



УДК 669.187.56.001.6

ОДИН МИЛЛИОН ТОНН СТАЛИ ЭШП ВЫПЛАВЛЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ*

**В. В. Моисеев, М. К. Закамаркин, М. А. Лоиферман,
В. В. Четвертных**

Приведены основные технические характеристики первой отечественной системы управления электрошлаковым переплавом, разработанной специалистами ОАО «Ижсталь». В результате работы системы выплавлен один миллион тонн высококачественного металла.

Main technical characteristics of the first domestic system of the electroslag remelting control, developed by the specialists of OJSC «Izhstal», are given. As a result of this system operation one million tons of the high-quality metal was produced.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; автоматическая система управления; расходоуемый электрод; выплавка стали; математическая модель

Открытое акционерное общество «Ижсталь» является одним из ведущих предприятий Российской Федерации по производству металлургической продукции из качественных сталей: нержавеющей, конструкционных, быстрорежущих, шарикоподшипниковых, инструментальных, а также специальных сплавов и др.

Сортамент ижевского металла довольно разнообразен. Это проволока и лента, в том числе тончайших размеров, калиброванные фасонные профили высокой точности, плющенная лента и шлифованная проволока (серебрянка), сортовой прокат широкой номенклатуры. Только номенклатура стальных фасонных профилей высокой точности составляет более 4500 типоразмеров

Важнейшим направлением обеспечения качества и воспроизводимости металлургической продукции является создание автоматизированных систем управления технологическими процессами. Вместе с тем металлургические процессы являются одними из самых энергоемких в промышленности. Энергосбережение при производстве продукции различных энергоносителей: электроэнергии, природного газа, пара, инертных газов, кислорода, мазута — одно из важнейших направлений снижения себестоимости выплавляемого металла. На ОАО «Ижсталь» данное направление работы реализуется на микроуровне — агрегат и макроуровне — цех, агрегат и предприятие.

Применение ПЭВМ для автоматизации контроля и управления технологическими процессами повышает производительность труда, позволяет оптимизировать производственные процессы, стабилизировать качество выпускаемой продукции, сократить расход сырья и электроэнергии, снизить уровень брака.

На ОАО «Ижсталь» в рамках целевой комплексной программы и научно-исследовательской тематики выполнен ряд важнейших работ по внедрению средств вычислительной техники для управления технологическими процессами в сталеплавильном, прокатном и метизном производствах, а также для управления подачей энергоносителей при работе металлургических агрегатов и расходом энергии на собственные нужды.

Первой работой по автоматизации процессов в качественной металлургии на ЭВМ явилось создание автоматизированной системы управления технологическим процессом электрошлакового переплава (АСУ ТП ЭШП), так как его использование для производства конструкционных марок сталей выдвинуло в число первоочередных задач улучшение технико-экономических показателей переплава, повышение качества выплавляемого металла, обеспечение воспроизводства достигнутого качества, увеличение выхода годного за счет снижения технологической обрезки слитков [1].

Работа проводилась в двух направлениях: создание автоматизированной системы контроля и управления; разработка математической модели с целью исследования процесса электрошлакового переплава и создания оптимальной математической

* Статья опубликована в сборнике докладов «Medovar memorial symposium», May 15–17, 2001, Kyiv, Ukraine.

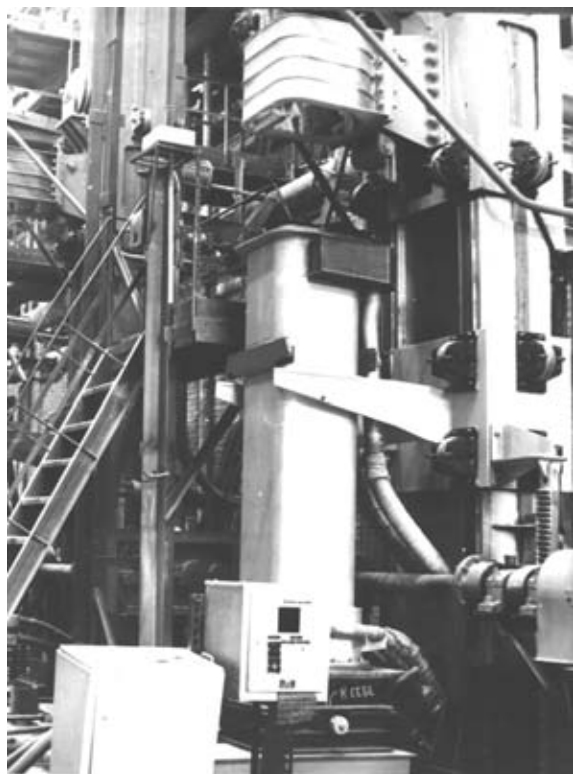


Рис. 1. Установка ОКБ-1155А

модели управления в функции сосредоточенных параметров. В основу АСУ ТП ЭШП положено автоматическое управление ведением плавки на печах ЭШП, позволяющее исключить из контура управления фактор субъективного влияния на ход технологического процесса в основной стадии переплава и обеспечить высокое качество стали.

Объект управления — комплекс установок электрошлакового переплава ОКБ-1155 А (рис. 1) конструкции ВНИИЭТО. Конструктивно установка выполнена по монофилярной схеме электрод — поддон. Сторона квадрата нижнего сечения кристаллизатора 510 мм, верхнего 460 мм, высота 2600 мм. Электрод имеет квадратное сечение со стороной 370 мм. В качестве средств локальной автоматики использован регулятор АРШМТ. Сортмент основных сталей, выплавляемых методом ЭШП, следующий:

Группа стали	Марка стали
Конструкционные	38ХС, 14ХНЗМА, 12ХНГ, 20ХНЗМА, 30ХГСА, 30ХГСНА
Легированные	60С2А, 65С2ВА, 50ХФА, 40ХН2МА, 40ХН, 20ХНЗА, 12ХНЗА, 45ХН2МФА, 12-20Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, 25Х2Н4МА, 25Х2Н4ВА, 14ХНЗМА, 16ХНЗМА, 18ХНЗМА, 38ХНЗМА, 15НЗМА, 17НЗМА
Шарикоподшипниковая	ШХ15-ШХ15СГ
Нержавеющие	10Х18Н9, 12Х21Н5Т, 09Х17Н, 14Х17Н2
Инструментальные	У9А-У10А, 4ХМФС, 4Х5МФС, 5ХНМ, 7ХНМ, ХВГ, 15Х11МФ
Жаропрочные высоколегированные	20Х13, 12Х13, 40Х13

АСУ ТП ЭШП реализована по трехуровневой схеме (рис. 2): комплекс измерительных датчиков

и телеметрической аппаратуры; регуляторы тока и напряжения; вычислительный комплекс для контроля и управления.

АСУ ТП ЭШП обеспечивает функционально контроль параметров агрегатов и управление процессом путем воздействия на исполнительные механизмы печей и оформлена в двух подсистемах: контроля и управления.

Подсистема контроля процесса ЭШП решает следующие задачи: анализ состояния оборудования печи до и по ходу переплава; контроль работы датчиков; измерение силы тока, напряжения и мощности печи ЭШП, сопротивления шлаковой ванны; выдача результатов измерений переплава на графическую станцию; формирование плавильной карты; формирование графиков параметров ЭШП; запись технико-экономических показателей на долговременное записывающее устройство; выдача суточной ведомости выплавки стали.

Для измерения силы тока I , напряжения U , мощности P переплава установлены измерительные преобразователи Е824, Е825, Е829. Аналоговые сигналы с преобразователей поступают на вход ЭВМ, которая производит дальнейшую обработку информации.

Измерение скорости подачи электрода производится с использованием частотного сигнала, поступающего с датчика КВД-25, установленного на валу двигателя исполнительного механизма.

Расход воды в поддоне и кристаллизаторе, а также температура воды измеряются расходомерами-дифманометрами ДМИ с встроенным частотным преобразователем ПГ-2-1 и термометрами сопротивления с вторичными преобразователями ПТ-ТС-68.

Управление печами ЭШП предусматривает воздействие на два канала — управление переключателем ступеней напряжения и блоком управления перемещением электрода. Управление комплексом печей ЭШП спроектировано в виде структуры, при которой параметры процесса регулируются автоматическими регуляторами, а ПЭВМ обрабатывает измерительную информацию, рассчитывает и оптимизирует уставки регуляторов. При подобной структуре управления повышается надежность системы в целом, так как ее работоспособность сохраняется и при отказах ПЭВМ. В случае отказа или сбоя ПЭВМ на печи сохранится текущее состояние электрических параметров.

В начале процесса плавки производится выдача уставки с целью создания на шлаковой ванне необходимых условий для розжига печи. В течение 30 мин происходит постепенное увеличение мощности с одновременным контролем силы тока и напряжения. После розжига печи непрерывно идет анализ процесса на его устойчивость.

В общем случае алгоритм минимизации тока I_i переплава определяется из соотношений:

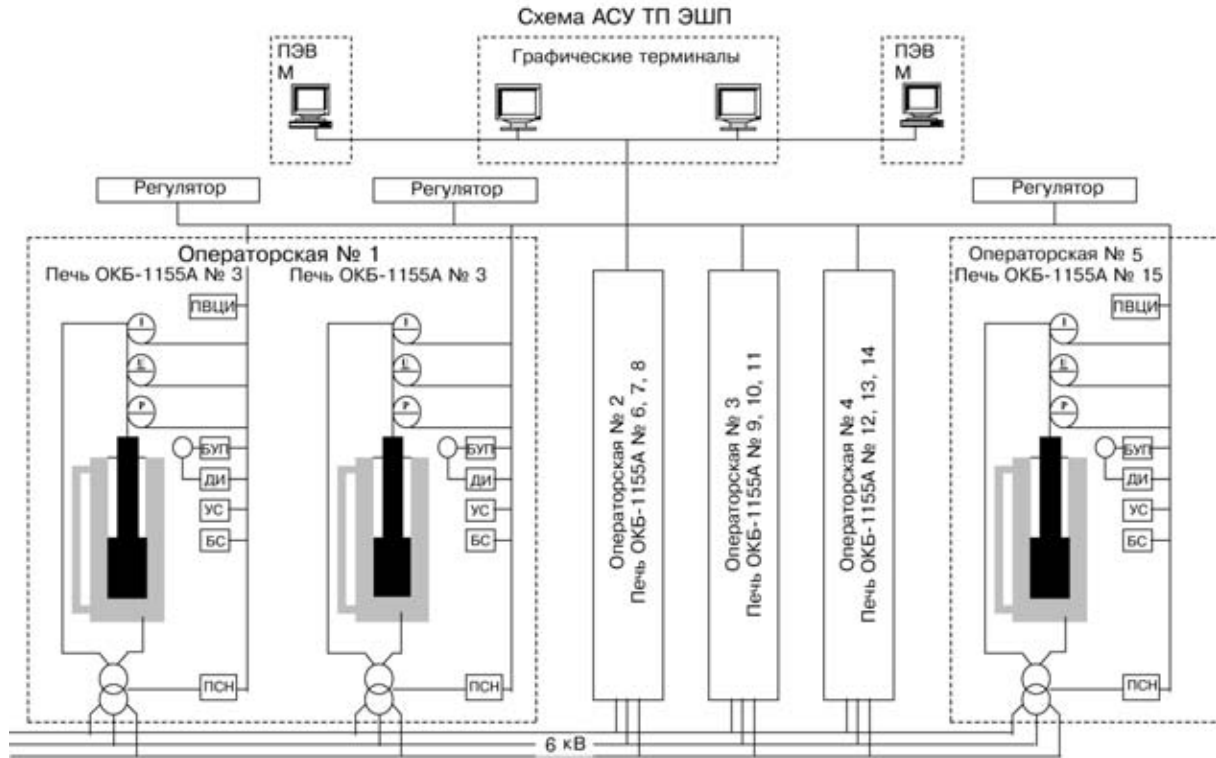


Рис. 2. Схема автоматизированной системы управления ЭШП

$$I_{i+1} = I_i - \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta T}, \quad \text{если } n \leq n_1; \quad (1)$$

$$I_{i+1} = I_b, \quad \text{если } n_1 < n < N; \quad (2)$$

$$I_{i+1} = I_i + \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta T} 2\Delta I, \quad \text{если } n \geq N, \quad (3)$$

где I, T, n, N — сила тока, время, количество оборотов датчика положения текущее и заданное соответственно.

Скорость V переплава расходуемого электрода задается программно и определяется геометрическими параметрами $\alpha(x)$ системы, а также технологическими требованиями для каждой марки (группы марок) стали. Управление скоростью осуществляется ПЭВМ путем воздействия на переключатель ступеней напряжения трансформатора с учетом влияния положения электрода в шлаковой ванне. Для ряда ступеней напряжения при работе на пологий верхней части электрической характеристики для более мягкого перехода предусмотрена возможность порогового переключения величины тока с целью компенсации ступенчатого переключения напряжения.

Электрические параметры печи контролируются в течение всей плавки, что необходимо для обеспечения безопасного режима работы и получения требуемой технологической документации: паспорта плавки, графиков режима переплава, сведений о работе комплекса печей за сутки и с нарастающим итогом (рис. 3).

В случае каких-либо отклонений от заданных технологических пределов производится кор-

ректировка электрического режима и одновременно расчет сопротивления шлаковой ванны, далее процесс ведется при постоянном сопротивлении шлаковой ванны, увеличивающемся к концу плавки почти на 8 % от первоначального значения. После выдачи каждой команды на печь анализируется отработка управляющих воздействий по реакции печи на данную команду. При отказе электрооборудования печи или ЭВМ происходит отказ от управления с выдачей диагностического сообщения и дальнейшим переходом на ручное управление.

Алгоритм управления печью ЭШП ОКБ-1155А позволяет производить розжиг печи на твердом старте, используя информацию с датчиков электрического тока, напряжения, мощности в соответствии с индивидуальными электротехническими характеристиками печей. Технологический режим переплава заложен в памяти ЭВМ в виде зоны до-

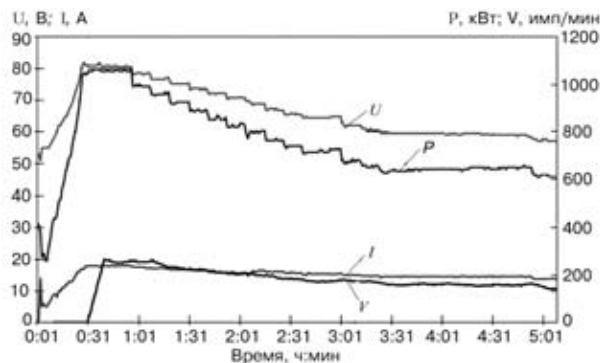


Рис. 3. Технологические параметры системы электрод-шлак-слиток

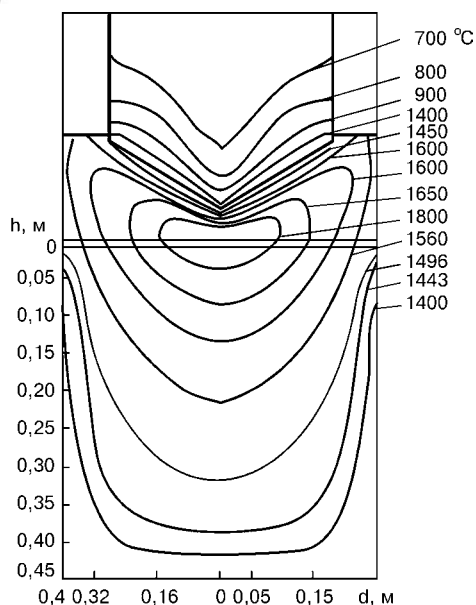


Рис. 4. Температурное поле системы электрод–шлак–слиток

пустимых минимальных и максимальных значений мощности, напряжения, силы тока и сопротивления шлаковой ванны. После выхода на режим, соответствующий необходимой скорости плавления, производится оптимизация электрического режима, что необходимо для минимального расхода электроэнергии на плавку.

На основе физико-математической модели ЭШП разработано математическое обеспечение САПР ТП ЭШП, позволяющее проектировать оптимальную технологию ЭШП в двух режимах ведения процесса — стационарном и финишном. Критериями оптимальности при проектировании технологии являются высокие интенсивность и экономичность процесса (минимальные потери в шлаковой ванне), а также высокое качество металла (отсутствие пор, рыхлостей, трещин).

Математическая модель процесса ЭШП позволяет определить: в электроде — температурное поле и скорость плавления; в шлаковом слое — температурное поле, поля гидродинамических скоростей и поля электрических потенциалов; в слитке выделить три

От редакции

Данная статья была включена в труды Международного симпозиума по ЭШП, посвященного памяти академика Б. И. Медовара, состоявшегося в Киеве 15–17 мая 2001 года. К сожалению, данный материал не был представлен и не обсуждался на симпозиуме.

В то же время проблема совершенствования существующих и создания новых систем управления процессами специальной электрометаллургии, в том числе ЭШП, не утратила своей актуальности. Наоборот, в связи с возрастающей потребностью во все более тяжелых гомогенных слитках так называемых «суперсплавов» для нужд энергетики металлурги столкнулись с тем, что существующие сегодня системы управления ЭШП не обеспечивают достаточной стабильности процесса, в особенности контроля за глубиной электрода в шлак и постоянства производительности. В связи с этим мы и публикуем весьма традиционные, по мнению редколлегии, результаты наших коллег из ОАО «Ижсталь» и приглашаем читателей начать соответствующее обсуждение на страницах нашего журнала.

зоны — жидкого металла; двухфазную и зону твердой фазы. В первой и третьей вычисляются только температурные поля, а в двухфазной зоне — поля температур, давлений, концентраций, удельного объема пор и параметров формирования макрокристаллической структуры слитка. В твердой фазе слитка дополнительно вычисляются поля напряжений, упругих и пластических деформаций и на этой основе оцениваются возможности образования трещин. Одновременно определяется дендритная неоднородность металла и исследуется ее сглаживание за время формирования слитка. Температурное поле системы электрод–шлак–слиток представлено на рис. 4.

Выводы

1. Создана автоматическая система управления комплексом печей ЭШП, основой которой явилась математическая модель управления, действующая в реальном масштабе времени, разработанная на базе экспериментальных и теоретических модельных исследований.

2. По итогам данной работы издана монография «Автоматизация управления электрошлаковым переплавом».

3. Получен патент Российской Федерации на основные узлы системы.

4. С использованием автоматизированной системы управления ЭШП за 20 лет выплавлено около миллиона тонн высококачественного металла, значительно снижено потребление электроэнергии.

5. Создание АСУ ТП ЭШП стало основой для разработки и внедрения систем контроля и управления в энергетике, на других металлургических агрегатах.

1. Петров А. И., Журавлев В. А., Четвертных В. В. Автоматизация управления электрошлаковым переплавом. — Устинов: Удмуртия, 1985. — 384 с.

ОАО «Ижсталь», Ижевск

Поступила 19.06.2001