

то, очевидно, для плану X його собівартість (вартість трудовитрат) дорівнюватиме –

$$RS(X) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (r_{ij} \times x_{ij}). \quad (18)$$

Така функція надається лінійною формою матричного аргументу.

Висновки і пропозиції. Таким чином, найбільш доцільним на цей час механізмом стимулювання інформаційного ресурсозбереження на ринку авіаційних перевезень є впровадження в систему організаційного й оперативного управління АТК комплексу основних завдань маркетингу та менеджменту виключно як завдань ефективного використання інформаційних ресурсів на усіх етапах життєвого циклу АТК.

Список використаних джерел

1. *Вентцель Е. С.* Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1982. – 362 с.
2. *Міщенко А. В.* Фактори економічної безпеки економіки авіатранспортного комплексу країни як складова інформаційної безпеки держави / А. В. Міщенко // Інформаційна безпека. – 2013. – № 3 (11). – С. 91–97.
3. *Федоренко І. К.* Дослідження операцій в економіці / І. К. Федоренко. – К. : Знання, 2007. – 559 с.
4. *Форрестер Дж.* Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1977. – 168 с.

УДК 621-83-52

В.И. Нежурин, канд. техн. наук

С.А. Абрамов, аспирант

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕЧЕЙ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.І. Нежурін, канд. техн. наук

С.О. Абрамов, аспірант

Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПЕЧЕЙ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Vadim Nezhurin, PhD in Technical Sciences

Sergey Abramov, PhD student

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

IMPROVEMENT OF FURNACES OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE CONDITIONS OF MACHINERY PRODUCTION

Проанализированы недостатки работы привода перемещения электрода печи ЭШП. Предложен способ модернизации привода, элементная база которого построена на основе регулятора, состоящего из панели оператора, контроллера, преобразователя, частотного преобразователя, редуктора, трансформатора тока, асинхронного двигателя, питающего трансформатора, пульта управления. Предлагаемая модернизация является экономически целесообразной, так как приводит к уменьшению затрат на текущий ремонт при увеличении объема производства.

Ключевые слова: модернизация электропривода ЭШП, системы регулирования, контактная аппаратура, система управления.

Проаналізовано недоліки роботи привода переміщення електрода печі ЕШП. Запропоновано спосіб модернізації привода, елементна база якого побудована на основі регулятора, що складається з панелі оператора, контролера, перетворювача, частотного перетворювача, редуктора, трансформатора струму, асинхронного двигуна, живильного трансформатора, пульта управління. Пропонована модернізація є економічно доцільною, оскільки приводить до зменшення витрат на поточний ремонт при збільшенні обсягу виробництва.

Ключові слова: модернізація електропривода ЕШП, системи регулювання, контактна апаратура, система управління.

The way of modernization of the actuating device, the element base of which, is constructed on the basis of the regulator of the operator consisting of the panel, the controller, the converter, the frequency converter, a reducer, the transformer of current, the asynchronous engine, the feeding transformer, the control panel is offered. The offered modernization is economically expedient as leads to reduction of costs of maintenance at increase in output.

Key words: modernization of the motor drive of electroslag refining furnace, system of regulation, contact equipment.

Постановка проблеми. Для успешного развития машиностроения в современных условиях необходимо повсеместное внедрение ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий.

Применение различных отходов смежных производств, содержащих дорогие и дефицитные материалы для легирования инструментальных сталей, представляет значительный практический интерес с точки зрения ресурсосбережения, снижения стоимости и расширения объемов производства усиленных материалов.

Анализ последних исследований и публикаций. Изготовление технологической оснастки с широким внедрением литейных технологий позволяет сократить расход дорогих легированных сталей, снизить трудоемкость, дает возможность использовать в качестве исходной шихты отходы инструментального производства (инструментальный лом, стружку, штампы, которые отработали свой ресурс и др.) [1, с. 26–39].

В процессе изготовления литого инструмента возможна корректировка химического состава инструментальных сталей с учетом условий работы и с целью повышения стойкости инструмента.

Известно [2, с. 134–141; 3, с. 98–36], что литая сталь имеет более высокое сопротивление истиранию по сравнению с деформированной, и, особенно, при повышенных температурах, уступает деформированной стали по пластичности [4, с. 117–118].

Одним из перспективных решений этой задачи является внедрение в металлургическое производство принципиально новых способов получения сталей и сплавов, при которых слитки формируются из рафинированного металла в охлаждаемых изложницах – кристаллизаторах печей ЭШП.

Принципиальное отличие электрошлакового переплава заключается в том, что жидкий электропроводящий шлак при прохождении тока нагревается до температуры 1700–2000 °С, при которой плавится электрод, погруженный в шлак. Стекающие капли металла проходят через шлаковую ванну и собираются в кристаллизаторе, который охлаждается водой.

Высокая эффективность электрошлакового переплава (ЭШП) объясняется тем, что он позволяет получать слитки с минимальной химической и физической неоднородностью, а также повысить общую чистоту металла, снижая содержание вредных примесей.

В связи с тем, что мощность, выделяемая в ванне, распределяется в ее объеме неравномерно, неравномерным является и распределение температур. Наиболее нагретая часть ванны находится под электродной областью, где находится тепловое ядро с температурами 1900–2100 °С. В остальных зонах ванны температура ниже, что определяется интенсивным отводом тепла от границ ванны.

Электрошлаковые печи обычно питаются от источников переменного тока промышленной частоты. Ванна жидкого шлака является проводником и при протекании через нее тока играет роль нагревателя. Для компенсации электрода при оплавлении его непрерывно подают вниз.

В печах ЭШП одним из основных элементов конструкции является привод подачи электрода, который должен обеспечивать непрерывную или прерывистую подачу электродов в шлаковую ванну с регулируемой скоростью, которая определяется технологическим процессом переплава [5, с. 115–136].

Приводы должны обеспечивать рабочие скорости подачи электродов в пределах 0,2–3 м/ч. Для сокращения межплавочных простоев целесообразно иметь вторую, маршевую скорость. В зависимости от конструктивных особенностей печи маршевая скорость составляет 3–120 м/ч.

В механических приводах для обеспечения широкого диапазона скорости подачи электродов используют три способа:

- плавное изменение числа оборотов электродвигателя в пределах $1 \div 100$ и выше;
- переключение с рабочей скорости на маршевую с помощью двух электромагнитных муфт;
- переключение с рабочей скорости на маршевую с помощью дифференциального редуктора.

Печь электрошлакового переплава типа А-550 относится к однофазным, одноэлектродным печам с выплавкой в «глухой» кристаллизатор. Предназначается для получения слитков весом до 50 кг для кокильного литья и слитков из инструментальных, конструкционных марок сталей из отходов основного производства и медных заготовок из лома и стружки, образующихся в результате производственной деятельности завода.

Технические характеристики печи приведены в табл.

Таблица

Техническая характеристика печи электрошлакового переплава типа А-550

№ п/п	Технические характеристики	Значения
1	Мощность, кВА	170
2	Максимальный ток, А	2000
3	Число ступеней напряжения, шт	6
4	Число фаз, шт	1
5	Частота тока, Гц	50
6	Размеры электрода расходуеться, мм: длина диаметр	800–2500 35–60
7	Размеры кристаллизатора, мм: высота диаметр	350 80
8	Вес выплавляемого слитка, кг	10–50
9	Ход каретки электрододержателя, мм	2000
10	Скорость перемещения электрода, м/мин.: маршевая рабочая	3 1
11	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	10

В печи ЭШП типа А-550 поддон является токопроводящим элементом электрической цепи. Для создания надежного контакта между выплавляемым слитком и поддоном на него укладывают специально проточенную шайбу – «приманку».

При увеличении диаметра электрода до 60 мм возможность переплава обеспечивается параметрами силового трансформатора ТДФЖ-2002УЗ.

