

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДУГОВЫЕ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

НТФ «ЭКТА» создала парк и освоила производство промышленных универсальных дуговых печей и миксеров постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП и ДМПТУ), которые успешно эксплуатируются на многих предприятиях России и зарубежья.

Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП) вместимостью от 0,5 до 100 т и дуговые миксеры постоянного тока (ДМПТУ) вместимостью до 150 т предназначены для производства качественного литья и переработки лома рядовых и высоколегированных марок стали, чугуна, включая серый и весь ряд марок высокопрочных и легированных чугунов, синтетического чугуна, сплавов на основе алюминия, меди, никеля, кобальта, свинца и др. металлов, а также для производства любых лигатур на основе перечисленных металлов, ферросплавов, раскислителей и других материалов. В ДППТУ-НП и ДМПТУ введен комплекс новых технических решений, который позволил значительно расширить технологические возможности дугового нагрева и устранить главные недостатки дуговых печей.

Печи и миксеры - универсальны, так как предназначенные для плавки различных металлов, они не отличаются друг от друга по конструкции и применяемым огнеупорным материалам. Это создает возможности производства широкого спектра сортамента и легкий переход с одного сортамента на другой. При этом ДППТУ-НП позволяют переплавлять любые виды шихты без специальной подготовки, включая стружку.

К настоящему времени ДППТУ-НП емкостью до 30 т уже достаточно широко используется в промышленности. Они имеют технико-экономические показатели по многим параметрам опережающим мировой уровень. Результаты работ широко опубликованы и представлены на сайте WWW.STF-ECTA.RU.

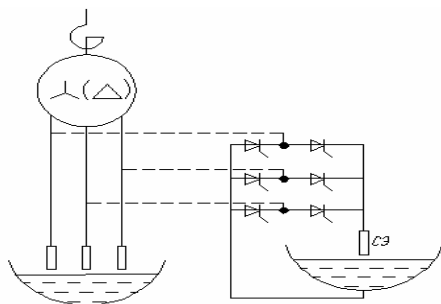
В докладе мы рассматриваем перспективы применения ДППТУ-НП и дуговых миксеров постоянного тока (ДМПТУ) на базе которых созданы реакторы для окисления углерода чугуна рудными материалами.

Для переработки металлолома эффективно использование комбинацию ДППТУ-НП небольшой емкости, с высокой скоростью плавления, и ДМПТУ, вместимость которого значительно превышает вместимость ДППТУ-НП. Такая комбинация оборудования особенно эффективна при переработке легированного стального лома, сплавов на основе Al и Cu. Плавильная печь в такой установке позволяет провести качественную сортировку лома с точным определением его химического состава, принять решение о возможности использования расплава для приготовления конкретного сплава в миксере. Металл с большими отклонениями от требований хим.состава сплава отливается в шихтовую болванку и используется для подшихтовки сплавов в миксере, химический состав которых соответствует составу шихтовой болванки.

Расширить область применения наших печей позволяют запатентованные нами технические решения.

**В единую концепцию создания ДППТУ-НП, разработанную специалистами ООО «НТФ «ЭКТА», были включены специальные энерготехнологии.** Они позволили в ДППТУ-НП не использовать альтернативные источники энергии, природный газ, кислород, угольный порошок и другие. От разработок дуговых печей других фирм они отличаются следующим.

Дуговые печи переменного тока и дуговые печи постоянного тока, разработанные за рубежом, имеют принципиальную схему, показанную на рис.1.



В базовую схему ДСП входит печной трансформатор со ступенями переключения напряжения. На высокой стороне подключается реактор. Фазы трансформатора связаны с электродами дуговой печи переменного тока непосредственно, в дуговых печах постоянного тока зарубежного производства – через управляемый выпрямитель. В процессе плавки есть возможность управления напряжением – путем переключения ступеней напряжения трансформатора и методом стабилизации

Рис.1 Принципиальная электрическая схема ДСП и ДСПТ

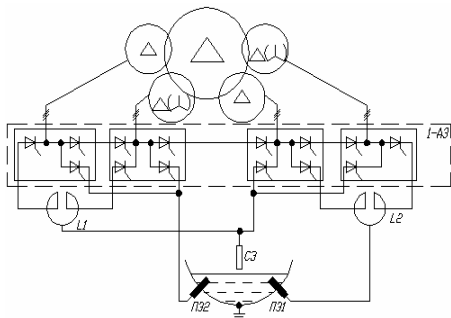
и управления мощностью дуги - путем изменения длины дуги. В печи постоянного тока зарубежного производства имеется дополнительная возможность управления и стабилизации тока тиристорным регулятором.

В вышеуказанных печах плавка обычно ведется на максимальном токе, определенном параметрами трансформатора.

Данная схема, рис.1, обеспечивает быстрое расплавление шихты в начальный период плавки при высоких значениях тока и напряжения электрических дуг. Затем мощность приходится снижать, т.к. футеровка печей не допускает работу на длинных дугах. Уменьшение напряжения сопровождается снижением вводимой в печь мощности, которая может быть компенсирована только применением тепла химических реакций, получаемого за счет использования различных видов горелок, кислорода и других методов. В современных печах для защиты футеровки используют «длинные» дуги, затопленные во вспененном шлаке. Проблема перемешивания расплава и передачи энергии в расплав решается путем продувки расплава кислородом или другими газами. В противном случае, доплавление шихты и нагрев расплава ведутся на пониженной мощности, и печь обладает малой производительностью. Все приемы форсирования плавки теплом химических реакций приводят к высокому (9-12 %) угару шихты и мощной нагрузке на систему пылегазоудаления.

В отличие от вышеуказанных печей, источник питания ДППТУ-НП разработки НТФ «ЭКТА» (рис.2) включает в себя трансформатор с несколькими трехфазными обмотками, каждая из которых подключена к секции тиристорного преобразователя. Через реакторы секции тиристорного преобразователя подключены к подовым электродам. В отличие от аналогии с автомобилем начала прошлого века, ДППТУ-НП оснащена не только «регулятором газа» - ступенчатым переключателем напряжения, но и «автоматической коробкой передач» – системой переключения секций тиристорного преобразователя.

На источнике питания (рис.2) начало плавания ведется с последовательно включенными секциями тиристорного преобразователя (рис.3.) на пониженном токе и высоком напряжении, при включенном одном подовом электроде печи.



В этот период плавка ведется на длинной дуге, и ее анодное пятно располагается на кусках металлической шихты. В этих условиях достигаются главные цели: 1. Не допускается перегрев расплава, т.к. расплавленные капли металла, нагреваясь, преодолевают силу поверхностного натяжения и стекают на подину печи. 2. Плавка ведется на стабилизируемой мощности практически без колебаний электрического режима.

Рис. 2. Принципиальная схема источника питания ДППТУ-НП.

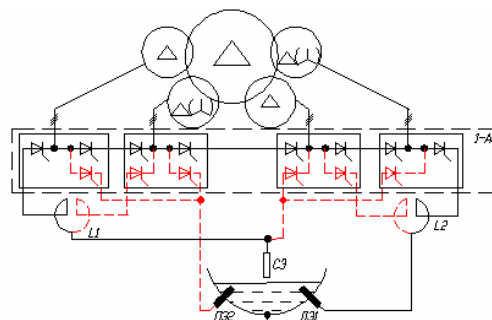
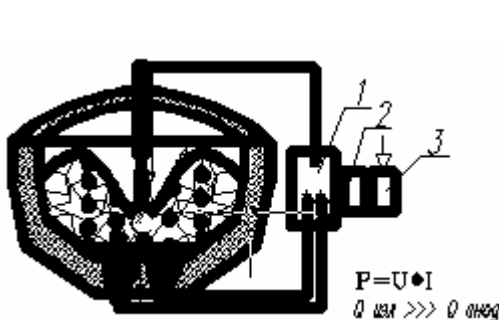


Рис. 3. Коммутация источника питания для расплавления шихты в течение первого периода плавки. 1 – Источник питания. 2 – Регулятор тока. 3 – Блок управления перемешиванием расплава.

Второй период плавки ведется при коммутации секций тиристорного преобразователя: по две секции – параллельно и между собой – последовательно (рис.5). При этом ток дуги удваивается, а напряжение в два раза снижается, т.е. сохраняется мощность первого периода плавки. Для перемешивания накопленного в первый период расплава подключается второй подовый электрод.

Анодное пятно дуги располагается на расплаве, накопленном при проведении первого периода, внутри воронки, проплавленной в шихте ранее. Для отвода мощности от анодного пятна расплава включается система перемешивания расплава. Согласно патентам, перемешивание осуществляют периодическим изменением величины тока с одновременным изменением поля электромагнитных сил. При наличии нескольких замкнутых электрических цепей, изменение тока в них производят со сдвигом фаз в каждой цепи относительно другой.

При установленных в подине печи двух подовых электродах, смещенных относительно центра печи, вектор тока внутри расплава имеет горизонтальную и вертикальную составляющие. Взаимодействие вертикальной и радиальной составляющих тока с магнитным полем тока формирует поток расплава, при котором металл с большой скоростью набегает под пятно дуги и уходит вглубь расплава. По подобному типу формируется и горизонтальное перемешивание расплава. Это перемешивание идеально для передачи энергии дуги в расплав и для футеровки печи, поскольку вблизи футеровки печи скорость перемешивания металла минимальна. Однако, с течением времени характер перемешивания металла изменяется, в расплаве появляются вихревые потоки, а движение основной массы металла прекращается. Для предотвращения этого явления и управления скоростью и формой перемешивания металла регулятором тока тиристорного преобразователя, согласно патентам, время от времени проводится кратковременное снижение тока, при котором вихревые потоки разрушают, и, восстанавливая регулярное перемешивание расплава. Перемешивание расплава не допускает локального перегрева металла под дугой, а образовавшаяся в течение первого периода воронка в шихте позволяет поддерживать высокую стабильность вводимой мощности.

Во второй период плавки ведут расплавление основной массы шихты, проводя соединение секций тиристорного преобразователя согласно рис. 4.

На рис. 5 (а, б, в) показаны также типы перемешивания расплава: рис.5(а, б) – с включенной системой перемешивания; рис. 5(в) – с отключенной. В последнем случае под анодным пятном дуги и над подовыми электродами формируются в расплаве вихри, при этом, движение основной массы расплава прекращается

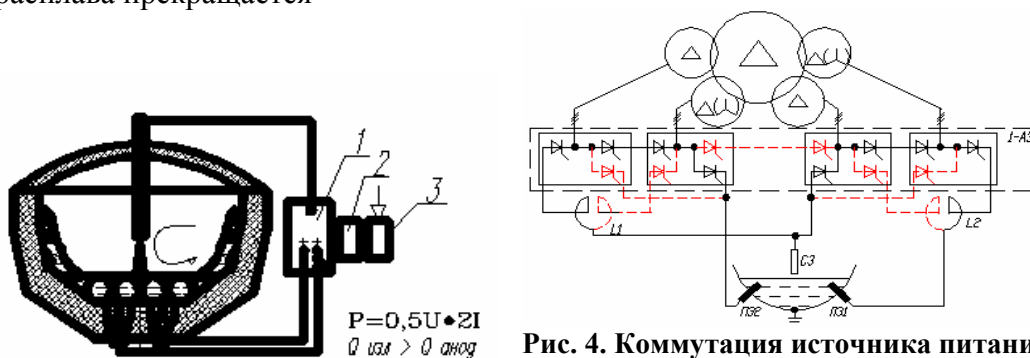


Рис. 4. Коммутация источника питания для расплавления шихты в течение второго периода плавки.

1 – Источник питания. 2 – Регулятор тока. 3 – Блок управления перемешиванием расплава.

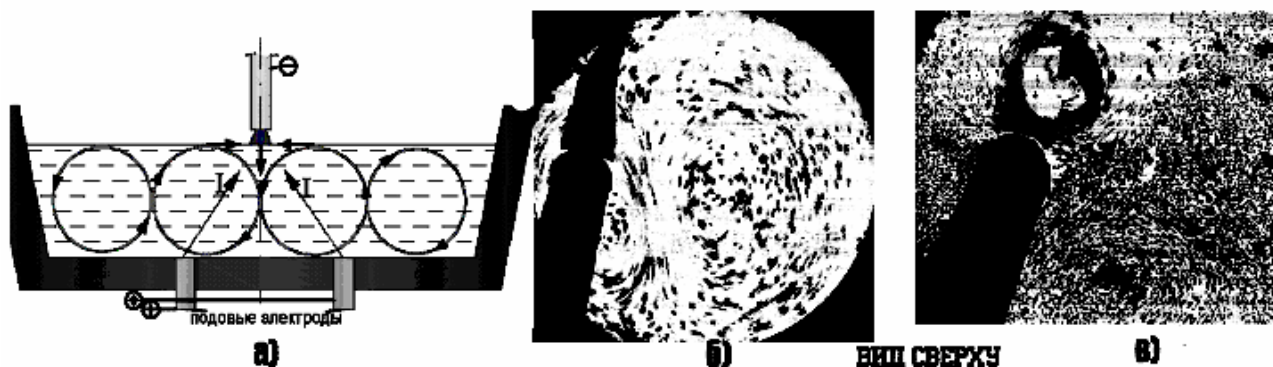


Рис. 5. Типы перемешивания расплава в ДППТУ-НП.

а) Торoidalное перемешивание расплава. б) Регулярное перемешивание расплава. в) Искаженная система перемешивания с вихревыми потоками расплава.

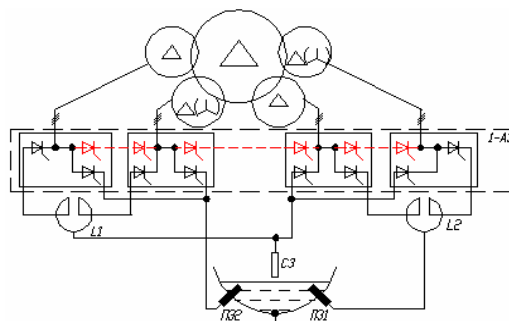
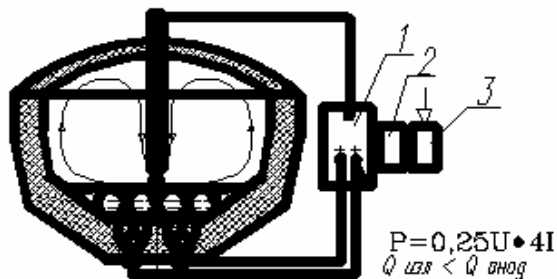


Рис.6. Коммутация источника питания для нагрева расплава и проведения технологических процедур.

1 – Источник питания. 2 – Регулятор тока. 3 – Блок управления перемешиванием расплава.

После расплавления основной массы шихты источник питания переключается для ведения третьего периода плавки (рис.6). Для этого, в соответствии с патентами, все секции тиристорного преобразователя включаются параллельно.

В третьем периоде ток увеличивают в два раза – по сравнению со вторым периодом и в четыре раза – по сравнению с первым периодом плавки, а напряжение источника питания пропорционально увеличению тока снижается, т.е. вся плавка ведется при постоянной мощности с полным использованием силовых возможностей трансформатора. Увеличение тока приводит к увеличению интенсивности перемешивания расплава, а энергия дуги перераспределяется. В отличие от первого и второго периодов, в которых основная доля энергии излучалась на шихту, доля энергии третьего периода (до 80-90 %) передается непосредственно в расплав, а система перемешивания переносит её вглубь расплава. Это позволяет отказаться от применения вспененного шлака, кислорода и других газов, используемых в ДСП и дуговых печах постоянного тока зарубежного производства для ускорения расплавления.

В ДППТУ-НП за счет перемешивания расплава достигаются большая эффективная площадь взаимодействия системы шлак-расплав, идеальная гомогенность температуры и химического состава расплава, быстрое растворение и высокое усвоение легирующих элементов, интенсивная скорость ведения технологических процессов: десульфурации, дефосфорации, науглероживания, обезуглероживания расплава, удаление неметаллических включений, дегазация расплава; минимальный удельный расход электроэнергии, сокращается угар шихты, гарантируется высокое качество металла.

Разработанная система плавки способствует, например, глубокому удалению водорода из алюминиевых сплавов. Результатом явились те показатели, которые были достигнуты на ДППТУ-НП. Организация передачи энергии из дуги в расплав обеспечивает минимальный расход электроэнергии на расплавление металла и, проведение технологических процессов обработки расплава. Для малых печей, с целью реализации идей патентов, разработана принципиальная схема источника питания, при котором трансформатор имеет одну высоковольтную и, по крайней мере, две низковольтные обмотки. Высоковольтная обмотка обеспечивает ведение первого периода плавки, низковольтные – второго и третьего. При этом, соотношение тока и напряжения дуги первого, второго и третьего периодов может быть произвольным.

**Энерготехнологии ДППТ-НП непосредственно связаны с экологией процесса плавки.**

Расплавление твердой шихты в ДППТУ-НП является наиболее эффективным методом очистки шихты от органических и других включений.

Выше отмечалось, что для организации и ускорения процесса плавки в ДППТУ-НП не применяются вспененный шлак, любые виды химических топлив и кислород. Это обеспечивает выполнение Киотских соглашений при минимальных затратах на систему пылегазоудаления и очистки.

На угар шихты в значительной мере играет газообмен печной среды с окружающим воздухом. Газообмен прямо связан с уровнем стабилизации электрического режима дуги.

В соответствии с уравнением  $PV=nRT$ , при постоянном объеме печи (V), давление в печи (P) является функцией температуры (T) газа внутри печи. При колебаниях электрического режима происходит изменение температуры газов печной среды, и печные газы выбрасываются из печного пространства или засасываются в него.

Этот режим характерен для ДСП и дуговых печей постоянного тока зарубежного производства, и устранен в ДППТУ-НП специальными, описанными выше, режимами плавки. Подавление газообмена позволило не осуществлять принудительной эвакуации газов из печи, резко снизить окисление металла поступающим в печь из воздуха кислородом, предотвратить насыщение металла азотом и кислородом. Также обеспечивается плавка в атмосфере газов, выделяемых из расплава, которые при плавке стали содержат большое количество СО.

При необходимости, атмосферой печи можно управлять, подавая в нее принудительно любые необходимые для ведения технологии газы.

Электрическая дуга постоянного тока является мощным насосом, прокачивающим через себя печные газы. При этом, температура печных газов внутри печи достигает высоких значений, превышающих 1000 °С. При таких температурах невозможно образование диоксинов, фуранов, цианидов, других вредных соединений. В первый период плавки органические и другие, загрязняющие шихту материалы, испаряются, нагреваются внутри печи до высокой температуры, а при выходе из печи – воспламеняются и окисляются до простых соединений. Небольшое количество образующихся газов и организованный интенсивный поток воздуха в отходящий из печи поток печных газов, обеспечивает высокую скорость горения печных газов и быстрое их охлаждение до температуры, как правило, ниже 100° С, т.е. обеспечивают наилучшие условия для предотвращения образования вредных химических соединений. Система организации плавки гарантирует удаление вредных соединений из шихты, позволяет не вести подготовку загрязненной шихты перед плавкой. Эти условия невозможно выполнить в других печах.

Во многих случаях ДППТУ-НП малой емкости можно не оснащать системой пылегазоочистки. Это позволяет для ДСП вместо строительства дорогостоящей системы пылегазоочистки провести реконструкцию печи переменного тока с переводом на постоянный ток.

В таблице 1 приведены результаты замеров выбросов установки ДППТУ-6АГ, которая была создана методом реконструкции ДСП-6, при плавке стали 110Г13Л, из чего следует, что поставленная задача была решена.

Табл. 1

Выбросы, г/с		ПДВ, г/с
Пыль	0,3301	0,9853
В т.ч. Мп	0,0266	0,1486

Многочисленное уменьшение пылегазовых выбросов отмечено на всех печах, введенных в производство НТФ «ЭКТА». Это является одним из главных достоинств ДППТУ-НП.

Приведенные технические решения являются ключевыми для отработки технологий плавки металла, которые на любых других типах плавильных печей выполнить нельзя.

Запатентованный специалистами НТФ «ЭКТА» метод МГД-перемешивания позволяет создавать эффективные плавильные печи со скоростным ведением технологии описанной в теории металлургических процессов. Обеспечивать идеальную гомогенность температуры и химического состава расплава и шлака, высокоэффективную передачу энергии из расплава в металл. Это позволяет создавать высокоэффективные дуговые миксеры постоянного тока и реакторы, например, для окисления углерода в чугуне оксидами железа и других металлов, что позволяет вместо значительных потерь металла при ведении современных процессов получать пригар. При переработке чугуна по сравнению с конвертером, комбинированной ДСП, новая технология позволяет увеличить выход годного на 20-25 %, а переplав шихты в ДППТУ-НП позволяет увеличить выход годного на 6-12 %.

Воспринимать наши предложения возможно только перестроив психологию, на наш взгляд, металлургам навязанную. Согласно современной концепции, в единую цепочку выстраиваются комбинированные дуговые печи, в которых нагрев металла ведется не только электрическими дугами, но и различными видами горелок, использующими химический вид топлива и кислород, тепла выделяющегося в расплаве, за счет вдувания в него кислорода, сопровождаемого угаром металла, вдуванием в металл угольно-кислородных смесей и др. Излучения дуг на стены предотвращают их погружением в вспененный шлак, а после слива металла в печи оставляют болото. В такой печи можно провести только окислительные периоды плавки, а саму сталь синтезируют в процессе внепечной обработки, применяя установки печь-ковш, вакуумирование металла в ковше, другие методы. Основной целью организации плавки является синхронизация работы цепочки с МНЛЗ. Рекламируется снижение расхода электроэнергии но если учесть расход электроэнергии, например, в системе газоочистки, посчитать сколько электроэнергии можно купить на средства потраченные на сгоревшие 6-12 % шихты, кислород, газ, шлакообразующие материалы и др., а также

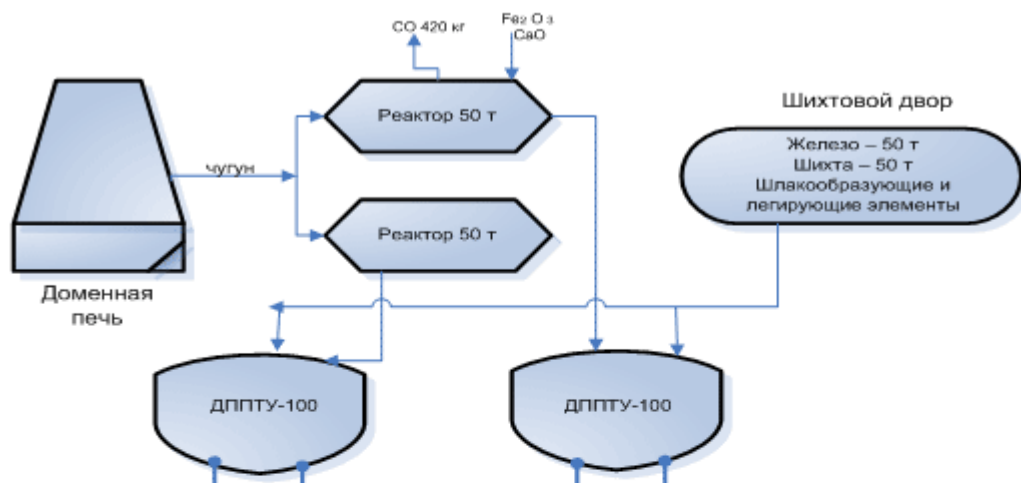


электроэнергию, аргон и специальные материалы для внепечной обработки, подготовку шихтовых материалов, то рекламируемый метод производства стали является весьма затратным и неэффективным. Очень важным недостатком рекламируемых процессов является чрезвычайно высокие выбросы в атмосферу вредных химических соединений,  $\text{CO}_2$ , и огромные затраты на систему пылегазоочистки. Отказ от классических технологий производства стали негативно сказывается на ее качестве, обеспечить которое предлагается введением в сталь, например, для связывания азота титана, стабилизации структуры ванадия и др.

Согласно нашим представлениям в металлургию должны вернуться классические методы сталеварения, которые возможно провести только при возвращении всего цикла плавки до получения готовой стали в печь. Провести расплавление шихты и технологическую обработку расплава в короткое время не возможно. Поэтому там для производства стали должны создаваться сталеплавильные участки, работа которых подчинена снижению себестоимости производства стали, достижению максимальных показателей качества, минимизации вредных выбросов в окружающую среду.

На проведенном ниже рисунке изображена предлагаемая нами схема плавки стали, для производства 700000 т стали в год, и основные ее показатели. Проект является инновационным, и может быть реализован для производства от 0,1 до 1,5 мил т стали в год. Научная база проекта разработана в полном объеме, для промышленной реализации требуются инвестиции. При создании промышленного комплекса НТФ «ЭКТА» готова обсудить возможности сотрудничества с другими заинтересованными организациями.

Схема производства стали в дуговых печах и реакторах постоянного тока



**Показатели реакторов:**

Электрическая мощность 2x20 МВА;  
 Время заливки и окисления углерода – 40-60 мин;  
 Удельный расход электроэнергии – 270 кВт·ч/т.

**Показатели ДППТУ-100:**

Электрическая мощность – 2x20 МВА;  
 Удельный расход электроэнергии на расплавление твердой шихты – 410 кВт·ч/т,  
 на тонну жидкой стали – 250 кВт·ч/т,  
 с учетом расхода электроэнергии в реакторе – 520 кВт·ч/т;  
 Время полного цикла плавки – 80-100 мин;  
 Цикл подачи расплава на МНЛЗ – 40-60 мин;  
 Угар шихты – 0,5-1,5 %;  
 Пригар железа при окислении чугуна – 12,5 % (при использовании металлизированных окатышей пригар может быть доведен до 30 %);  
 Увеличение выхода годного, по сравнению с комбинированными процессами плавки – 20-25 %.

Кроме перечисленных показателей следует отметить снижение в 70-100 раз пылегазовыбросов в процессе ведения процессов.

В реакторы подается чугун из доменной печи, окисленные окатыши и шлакообразующие элементы. Перед подачей в реактор шлак доменного процесса целесообразно отсечь. Пригар металла можно увеличить использованием металлизированных окатышей с пониженной 0,5-0,6 степенью металлизации. После завершения процесса накопления расплава и завершения окисления углерода, кремния и др. элементов чугуна расплав железа передают в ДППТУ-НП, при этом желательным образовавшийся шлак от расплава отсечь.

Для металлургов процессы протекающие в реакторах очевидны. Опишем процессы протекающие в ДППТУ-НП. Твердую шихту в печь загружают сразу после слива и немедленно начинают ее расплавление. После расплавления шихты в печь заливают железо из реакторов, вводят легирующие и шлакообразующие материалы. Проводят классические окислительные и восстановительные процессы, процессы легирования и рафинирования стали. Время плавки может быть выбрано от 80 до 100 мин, расплавлению подвергается только 50 % загруженного в печь металла, поэтому установленная электрическая мощность невелика и составляет 20 МВА.

Для условий России важно то, что ДППТУ-НП работают с полным сливом расплава, что делает безопасным использование влажной шихты.

Оборудование позволяет вести производство стали с любым соотношением металлического лома и чугуна. Для увеличения процентного содержания лома возможна его подача, в том числе в реакторы.

Данный проект является сверх рентабельным. Он позволяет значительно сократить расходы на основные фонды за счет отказа от строительства дорогих пылегазоочистных сооружений, шихто-подготовки, системы электроснабжения, кислородно-аргоновых станций и др.

Для оценки снижения эксплуатационных затрат используем экономический эффект от снижения потерь металла, которые по сравнению с современными процессами составят, с учетом пригара при обработке чугуна - 20 %. При явно заниженной стоимости шихтовых материалов 250 USD за тонну и завышенной стоимости электроэнергии 0,05 USD за кВт ч, за сэкономленные средства можно купить 5000 кВт ч электроэнергии, то есть все рассуждения наших оппонентов об экономии электроэнергии становятся бессмысленными.

Отказ от использования всевозможных видов химических топлив, кислорода, для ускорения плавки, подавление образования вредных химических соединений в печной среде, снижение угара металла и др. позволяет выполнять условия Киотского договора и делает бессмысленным спор об экологических преимуществах предлагаемого нами и традиционных способов производства стали.

Предприятия, оснащенные оборудованием ДППТУ-НП, ДППТУ-АГ и ДМПТУ способны производить широкий сортамент высококачественного литья из любой шихты, в том числе из шихты низкого качества, и эффективно проводить переработку вторичного лома.

Кроме использования ДМПТУ по прямому назначению – выдержки и нагрева расплава, сочетание ДППТУ-НП и ДМПТУ позволяет оптимизировать многие технологические процессы. Так, для организации производства, где время от времени требуется получение отливок большой массы, целесообразно создание комплексов, в состав которых входят печи ДППТУ-НП небольшой емкости и миксеры ДМПТУ в разы большей емкости. Необходимая электрическая мощность миксеров большой вместимости ДМПТУ в разы меньше электрической мощности такой же вместимости плавильных печей. Это позволяет при основном производстве стального литья массой отливок, например, 5 тонн, получать при необходимости отливки массой 30 и более тонн, не увеличивая при этом энергоемкость предприятия.

Предлагаемый нами метод производства стали позволит не менее чем в два раза снизить расход на ее производство и достигать показатели качества продукции, которые на современном оборудовании широко внедренного в мире не достигается или достигается при чрезмерных затратах.

Подробным образом с результатами наших работ можно ознакомиться на сайте [WWW.STF-ECTA.RU](http://WWW.STF-ECTA.RU).

**Адрес ООО «НТФ «ЭКТА»:** 115193, Москва, ул. Петра Романова, 7  
e-mail: [info@stf-ecta.ru](mailto:info@stf-ecta.ru); сайт: [www.stf-ecta.ru](http://www.stf-ecta.ru)  
тел.: (495) 679-48-81, 677-58-57, 677-63-33