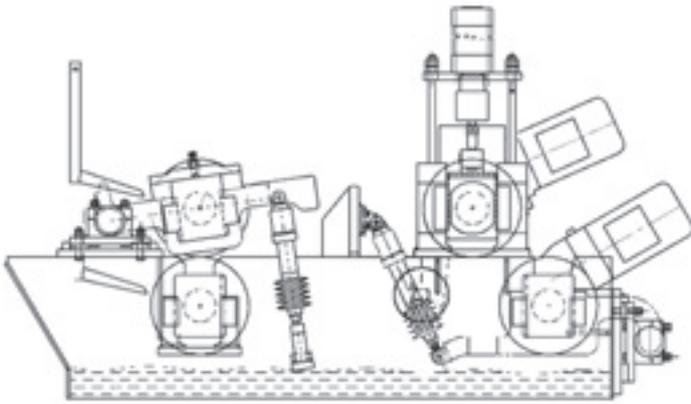
$$y_3 = y_1 \cdot (L_0 - L_3)^2 / (L_0 - L_1)^2,$$

$$\text{или } y_3 = y_2 \cdot (1 - L_3 / L_0)^2$$

где: L_3 — расстояние между машиной покрытия и печной заслонкой.

Когда оператор изменяет с помощью тянущей клетки натяжение полосы перед машиной покрытия, датчик измеряет расстояние до нижней поверхности провисающей полосы, а контроллер по приведенным выше формулам рассчитывает и индицирует расстояние между машиной покрытия и точкой соприкосновения полосы с роликками в печи, а также высоту захода полосы в печь в районе печных заслонок.

Если между машиной покрытия и печью не удастся установить датчик величины провисания полосы, то можно вычислить задаваемое оператором натяжение по формуле, учитывающей вес полосы на единицу длины (q , кг/м) в предположении, что полоса является не упругой и форма ее провисания на данном участке имеет форму параболы. Тогда для обеспечения необходимого рас-



стояния между машиной покрытия и точкой опускания полосы на печной ролик (L) натяжение, задаваемое тянущей клетью перед машиной покрытия (F_2) можно рассчитать по формуле:

$$F_2 = F_0 \sqrt{1 + 4y_2^2/L^2},$$

где: $F_0 = qL^2/2y_2$ — натяжение в точке опускания полосы на печной ролик;
 y_2 — высота машины покрытия над уровнем печных роликов.

Описание СЗМТК

Для создания натяжения полосы в агрегатах применяют 2 рядом расположенных ролика с большим углом охвата полосой каждого, называемые часто S-роликми или тянущей клетью. При большой разности натяжений перед и после тянущей клетки возникает проскальзывание полосы по S-роликам, что приводит к повреждению поверхности полосы.

По формуле Эйлера натяжение за огибаемым роликом зависит от натяжения полосы до ролика и рассчитывается как:

$$F_2 = F_1 e^{\alpha f}$$

F_1 — натяжение до ролика;
 F_2 — натяжение после ролика ($F_2 > F_1$);
 e — экспоненциальная функция;
 α — угол охвата ролика в радианах;
 f — коэффициент трения полосы по ролику.

При типичных параметрах:
 $\alpha = 3,14$ рад (180 гр); $f = 0,2$ (коэффициент трения сталь по стали),
 $e^{\alpha f} = e^{0,63} = 1,88$.

То есть один ролик может увеличить натяжение полосы при типичных параметрах не более, чем в 1,88 раза, а тянущая клеть из 2-х роликов с одинаковыми типичными параметрами — в 3,53 раза.

Применительно к рис. 1, если между разматывателем и тянущей клетью натяжение равно 1 тонна, то максимальное натяжение между тянущей клетью и моталкой при типичных параметрах

РИС. 3.
Узел нанесения покрытия.

$M_{2Д} = M_{1Д} e^{\alpha 2f_2} R_2 i_1 / e^{\alpha 1f_1} R_1 i_2$,
 Где: R_1, R_2 — радиусы первого и второго роликов;
 i_1, i_2 — передаточные отношения редукторов приводов роликов.

При модернизации агрегатов обезуглероживающего отжига (АОО) на входе в печь отжига установлен узел нанесения теплоизоляционного покрытия с системой автоматического регулирования толщины покрытия по сигналам рентгеновских измерителей толщины (рис. 3).

Толщина нанесения покрытия задается первой парой холостых роликов с кольцевой нарезкой канавок по всей ширине бочки ролика. Вторая пара роликов приводная, разглаживает покрытие. Толщина покрытия зависит от двух основных факторов: глубина и профиль кольцевой нарезки роликов и усилия прижатия верхнего роликов к полосе. Профиль нарезки во время работы постоянно изнашивается, поэтому по мере износа требуется поддержание усилия прижатия для сохранения заданной толщины покрытия. Усилие прижатия создается парой нажимных винтов, которые по сигналам датчиков усилия поддерживают заданные усилия слева и справа от оси полосы, автоматически перемещаясь на определенную величину. Окончательно толщина покрытия сверху и снизу полосы регулируется по сигналам 2-х рентгеновских толщиномеров фирмы Termo Fisher, установленных на выходе из печи сушки.

На второй паре роликов для пропуски сварного шва предусмотрен механизм автоматического поднятия верхнего ролика пневматическим цилиндром для предотвращения травмирования поверхности верхнего и нижнего роликов. Данный механизм работает в автоматическом режиме по сигналу датчика сварного шва.

Опыт НПП «Машпром», как проектировщика и поставщика механического оборудования и «АСК», как компании по комплексной автоматизации позволяют сделать вывод, что морально и физически устаревшие металлургические агрегаты могут быть выведены на уровень современного комплекса обработки и отделки листового проката за счет относительно малозатратной реконструкции механооборудования и внедрения современных средств автоматизации. ●

Браун А.Е., Вовкотруб А.В., Исхаков Р.Ф.,
 Корнеев В.А., Мальшиева А.А., Мелентьев
 Л.М., Субботина Н.А., Силановский В.О.,
 Тикоцкий А.Е., Уральский С.Н.,

«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
 И КОМПЛЕКСЫ», ЕКАТЕРИНБУРГ,
 НПП «МАШПРОМ», ЕКАТЕРИНБУРГ



обоих роликов не может быть больше 3,53 тонны.

Как правило, проскальзывание возникает вначале на одном из роликов. Отсюда вытекает задача правильного распределения моментов между двумя S-роликми, чтобы исключить проскальзывание в тянущей клетке в целом. Если параметры роликов одинаковые, включая углы охвата, то задача достаточно простая — надо задавать на приводные двигатели роликов одинаковые моменты, $M_{1Д} = M_{2Д}$

Однако бывает, что из-за конструктивных особенностей агрегата углы охвата роликов отличаются, также как радиусы и передаточные отношения редуктора, и тогда правильное распределение моментов становится не очевидным. В общем виде для равномерного распределения нагрузки между роликми с точки зрения исключения проскальзывания момент на втором ролике должен быть равен: