

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ И ЧУГУНА В УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (ДППТУ-НП).**

**В.С. Малиновский, к.т.н. (ООО «НТФ «ЭКТА»),**

**В.Д. Малиновский (ООО «НТФ «ЭКТА»),**

**И.Б. Власова (ООО «НТФ «ЭКТА»)**

**А.В. Афонаскин (ОАО "Курганмашзавод")**

**А.М. Володин (АООТ "Тяжпрессмаш"),**

**А.С. Богдановский (АООТ "Тяжпрессмаш")**

Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП) позволили значительно расширить технологические возможности плавильных печей и ликвидировать многие недостатки дугового нагрева металла.

Называть ДППТУ-НП печами нового поколения нам позволяют технологии, освоенные в промышленности, которые ранее проводить в дуговых печах было невозможно, это:

- Плавка особо качественных алюминиевых сплавов и получение качественного литья из них, без внепечной обработки, переработка алюминиевого лома с максимальными потерями 0,5-1,5 %.
- Переплав легковесной шихты, включая стружку, практически без потерь металла, включая легирующие элементы в нем.
- Переплав металлизированных окатышей с пониженным коэффициентом восстановления, при котором осуществляется восстановление окисленной части окатышей.
- Производство синтетического чугуна, при котором расплавление шихты и науглероживание совмещены.
- Переплав стального лома, включая высоколегируемый, с угаром, не превышающим 0,5-1,5 %, без потерь легирующих элементов в нем.
- Выплавка ферросплавов, включая ферротитан, с содержанием титана 70 % из ильменитового концентрата и рутила.
- Выплавка высоколегируемых сталей и жаропрочных сплавов сортамента ВИП.
- Выплавка некоторых марок стали, которые ранее можно было осуществить только в плазменных печах.
- Производство высококачественного литья из рядовой шихты.

В производстве стали на ДППТУ-НП получены следующие технологические результаты.

Прежде всего, сохранен принцип плавки, при котором сталь в печи варят с использованием всех классических приемов известных из теории металлургических процессов, с ведением: окислительного, восстановительного, рафинирующего процессов, легирования, десульфурации, дефосфорации, науглероживания, обезуглероживания, кислородного и рудного кипа, причем предпочтение отдается последнему. Это позволяет: получать высококачественную сталь из рядового лома без дорогой доводки металла в процессе внепечной обработки, которая необходима при синтезировании стали в установках печь-ковш; сохранить легирующие элементы, содержащиеся в ломе; предотвратить потери лома за счет угара металла.

Для ДППТУ-НП разработаны, запатентованы и освоены новые режимы расплавления шихты, магнитогидродинамическое перемешивание расплава, позволившие: предотвращать окисление металла в процессе расплавления; устранить локальный перегрев металла под дугой; создавать управляемый состав печной атмосферы; обеспечить однородность температуры и химического состава расплава металла и шлака, многократно увеличив эффективную поверхность взаимодействия между ними; предотвратить интенсивное образование вторичного шлака, обеспечивая его заданный состав во все периоды плавки; эффективно передавать

энергию из дуги в расплав. Комплекс технических решений позволил отказаться от вспенивания шлака, применения кислородных и других типов продувки металла для перемешивания и нагрева, химических топлив; многократно увеличить скорость и глубину ведения технологических процессов; довести до предельно возможного минимума пылегазовыбросы из печи, обеспечить требования Киотских соглашений.

ДППТУ-НП комфортны в обслуживании. При их работе не генерируется интенсивный шум, устраняются многие ручные операции, процессы легко управляемы, в том числе, с использованием микропроцессорной техники. ДППТУ-НП работают с полным сливом металла, без болота, что позволяет легко переходить с одной марки металла на другую, останавливать печи в любое время.

Если ранее широко рекламировались и внедрялись в производство процессы для получения полупродукта с использованием кислорода, газокислородных горелок, сжигания угля в потоке кислорода, вспенивания шлака, нагрева шихты отходящими из печей газами, других ускоряющих расплавление процессов и оборудования, то в настоящее время все больше рекламируются возможности, хотя бы частичного, отказа от них. Процессы синтезирования стали в ковше встречаются с проблемами качества, которые решаются также за счет все более значительного усложнения и удорожания ее производства.

Концепция ДППТУ-НП - это возврат к классическим технологиям на новом уровне.

## **1. Конструкция механической части ДППТУ-НП.**

ДППТУ-НП состоят из 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.

Вдоль вертикальной оси печи расположен графитированный электрод, в подине печи размещают несколько подовых электродов.

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 или капитальному ремонтам. Подовые электроды допускают многократное использование при заменах подины печи.

При плавке в ДППТУ-НП 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.

## **2. Миксеры ДМППТУ-НП.**

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 ДППТУ-НП она отличается отсутствием механизма подъема и поворота свода, меньшими размерами, устройством для заливки расплава. Рекомендуются 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 ДППТУ-НП.

Длительные выдержки расплава в ДППТУ-НП сталей, включая высоколегированные, специальных сплавов, чугуна, алюминиевых сплавов показали, что хим. состав и другие свойства металлов в процессе выдержки 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 ДППТУ-НП имеют уникальные технологические возможности.

### **3. Источник электропитания ДППТУ-НП**

В состав источника электропитания входит силовой трансформатор с первичным напряжением 6, 10 или 35 кВ, и вторичной стороной, представляющей собой четыре трехфазные обмотки, каждая из которых подключена к одной из четырех секций тиристорного преобразователя. Секции тиристорных преобразователей коммутируются тиристорными переключателями. Это позволяет: включать все секции последовательно, по две секции параллельно и между собой последовательно, все секции параллельно; 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, а в завершающей стадии плавления еще раз удваивать ток и в два раза уменьшать напряжение [1]. Преимуществом разработанного способа является возможность вести плавку при постоянно вводимой в печь мощности.

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.

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 стабилизирован 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 ДППТУ-НП

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 ДППТУ-НП ударный характер нагрузки практически устранен. Соотношение номинальных мощностей сетевых и печных трансформаторов могут быть приняты  $1,15 \div 1,25$ , 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.

ДППТУ-НП 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 [1].

Применение регулируемой компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения ДСП обусловлено существенными изменениями средних значений активной и реактивной мощностей на разных этапах плавки. В ДППТУ-НП 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 ДППТУ-НП определяется принятой схемой выпрямления (6-ти либо 12-ти импульсная 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 ДППТУ-НП 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 изолированно от системы электроснабжения. Так, сопоставление ДСП и ДППТУ-НП должно 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 ДППТУ-НП.

Несмотря на более высокую стоимость источника электропитания ДППТУ-НП, стоимость оборудования электропитания новой или реконструированной печи может быть ниже стоимость электрооборудования ДСП.

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

Подовые электроды (ПЭ), размещаемые в подине печи служат для подвода тока к шихте и расплаву. Их расположение в подине печи ДППТУ-НП является одним из основных элементов системы перемешивания расплава, обеспечивает 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 [2]. 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 ДППТУ-НП 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 «замораживания» его рабочей части и электрического контакта после последующей завалки шихты [3]. После 50-100 плавов подачу кусковой шихты в связи с завершением металлизации подины прекращают.

Высокую работоспособность ПЭ в ДППТУ-НП 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.

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. Приборы контроля температуры тела подового электрода и подключенная к ним автоматика, предотвращают разрушение и износ подины при ошибках персонала в процессе эксплуатации печи. Таким образом, подина ДППТУ-НП с подовыми электродами надежна в эксплуатации и полностью взрывобезопасна.

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

## **6. Катодные узлы ДППТУ-НП**

ДППТУ-НП оснащаются одним графитированным электродом без специальных требований к качеству материала.

Расход электродов на ДППТУ-НП лежит в пределах 0,8-1,5 кг на тонну расплавляемого материала. Сокращение расхода графита является одной из важных экономообразующих статей при реконструкции ДСП с переводом в ДППТУ-НП.

Экономии графитированных электродов способствует отсутствие анодных пятен привязки дуги на электроде, его длительная работа на пониженном токе в процессе плавки, отсутствие поломок электродов, вызываемых обрушениями шихты. Новый режим плавки приводит к проплавлению в шихте воронки, а не колодца, проплавления в ДСП. Этому способствует первый период расплавления шихты, проводимый при высоком напряжении на дуге, малом токе и низкой плотности тока на электроде [1, 3]. Измененный процесс расплавления, при котором обрушение шихты на электрод невозможно, позволил использовать комбинированные электроды, состоящие из короткого графитированного электрода, закрепленного на водоохлаждаемой штанге. Они 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; при создании печей большой емкости, использовать электроды диаметром до 610 мм, с рабочим током до 175000 А, то есть создавать печи емкостью более 100 тонн без разработки специальных электродов.

## 7. Перемешивание расплава в ДППТУ-НП

Разработанная НТФ «ЭКТА» система перемешивания расплава в ДППТУ-НП обеспечила не только равномерное распределение температуры и химического состава 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 ДППТУ-НП осуществляется за счет взаимодействия тока, протекающего через расплав, с электромагнитным полем протекающего тока. Для реализации процесса в подине печи устанавливают 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 ДППТУ-НП 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 [4].

В результате ДППТУ-НП имеет совершенную систему управляемого перемешивания расплава, которая с большой скоростью, непрерывно во все периоды нагрева и рафинирования расплава, выравнивает его температуру и хим. состав, 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 плавки явилось резкое снижение расхода электроэнергии. И главное, - позволило отказаться от любых других способов перемешивания расплава.

## 8. Автоматическое управление ДППТУ-НП

Для ДППТУ-НП разработан микропроцессорный комплекс интеллектуального управления технологическими и электрическими параметрами печи с оптимизацией их согласования. В автоматическом режиме ведется: непрерывный контроль состояния оборудования печи, определение длительности текущего периода плавки, состояния шихты, температуры расплава, прогнозируются технологические процедуры, необходимые для ведения плавки, непрерывно оптимизируются режимы работы источника питания, осуществляется комплекс управления печной установкой.

## 9. Особенности плавки металла в ДППТУ-НП

Процесс плавки разделен на три периода, которые проводят на постоянной мощности дуги [1].

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 завершенных 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-ом режиме, а сила тока в четыре раза больше. При этом происходит окончательное расплавление шихты, нагрев расплава, рафинирование и перемешивание расплава и шлака. В этот период можно проводить окислительный процесс

подачей кислорода или рудным кипом, который при принудительном управляемом МГД-перемешивании металла весьма эффективен [5].

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. Интенсивной теплопередаче от дуги к расплаву, реализуемой при усиленном воздействии поля электромагнитных сил на расплав, способствует также специальная схема размещения подовых электродов и токоподводов к ним. Оптимальный механизм плавления с эффективным МГД-перемешиванием расплава в широком интервале подводимой удельной мощности (от 0,3 до 8 кВт/кг шихты) обеспечивает высокую производительность в ДППТУ-НП малой, средней и большой емкости. В печах малой и средней емкости продолжительность расплавления ограничивается только технико-экономической целесообразностью и может составлять 10-15 мин. Скорость расплавления в ДППТУ-НП 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., но это потребует оснащения печи источником питания высокой мощности.

ДППТУ-НП предназначены для ведения полного технологического цикла плавки. Время плавки может составить 80÷90 мин. За счет МГД-перемешивания и разработанных нами специальных методов и приемов ведения в скоростном режиме десульфурации, дефосфорации, науглероживания, обезуглероживания, легирования и других технологических операций в печи, сокращается технологический период плавки, за счет чего может быть увеличено время расплавления шихты. Это позволяет значительно уменьшать установленную мощность источников электропитания.

С нашей точки зрения, для подачи металла в МНЛЗ с циклом 30-40 мин. целесообразнее устанавливать две печи, суммарная электрическая мощность которых будет не менее, чем в 2 раза ниже мощности «суперпечей».

## 10. Особенности организации системы пылегазоочистки

Для ускорения расплавления в ДППТУ-НП нецелесообразно использовать все виды химических топлив и кислорода.

В восстановительной атмосфере печного пространства ДППТУ-НП практически отсутствует угар шихты и приход за счет него тепла экзотермических реакций.

Стабилизация электрического режима и связанная с ней стабилизация давления газов в печном пространстве подавляет газообмен печного пространства с окружающей средой; препятствуя окислению шихты кислородом воздуха.

При этом, установка ДППТУ-НП позволяет либо отказаться от системы пылегазоочистки, так как выбросы становятся ниже уровней ПДВ и ПДК, или резко сократить ее производительность.

При ведении рудного кипа интенсивные пылевывбросы в ДППТУ-НП также отсутствуют, т.к. образующаяся моноокись углерода выходит из печи с высокой температурой и концентрацией, догорая до  $\text{CO}_2$  вне печи.

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 пылегазовывбросов 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, пылегазовывбросы оказались ниже ПДВ и ПДК при плавке стали



110Г13Л, чугуна, конструкционных и нержавеющей сталей [5]. 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 ДППТУ-НП при использовании качественной шихты окислительный период может не проводиться, в этом случае производительность системы пылегазоудаления определяется требованиями первого периода. Значительным преимуществом ДППТУ-НП является отсутствие заметных тепловых потерь (0,3-0,7 %) с отходящими газами. Это удешевляет систему пылегазоочистки и позволяет повысить ее эффективность.

Уникальную возможность многим предприятиям России в решении экологических проблем действующих ДСП создает реконструкция их в ДППТУ-НП. Причем объем капитальных затрат на реконструкцию может быть ниже затрат на строительство систем пылегазоочистки для действующих ДСП, которые экономически только снизят рентабельность производства.

Устранение из техпроцесса химических топлив соответствует современным требованиям и Киотским соглашениям снижения генерации газов, вызывающих парниковый эффект. Устранять экологически вредные приемы из технологии ДППТУ-НП, а не добиваться экономии электроэнергии за счет увеличения вредных выбросов, является принципиальным отличием наших процессов от широко рекламируемых.

Сложной экологической проблемой современных ДСП является образование диоксинов, фуранов, окислов азота и других вредных примесей. В ДППТУ-НП 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  $CO$ ,  $C_nH_m$ , температура которых превышает  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , 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 других вредных примесей; создают экологические преимущества, в том числе, 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 ДППТУ-НП с целью повышения их технико-экономических показателей.**

ДППТУ-НП полностью сохранили преимущества ДСП, заключающиеся в широких временных и технологических возможностях работы печей. ДППТУ-НП 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.

На ДППТУ-НП можно развить высокий темп получения расплава, что позволяет при реконструкции старых цехов с ДСП сократить количество печей, увеличив их производительность. Комбинация плавильных высокопроизводительных ДППТУ-НП небольшой емкости с миксером любой емкости позволяет получить значительные количества расплава без риска отклонения хим. состава металла в нем от заданного, вызванного наличием нежелательных элементов в шихте, поскольку хим. состав 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 ДППТУ-НП 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 ДППТУ-НП возможно вести в атмосфере аргона, азота или СО.

После перевода печей на постоянный ток (на ОАО "Курганмашзавод") за счет снижения угара шихты 110Г13Л выход металла увеличился на 60 кг на тонну, экономия ферромарганца составила 8,8 кг/т и была выявлена серьезная экономия ферросилиция. Удалось значительно легче чем на ДСП удалять серу и фосфор. При обезуглероживании стали Ст 30ХМЛ скорость обезуглероживания при рудном кипении составила 0,1 % С за 5 минут. Уникальным явлением плавки в ДППТУ-НП явилось значительное в 1,5-2,0 раза возрастание механических свойств и стабильное получение аустенитного зерна с баллом 1.

Так, после переплава в ДСП стали 110Г13Л испытания показали твердость НВ 255-269, стрелу прогиба 2,5-2,8, балл аустенитного зерна 2-3. В ДППТУ-НП соответствующие показатели составили: НВ-266; стрелу прогиба – 3,6-4,4, балл аустенитного зерна – 1.

Использование индукционной плавки для производства чугуна считалось лучшим техпроцессом до тех пор, пока на ОАО "Курганмашзавод" в ДППТУ-НП 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.

Плавка исходного чугуна для ВЧ осуществлялась в дуговой печи с основной футеровкой. С внедрением ДППТУ-НП 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 ЧШГ в ДППТУ-НП 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 ДППТУ-НП 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 [7, 8]. Особо высокий экономический эффект от внедрения ДППТУ-НП формируется при выплавке и переплаве специальных сталей и сплавов, производство которых ведут в вакуумно-индукционных печах. Для их выплавки ДППТУ-НП 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 ДППТУ-НП 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 дисперсионно-твердеющие жаропрочные сплавы на никелевой и железной основе. На ДППТУ-НП освоено около 150 марок стали и сплавов различного назначения.

Из наиболее сложных марок стали и сплавов, освоенных в ДППТУ-НП 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 ДППТУ-НП 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.

ДППТУ-НП признана в качестве агрегата, обеспечивающего производство металлопродукции в соответствии с действующими международными стандартами [8]. Эти результаты были получены на плазменной печи, запущенной методом перевода ДС-5М в плазменный вариант, в 1970 г. на ЧМЗ [9]. Современные ДППТУ-НП конструкции НТФ "ЭКТА" полностью сохранили и значительно расширили технологические возможности прототипа, при значительно более простой современной конструкции печи.

Современные ДППТУ-НП 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 [5, 6], имеют также и другие преимущества.

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 ДППТУ-НП, мы можем утверждать, что затраты на новые ДППТУ-НП или реконструкцию действующих ДСП по нашим технологиям, окупаются принципиально эффективнее.

В комбинации с ДППТУ-НП становятся практически бесполезными установки печь-ковш. Они отрицательно влияют на себестоимость и качество металла.

Полученные результаты подтвердили технологическую уникальность ДППТУ-НП, 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.

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

## **12. Промышленные характеристики ДППТУ-НП**

НТФ "ЭКТА" предлагает реконструкцию действующего парка ДСП любой емкости с реализацией описанных выше показателей. Кроме того, разработан и сертифицирован типоряд новых печей, представленных в табл.1.

**БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАНДАРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Табл.1

| Типы печей          | Номинальная вместимость, т. | Мощность источника питания, *(быстрая/медленная печь) МВА | Ориентировочное время расплавления под током * (быстрая/медленная печь), мин. |                               | Угар шихтовых материалов, % | Угар графитированных электродов, кг/т | Диаметр графитированных электродов, мм |            |
|---------------------|-----------------------------|---|---|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--|------------|
|                     |                             |   | Сталь, чугун, сплавы на основе Co, Ni и др.                                   | Сплавы на основе Al, Cu и др. |                             |                                       | Водо-охлаждаемые                       | Секционные |
| ДППТУ-0,5           | 0,5                         | - /0,84   | - /25-30  | - /15-20                      | 0,2...1,5                   | до 1,5                                | 100                                    | 150        |
| ДППТУ-1,0           | 1,0                         | - /1,0  | - /35-40  | - /25-30                      |                             |                                       | 150                                    | 200        |
| ДППТУ-1,5           | 1,5                         | 2,2/1,0   | 25-30/50-55   | 15-20/35-40                   |                             |                                       | 150                                    | 200        |
| ДППТУ-3             | 3,0                         | 4,3/2,2   | 20-25/50-55   | 15-20/35-40                   |                             |                                       | -                                      | 250        |
| ДППТУ-6             | 6,0                         | 4,73/4,3  | 40-45/55-60   | 25-30/35-40                   |                             |                                       | -                                      | 300        |
| ДППТУ-12            | 12,0                        | 10,79/-   | 40-45/-   | 25-30/-                       |                             |                                       | -                                      | 400, 450   |
| ДППТУ-25            | 25,0                        | 2x10,79/10,79   | 45-50/85-90   | -                             |                             |                                       | -                                      | 450, 500   |
| ДППТУ-50            | 50,0                        | 3x10,79/2x10,79   | 70-75/90-95   | -                             |                             |                                       | -                                      | 500, 610   |
| ....<br>ДППТУ-100** |                             |   |   |                               |                             |                                       |  |            |

\* Быстрая/медленная печь – время расплавления: менее 40...50 мин./до 60 и более мин., соответственно.

\*\* Характеристики согласовываются с Заказчиком

На базе всего типоряда ДППТУ–НП разработан и сертифицирован типоряд дуговых миксеров постоянного тока (ДМПТУ-НП, вместимостью от 0,5 до 100 тонн) для черных и цветных металлов, включая сталь.

### 13. Техничко-экономическая эффективность ДППТУ-НП

Техничко-экономическая эффективность ДППТУ-НП показана на примере реконструкции ДСП-20 в ДППТУ-20 на ОАО «ТЯЖПРЕССМАШ» г. Рязань.

В результате реконструкции получены сравнительные показатели, представленные в таблицах 2 и 3.

#### Сравнительная таблица показателей печей ДСВ-20 и модернизированной ДППТУ-20 на Рязанском ОАО «Тяжпрессмаш»

Таблица 2

| Показатели  | ДСВ-20  | ДППТУ-20 |
|---|---------|----------|
| Пыль, мг/м <sup>3</sup>   | 27,2    | 9,9      |
| Шум, дБ (общий уровень)   | 98      | 84       |
| Расход электроэнергии на 1 тн жидкой стали общий/по расплавлению, кВт·час | 880/535 | 740/450  |
| Производительность по жидкому, тн/час                                     | 4,54    | 7,16     |
| Средняя продолжительность по плавкам, час                                 | 4,92    | 3,0      |
| Средняя продолжительность плавления по плавкам, час                       | 2,75    | 2,05     |
| Угар металла общий, %   | 7-7,5   | 3,5-5    |
| Расход, кг/тн жидкого:  |         |          |
| Графитированных электродов  | 14,0    | 2,12     |
| FeSi  | 12,5    | 11,2     |
| SiMn  | 13,0    | 11,8     |

|  |             |             |
|--|-------------|-------------|
| FeMn   | 11,5        | 10,6        |
| FeCr (инстр.ст.)                               | 11,2        | 9,6         |
| FeV (инстр.ст.)                                | 7           | 4,7         |
| FeMo (инстр.ст.)                               | 2,1         | 2,1         |
| Извести  | 48,0        | 20,7        |
| Шамота (для наведения шлака)                   | 12,1        | 2,7         |
| Раскислительной смеси (известь, FeSi 45, кокс) | 272, 78, 22 | 192, 46, 18 |
| Магнезитовый кирпич на кладку                  | 22          | 12          |
| Количество проб в течение плавки, ед.          | 4-5         | 3-4         |
| Количество шлака на <u>шлавку</u> , тн         | 1,31        | 0,46        |
| Годовой выпуск жидкой стали (слитки, фасон), т | 12000       | 20600       |

**Улучшение показателей качества  
(уровень повышения соответствия ГОСТ в %; за 0 – до реконструкции)**

Таблица 3

|                                  |   |    |
|----------------------------------|---|----|
| По химсоставу                    | 0 | 35 |
| Предел текучести                 | 0 | 90 |
| Предел прочности на разрыв       | 0 | 60 |
| Относительное удлинение          | 0 | 45 |
| Ударная вязкость                 | 0 | 80 |
| Улучшение по УЗК валов (SEP1921) | 0 | 45 |

Однородность химического состава и температуры расплава, уменьшение неметаллических включений значительно увеличивают степень переохлаждения при кристаллизации и, как следствие, создают благоприятные условия для улучшения структуры металла. Это подтверждается данными центра управления качеством и независимой экспертизой Франции. Отклонения по химсоставу снизились на 35 %, уровень механических свойств на сталях для отливок и кузнечных слитков на 5-20 %, уровень несоответствия ГОСТ снизился на 90 %, соответствие ультразвукового контроля повысилось в поковках на 15 %, экспортных валах – 45 %. На "старой" и "новой" печи плавки с содержанием фосфора более 0,035 % - 18 % и 2 % соответственно с содержанием серы более 0,025 % - 33 % и 15 %. Аналогичные изменения наблюдаются со средними значениями этих элементов.

Ниже приведены исследования микро и макроструктуры материала заготовок валов, проведенных Центральной лабораторией ОАО "Тяжпрессмаш".

Исследованием установлено. Плавка ст. 35 Ø 300: макроструктура: точечная неоднородность балл 1 ГОСТ 10243-75; микроструктура: перлит+феррит, величина зерна балл 6, ГОСТ 5699-82. Плавка ст. 35 Ø 380: макроструктура: точечная неоднородность балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура: перлит+феррит, величина зерна балл 7, ГОСТ 5639-82. Плавка ст. 45 Ø 400: макроструктура: точечная неоднородность балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура: перлит+феррит, величина зерна балл 7, ГОСТ 5639-82. Плавка ст. 35 Ø 410: макроструктура: точечная неоднородность балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура: перлит+феррит, величина зерна балл 6, ГОСТ 5635-82.

При выплавке изделий данного типа на печи до и после реконструкции получены следующие результаты.

**Было:** точечная неоднородность 3-4 балл, ликвационные зоны, рыхлота осевая, неметаллические включения в виде скоплений, микроструктура 4-5 балл.

**Стало:** точечная неоднородность – 1 балл, ликваций – нет, рыхлоты – нет, неметаллические включения – разрозненные, не выше 1,5 балл, стабильная микроструктура 6-7 балл.

По результатам анализа центральной заводской лаборатории плавки на ДСВ-20 и реконструированной печи ДППТУ-20 получены следующие результаты:

- отклонения по химсоставу снизились на 35 %
- соответствия механических свойств литой стали увеличились на 35 %

- соответствие требованиям УЗД на всех подвергнутых проверке поковках увеличилось на 15 %, экспортных валов на 45 %;

- возросла стабильность результатов по мех. испытаниям:

1. разброс снизился на 20 %
2. сходимость увеличилась на 40 %

- возрос уровень механических свойств на сталях:

1. 25Л;  $\sigma_B$  – на 5 %;  $\delta$  – на 7 %;  $\alpha_K$  - на 10 %.
  2. 35Л;  $\sigma_T$  – на 9 %;  $\sigma_B$  – на 10 %;  $\delta$  – на 7 %;  $\alpha_K$  - на 15 %.
  3. 45Л;  $\sigma_T$  – на 18 %;  $\sigma_B$  – на 15 %;  $\delta$  – на 11 %;  $\psi$  - на 12 %.
  4. 20ГСЛ;  $\sigma_T$  – на 5 %;  $\sigma_B$  – на 12.
  5. 35 ХМЛ;  $\sigma_B$  – на 14 %.
  6. Ст 20;  $\sigma_T$  – на 8 %;  $\sigma_B$  – на 4 %;  $\delta$  – на 6 %;  $\psi$  - на 9 %.
- 40ХМА;  $\sigma_T$  – на 9 %;  $\sigma_B$  – на 13 %;  $\delta$  – на 20 %;  $\alpha_K$  - на 20 %.  
40ХН2МА;  $\sigma_T$  – на 11 %;  $\sigma_B$  – на 6 %;  $\delta$  – на 8 %;  $\psi$  - на 4 %;  $\alpha_K$  - на 11 %.

Несоответствия поковок и отливок по механическим свойствам снились.

1. Предел текучести на 90 %
2. Предел точности на 60 %
3. Относительное удлинение на 45 %
4. Относительное сужение – без изменений
5. Ударная вязкость на 80 %

Годовой экономический эффект от перевода печи составил около 52 млн. руб., по отдельным маркам стали экономия на 1 т жидкой стали составляет 3600 руб. Срок окупаемости составил 10 месяцев.

Основными экономообразующими статьями стали: замена науглероживателя чугуна передельного на стальной лом и графитированную стружку ~ 12 млн. руб., на разделке шихты ~ 13 млн. руб., от снижения расхода ферросплавов ~ 3 млн. руб., электроэнергии 2,2 млн. руб.

Структура экономического эффекта показана на рис. 1.

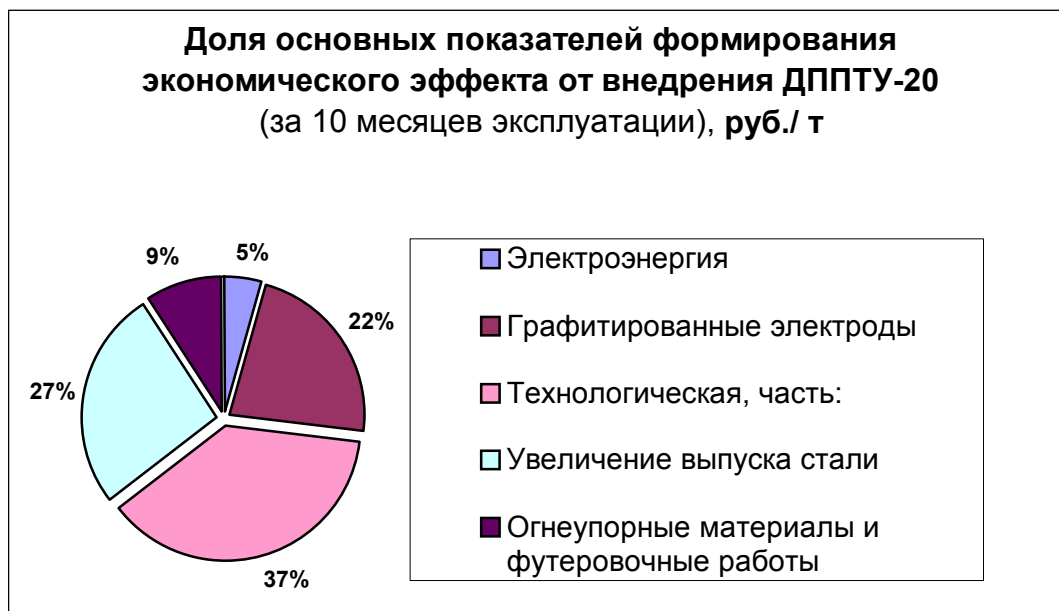


Рис. 1.

Структура полученного экономического эффекта подтверждает то, что экономия электроэнергии не может быть главной целью реконструкции. Основой технико-экономических показателей являются стоимость сырья и материалов. Из рис. 1. также следует, что установка с целью повышения производительности новых печей также быстро окупается.

В расчет не включена экономия затрат на экологию, которая также является одной из весомых составляющих.

#### 14. Перспективы развития ДППТУ-НП в сталеплавильном производстве

Технологии ДППТУ-НП позволяют обеспечивать высококачественным металлом литейные производства, в которых отношение к качеству особенно важно, т.к. литье нельзя исправить обработкой давлением.

В металлургическом производстве использование ДППТУ-НП особенно важно при производстве изделий, отношение к качеству которых повышено. Это: трубное производство, производство конструкционных изделий с повышенными требованиями и др.

Для реализации промышленно значимых проектов, обеспечивающих массовое производство стали, обсуждается несколько направлений, одним из которых является разработка технологических миксеров – универсальных дуговых миксеров постоянного тока нового поколения (ДМПТУ-НП).

В ДМПТУ-НП заливается расплав чугуна, в котором углерод находится в идеальном виде для ведения рудного кипа, причем, в качестве окислителя могут быть не только окислы железа, но и марганца, хрома, никеля и т.д. в виде окисленных окатышей. Для создания благоприятных условий для дефосфорации в ДМПТУ-НП добавляется известь. При поступлении в миксер окатыши вступают во взаимодействие с элементами чугуна – углеродом и кремнием. Идет процесс обезуглероживания, который протекает достаточно бурно и ускоряется МГД-перемешиванием расплава. В результате нагрева металла дугой полупродукт может быть нагрет до любой заданной температуры. Окончание процесса наступает при достижении в металле концентрации углерода 0,4 %.

При ведении процесса на 100 кг исходного чугуна образуется 6,72 м<sup>3</sup> СО, восстанавливается 12,45 кг железа или другого металла, легирующего расплав.

Таким образом, продуктами переработки чугуна являются: железо, по массе превышающее массу поступившего чугуна на 10 %, и СО, пригодный для утилизации. Средний удельный расход электроэнергии составляет 266 кВт·ч/т.

Оборудование позволяет создавать металлургические комплексы, в состав которых входят миксеры ДМПТУ-НП и плавильные печи ДППТУ-НП. В последних проводят расплавление стального лома и, после заливки полупродукта в них - варят сталь. Учитывая, что при ведении любого современного сталеплавильного производства потери жидкого чугуна составляют не менее 10 %, предлагаемый процесс позволяет на 20-25 % увеличить выход годной стали.

При производстве стали возможно обеспечивать любое процентное соотношение чугуна и стального лома.

В качестве примера приводятся возможные характеристики комплекса с ДППТУ-100 (номинальной емкостью 100 т) и ДМПТУ-50 (номинальной емкостью 50 т).

В ДМПТУ-50 заливают 45 т чугуна и получают 50 т полупродукта. В ДППТУ-100 загружают 50,05 т стального лома (угар 1%), расплавляют его, добавляют 50 т полупродукта из ДМПТУ-50, затем варят сталь до получения заданного химического состава и свойств.

Принимая удельный расход электроэнергии на расплавление стального лома - 420 кВт·ч/т, средний расход электроэнергии на производство стали в ДППТУ-100 составит -340 кВт·ч/т и, реально, на плавку - 400 кВт·ч/т.

Из расчета цикла плавки стали 60 мин., оборудование будет иметь следующие основные параметры:

Табл.4

|  | ДМПТ-50 | ДППТУ-100 |
|--|---------|-----------|
| Емкость, т   | 50      | 100       |
| Мощность источника электропитания, МВА             | 20      | 40        |
| Часовая производительность сталь, полупродукт, т/ч | 50      | 100       |
| Часовая производительность СО, м <sup>3</sup>      | 3360    |           |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т |  | 400 |
|---|--|-----|

ДППТУ-100 оснащается оборудованием, необходимым только для ведения технологий. Технико-экономические и экологические преимущества предлагаемого процесса очевидны.

Более подробную информацию о ДППТУ-НП и ООО "НТФ "ЭКТА" можно получить по адресу:

115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, тел./ф.: (495) 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", охраняется патентами, и не может быть использован другими юридическими организациями и частными лицами.

#### **Список литературы:**

1. В.С. Малиновский "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" / Патент РФ № 2104450.



2. В.С. Малиновский "Подовый электрод электропечи" / Патент РФ № 2112187.
3. В.С. Малиновский "Способ плавки металла в дуговой печи постоянного тока"/ Патент РФ № 2109073.
4. В.С. Малиновский и др. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления"/ Патент РФ № 2048662.
5. 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.
6. 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.
7. В.С. Малиновский, Ф.Е. Дубинская "Технико-экономические и экологические аспекты альтернативных технологий плавки металла в дуговых печах"/ Электрометаллургия, 1999, № 3, с. 8-16.
8. Ю.Н. Шелгаев и др. "Дуговые печи постоянного тока: конструктивные особенности и марочный сортамент стали", "Сталь" № 5, 1994 г., стр. 34-35.
9. В.С. Малиновский "Разработка и исследование мощных металлургических плазмотронов для плазменных плавильных печей" дисс. на соискание степени к.т.н., Москва 1981 г.
10. В.С. Малиновский и др. "Опыт промышленной эксплуатации дуговой печи постоянного тока для плавки алюминиевых сплавов", Литейное производство, 2001 г. № 3.