

# **ДУГОВЫЕ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ – НОВЫЙ ПУТЬ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ РОССИИ.**

**В.С. Малиновский,  
Л.В. Ярных**

Металлургия в машиностроении России характеризуется значительным отставанием от требований современных технологий, экологов, экономически расточительно, не соответствует по качеству выпускаемой продукции международным стандартам.

Это объясняется многими технико-экономическими причинами, важнейшими из которых является длительное отсутствие серьезных капитальных вложений в данную область, изменением структуры литейного производства и потребности в литье, возросших стоимостей сырьевых и энергетических ресурсов, затрат на охрану окружающей среды.

В России в настоящее время еще эксплуатируются мартеновские печи, коксовые вагранки, дуговые печи переменного тока с источниками питания малой мощности без систем пылегазоочистки и компенсации реактивной мощности, экономические и экологические характеристики которых требуют их срочной замены.

Не останавливаясь на анализе явно устаревшего оборудования, в котором плавление ведется методом сжигания органического топлива, проанализируем электрические плавильные печи, основными из которых являются индукционные – канальные и тигельные, а также дуговые печи переменного тока, которыми оснащено большинство литейных производств.

В литейных цехах работает большое количество индукционно-тигельных печей малой емкости 0,1-0,25 т разной частоты, к основным недостаткам которых следует отнести принципиальную взрывоопасность и технологическую пассивность.

Небольшой объем производства позволяет подбирать высококачественную шихту, обеспечивая высокое качество отливок и допустимое воздействие на окружающую среду. Другая ситуация складывается при эксплуатации печей большей емкости, в которых для нагрева металла и его миксирования используют токи промышленной и средней частоты.

Плавка, при которой вокруг или под металлом расположены водоохлаждаемые элементы, изолированные от расплава тонким слоем футеровки является принципиально взрывоопасной при любой, даже очень сложной защите. С ростом емкости печей тяжесть последствий аварий возрастает.

Индукционные печи технологически пассивны, поэтому качественный металл можно получить только из высококачественной шихты. Освоение индукционных печей средней частоты не устраняет главных недостатков индукционного нагрева. На определенном этапе развития металлургии индукционным печам не было альтернативы, чем можно было оправдать их создание. При появлении альтернативного оборудования применение индукционных печей особенно большой емкости с точки зрения промышленной безопасности и технологической перспективности является следствием инерционности мышления и привыкания к опасной среде обитания, усиленных развернутым их производством во многих странах мира и широкой рекламы.

Дуговые печи переменного тока (ДСП) не имеют главных недостатков индукционных печей. Они взрывобезопасны и технологически активны. Однако их эксплуатация сопровождается наличием очень серьезных негативных факторов, в том числе, послужившим причиной развития индукционных плавильных печей. К ним относятся: высокий угар металла, обильные пылегазовыбросы, практическое отсутствие перемешивания расплава, большой угар дорогостоящих графитированных электродов, значительные локальные перегревы расплава, его науглераживание от электродов, интенсивный шум, резкопеременный характер нагрузок на системы электроснабжения, высокий расход электроэнергии, наличие вредных составляющих в отходящих газах.

Сумма недостатков ДСП определяет их низкую рентабельность, себестоимость металлургического передела в ДСП резко возрастает после выполнения требований экологов и питающих энергосистем. Установка мощных систем пылегазоочистки, шумозащиты, фильтрокомпенсирующих устройств, статических тиристорных компенсаторов для устранения фликера сопровождается значительным увеличением стоимости основных фондов и последующих затрат на эксплуатацию оборудования, которые никаким образом не компенсируются экономически.

В тоже время ДСП являются практически единственным оборудованием для производства высококачественного металла из шихты любого качества и для многих сплавов незаменимы.

С целью улучшения параметров дугового нагрева в мире стали широко внедрять дуговые печи постоянного тока.

Они широко применяются в металлургическом производстве за рубежом, не проявляя значительных преимуществ перед дуговыми печами переменного тока. Это совершенно объективный факт, поскольку, кроме применения дуги постоянного тока, другие изменения в печи не введены.

Дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДПТНП) разработаны специалистами Научно-технической фирмы "ЭКТА" в содружестве с рядом ведущих организаций России. Новые печи, электротехнологические процессы в них запатентованы и не имеют мировых аналогов по технико-экономическим и экологическим параметрам при производстве стали, чугуна, сплавов на основе алюминия, никеля, кобальта, меди.

Анализ качества металла выплавляемого на всех ДПТНП, введенных в промышленное производство, указывает на очень высокий уровень показателей даже при использовании шихты невысокого качества. Этому способствует возможность проведения на ДПТНП при расплавлении шихты, нагреве расплава и его рафинировании практически всех металлургических операций известных из теории металлургических процессов и малоизвестных, связанных со специально организованным взаимодействием электрической дуги и переплавляемым металлом.

НТФ "ЭКТА" разработала комплексную систему плавки, в которой использование дуги постоянного тока является одним из важных, но не единственным элементом процесса. В ДПТНП использованы современные достижения силовой и управляющей электроники, результаты исследований физики дугового разряда, магнитной гидродинамики, металлургической теплотехники, теории металлургических процессов и основное оборудование с необычно широкими технологическими возможностями, в котором новые конструктивные элементы, режимы работы и процессы образуют единый эффективно действующий комплекс.

Этим наша разработка отличается от других зарубежных и отечественных аналогов, в которых совершенствуется известное оборудование или создается новое путем компоновки "старых" решений [1,2]. При этом основные недостатки оборудования и процессов сохраняются, например, индукционные печи остаются взрывоопасными и технологически пассивными, дуговые печи с газокислородными горелками, кислородом, подаваемым в расплав с энергетическими целями и для перемешивания металла, вспененным шлаком, использованием угля, тепла отходящих газов остаются энергоемкими, с большими потерями выплавляемого металла и легирующих элементов, шумными, экологически и электротехнически приемлемыми только при высоких затратах на системы пылегазоочистки и компенсацию помех, генерируемых печами и передаваемых в системы электроснабжения, с крайне ограниченными технологическими возможностями, из-за чего их можно эксплуатировать только с устройствами внепечной обработки металла и подготовки шихты.

При выборе оборудования для реконструкции металлургического производства машиностроения необходимо учесть решающие недостатки широко рекламируемых зарубежных печей при их эксплуатации в литейных цехах. К ним относятся: обязательное наличие "болота", то есть остатка расплава предыдущей плавки на подине печи, что

затрудняет выплавку широкой гаммы марок сталей, их смену от плавки к плавке, работу в одну или две смены и с длительными перерывами между плавками; высокий угар шихты 8-12 %, практически полный угар ферросплавов при использовании высококачественных и, часто, высоколегированных отходов собственного производства, количество которых при производстве отливок достигает 60 %. Их легирование после каждого передела предлагается вести в печи-ковше свежими ферросплавами, а компенсацию нарастающих от передела к переделу потерь кондиционных сталей покупным ломом.

Последнее, а также широкое использование химических топлив и кислорода делает сомнительными энергетические и технико-экономические и экологические показатели рекламируемых печей. Каждое предприятие может определить текущие затраты на производство стали, учитывая расход электроэнергии суммарно в печи, печи-ковше, системе пылегазоочистки и водоснабжения, используемые в качестве топлива шихте и ферросплавов (угар), кислород, газ, уголь, шлакообразующие, транспортные расходы на перевозку расходных материалов, в состав которых входят затем сгоревшие лом и ферросплавы, огромного количества шлака, образованного окисленными металлами, затраты на его хранение и утилизацию. Последнее с течением времени будет увеличивать экологические проблемы предприятий, т.к. в состав шлака входит большое количество вредных окислов металла, серы, фосфора, мышьяка и др. элементов. Определив стоимость перечисленного легко увидеть, что на понесенные затраты можно купить электроэнергию, количество которой в разы превышает ее экономию [2].

В ДППТНП удалось устранить практически все основные недостатки традиционных печей и расширить сферу эффективного применения дугового нагрева в литейном производстве. Новые печи разработаны в России, практически не рекламировались и не известны за рубежом. На фоне интенсивной рекламы разработок зарубежных фирм они мало известны широкому кругу отечественных специалистов. С технологическими технико-экономическими параметрами печей можно познакомиться на предприятиях, на которых ДППТНП находятся в промышленной эксплуатации и в НТФ "ЭКТА".

## **1. Конструкция механической части плавильной ДППТНП.**

При разработке механической части ДППТНП использованы все основные элементы дуговых печей переменного тока, по которым накоплен большой опыт производства и эксплуатации.

ДППТНП состоят из частей и механизмов, применяемых в ДСП одинаковой с ней емкостью: стального футерованного кожуха, свода, который может быть водоохлаждаемым, стен печи, которые могут быть выполнены так же из водоохлаждаемых панелей, механизма наклона печи для слива металла и удаления шлака, механизма перемещения графитированного электрода, механизма подъема и отворота свода или выката ванны для завалки печи шихтой, рабочего окна с дверцей. Отличительной особенностью ДППТНП от дуговых печей переменного тока является наличие только одного верхнего графитированного электрода (катода), расположенного вдоль вертикальной оси печи, и подовых электродов (анодов) в подине печи.

Печи футеруются огнеупорными материалами, применяемыми на ДСП. Стойкость подины при обычных "горячих" ремонтах составляет 3-5 лет или от 5 до 7 тысяч плавов. Подина может быть наварена после "срывов", подвергнута промежуточному ремонту и заменена без замены подовых электродов. Подовые электроды допускают многократное использование при заменах подины печи.

При плавке в ДППТНП могут быть использованы все известные технологические приемы: кип ванны, обработка шлаком, продувка металла кислородом или инертным газом, легирование и процессы, усиленные и ускоренные применением электромагнитного перемешивания.

Кроме поставки новых печей, можно проводить реконструкцию действующих печей переменного тока с остановкой печи для реконструкции на 2-3 недели. Это важно для

эффективной реконструкции Российских предприятий, которые имеют широкий парк устаревших ДСП. После модернизации их технологические и технико-экономические показатели превышают мировой уровень.

При создании агрегата из одного источника электропитания и двух тиглей футеровка обоих тиглей может быть основной, кислой или один тигель может быть выполнен с основной футеровкой, а второй с кислой.

## **2. Миксеры на базе технологий ДППТНП.**

Для рафинирования, нагрева, выдержки и порционной раздачи стали, чугуна, сплавов на основе алюминия разработаны дуговые миксеры. Конструкция их механической части предельно простая и надежная. От плавильной ДППТНП она отличается отсутствием механизма подъема и поворота свода, меньшими размерами, устройством для заливки расплава. Рекомендуется устанавливать миксерный агрегат, состоящий из одного источника электропитания и двух механических частей (МЧ). Из одной МЧ идет раздача расплава, температура которого поддерживается кратковременными включениями источника электропитания, в другой МЧ ведется накопление расплава, при необходимости обработка шлаком, легирование, удаление неметаллических включений, диспергирование остающихся, науглероживание или обезуглероживание расплава, его нагрев до заданной температуры, выравнивание температуры и химсостава металла, усиленное его взаимодействие со шлаком за счет электромагнитного перемешивания. Режимы работы МЧ чередуются и после окончания работы питание миксеров отключается и из них полностью сливается расплав. Выбранная мощность источника электропитания обеспечивает нагрев расплава в высоком темпе и расплавление "козла", который может образоваться в результате внезапного отключения энергии.

Возможны более простые варианты миксера. Это МЧ с одним источником электропитания или без источника электропитания. В нем нагрев расплава ведется кратковременными переключениями источника электропитания от плавильной ДППТНП.

Длительные выдержки расплава в ДППТНП сталей, включая высоколегированные, специальных сплавов, чугуна, алюминиевых сплавов показали, что химсостав и другие свойства металлов в процессе миксирования практически не меняются. Науглероживания металла от графитированного электрода также не наблюдается. Так, при плавке стали 00X18H10 и выдержке металла 6 часов, содержание углерода увеличилось на 0,005 %, что лежит в диапазоне погрешности замера.

Таким образом, миксеры на базе ДППТНП имеют уникальные технологические возможности.

## **3. Источник электропитания ДППТНП**

В состав источника электропитания входит силовой трансформатор с первичным напряжением 6 или 10 кВ и вторичной стороной, представляющей собой четыре трехфазные обмотки, каждая из которых подключена к одной из четырех секций тиристорного преобразователя. Секции тиристорных преобразователей имеют тиристорные переключатели, позволяющие включать все секции последовательно, по две секции параллельно и между собой последовательно и все секции параллельно. Это позволило отказаться от переключателя напряжения трансформатора, поддерживать постоянной мощность печи во все периоды плавки, устанавливая в начале плавки минимальный ток и максимальное напряжение, в середине плавки удваивать ток и в два раза снижать напряжение и в завершающей стадии плавления еще раз удваивать ток и в два раза уменьшать напряжение [3]. Система управления тиристорным преобразователем включает в себя микропроцессор, обеспечивающий управление и защиту источника электропитания, перемешивание расплава, защиту основных узлов печи. В цепи постоянного тока включены сглаживающие реакторы. В ряде случаев при переводе ДСП на питание постоянным током

могут быть использованы печные трансформаторы и упрощенная схема тиристорного преобразователя.

Источник питания миксера оснащается двухсекционным тиристорным преобразователем, подключаемым к силовому трансформатору.

Высокий КПД использования установленной мощности позволяет увеличивать производительность ДППТНП при реконструкции ДСП без усиления питающих сетей.

Силовая часть источника электропитания, включая печной трансформатор, не имеет электромеханических переключающих устройств, ток дуги с высокой точностью застabilизирован во все периоды плавки. Изменение силы тока осуществляется регулятором тока плавно, без толчков, включая режимы поджига дуги. Это устраняет динамические нагрузки на токоподводы, многократно увеличивает ресурс гибких токоподводов. Источники электропитания просты в обслуживании и надежны в эксплуатации. Они реализуют концепцию широкого взаимодействия силовой установки с параметрами новых технологических процессов, экологией и требований "Закона об электромагнитной совместимости".

#### **4. Особенности электроснабжения ДППТНП**

Введение "Закона об электромагнитной совместимости" заставляет предприятия нести затраты на снижение вредных воздействий ДСП на питающие энергосистемы. Перевод ДСП на питание постоянным током облегчает эту задачу.

Электроснабжение ДСП по сравнению с электроснабжением спокойной нагрузки требует существенных дополнительных затрат. Это обусловлено необходимостью: согласования номинальных мощностей печных и сетевых трансформаторов, борьбы с колебаниями напряжения, применения регулируемой компенсации реактивной мощности, устранения влияния высших гармонических составляющих тока на питающую сеть, учета низкой надежности основного электрооборудования.

Согласование номинальных мощностей печных и сетевых трансформаторов обусловлено ударным характером нагрузки ДСП с учетом эксплуатационных коротких замыканий. Принимая во внимание стандартный типоряд сетевых трансформаторов, их номинальная мощность должна быть в 1,5-1,6 раза выше номинальной единичной, либо эквивалентной мощности печных трансформаторов. В условиях действующих производств это сдерживает реконструкцию, так как требует существенных изменений всей системы электроснабжения.

В случае применения ДППТНП ударный характер нагрузки практически устранен. Соотношение номинальных мощностей сетевых и печных трансформаторов могут быть приняты 1,15-1,25, что существенно снижает установленную мощность сетевого оборудования при новом строительстве и не создает проблем при модернизации действующих печей с увеличением их производительности.

Необходимость устранения колебания напряжения при работе ДСП в подавляющем большинстве случаев требует применения устройств быстродействующей динамической компенсации. Их мощность соизмерима либо существенно (до двух раз) превышает мощность печного трансформатора.

ДППТНП практически не создает резко-переменной нагрузки. Это достигается соответствующим специальным регулированием тиристорного преобразователя источника питания печи во все периоды плавки, стабилизацией тока дуги с заданной точностью оптимизированной для каждого периода плавки [3].

Применение регулируемой компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения ДСП обусловлено существенными изменениями средних значений активной и реактивной мощностей на разных этапах плавки. В ДППТНП режим ведется таким образом, чтобы мощность, потребляемая из сети, практически оставалась неизменной на всех этапах. Достигается это изменением схемы соединения тиристорных мостов (последовательное, последовательно-параллельное, параллельное). Таким образом,

согласованное изменение напряжения и тока дуги в четыре раза не приводит к изменению мощности дуги, что позволяет полностью отказаться от регулирования мощности компенсирующих устройств. Кроме того, существенно меняются требования к регулированию вторичного напряжения печного трансформатора. Печной трансформатор выполняется только с ПБВ  $\pm 2,5$  %. При этом снижаются габаритная мощность и цена трансформатора.

Гармонический состав тока ДСП содержит весь спектр высших гармонических составляющих при максимальном значении тока третьей гармоники. Применение устройств динамической компенсации для борьбы с колебаниями напряжения приводит к существенному увеличению гармонических составляющих (в среднем в 1,2-2 раза в зависимости от номера гармоники тока), что требует завышения мощности фильтро-компенсирующих устройств.

Гармонический состав тока ДППТНП определяется принятой схемой выпрямления (6-ти либо 12-ти пульсная схема), углами управления и коммутации. Для практических проектных расчетов может быть рекомендован коэффициент 0,7-0,8 от максимальных значений гармонических составляющих тока для принятой схемы выпрямления.

Фактически, требуемая мощность фильтро-компенсирующих цепей ДППТНП по сравнению с ДСП ниже даже при отсутствии динамической компенсации у последних.

Совокупность изложенных выше факторов позволяет утверждать, что, применительно к печному агрегату, его нельзя рассматривать изолировано от системы электроснабжения. Сопоставления ДСП и ДППТНП должны выполняться комплексно с учетом всех сопутствующих факторов. При этом дополнительные капитальные вложения в систему электроснабжения ДСП практически компенсируют (в ряде случаев существенно превышают) стоимость источника питания ДППТНП.

Таким образом, несмотря на более высокую стоимость источника электропитания ДППТНП, стоимость оборудования электропитания новой или реконструированной печи может быть ниже стоимости электрооборудования ДСП.

## **5. Подовые электроды, футеровочные материалы**

Подовые электроды (ПЭ), размещаемые в подине печи, являются одним из основных ее элементов. Они служат для подвода тока к шихте и расплаву, а в ДППТНП являются одним из основных элементов системы перемешивания расплава, обеспечивают работу с полным сливом расплава, горячие ремонты подины, ее взрывобезопасность и долговечность.

Подовый электрод представляет собой стальную трубу, которая внутри методом электрошлакового литья заполнена медью. Нижний торец подового электрода соединяется с токоподводом, выше которого расположены каналы охлаждения. Подовый электрод устанавливается таким образом, чтобы каналы охлаждения были вне кожуха печи, а его основная часть располагалась в нижней трети футеровки подины. К боковой поверхности стальной трубы приварены стальные листы соединяющие подовый электрод с расплавом [4]. Внутри подового электрода расположены датчики температуры, связанные с системой сигнализации и блокировок. Подовый электрод имеет практически неограниченный ресурс, так как при смене футеровки меняются только стальные листы, а смена футеровки подины проводится через 2-5 лет. Заправка подины ДППТНП отличается от заправки ДСП тем, что в район подовых электродов подают заправочную смесь с металлической высечкой и, перед сливом металла, через расплав на подовые электроды подают 2-5 кг кусковой шихты для подмораживания его рабочей части и электрического контакта после последующей завалки шихты [5]. После 50-100 плавов подачу кусковой шихты в связи с завершением металлизации подины прекращают.

Высокую работоспособность ПЭ в ДППТНП так же обеспечивают электрические режимы плавки, при которых ПЭ в начале плавки загружены одной четвертой номинального тока и постепенно покрываются холодным расплавом, затем ток

увеличивают в два раза и только в конце плавки ток доводят до номинального значения (см. раздел 8).

От разрушающего действия расплава при высокой скорости его движения подовый электрод и подину печи защищает система сброса вихревых потоков и перемешивания расплава, осуществляемая регулятором источника электропитания (см. раздел 6). Контроль температуры тела подового электрода предотвращает его разрушение и износ подины при ошибках персонала в процессе эксплуатации печи. Таким образом, подина ДППТНП с подовыми электродами надежна в эксплуатации и полностью взрывобезопасна.

Футеровка подины, стен и свода ДППТНП по конструкции и применяемым огнеупорам не отличается от ДСП. В ДППТНП, как и в ДСП могут широко использоваться водоохлаждаемые элементы стен и свода.

## 6. Катодные узлы ДППТНП

ДППТНП, как правило, оснащаются одним графитированным электродом без специальных требований к качеству материала.

Расход электродов на ДППТНП лежит в пределах 0,8-1,5 кг на тонну расплавляемого материала в отличие от ДСП, в которых расход графитированных электродов составляет в зависимости от печей и технологий 4,5-18,0 кг на тонну расплава. Сокращение расхода графита является одной из важных экономико-образующих статей при реконструкции ДСП с переводом в режим ДППТНП.

Экономии графитированных электродов способствует трехкратное сокращение действующих на печи электродов, отсутствие анодных пятен привязки дуги на электроде, его длительная работа на пониженном токе (см. раздел 3) в процессе плавки, отсутствие поломок электродов, вызываемых обрушениями шихты. Последнее объясняется изменением формы проплавляемого в шихте электрической дугой колодца. Этому способствует первый период расплавления шихты проводимый при высоком напряжении на дуге, малом токе и низкой плотности тока на электроде (см. раздел 3) [3]. При этом, в шихте формируется не узкий колодец, в который погружается электрод, что наблюдается в ДСП и печах постоянного тока зарубежного производства, а широкая воронка, внутри которой обрушение шихты на электрод не наблюдается.

Измененный процесс расплавления шихты позволил использовать комбинированные электроды, состоящие из короткого графитированного электрода, закрепленного на водоохлаждаемой штанге. Без использования нового вида плавки [3] водоохлаждаемые штанги неработоспособны, так как при загорании электрической дуги в узком колодце между штангой и шихтой и обрушениях шихты водоохлаждаемые штанги разрушаются.

Комбинированные электроды позволили решить ряд важных задач. При выплавке специальных сплавов в электроде выполняется сквозное отверстие, через которое в дугу подают аргон, защищающий специальные сплавы от окисления или смесь азота с аргоном для производства азотированных металлов, или кислородо-аргоновую смесь для глубокого обезуглероживания расплава. При подаче аргона через электрод его эрозия составляет 0,4 кг на тонну расплава, подача кислородо-аргоновой смеси увеличивает расход графитированного электрода на 12-15 %. Комбинированный электрод позволяет резко с 25-32 А/см<sup>2</sup> до 60-80 А/см<sup>2</sup> поднять допустимую плотность тока в электроде. Это позволяет при создании печей большой емкости использовать электроды диаметром до 610 мм, выпуск которых широко освоен промышленностью, что значительно снижает их стоимость.

Для специальной электрометаллургии были разработаны и многие годы, успешно эксплуатировались в промышленности металлургические плазмотроны [6]. Катод плазмотрона выполнялся из легированного вольфрама, закрепленного на медном, водоохлаждаемом электрододержателе. Электродный узел устанавливали внутри водоохлаждаемого кожуха. Вольфрамовый катод проходил через отверстие в медном сопле и в зазор между ними подавали аргон. Вдоль электрода был организован второй контур подачи газа, через который подавался любой плазмообразующий газ. На плазменных печах

была освоена выплавка более 240 марок сталей и специальных сплавов, меди, сплавов на основе алюминия, восстановительная плавка никеля, кобальта, ниобия, тантала (последние плавил в медных кристаллизаторах) и др. Достоинством ДППТНП является возможность реализации всех перечисленных процессов на принципиально более простом оборудовании.

## **7. Перемешивание расплава в ДППТНП**

Разработанная нами система перемешивания расплава в ДППТНП обеспечила не только равномерное распределение температуры и химсостава расплава, быстрое растворение легирующих элементов и большую эффективную поверхность взаимодействия расплава и шлака, но и позволила впервые эффективно обеспечить передачу энергии из дуги в расплав, осуществить защиту подины и подовых электродов от воздействия скоростных вихревых потоков в расплаве.

Перемешивание расплава в ДППТНП осуществляется за счет взаимодействия тока, протекающего через расплав, с электромагнитным полем протекающего тока. Для реализации процесса в подине печи устанавливаются не менее двух подовых электродов смещенных от осей симметрии подины. Опорное пятно дуги размещается по центру расплава. Благодаря этому, в расплаве вектор тока имеет ярко выраженные вертикальную и горизонтальные составляющие, взаимодействие собственного электромагнитного поля которых с током вызывает интенсивное перемешивание расплава в вертикальной и горизонтальной плоскостях с максимальной скоростью движения набегающего потока расплава под дугу и из под дуги вглубь расплава. Такой характер движения расплава наблюдается в любой ДППТ с распределенным по площади подины токоподводом к расплаву, но он неустойчив во времени. Через относительно короткое время под анодным пятном дуги и над подовыми электродами формируются вихревые потоки, а движение основной массы расплава прекращается. Поэтому была разработана система поддержки оптимальной формы перемешивания расплава и сброса вихревых потоков, разрушающих футеровку подины печи и подовые электроды, осуществляемая с помощью регулятора электрического режима источника электропитания [7].

В результате ДППТНП имеет совершенную систему перемешивания расплава, которая с большой скоростью, непрерывно во все периоды нагрева и рафинирования расплава, выравнивает его температуру и химсостав, многократно увеличивает взаимодействие шлака и расплава, обеспечивает в полной мере передачу энергии электрической дуги в расплав практически без его локального перегрева. Новая система перемешивания расплава не имеет мировых аналогов, она предельно проста конструктивно и принципиально эффективнее перемешивания за счет бегущего магнитного поля, продувки металла кислородом, подачи газа через подину, внешнего магнитного поля и других известных способов. Одним из важнейших следствий введения новой системы перемешивания связанной со специальной организацией режимов плавления явилось резкое снижение расхода электроэнергии при выплавке тонны металла без использования дополнительных источников энергии. На ДППТНП работающей в равных условиях с новейшими индукционными печами он всегда будет меньше, не менее чем на 15-20 %. При переводе ДСП на новый вид нагрева экономия электроэнергии составляет 25 % [8] и может достигать до 60 %.

## **8. Автоматическое управление электрическим режимом ДППТНП**

Для управления механизмами печи, кроме механизма перемещения электрода, применяется система, принятая для печей переменного тока. Сохраняется полностью также система контроля и блокировок, в которую добавляются цепи контроля за состоянием подовых электродов и соответствующие блокировки.



Система управления электрическим режимом заменяется полностью. Предусматривается независимое управление током и напряжением дуги, обеспечивающее реализацию концепции ведения режима плавки: перемешивание расплава, защиту футеровки, снижение угара металла, пылегазовыбросов и шума, генерируемого печью во все периоды плавки, а также колебаний мощности нагрузки.

## 9. Особенности плавки металла в ДППТНП

Процесс плавки разделен на три периода, которые проводят на постоянной мощности дуги [3].

Период 1 - подготовительный. Его проводят на высоком напряжении и небольшом токе дуги. Режим дуги позволяет вести расплавление шихты без привязки анодного пятна на расплав. Длинная дуга обеспечивает стабильный электрический режим, интенсивный нагрев печных газов, плавный нагрев всего объема шихты. Локальный перегрев металла не возникает, так как капли металла, нагреваясь, преодолевают силы поверхностного натяжения и немедленно стекают вниз. В этом периоде отгоняются органические загрязнения шихты, которые не разбавлены продуктами сгорания газа, шихты, подсосами воздуха в печь, как это происходит в ДСП. Эти испарения выходят из отверстия в своде и догорают до завершающих оксидов. Колебания активной мощности по сравнению со средним значением не превышают  $\pm 10-20\%$ . Колебания давления в печи за счет стабилизации электрического режима подавлены, подсоса воздуха в печь не наблюдается. В течение периода 1 в шихте образуется расширяющаяся вверх воронка, которая в периоде 2 исключает обрушивание шихты на сводовый электрод и замораживание металла на подине.

В отличие от ДСП энергосодержание отходящих газов зависит только от загрязненности шихты, обычно не превышает 0,5-0,8 % от подведенной мощности и утилизация их энергии нецелесообразна.

Период 2 - энергетический. В этот период обеспечивается стабильный электрический режим при колебании мощности не более  $\pm 5\%$ , что способствует быстрому расплавлению шихты и не приводит к заметному локальному перегреву металла. Ток дуги в этот период удваивают, а напряжение в 2 раза снижают. В начале периода 2 анодное пятно дуги располагается на расплаве. Основная мощность дуги излучением и конвекцией печных газов передается в нерасплавленную шихту и через анодное пятно в расплав. Перегрев расплава под дугой в периодах 2 и 3 предотвращается соответствующим размещением подовых электродов, формирующим тороидальное вращение металла в вертикальной плоскости, при котором поток металла с большой скоростью подтекает под дугу и уходит вглубь расплава. В этих условиях температурное поле расплава выравнивается из-за интенсивной конвективной теплопередачи через расплав, а высокая скорость движения металла под дугой не допускает его локального перегрева. Снижению удельного теплового потока через анодное пятно дуги способствует низкая плотность тока в нем и наличие шлакового покрова. Во всех периодах плавки происходит минимальный угар металла, не образуется первичный шлак. В этих условиях состав шлака и его активность можно регулировать подачей шлакообразующих элементов. Образованный шлак жидкоподвижен и из-за интенсивного перемешивания металла эффективно взаимодействует с расплавом.

Период 3 - технологический. Третий режим проводится на короткой дуге. Напряжение на дуге в четыре раза меньше, чем в 1 режиме, а сила тока в четыре раза больше. При этом происходит доплавление шихты, нагрев расплава, рафинирование и перемешивание расплава и шлака. В этот период можно проводить окислительный процесс подачей кислорода или рудным кипом, который при принудительном перемешивании металла весьма эффективен [8].

В процессе рафинирования нагрев металла ведется на полной мощности при коротких включениях дуги. Доля энергии, передаваемой в этот период непосредственно от дуги к расплаву, превышает 80 % подведенной. Интенсивная теплопередача от дуги к

расплаву реализуется при усиленном воздействии поля электромагнитных сил на расплав. Этому способствует специальная схема размещения подовых электродов и токоподводов к ним. Скорость теплопередачи от дуги к расплаву увеличивается пропорционально росту силы тока. Это позволяет поддерживать оптимальный механизм плавления в широком интервале подводимой удельной мощности (от 0,3 до 8 кВт/кг шихты) в печах малой, средней и большой емкости, обеспечивая их высокую производительность. В печах малой и средней емкости продолжительность расплавления ограничивается только технико-экономической целесообразностью и может составлять 10-15 мин. Скорость расплавления в ДППТНП большой емкости ограничивается только теплопроводностью массивных кусков шихты и экономичной мощностью источников электропитания. В печах емкостью 50-100 т продолжительность расплавления шихты может составить 30-40 мин. При работе ДППТНП в паре с установкой печь-ковш основное легирование расплава целесообразно проводить в ДППТНП, т.к. усвоение легирующих элементов в ДППТНП выше, чем в печи-ковше, а расход энергии для легирования ниже. В дуговых миксерах используются режимы третьего периода, обеспечивающие нагрев и рафинирование расплава, скорость нагрева ограничивается только технико-экономическими показателями и составляет 10-20 °С/мин. По специальному требованию Заказчика она может быть увеличена до 60-80 °С/мин. путем установки источника электропитания повышенной мощности и форсирования перемешивания расплава.

## 10. Особенности организации системы пылегазоочистки

Перевод ДСП в ДППТНП позволяет либо отказаться от системы пылегазоочистки, так как выбросы становятся ниже уровней ПДВ и ПДК или резко сократить ее производительность.

При замене ДСП на ДППТНП в 7-10 раз уменьшаются пылегазовыбросы в процессе расплавления шихты при значительном уменьшении угара металла. Это происходит при отсутствии принудительной прокачки воздуха через печь. При ведении рудного кипа интенсивные пылевыбросы также отсутствуют, а образующаяся моноокись углерода догорает до  $\text{CO}_2$  при выходе из печи.

Поэтому в своде печи выполняется второе отверстие, через которое из печи свободно выходят образующиеся при плавке газы, которые забираются установленным над печью зонтом и поступают в систему вентиляции. Выбор производительности системы пылегазоулавливания зависит от качества шихты, технологического процесса и производится для конкретных условий.

Как показали замеры при работе 25-тонной электродуговой печи постоянного тока, уровень пылегазовыбросов из печи при выплавке углеродистой стали в первый период плавки составил 0,52-0,97 кг/т. Газы содержали 35-50 %  $\text{CO}$ ; 8,2-9,4 %  $\text{CO}_2$ ; 0,4 %  $\text{O}_2$ ; 0,0002-0,0003 %  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2$  остальное. При выходе из отверстия в своде печные газы догорали и содержание  $\text{CO}$  снизилось до 0,5-0,8 %. Отходящие газы затем засасывались в систему газоудаления, в которой поддерживался расход газовой смеси около 30000 м<sup>3</sup>/ч, где разбавлялись вредные примеси и их содержание уменьшалось ниже уровня ПДК и ПДВ, позволяя не оснащать агрегат системой пылегазоочистки. После перевода дуговых печей переменного тока ДС-5МТ на питание постоянным током на ОАО "Курганмашзавод" при увеличенной производительности печей пылегазовыбросы оказались ниже ПДВ и ПДК при плавке стали 110Г13Л, чугуна, конструкционных и нержавеющей сталей [8]. При интенсивном окислительном процессе, проводимом после расплавления шихты, объем отходящих газов и содержание пыли в нем зависит только от количества примесей в расплаве, которые перед началом окислительного процесса следует определить и оптимизировать темп их окисления, сдерживая тем самым чрезмерное образование пыли и газов. Окислительный период в завершающей стадии расплавления позволяет экономить электрическую энергию, однако эта экономия себя не окупает, если достигается за счет угара полезных составляющих шихты. В ДППТНП при использовании качественной шихты

окислительный период может не проводиться, в этом случае производительность системы пылегазоудаления определяется требованиями первого периода. Значительным преимуществом ДППТНП является отсутствие заметных тепловых потерь 0,3-0,7 % с отходящими газами. Это удешевляет систему пылегазоочистки и позволяет повысить ее эффективность.

Для более крупных печей строительство пылегазоочистки потребуется, но ее мощность и производительность многократно уменьшены.

При плавке цветных металлов вредное влияние на экологию при получении высококачественного литья уменьшается за счет резкого уменьшения испарения цветных металлов и их угара. При плавке сплавов на основе алюминия или переработке вторичного сырья высокое качество металла связанное с глубоким удалением газов и неметаллических включений достигается без использования хлоро- и фторосодержащих флюсов.

ДППТНП представляют уникальную возможность многим предприятиям России решить экологические проблемы действующих ДСП с коротким сроком окупаемости затрат на эти цели. Причем объем капитальных затрат на реконструкцию может быть ниже затрат на строительство систем пылегазоочистки для действующих ДСП, которые экономически только снижат рентабельность производства.

Устранение из техпроцесса химических топлив соответствует современным требованиям снижения генерации газов, вызывающих парниковый эффект. Устранять экологически вредные приемы из технологии ДППТНП, а не добиваться результатов за счет увеличения вредных выбросов является принципиальным отличием наших процессов от широко рекламируемых.

Сложной экологической проблемой современных зарубежных ДСП является образование диоксинов, фуранов, окислов азота и других вредных примесей. В ДППТНП система плавки практически создает идеальные условия борьбы с ними. В начале плавки, когда их образование вероятно, в печи из органических примесей в шихте формируются печные газы с высоким содержанием CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, температура которых превышает 1200 °С, а избыточное давление в печи исключает подсос в печь воздуха. При выходе в окружающее пространство газы немедленно воспламеняются, догорают до заверенных окислов и немедленно охлаждаются потоком воздуха в системе вентиляции. Эти же процессы снижают вероятность образования окислов азота, цианидов и др. вредных примесей, создают экологические преимущества перед индукционными печами, низкая температура отходящих газов из которых способствует интенсивному дымообразованию в случае отсутствия специальной термической или другой подготовки шихты, которая сама по себе в достаточной мере экологически проблематична.

## **11. Организация работы плавильных участков, оснащенных ДППТНП с целью повышения их технико-экономических показателей.**

ДППТНП полностью сохранили преимущества ДСП заключающиеся в широких временных и технологических возможностях работы печей. ДППТНП работают с полным сливом расплава, что позволяет использовать их для работы в одну, две и три смены, при необходимости проводить в смену одну – две плавки, в соответствии с необходимостью менять от плавки к плавке сортамент выплавляемого металла, не бояться внезапных отключений электроэнергии, замораживания расплава, обходиться небольшим количеством охлаждающей воды.

При этом на ДППТНП можно развивать высокий темп получения расплава, что позволяет при реконструкции старых цехов с ДСП сократить количество печей, увеличив их производительность. Комбинация плавильных высокопроизводительных ДППТНП небольшой емкости с миксером любой емкости позволяет получить значительные количества расплава без риска отклонения химсостава металла в нем от заданного, вызванного наличием нежелательных элементов в шихте, поскольку химсостав расплава можно контролировать перед его заливкой в миксер. Это важно, при переплаве, например,

алюминиевого лома или при производстве отливок с большим разбросом по массе и вероятностным наличием в шихте нежелательных элементов.

Технологии и оборудование ДППТНП позволяют значительно расширить производственные возможности предприятий за счет разных комбинаций оборудования и процессов в нем, практически не имея ограничений в сортаменте выплавляемых в керамических футеровках металлов. При необходимости, плавку металла в ДППТНП возможно вести в атмосфере аргона, азота или СО.

Примерами высокоэффективной реконструкции может быть замена индукционных плавильных печей и миксеров на ДППТНП. Ранее, они были рассчитаны на большой объем производства и непрерывный цикл работы. В настоящее время на установленном оборудовании проводят несколько плавов в сутки и работают в одну – две смены. При этом для поддержания оборудования в работоспособном состоянии в нем непрерывно поддерживают "болото" с соответствующими затратами на электроэнергию и дежурный персонал. Удельный расход электроэнергии при производстве чугуна в этих условиях достигает 2500-3500 кВт.ч/т и может быть уменьшен при установке ДППТНП до 460-500 кВт.ч/т с соответствующим сокращением персонала. При этом появляется возможность производства любых марок чугуна, включая высокопрочный и перлитный.

Последнее подтверждается результатами, полученными специалистами ОАО "Курганмашзавод" под руководством д.т.н. проф. А.В. Афанаскина.

То, что получение высококачественной стали в индукционных печах без наличия специальной шихты внепечной обработки практически невозможно известно широкому кругу специалистов и преимущества ДППТНП очевидны.

Так на ОАО "Курганмашзавод" в ДСП освоен выпуск литых заготовок из конструкционных сталей 25Л-50Л; 35ХНЛ, 30ХМЛ, 27СГТЛ, 40ХЛ, 110Г13Л, 20Х13Л, 20Х24Н12С2Л и др.

После перевода печей на постоянный ток за счет снижения угара выход металла увеличился на 60 кг на тонну расплава, экономия ферромарганца составила 8,8 кг/т и была выявлена серьезная экономия ферросилиция. Удалось значительно легче чем на ДСП удалять серу и фосфор, при обезуглераживании стали Ст 30ХМЛ скорость обезуглераживания при рудном кипении составила 0,1 % С за 5 минут. Уникальным явлением плавки в ДППТНП явилось значительное в 1,5-2,0 раза возрастание механических свойств и стабильное получение аустенитного зерна с баллом 1.

Так при твердости НВ 255-269, стрела прогиба 2,5-2,8, балла аустенитного зерна 2-3 стали 110Г13Л после переплава в ДСП, в ДППТ соответствующие показатели составили НВ-266; стрела прогиба – 3,6-4,4, балла аустенитного зерна – 1.

Использование индукционной плавки для производства чугуна считалось лучшим техпроцессом до тех пор пока на ОАО "Курганмашзавод" в ДППТНП не был освоен выпуск серых и высокопрочных чугунов практически всех типов, а также выплавка чугуна со 100 % содержанием перлита при очень высоких технико-экономических показателях процесса [9]. Плавка исходного чугуна для ВЧ осуществлялась в дуговой печи с основной футеровкой. С внедрением ДППТНП процесс десульфурации за счет перемешивания расплава и его взаимодействия с основным шлаком уменьшил содержание серы до уровня менее 0,01 %. Это позволяет уменьшать расход магниевой лигатуры до 1,0-1,2 %. За счет глобулизации неметаллических включений в ЧШГ заметно возрастают механические и пластические свойства. Так чугун с содержанием элементов С=3,58; Si=2,13; Mn=0,68; S=0,007; P=0,06; Cr=0,17; Ni=0,05 имеет предел прочности 60,6 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение – 12 %. Таким образом плавка ЧШД в ДППТНП позволяет значительно повысить его пластичность при одновременном возрастании механических свойств. Перечисленные технологические операции нельзя провести в индукционных печах.

В общем случае, при плавке конструкционных сталей экономический эффект от использования ДППТНП создается за счет экономии энергетических ресурсов, снижения угара шихты и по мировым ценам составляет 20 долл. США на тонну в сравнении с лучшими современными ДСП, при переплаве низко и среднелегированных отходов – 30-40

долл. США и высоколегированных типа Р6М5 – 60 долл. США [2]. Особо высокий экономический эффект формируется от выплавки и переплава специальных сталей и сплавов производство которых обычно ведут в вакуумно-индукционных печах. Для их выплавки ДППТНП оснащают графитированным электродом с центральным отверстием для подачи плазмообразующих газов. В этом случае особо выделяется ряд структурных классов стали и сплавов, выплавка которых возможна только в ДППТ или, что значительно сложнее, в других агрегатах: аустенитные марганцовистые хромоникелевые, включая азотосодержащие, разнообразные особенно коррозионностойкие с содержанием до 0,02-0,03 %С, высокопрочная класса 200 мартенситно-стареющая сталь высокой чистоты, сталь переходного аустенитно-мартенситного класса с регулируемым фазовым составом, а также дисперсионноотверждающие жаропрочные сплавы на никелевой и железной основе. На ДППТ освоено около 150 марок стали и сплавов различного назначения.

Из наиболее сложных марок стали и сплавов, освоенных в ДППТ следует отметить сталь 02Х8Н22С6 – единственный свариваемый материал, работающий при воздействии 98 % кипящей азотной кислоты, сталь 02Х25Н22АМ2, используемую в аппаратах для производства карбамида, высокопрочную сталь 03Н17К10В10Н-ПД, высокобористую сталь, эффективно поглощающую радиационные излучения, дисковый жаропрочный сплав третьего поколения.

В ДППТ выплавлена в соответствии со стандартом ДИН17440 сталь Х2Сг Ni Мо N и типа 03Х17Н12АМ2 (1712,2). Комплексное изучение металла поковок, включавшее определение ликвации элементов, изотропности свойств, макроструктуры, коррозии, механических свойств при различных температурах, уровни загрязненности неметаллическими включениями, подтвердило соответствие показателей качества этой стали требованиям стандарта ДИН17440.

ДППТ признана в качестве агрегата обеспечивающего производство металлопродукции в соответствии с действующими международными стандартами [11]. Эти результаты были получены на плазменной печи запущенной методом перевода ДС-5М в плазменный вариант в 1970 г. на ЧМЗ [6]. Современные ДППТНП конструкции НТФ "ЭКТА" полностью сохранили и значительно расширили технологические возможности прототипа при значительно более простой, современной конструкции печи.

Современные ДППТНП при плавке чугуна и стали обеспечивают время плавки около одного часа, расход электроэнергии – 410-460 кВт.ч/т, расход графитированных электродов не более 1,5 кг/т, угар шихты – не более 1,5 %, снижение угара ферросплавов по сравнению с ДСП на 80-90 %, позволяют снизить пылегазовыбросы до уровня ниже ПДВ и ПДК без систем пылегазоочистки [8,9], имеют другие, описанные в данной статье преимущества.

В тоже время, в РФ работает большое количество ДСП, в которых расход электроэнергии составляет 650-1000 кВт.ч/т, угар графитированных электродов – 4,5 – 18,0 кг/т, угар шихты – 4,5-8,0 %, время плавки 2-6 часов, предприятия платят значительные штрафы за выбросы в атмосферу вредных веществ, предстоят значительные затраты на удовлетворение требований "Закона об электромагнитной совместимости".

Низкая рентабельность действующего парка плавильных печей и отсутствие широких технологических возможностей у дуговых печей с комбинированным нагревом привели к широкой рекламе установок печь-ковш, которые широко внедряются на предприятиях России. Не отрицая полезности применения рафинирующих процессов в ковше, для которых, как правило, не нужен дополнительный нагрев, и опираясь на полученные нами результаты промышленной эксплуатации ДППТНП мы можем утверждать, что затраты на новые ДППТНП или реконструкцию действующих ДСП по нашим технологиям окупаются принципиально эффективнее. Будучи, по-видимому, необходимым в металлургическом производстве при работе с МНЛЗ, где вероятны длительные остановки финишного оборудования, при высоком качестве металла, выплавляемом в ДППТНП, возможности их агрегатного исполнения, учитывающем

условия разливки, печь-ковш в комбинации с нашими печами становится практически бесполезным и отрицательно влияет на себестоимость металла.

Применение ДППТНП не исключает возможность предварительного нагрева скрапа перед плавкой, что может привести к экономии 40-80 кВт·ч/т электроэнергии. Но низкая эффективность, как и в ДСП, энергии от сжигания топлива, экологические проблемы, возникающие в связи с возможностью образования диоксинов и фуранов, не создают очевидных преимуществ дополнительному нагреву.

Реконструкция ДСП с переводом на постоянный ток по методике НТФ "ЭКТА" позволяет окупать затраты за период от 9 до 18 месяцев.

Технологические возможности ДППТНП позволили впервые в мире освоить в них выплавку высококачественных алюминиевых сплавов. Промышленное освоение ДППТНП было проведено на Ковровском электромеханическом заводе в 1987 г. пуском печи ДППТ-0,5 емкостью 0,5 т, которая заменила четыре индукционно-тигельные печи ИАТ-0,4. К настоящему времени литейный цех предприятия оснащен двумя подобными печами и готовится к пуску третьей. За период 14 лет ни разу не проводилась замена футеровки печи. Печь работает по графику в одну – две смены с перерывами в периоды пиковой стоимости электроэнергии, в основном, для производства высококачественных оливок алюминиевого сплава AL-Si марки АК7ч, качество которого полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 1583-93 и значительно превосходит его по механическим свойствам. В литом термообработанном состоянии, на отдельно отлитых образцах в металлическую форму, предел прочности составляет не менее 216 МПа, относительное удлинение не менее 2 %, твердость по Бринелю не менее 60 НВ. На образцах, вырезанных из тела отливки, получают предел прочности не менее 317 МПа, относительное удлинение не менее 9 %, а твердость по Бринелю не менее 94,9 НВ. Содержание водорода 0,1-0,2 см<sup>3</sup>/100г металла, а пористость отливок всегда соответствует 1 баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93.

По экспериментальной программе были проведены многократные переплавы сплава АЛ9 с использованием 100 % чушек и 100 % возврата. При пятикратном переплаве химический состав и механические свойства на уровне предела прочности 172-175 МПа, относительного удлинения 4,1-4,6 %, твердости НВ 60-63 не изменились, а содержание водорода осталось в пределах 0,3 см<sup>3</sup>/100 г.

Специалистами Заволжского моторного завода на печи КЭМЗ были проведены плавки моторного лома сплава АК9ч, из которого не удаляли детали на основе железа. На основании исследования полученного сплава определили, что он полностью соответствует по химическому составу требованиям ГОСТ 1583-93 и значительно в 1,5-2,0 раза превышает требования к механическим свойствам, имеет содержание водорода 0,14 см<sup>3</sup>/100 г, а газовая пористость соответствует 1 баллу или отсутствует. Плавка подобной шихты в серийной печи ИАК-2,5 привела к получению металла не соответствующего ни одному из показателей требований ГОСТа.

На ДППТНП также отработаны технологии переплава 100 % стружки, шлаковых съемов, различных лигатур, выплавка которых ведется в диапазоне температур 650-1700 °С с очень высокими технико-экономическими показателями.

Полученные результаты подтвердили технологическую уникальность ДППТНП, поскольку ни в одной другой дуговой печи эффективно плавить алюминиевые сплавы нельзя и ни в одной плавильной печи других типов нельзя в процессе плавки глубоко удалять водород, неметаллические включения, измельчать зерно без использования специальных технологических приемов, флюсов и других достаточно экологически вредных веществ.

Технико-экономические показатели ДППТНП, включающие в себя безопасность эксплуатации, экологическую чистоту, универсальность, высокую стойкость футеровки, отсутствие специальных требований к шихте и подготовке лома, разовая завалка шихты, полный или порционный слив расплава, высокие надежность и производительность (время плавки 15-20 мин., низкие угар металла – 0,5-3,0 % и расход электроэнергии – 340-400 кВт·ч/т, отсутствие вредных реагентов в техпроцессе при получении качественного

металла и лигатур, возможность эксплуатации в любом временном режиме подтвердили предельно высокую конкурентоспособность нового оборудования и процесса. Замена действующего парка печей для плавки алюминиевых сплавов имеет срок окупаемости от 3 до 9 месяцев.

В данной статье отсутствует возможность анализа всех возможных экономически целесообразных технологий, проводимых в ДППТНП или миксерах на их основе, однако подтвержденные опытом промышленной эксплуатации приведенные результаты подтверждают их высокую конкурентоспособность.

## 12. Промышленные характеристики ДППТНП

НТФ "ЭКТА" предлагает реконструкцию действующего парка ДСП любой емкости с реализацией описанных выше показателей. Кроме того, разработан и сертифицирован типоряд новых печей, параметры которого также соответствуют параметрам реконструируемых ДСП.

Типоряд включает в себя печи ДППТУ-0,5; 1,5; 3; 6; 12; 25 с соответствующей емкостью по стали, чугуноу, меди, никелю, кобальту и по сплавам на основе алюминия - 0,5; 1,5; 3; 5; 10 т. Средний удельный расход электроэнергии на расплавление черных металлов – 420-460 кВтч/т, сплавов на основе алюминия и меди – 340-380 кВт.ч/т. Удельный расход графитированных электродов – не более 1,5 кг на тонну жидкого.

Среднее время расплавления под током черных металлов – 35-45 минут, сплавов на основе алюминия и меди 20-30 минут. Пылегазовыбросы из печей, как правило, ниже уровней ПДВ и ПДК при работе с вентиляцией без газоочистки. Угар шихты не выше 1,5 %, потери ферросплавов на 70-95 % ниже потерь в ДСП. Уровень шума на 15-20 дБА ниже шума ДСП.

На базе типоряда могут быть поставлены дуговые миксеры постоянного тока, например, для Ярославского моторного завода разработан миксерный агрегат ДМПТУ-12АГ, с параметрами: емкость 12 тонн, часовая производительность по чугуноу – 40 т, установленная мощность – 4,5 МВА, механические части – 2 шт.

На ДППТНП возможен переплав любого вида шихты, включая стружку, шлаковые съемы, крупногабаритный лом.

При производстве черных металлов за счет "быстрых технологий", обеспеченных возможностями печей, обработка расплава с окислительным и восстановительным периодами не превышает 30-40 минут.

Как правило, механические свойства металла выплавленного в ДППТНП выше механических свойств металлов получаемых из печей других типов. Основные преимущества ДППТНП перед другими печами следуют из изложенного выше материала.

По желанию Заказчика НТФ "ЭКТА" может разработать ДППТНП любой емкости. Фирма имеет лицензии Госстроя и Госгортехнадзора России на право ведения всего объема проектно-конструкторских работ и поставку оборудования с дальнейшим шеф-монтажом и пусконаладкой.

Более подробную информацию о ДППТНП и ООО "НТФ "ЭКТА" можно получить по адресу:

115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, тел./ф.: (095) 679-48-43, 679-48-81,  
e-mail: info@stf-ecta.ru, www.stf-ecta.ru

Авторы статьи обращают внимание на то, что опубликованный материал является интеллектуальной собственностью ООО "НТФ "ЭКТА" охраняемой патентами и не может быть использован другими юридическими организациями и частными лицами.

## Список литературы:

1. Джон Х. Мортимер "Индукционная плавка: технологии будущего существуют сегодня"/ "Электromеталлургия", 2000, № 10, с. 23-35.
2. В.С. Малиновский, Ф.Е. Дубинская "Технико-экономические и экологические аспекты альтернативных технологий плавки металла в дуговых печах"/ "Электromеталлургия", 1999, № 3, с. 8-16.
3. В.С. Малиновский "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" / Патент РФ № 2104450.
4. В.С. Малиновский "Подовый электрод электропечи" / Патент РФ № 2112187.
5. В.С. Малиновский "Способ плавки металла в дуговой печи постоянного тока"/ Патент РФ № 2109073.
6. В.С. Малиновский "Разработка и исследование мощных металлургических плазмотронов для плазменных плавильных печей" дисс. на соискание степени к.т.н., Москва 1981 г.
7. В.С. Малиновский и др. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления"/ Патент РФ № 2048662.
8. А.В. Афонаскин и др. "Результаты первого этапа освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения на ОАО "Курганмашзавод"/ "Литейное производство", 2000, № 11, с. 20-23.
9. А.В. Афонаскин и др. Результаты освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения на ОАО "Курганмашзавод" Доклад на V съезде литейщиков России, сб. трудов.
10. В.С. Малиновский и др. "Опыт промышленной эксплуатации дуговой печи постоянного тока для плавки алюминиевых сплавов", "Литейное производство", 2001 г. № 3.
11. Ю.Н. Шелгаев и др. "Дуговые печи постоянного тока: конструктивные особенности и марочный сортамент стали", "Сталь" № 5, 1994 г., стр. 34-35.