

УДК 621.785.08:658.52.011.56

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕМ ПРОКАТА В ПОТОКЕ СТАНА

Ю. И. Липунов, К. Ю. Эйсмундт, Е. В. Некрасова
ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия)

Рассмотрены специфические особенности функционирования АСУТП, разработанных для устройств контролируемого охлаждения проката с учетом ускоренного охлаждения и конструктивных особенностей комплекса оборудования. Определены задачи, структура двухуровневых АСУТП, описаны алгоритмы управления режимом охлаждения для устройств контролируемого охлаждения проката в потоке прокатного стана.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, прокат, термоупрочнение, контролируемое охлаждение, прокатный стан.

Термомеханическая обработка в потоке прокатного стана, сочетающая прокатку и последующее термоупрочнение путем контролируемого ускоренного охлаждения до заданной температуры, достаточно эффективна, так как позволяет достичь требуемого комплекса служебных свойств проката при минимальном использовании легирующих элементов. Ускоренное охлаждение непосредственно за чистовой группой рабочих клетей прокатного стана — основной способ термической обработки, совершаемой за счет содержащегося в металле тепла [1, 2]. В большинстве случаев данный процесс регулируется подачей охладителя (чаще всего струей воды) на поверхность металла [3]. Такой способ охлаждения позволяет обеспечить как требуемые механические свойства металла, так и равномерность их по поверхности проката [4].

Устройство контролируемого охлаждения (УКО) в потоке прокатного стана позволяет реализовать следующие технологические операции: прерванное охлаждение после прокатки, закалку, закалку с самоотпуском, ускоренное охлаждение подкатов между черновой и чистовой прокаткой и др. Для стабильного достижения уровня требуемых механических свойств при термоупрочнении с прокатного нагрева необходимо обеспечение с высокой точностью температуры конца охлаждения и скорости изменения температуры в ходе ускоренного охлаждения проката. Основные параметры, управляющие изменением температуры проката, — интенсивность и длительность охлаждения — определяются расходами воды на секции и скоростью транспортировки проката через устройство. Чтобы обеспечить заданный режим охлаждения проката, необходимо обеспечение согласованной работы УКО со смежными системами, в частности, с прокатной клетью, рольгангами, трайб-аппаратами, а также постоянный обмен информацией о технологии термоупрочнения, положении и текущей температуре проката и др. Поэтому для обеспечения стабильности технологического процесса в составе комплекса устройств контролируемого охлаждения необходима автоматизированная система управления.

В течение последних лет ОАО «ВНИИМТ» во взаимодействии с рядом специализированных фирм за-

нималось проектированием и вводом в эксплуатацию УКО, оснащенных АСУТП:

УКО в потоке толстолистного стана 5000 (ОАО «Северсталь») [5];

устройство термоупрочнения арматуры в потоке среднесортного стана 350 (ОАО «Северсталь») [6];

устройство термоупрочнения арматуры в потоке мелкосортного стана 280 (ГУП «Листопрокатный завод» (г. Ярцево Смоленской обл.) [7];

оборудование участка изготовления и термообработки рельсовых накладок ООО НСМЗ (г. Нижняя Салда) [8].

Функционирование УКО характеризуется большим количеством входных сигналов с объекта и выходных управляющих сигналов на исполнительные механизмы (более 750 переменных), а также быстротой (малым временем) процесса термоупрочнения. АСУ процессом охлаждения в таких устройствах вне зависимости от профиля охлаждаемого проката имеют общую концепцию построения, в основе которой лежит единый подход как к проектированию устройств охлаждения, так и к достижению требуемого уровня технологических свойств термообработанного проката. Вместе с тем алгоритмы управления процессом контролируемого охлаждения толстолистного проката отличаются от алгоритмов управления процессом термоупрочнения в потоке непрерывных станов и технологических линий.