Выделения не решенных ранее частей общей проблемы. В ходе проведения исследования были выявлены следующие недостатки:

- не обеспечивалось строго вертикальное перемещение электрода в зоне плавления кристаллизатора, что приводило к его прикосновению к стенкам кристаллизатора и возникновению «короткого замыкания»;
- не обеспечивалась стабильная работа привода электрода; двигатель постоянного тока кратковременно останавливался, что заставляло вручную прокручивать привод;
- невозможность отключения электропитания на кристаллизаторе при подъеме электрода из зоны переплава, что в моменты соприкосновения электрода к стенкам кристаллизатора приводило к режиму «короткого замыкания»;

– не обеспечивалась равномерность толщины опытного образца в сечении, поскольку режим ручной подачи электрода в зону переплава приводил к неравномерности его подачи, большим колебаниям тока переплава.

Цель статьи. Главной целью данной работы является модернизация электроприводов, построение принципиально новых систем регулирования, повышение уровня коммутационной износостойкости контактной аппаратуры или применения бесконтактной аппаратуры и элементов унифицированных блоков системы регулирования, что позволяет использовать прогрессивный модульный принцип построения систем управления и автоматизированных приводов в целом.

Изложение основного материала. Основным направлением модернизации привода перемещения электрода ЭШП может быть переход на одну из современных систем привода, элементная база которого построена на основе частотного преобразователя.

Наиболее распространенными типами преобразователей, применяемых в управляемом электроприводе, являются полупроводниковые статические преобразователи и преобразователи частоты.

Применение преобразователя частоты позволяет получить экономию электроэнергии до 60 %, поскольку пуск двигателя происходит плавно, без значительных пусковых токов и ударов, снижает нагрузку на двигатель и механизмы, увеличивает срок их службы.

Таким образом, применение системы ПЧ-АД в электроприводе механизма перемещения электрода печи ЭШП типа А-550 позволит обеспечить следующие технологические свойства:

- возможность плавного регулирования скорости;
- поддержание стабильной скорости при малых ее значениях;
- реверсивную работу привода;
- возможность быстрого разгона приводного двигателя до заданной скорости и его торможения;
- высокую перегрузочную способность приводного двигателя по току и момента;
- высокую степень надежности работы электропривода и системы управления.

Для большинства современных промышленных машин используется электропривод переменного тока в связи с тем, что такие двигатели имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с двигателями постоянного тока. Эти преимущества связаны с отсутствием в машинах переменного тока электромеханического преобразователя рода тока – коллекторно-щеточного узла, который снижает надежность двигателя и повышает эксплуатационные расходы. Кроме того, машины постоянного тока имеют сравнительно высокую стоимость и массогабаритные показатели.

Электропривод переменного тока может быть построен на базе асинхронного или синхронного двигателя. Основными преимуществами синхронных двигателей является абсолютно жесткая механическая характеристика возможности регулировки коэффициента мощности. Но вследствие более сложной конструкции и повышенной стоимости использования синхронных двигателей является технически и экономически оправданным только при мощности не менее 500 кВт, поэтому наиболее целесообразным в данном случае является использование асинхронного двигателя.

Электрошлаковый процесс (бездуговой) обеспечивается подбором питающего напряжения 24–64 В, положением электрода в шлаке и уровнем мощности. Поэтому электрошлаковая печь, как приемник электроэнергии, является печью сопротивления непрямого действия с жидким нагревателем.

Электрошлаковые печи, как электротехнологические агрегаты, имеют циклический характер работы. Цикл плавки разбивается на «горячее» время, в течение которого

происходит переплав электрода, и «холодное», затрачиваемое на остывание слитка, наведения шлаковой ванны и подготовительные операции.

Нагрузка электрошлаковой печи при правильно выбранном электрическом режиме является спокойной, без коротких замыканий и бросков тока, кроме кратковременного начального этапа – периода наведения шлаковой ванны при «твердом старте».

Во время плавки нагрузка печи неравномерна, это связано с тремя основными факторами:

- нестационарностью теплового режима в начальный период плавки;
- изменением геометрических размеров слитка и уменьшением сопротивления сети, которая подводит электроэнергию.

На рис. 1 показана типичная кривая изменения мощности печи при переплаве электродов в гладкий кристаллизатор со значительной конусностью. Из него видно, что во время плавки вводится мощность, которая закономерно уменьшается, особенно сильно в период вывода усадочной раковины.



Рис. 1. Изменение мощности ЭШП при плавке

На графике (рис. 2) показана зависимость нагрузки от времени цикла переплава. Цикл работы печи ЭШП типа А-550 составляет 97 минут, из них на получение слитка идет 29 минут, а 68 минут составляет межплавильный простой.

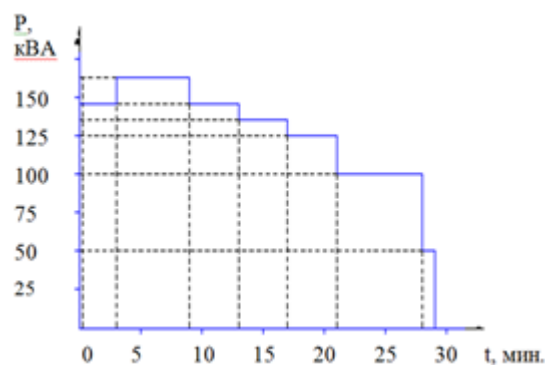


Рис. 2. Индивидуальный график нагрузки ЭШП

Мощность двигателя определялась по диаграмме нагрузки механизма (рис. 3).

Используя вышеустановленное соотношение, было выбрано асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором типа АИР90L4У2, со степенью защиты IP55, для работы данного механизма.

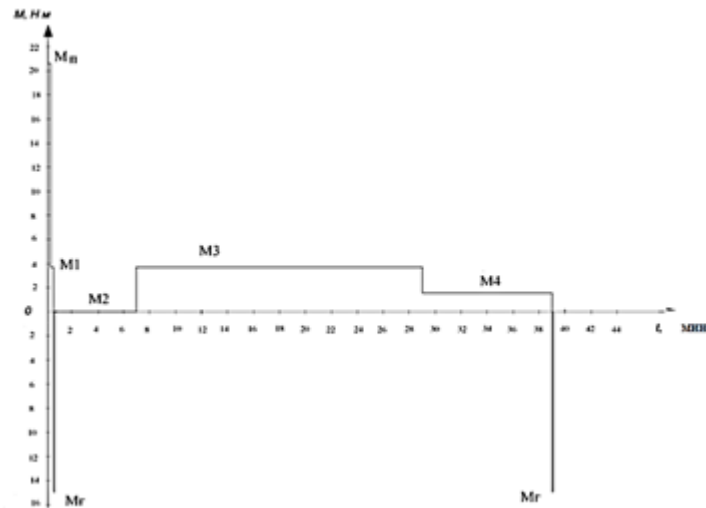


Рис. 3. Уточненная диаграмма нагрузки механизма перемещения электрода

Кривые зависимости характеристик двигателя от мощности (рис. 4, а), и от скорости (рис. 4, б) приведены на рис. 4.

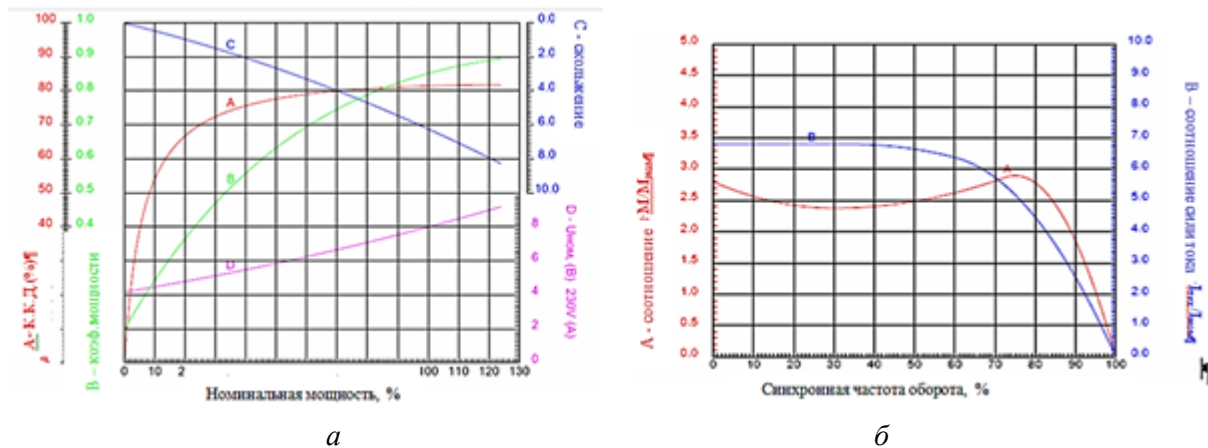


Рис. 4. Кривые зависимости характеристик двигателя: а – от мощности; б – от скорости

На отечественных заводах до сих пор применяют ряд систем управления процессом ЭШП [6, с. 155–178], преимущественно индивидуального изготовления, в которых используют различные способы регулирования параметров: тока электрода I_p , напряжения Уш.в., сопротивления Рш.в., мощности Рш.в. шлаковой ванны или скорости плавления электрода u_p , в некоторых из них в зависимости от длины электрода l .

Как известно, в качестве типовых, применяемых в установках ЭШП с электромеханическим приводом электродов и двигателями постоянного тока, являются тиристорные регуляторы серии АРШМТ.

Регуляторы серии АРШМТ рассчитаны на управление приводом электродов с электродвигателями типов ПБСТ или ПГТ мощностью до 11 кВт с номинальным напряжением 220 В.

Проанализировав все разновидности регуляторов тока для электрошлаковых печей, отметим, что все они разработаны для электроприводов на основе постоянного тока. В данном исследовании предлагается использовать регулирования процессом перемещения электрода печи ЭШП с помощью асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором и частотным преобразователем, который программируется контроллером ОВЕН типа ПЛК150-220.И.Л с графической панелью оператора типа ИП320. Структурная блок-схема регулятора приведена на рис. 5.

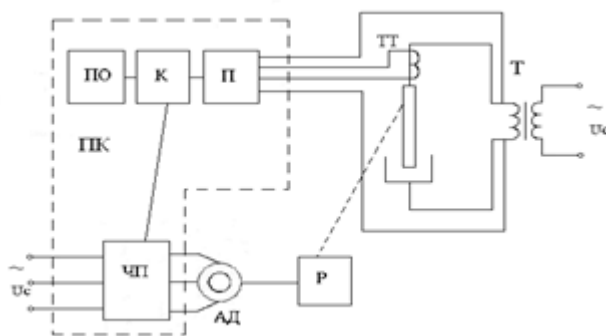


Рис. 5. Блок-схема электропривода перемещения электрода печи ЭШП: ПО – панель оператора, К – контроллер, П – преобразователь, ЧП – частотный преобразователь, Р – редуктор, ТТ – трансформатор тока, АД – асинхронный двигатель, Т – питающий трансформатор, ПК – пульт управления

Прибор «Панель оператора СМІ1» предназначен для отображения и редактирования значений параметров, полученных по сети RS от прибора ОБЕН ПЛК и других приборов ОБЕН и другие производители, работающие по протоколам ОБЕН и Modbus RTU / ASCII.

Панель СМІ1 выполняет следующие основные функции:

- отображение информационных параметров, задаваемых пользователем для мониторинга контролируемых характеристик в сети, вывод информации о максимуме/минимуме контролируемой характеристики, текстового описания в режимах «экран отображения»;

- отображение и редактирование значений контролируемых параметров в режимах «экран редактирование»;

- защита параметров, редактируемые от несанкционированного доступа оператора панели СМІ1;

- получение и отправление в ответ на запрос по сети значений параметров отображения и редактирования и значений состояний дискретных входов по протоколам ОБЕН и Modbus RTU/ASCII;

- перехват сетевыми входами протокола ОБЕН значений параметров и идентификация их на экранах отображения;

- выполнение функций «Мастера сети» для одного интерфейсного порта, выбранного пользователем для работы по протоколам ОБЕН и Modbus RTU / ASCII.

Логический контроллер ОБЕН ПЛК150-220.И-Л, который программируется с дискретными и аналоговыми входами и выходами, имеет 6 дискретных входов; 4 аналоговых входа (универсальных); 4 дискретных выхода (э/м реле); 2 аналоговых выхода (второй ЦАП 4...20 мА, 0...10 В или универсальных 4...20 мА / 0...10 В).

Основное использование контроллеров: построение отдельных систем управления и диспетчеризации.

Измерительный трансформатор тока SOCOMEC типа ТСВ 44-63 используется для передачи сигнала измеренной информации (тока), преобразователю, установки печи ЭШП.

Преобразователь измеренной величины в аналоговый сигнал типа 192Y0285 используется для преобразования измеренного тока в стандартный аналоговый сигнал [7, с. 278].

Преобразователь имеет следующие характеристики: входной сигнал: 5 А; выходной сигнал: 4–20 мА; напряжение питания: 230 В; класс точности: 0,5; рабочая температура: -10...+60 °С; устанавливается прямо на трансформатор тока.

Таким образом, разработана система, которая может быть использована для управления электроприводом механизма перемещения электрода печи ЭШП.

Благодаря проведенным расчетам было выполнено: выбор и проверка силового трансформатора КТП, выбор и проверка токоведущих частей, выбор высоковольтной аппаратуры присоединения, и сделан окончательный расчет токов короткого замыкания для точки К-1. Данные результаты расчетов соответствуют действительному электроснабжению завода и являются оптимальными.

Предложено частотный способ регулирования работой асинхронного двигателя, который обеспечит плавное регулирование в широком диапазоне, к тому же отличается еще одним важным свойством: при регулировании частоты асинхронного двигателя не осуществляется повышение его скольжения, как это имеет место при реостатном регулировании. Поэтому при этом способе регулирования потери скольжения оказываются небольшими, в связи с этим частотный способ оказывается более экономичным. Как правило, для лучшего использования электродвигателя и получения высоких энергетических показателей его работы (коэффициента мощности и полезного действия) одновременно с изменением частоты питающего напряжения необходимо изменять и значение этого напряжения. Также при частотном регулировании уменьшается пусковой ток, уменьшает нагрузку на питающую сеть.

Выводы и предложения. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что предлагаемая реконструкция является экономически целесообразной, так как при уменьшении затрат на текущий ремонт и увеличении объема производства абсолютная эффективность составляет $\mathcal{E}_{\text{абс}} = 2,76$, что в 18,4 раза выше минимально допустимого коэффициента абсолютной эффективности капитальных вложений ($\mathcal{E}_{\text{абсmin}}=0,15$). Учитывая то, что большинство подобных установок эксплуатируется достаточно долго и существующее оборудование на данный момент морально и физически устарело, то такая замена является перспективной.

Список использованных источников

1. *Куниловский В. В.* Литые штампы для горячего объемного деформирования / В. В. Куниловский, В. К. Крутикову. – Л. : Машиностроение, 1987. – 126 с.
2. *Геллер Ю. А.* Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М. : Машиностроение, 1975. – 584 с.
3. *Бельский Е. И.* Стойкость кузнечных штампов / Е. И. Бельский. – Минск : Наука и техника, 1975. – 240 с.
4. *Меркулов Ф. Н.* Исследование температурных условий работы штампов / Ф. Н. Меркулов // Известия вузов «Черная металлургия». – 1968. – № 1. – С. 116–119.
5. *Электрошлаковые печи* / [Медовар Б. И., Ступак Л. М., Патона Б. И. и др.] ; под ред. Б. И. Патона. – К. : Наукова думка, 1976. – 414 с.
6. *Миронов Ю. М.* Теоретическая электротехника электрических электродных печей : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Миронов. – Чебоксары : Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 1997. – 231 с.
7. *Альтера С. В.* Каталог энергетиков и инженеров по автоматизации / С. В. Альтера. – К. : СВ Альтера, 2011. – 352 с.