Толстолистые станы характеризуются широким сортаментом производимого проката по размерам, химическому составу и служебным характеристикам. Соответственно необходимо реализовывать широкий спектр технологий термоупрочнения — от мягкого ускоренного прерванного охлаждения с невысокими скоростями охлаждения до прямой закалки. В реальных условиях партия проката, обрабатываемого по технологии мягкого ускоренного прерванного охлаждения, может смениться или прерваться партией проката, подвергаемого прямой закалке или прерванной закалке с самоотпуском. При этом минимальный размер партии может составлять один раскат. В этих условиях необходима быстрая перенастройка охлаждающего устройства с изменением количества эксплуатируемых в процессе секций охлаждения и

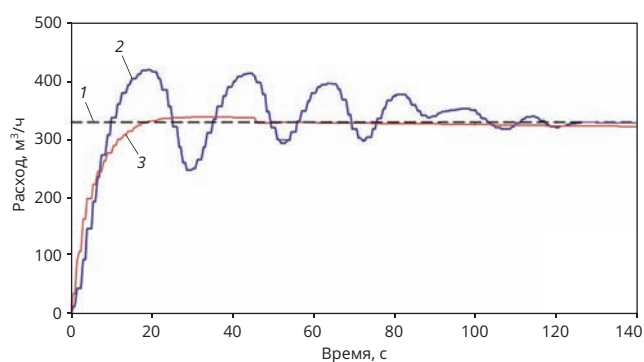


Рис. 1. Изменение расхода воды на секцию устройства охлаждения в процессе выхода на заданное значение: 1 — заданный расход; 2 — при ПИД-регулировании; 3 — при ступенчатом (пропорциональном) регулировании

посекционных расходов воды. Так как компоновка оборудования линии прокатки позволяет УКО и чистой клетки стана работать независимо, основным параметром оперативного управления процессом УКО до заданной температуры является скорость транспортировки проката (длительность охлаждения).

На непрерывных сортопрокатных станах и поточных линиях процесс термоупрочнения идет в ритме производственного процесса, т. е. нет возможности регулировать длительность охлаждения. При стабильных температурах начала и завершения прокатки основной параметр управления процессом — интенсивность охлаждения, т. е. расходы воды по секциям.

При разработке АСУТП необходимо обязательно учитывать специфические особенности устройств и процессов термоупрочнения проката.

Регулирование расходов воды. К особенностям многоконтурных систем водяного охлаждения (нескольких параллельно стоящих трубопроводов подачи воды) относятся взаимное влияние контуров в процессе изменения расходов воды, а также инерционность регулирования по каждому контуру. При изменении расхода воды инерционность выхода расходомеров на новые показания может достигать 2–3 с, что должно учитываться при настройке параметров регуляторов. Несмотря на то, что применяемые ОАО «ВНИИМТ» индукционные расходомеры наиболее оптимальны по быстродействию и точности измерения, использование ПИД-регулирования для достижения заданных значений расходов воды по секциям устройства с необходимой точностью оказалось неэффективно; более рационально применение ступенчатого (пропорционального) регулирования. На рис. 1 приведено изменение расхода воды в процессе выхода его на заданное значение для верхнего коллектора секции УКО стана 5000 ОАО «Северсталь».

Измерение и обработка текущих значений температуры проката. Градиент температуры по сечению проката после прерванного охлаждения определяется интенсивностью охлаждения, толщиной проката и теплофизическими характеристиками стали. При последующей выдержке на воздухе происходит выравнивание температуры по сечению, температура поверхности растет, приближаясь к среднемассовой,

а скорость повышения температуры поверхности со временем уменьшается. Чтобы измерить температуру проката, близкую к его среднемассовой, параметр, измеряющий температуру поверхности проката после охлаждения, должен располагаться на достаточном расстоянии от последней секции УКО. В состав АСУТП входит математическая модель охлаждения проката, позволяющая рассчитывать среднемассовую температуру проката по температуре его поверхности. Рассчитанная среднемассовая температура окончания охлаждения будет достоверной при правильной установке пирометра на выходе из УКО.

Температура поверхности проката до и после УКО измеряется пирометрами. Лучистый поток от горячего проката (особенно в случае листового проката), распространяясь в сферической области, фиксируется пирометром до и после того момента, когда передний или задний край проката пересечет ось визирования пирометра. Прокат до и после охлаждения имеет на поверхности участки, покрытые окалиной; на листовом прокате после охлаждения могут образоваться переохлажденные участки, вызванные недостатками организации сдува воды с поверхности листа; арматура за счет перемещения поперек рольганга, особенно при выходе с отводящего рольганга на холодильник, может кратковременно выходить из зоны визирования пирометра. Поэтому регистрация и контроль температуры проката, проходящего под пирометром, необходимы при наличии сигнала датчика наличия металла в вертикальной плоскости оси визирования пирометра.

Для исключения влияния окалины, ухода арматуры из поля визирования пирометра и прочих негативных факторов результаты измерения текущих температур подвергаются специальной статистической обработке [8], в результате которой определяется распределение температуры по длине проката, температур начала и окончания процесса охлаждения.

Контроль положения проката в устройстве охлаждения. Датчиками металла фиксируется только вход проката в устройство и выход из него. Положение проката в устройстве рассчитывается по скорости его транспортировки по рольгангу. Вода должна подаваться на секции устройства только при наличии в секции проката, однако при возникновении эффекта проскальзывания (особенно при малых скоростях транспортировки) проката по рольгангу его положение в устройстве может быть рассчитано недостоверно, что приводит к перерасходу воды.

Для реализации автоматизированного управления устройством контролируемого охлаждения АСУТП имеют двухуровневую структуру (рис. 2). На нижнем уровне реализуются функции измерения, контроля и непосредственного управления по заданиям верхнего уровня или оператора УКО, промежуточная обработка получаемой информации, обмен с верхним уровнем.

Верхний уровень, включающий АРМ оператора и сервер (инженерная станция), осуществляет решение задач оптимизации охлаждения, обмен информацией с базовым нижним уровнем, а также сетевой обмен ин-

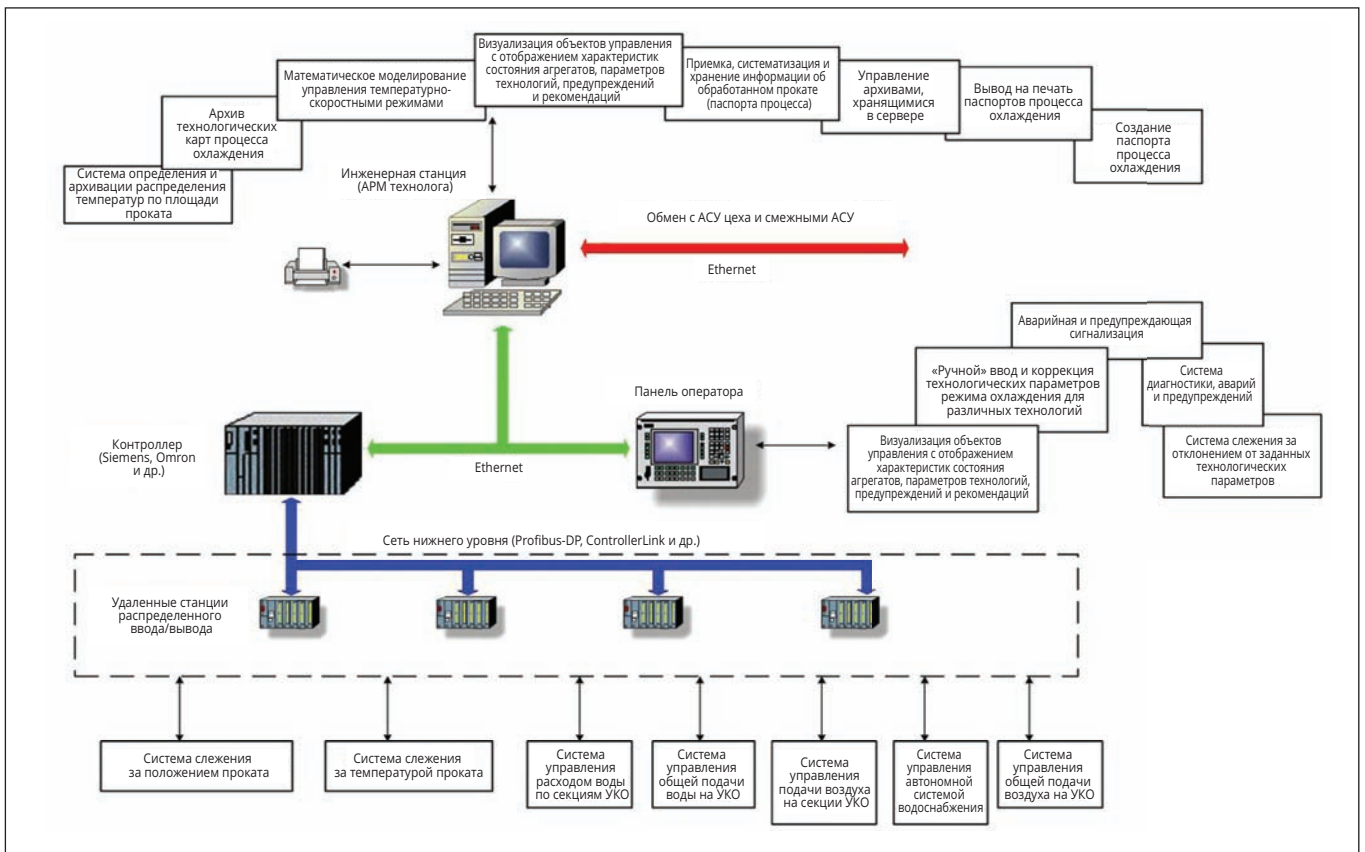


Рис. 2. Функциональная схема АСУТП охлаждения проката

формацией с АСУ цеха и смежными АСУ. Схема взаимодействия отдельных составляющих АСУТП УКО приведена на рис. 3. На сервере функционирует программа, управляющая взаимодействием контроллера с базой данных, математической моделью процесса и принимающая необходимую информацию от смежных АСУ.

В базе данных хранится следующая информация: исходные данные о прокате; параметры режима работы охлаждающего устройства (показания КИП, аварийные сообщения и др.) и смежных систем;

температурное состояние проката до и после охлаждающего устройства, полученное статистической обработкой показаний пирометров;

данные, рассчитанные с использованием математической модели;

нормативная информация (НИ) по термоупрочнению (технологические инструкции, маршрутные карты и др.), определяющая режим работы УКО в зависимости от марки стали и профиля проката.

Эффективность работы АСУТП в режиме оперативного управления обеспечивается функционированием на верхнем уровне математической модели процесса ускоренного охлаждения. В основе математической модели лежит решение одномерного дифференциального уравнения теплопроводности в граничных условиях II и III рода с переменными теплофизическими свойствами. Граничные условия задаются по экспериментально установленным в процессе пуска наладочных работ зависимостям плотности теплового потока

от плотности орошения водой поверхности проката в УКО. Практика введения в эксплуатацию АСУТП показала, что точность расчета применительно к конкретному УКО составляет 5 % до адаптации математической модели к параметрам конкретного УКО и 2-3 % после адаптации модели.

До начала обработки партии в УКО от АСУ прокатки в АСУТП поступает информация о размерах проката, температурах начала и конца охлаждения, марке стали и др. В зависимости от технологических требований АСУТП УКО выбирает количество и номер задействованных секций, определяет расходы воды по секциям. Выбор секций и определение расходов ведутся по разработанному в ОАО «ВНИИМТ» алгоритму

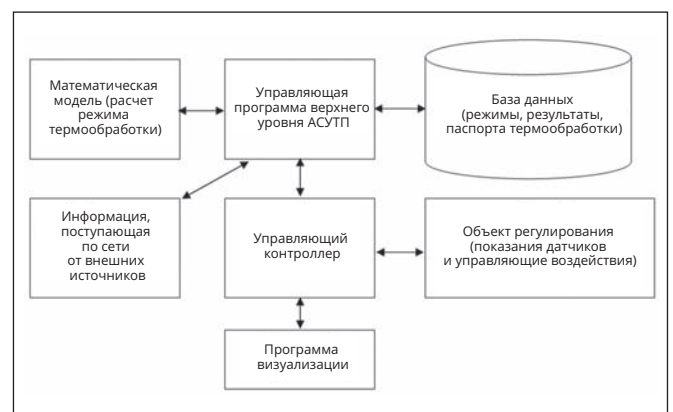


Рис. 3. Блок-схема составляющих устройства контролируемого охлаждения проката

му, в котором используется расчет по математической модели изменения температуры по сечению проката в процессе термообработки в УКО.

После выхода проката из УКО измеряется фактическая температура окончания охлаждения. Если отклонение ее от заданной по технологии превышает допустимые пределы, АСУТП вводит поправку на основной параметр регулирования. При термоупрочнении толстолистового проката основной параметр регулирования — скорость транспортировки проката через секции, при этом расход воды по секциям постоянен.

В АСУТП УКО толстолистового стана 5000 расчет скорости транспортировки проводится:

перед началом охлаждения при расчете режима охлаждения по заданным параметрам раската;

при поступлении фактических параметров раската после прокатки, а также температуры раската, измеренной пирометрами до УКО (температура начала охлаждения) и за УКО (температура окончания охлаждения).

В последнем случае скорость транспортировки корректируется для следующего раската. На непрерывных сортопрокатных станах скорость транспортировки постоянна, равная скорости прокатки в последней работающей клетке. Поэтому при обработке сортового проката основной параметр регулирования — расход воды в последней из задействованных секций УКО. Колебания температуры конца прокатки на сортовых станах при стабильном режиме, как правило, не выходят за заданные по технологии пределы.

Например, в АСУТП УТУ (устройства термоупрочнения арматуры) стана 350 поправки рассчитываются и вводятся в качестве новых уставок для регуляторов расходов, если на пяти прошедших подряд прутках зафиксировано недопустимое отклонение фактической температуры от требуемой по технологии. Практика промышленной эксплуатации подтвердила достаточно высокую надежность принятого принципа управления.

По завершении процесса термоупрочнения на основании фактических температур, расходов и скорости транспортировки по каждому раскату (прутку) с помощью математической модели рассчитывается фактическая плотность теплового потока, снятого в каждой задействованной секции, а в базе данных формируется паспорт проката, включающий всю необходимую информацию о термообработке.

У технологического персонала есть возможность воспользоваться математической моделью охлаждения проката, функционирующей в режиме «Совет». Этот вариант работы математической модели предназначен для обучения персонала, проведения предварительных оценочных расчетов и позволяет рассчитывать параметры термообработки для ускоренного охлаждения, охлаждения подката, закалки и экспериментальных режимов охлаждения. Исходные данные для расчета задаются технологическим персоналом, результаты расчета выводятся на экран дисплея.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные АСУТП термоупрочнения отличаются тем, что в них учтена специфика процессов ускоренного охлаждения, режимы работы прокатных станов (технологических линий) и конструкционные особенности комплекса оборудования. Особое внимание при разработке программного обеспечения АСУТП термоупрочнения обращено на статистическую обработку массивов текущих значений температуры проката, что позволяет достоверно определить температуру поверхности и построить распределение температур по длине раската. Математическая модель процесса охлаждения, разработанная ОАО «ВНИИМТ», позволяет оперативно и качественно управлять процессом термоупрочнения и получать заданные служебные характеристики проката.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Streisselberger A., Kirsch H.-J., Schwinn V. Process developments in TMCP to produce heavy plates in high strength steel grades // 2nd Intern. Conf. on Thermo-mechanical Processing of Steels. TMP'2004. June 15 – 17, Belgium, Liege. 2004. P. 275 – 284.
2. Богачев Д. В., Ершов Е. В., Варфоломеев И. А. Обеспечение оптимального скоростного режима работы установки ускоренного охлаждения // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы X междунар. науч.-техн. конф. — Вологда : ВоГУ, 2015. С. 31 – 35.
3. Липунов Ю. И., Эйсмодт К. Ю. Разработка систем автоматизированного управления технологическим процессом упрочнения проката в потоке стана // Изв. вузов. Черная металлургия. 2009. № 12. С. 68 – 72.
4. Липунов Ю. И., Эйсмодт К. Ю. Разработка высокоэффективных технологий и устройств регулируемого охлаждения для термоупрочнения металла // Сб. материалов VII Междунар. конф. «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология». — М. : ФГБОУ ВПО НИТУ «МИСиС». 2014. С. 281 – 286.
5. Липунов Ю. И., Эйсмодт А. Ю., Завгороднев Д. В. и др. Автоматизированная система управления устройством контролируемого охлаждения на стане 5000 // Сталь. 2005. № 3. С. 61 – 65.
6. Эйсмодт К. Ю., Завгороднев Д. В., Некрасова Е. В. и др. Автоматизированная система управления устройством термоупрочнения арматуры стана 350 // Сталь. 2007. № 6. С. 40 – 42.
7. Липунов Ю. И., Эйсмодт К. Ю., Мягков К. А. и др. Разработка и введение в промышленную эксплуатацию участка термоупрочнения арматуры в потоке литейно-прокатного комплекса стана 280 // Сталь. 2010. № 3. С. 86 – 90.
8. Липунов Ю. И., Эйсмодт К. Ю., Абрамов Э. В. и др. Ввод в эксплуатацию линии по производству рельсовых накладок на Нижне-Салдинском металлургическом заводе / Труды 9-го междунар. конгр. прокатчиков. ОАО «Северсталь». — Череповец : Изд-во ОАО «Черметинформация», 2013. С. 112 – 115.

Статья поступила 23.03.2020

Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru