

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДППТУ-20, ЕМКОСТЬЮ 20 Т НО АООТ «ТЯЖПРЕССМАШ», Г.РЯЗАНЬ.**

**Н Володин А.М., ген. директор АООТ «Тяжпрессмаш»  
Богдановский А.С, гл. металлург АООТ «Тяжпрессмаш»  
Малиновский В.С., президент ООО «НТФ «ЭКТА»**

АООТ «Тяжпрессмаш», г. Рязань методом перевода на питание постоянным током дуговой печи переменного тока ДСВ-20 совместно с ООО «НТФ «ЭКТА» в начале 2004 года была создана и введена в промышленную эксплуатацию универсальная дуговая печь постоянного тока емкостью 20 т (ДППТУ-20).

Печь ДСВ-20 эксплуатировалась на предприятии более 30 лет и в процессе эксплуатации многократно реконструировалась. К моменту реконструкции механическая часть печи имела выкатную ванну, водоохлаждаемый свод, механизмы выката ванны, наклона печи, подъема свода и перемещения электродов. На печи был установлен водоохлаждаемый свод, через который проходили три графитиро-ванных электрода диаметром 400 мм. Питание печи осуществлялось от печного трансформатора мощностью 8,5 МВА, печь была оснащена пультами и щитами управления, регулятором мощности.

Мощность печи ограничивалась условиями электроснабжения, и это ограничение сохранилось при выборе источника электропитания новой печи.

Печь реализовывала классическую технологию выплавки стали с рудным кипом и с полным циклом обработки стали, плавилась без «болота». Кислород, нагрев шихты другими источниками тепла на печи не применялись. Металл разливали в ковши, в которых осуществляли донную продувку аргоном.

Пылегазоочистка печных газов была недостаточна по производительности, и цеховые помещения были сильно задымлены.

Перед принятием решения о направлении реконструкции специалисты АООТ «Тяжпрессмаш» изучили предложения ряда фирм. Ими предлагались стандартные решения, в которых для ускорения процесса плавки необходимо было оснастить печь мощными фурмами для подачи кислорода, для нагрева шихты установить газокислородные горелки, перейти на плавку со вспененным шлаком и работу с «болотом», перенести технологические операции в ковш, оснастив его для этого дуговой установкой, т.е. оснастить цех установкой печь-ковш. Для реализации проекта требовалось построить газокислородную станцию, подвести к печи мощные газовые коммуникации, установить остро необходимую в этом случае систему пылегазоочистки.

Реализация данного проекта требовала больших затрат на основные фонды, а дополнительное оборудование на существующих площадях не размещалось.

Сомнительной являлась и экономия на эксплуатационных расходах. Ведение процесса по предлагаемой технологии, которая предусматривает реализацию в нем только окислительного процесса, приводит к угару шихты 9-12 % и потере всех основных легирующих элементов при переплаве возврата собственного производства, который на литейных заводах достигает 40-60 %. При средневзвешенной цене лома 150 USD за тонну, сгоревшая шихта стоит 15 USD на тонну и при цене одного киловатт-часа 0,03 USD соответствует стоимости 500 кВт-ч. Работа установки печь-ковш и системы пылегазоочистки требует также дополнительного расхода электроэнергии порядка 200 кВт-ч/т и эти затраты нужно компенсировать. Для реализации процесса требуются дополнительные материалы - чугун, известь, карбюризаторы, кислород, природный газ, ферросплавы, компенсирующие сгоревшие в процессе переплава отходов

собственного производства, что увеличивает расходы на производство стали и требует тщательного анализа экономичности реконструкции. Кроме прочего, нет уверенности в достижении необходимых показателей качества литых заготовок после обработки металла в установке печь-ковш. Если в металлургическом производстве металл подвергается обработке давлением и многие пороки в структуре стали исправляются, то литые заготовки, как правило, обработке давлением не подвергаются и их качество можно обеспечить только высоким качеством выпускаемого из печей металла.

Рассмотрев и другие предложения проведения реконструкции ОАО «Тяж-прессмаш» остановился на реализации проекта ООО «НТФ «ЭКТА», предусматривающий создание дуговой печи постоянного тока нового поколения, разработанной и запатентованной специалистами ООО «НТФ «ЭКТА».

Проект предусматривал сохранение без увеличения пропускной способности системы электроснабжения, сохранение всех основных элементов механической части печи, замену источников электропитания, пультов и щитов управления с размещением их на существующих площадях, сохранение существующих технологического процесса плавки без использования кислорода, газокислородных горелок, установки печь-ковш, вспененного шлака и «болота». Уменьшение пылегазо-выбросов после реконструкции позволяло сохранить существующую систему эвакуации газов.

Система энергоснабжения не позволила установить мощный источник электропитания необходимый для быстрого расплавления шихты, но отсутствие резко-переменного характера нагрузки ДППТ дало возможность использовать запас системы энергоснабжения на динамические нагрузки ДСВ-20 и установить источник электропитания мощностью 10,5 МВА вместо ранее установленного 8,5 МВА, не внося никаких изменений в систему электропитания. Источник питания был разработан по нашим техническим требованиям совместно ОАО «Уралэлектротяж-маш», ОАО «Российская электротехническая компания», Estel Plus для печей ДППТУ-12, емкостью 12 т конструкции НТФ «ЭКТА». Трансформатор печи имеет четыре трехфазных обмотки, подключенные к четырем секциям тиристорного преобразователя, снабженных тиристорными переключателями для последовательного, последовательно-параллельного и параллельного включения секций. В цепи постоянного тока установлены сглаживающие реакторы. Тиристорный преобразователь оснащен теплообменником для охлаждения тиристоров. Источник выполнен в компактном исполнении, что позволяет размещать его на существующих территориях предприятий, в т.ч. и при реконструкции ДСП. Система управления источником питания позволяет вести управление и стабилизацию тока, осуществлять управление перемешиванием расплава, вести подавление «паразитных дуг», предотвращать значительные колебания электрической мощности во все периоды плавки, предотвращать локальные перегревы шихты и расплава, подавлять пылегазо-выбросы из печи до минимума снижать угары шихтовых материалов. Она также защищает подовые электроды и подину от разрушений, и токопроводящие части печи и ошиновку от электрических пробоев. Эти технические решения запатентованы специалистами ООО «НТФ «ЭКТА» и используются фирмой во всех проектах печей, предназначенных для плавки стали, чугуна, сплавов на основе алюминия, меди, никеля, кобальта и др. [1, 2, 3]. Источник питания позволяет вести реализацию режимов: ток 9 кА, напряжение до 1200 В; ток 18 кА, напряжение 600 В (режимов расплавления шихты) и ток 36 кА, напряжение 300 В - режим нагрева расплава, ведения скоростных технологических операций - дефосфорации, десульфурации, рудного кипа, науглероживания, расплавления легирующих добавок, формирования шлака, рафинирования.

Отрицательные выводы источника электропитания подключены к сводовому электроду. Его диаметр был сохранен - 400 мм, положительные выводы подключены к двум подовым

электродам конструкции ООО «НТФ «ЭКТА», на которых следует остановиться особо. Специалисты ООО «НТФ «ЭКТА» ранее принимали участие в программе создания плазменных и далее дуговых печей постоянного тока [4, 5, 6, 7], для которых ими были разработаны подовые электроды, отвечающие требованиям безопасной и надежной эксплуатации при работе с полным и частичным сливом расплава. Все электроды имели медный стержень, введенный в нижнюю часть футеровки подины, торец которого сваркой или методом электрошлакового литья крепился к стальному стержню, проходящему через рабочую часть футеровки подины и контактирующему с расплавом. Охлаждение подовых электродов всегда вынесено за кожух печи, а в теле подовых электродов установлены сначала датчики давления, а затем термодары, контролирующие состояние подовых электродов и подины печи. Такие электроды были установлены на плазменных и дуговых печах емкостью 6 и 12 тонн ЧМЗ, теперь ОАО «МИЧЕЛ», печи емкостью 30 т ПО «Ижсталь», других печах, на которых эксплуатируются с небольшими доработками конструкции в течение десятилетий, показывая высокий ресурс - 2-5 лет. Наиболее совершенная конструкция подового электрода этой серии НТФ «ЭКТА» была разработана и установлена на печи емкостью 25 тонн в Индии [8].

В дуговых печах постоянного тока нового поколения НТФ «ЭКТА» было введено мощное МГД перемешивание расплава, широко используется рудный кип и кислородная продувка, поэтому требования к конструкции подового электрода выросли, было обращено внимание на их ремонтпригодность. Современный подовый электрод выполнен в виде стальной трубы, изнутри методом электрошлакового литья заполненной медью. К стальной трубе приварены стальные листы, проходящие через рабочую часть подины. Охлаждение вынесено за кожух печи, внутри электрода установлены термодары. При замене подины стальные листы обрезаются и привариваются новые. Отработана методика горячего ремонта подины, приемы эксплуатации подовых электродов, система подавления вихревых потоков расплава над подовыми электродами [9, 10]. Обращено внимание на то, что значение правильного обслуживания подины с подовыми электродами выше выбора той или иной конструкции подовых электродов, которые можно сравнивать между собой только после грамотного обучения обслуживающего персонала печи. Важным этапом дальнейшего освоения печи явился отказ от электрошлакового литья при производстве подовых электродов. Это резко увеличило количество предприятий, на которых можно производить подовые электроды, в том числе силами Заказчиков печей.

При выборе направления реконструкции учитывались также результаты, полученные после перевода ДСП в ДППТНП на других предприятиях, на которых кроме существенной экономии электроэнергии, шихты, ферросплавов, графитиро-ванных электродов, улучшения экологии и условий труда, повышения производительности был получен значительный рост качества отливок из различных марок стали и чугуна [11].

После реконструкции печи переменного тока (ДСВ-20) совместно с НТФ «ЭКТА» был произведен перевод агрегата на постоянный ток (ДППТУ-20). С начала 2004 года к концу августа выплавлено более 500 плавок фасонного литья и слитков различных марок сталей (углеродистых, легированных, инструментальных) и чугуна. Общий выпуск составил более 12 тыс. тонн, что превысило прежний годовой выпуск до реконструкции, несмотря на проводившиеся работы с частыми остановками печи при ее освоении.

Ожидания улучшения показателей работы сталелитейного цеха полностью оправдали себя. В сравнительной таблице (табл.1) показателей печей до и после реконструкции наглядно видны преимущества печи постоянного тока.

**Сравнительная таблица показателей печей ДСВ-20  
и после модернизации ДППТУ-20 на  
Рязанском ОАО «Тяжпрессмаш»**

Таблица 1

Показатели	ДСВ-20	ДППТУ-20
Пыль, мг/м	27,2	9,9
Шум, дБ (общий уровень)	98	84
Расход электроэнергии на 1 тн жидкой стали, кВт-час	890	710
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	1,93
Угар металла общий, %	5	3
Расход, кг/тн жидкого:		
Графитированных электродов	14,0	2,12
FeSi	13,8	11,2
FeMn	6,3	5,1
FeCr (инстр.ст.)	14,6	12,0
FeV (инстр.ст.)	2,4	1,1
FeMo (инстр.ст.)	2Д	2,1
Извести	48,0	20,7
Шамота	12,1	2,7
Раскислительной смеси (известь, FeSi 45, кокс)	272, 78, 22	192,46, 18
Количество проб в течение плавки, ед.	4-5	3-4
Снижение отклонений по химсоставу, %	0	35
Количество шлака на плавку, тн	1,31	0,46

Наилучшие показатели достигаются при большей, чем номинальная емкости печи и непрерывной работе плавильного участка. Так при плавках с загрузкой 23-30 тн шихты в горячей печи расход электроэнергии на всю плавку составляет около 620 кВт-ч/т, расплавление шихты - 430-470 кВт-ч/т.

Преимущества ДППТУ-20, реализованные проектом перевода, позволили значительно повысить качество выпускаемой продукции. Стабильность в результатах мехсвойств, химсостава позволили осваивать новые марки стали, также стали с суженными пределами по элементам (С, Mn, P, S, Cr и др.), заданными мехсвойствами по требованию Заказчика. Результаты анализа ЦЗЛ, а также независимой экспертизы в Маугерас (Франция) показывают, что механические свойства литой ста-

ли и поковок практически по всему ряду освоенных марок сталей повысились на 15-35 %, возрос уровень соответствия исследуемой стали по ультразвуковой дефектоскопии по ГОСТ 24507-80 гр4п - ан 15 %, по SEP 1921 - на 45 %, что позволяет получать соответствие кл. Е/Е.

Сравнение макро- и микроструктуры металла, выплавленного до и после реконструкции показывает.

До реконструкции было: точечная неоднородность по ГОСТ 10243-75 3-4 балл, ликвационные зоны, рыхлота осевая, неметаллические включения в виде скоплений, микроструктура по ГОСТ 5639-82 4-5 балл.

После реконструкции стало: точечная неоднородность - 1 балл, ликвации - нет, рыхлоты - нет, неметаллические включения - разрозненные, не выше 1,5 балл, стабильная микроструктура 6-7 балл.

Таким образом, реконструкция обеспечила повышение качества металла до уровня, который трудно реализовать на оборудовании других типов и отказ от дуплекс процесса с использованием установки печь-ковш оказалось оправданным по всем технико-экономическим показателям. ДППТУ-20 обеспечила производство качественной стали при использовании дешевого материала с произвольным химсоставом. Этот результат нельзя получить, например, на индукционных печах, для которых требуется дорогая шихта с заданным химсоставом.

В результате сократились претензии Заказчиков, несоответствия по контролируемым показателям: предел текучести - на 90 %, пределу прочности - на 60 %, относительному удлинению - на 45 %, ударной вязкости - на 80 %. Перемешивание расплава положительно влияет на его однородность структуры, на удаление газов и неметаллических включений из металла. Кроме того, отмечается ускорение технологических процессов переплава, рудного кипа, науглероживания, раскисления и доводки. Эту тенденцию необходимо изучить в ходе дальнейшей эксплуатации. При переплаве удается практически полностью сохранить легирующие элементы стального лома, сократить его потери. Без потерь на новой печи ведется переплав возврата собственного производства.

Более чем полгода эксплуатации печи постоянного тока показали, что улучшилась цеховая экология и культура производства (запыленность, шум, полностью отсутствуют поломанные графитовые электроды, сократилось количество ферросплавов, шлака после каждой плавки). На плавильном участке появилась компьютерная техника, позволяющая проводить операции дальнейшей автоматизации процессов плавки, ее оптимизации. На постоянных местах работы сталеваров уровни напряженности и магнитного полей не превышают установленных норм для полного рабочего дня при номинальной мощности установки.

Анализ показателей промышленной эксплуатации ДППТУ-20 указывает на значительные резервы их повышения, которые связаны с организацией производства. Из таблицы 1 следует, что средняя продолжительность расплавления составляет 1,93 часа (116 минут). При этом средний расход электроэнергии составляет 450 кВт-ч/т и при активной мощности дуги 7500-8000 кВт, продолжительность расплавления под током садки 20 т составляет 80-85 минут, т.е. ускорив операции подзавалки шихты, устранив простои, длительность расплавления можно уменьшить до 90 минут. При этом удельный расход электроэнергии на расплавление уменьшался до 430 кВт-ч/т. Если сравнить полученные показатели ДППТУ-20 с показателями дуговой печи постоянного тока емкостью 85 т (с болотом 115 т) разработанной фирмой Маннесман Демаг хютгентехник [12] в веденной в эксплуатацию на заводе фирмы Юзин Гюстав Бозль (Бельгия) и подключенной к источнику питания мощностью 95 МВА, то становятся ясны преимущества выбранной нами схемы питания и управления печью. При значительно большей емкости и удельной активной энергии 0,82 кВт/кг, которая более чем в два раза превышает удельную энергию ДППТУ-20 0,32 кВт/кг - 0,25 кВт/кг, использование кислорода при расплавлении, удельный расход электроэнергии на расплавление на печах одинаков, а время расплавления на ДППТУ-20 под током больше всего в 1,5 раза. Печь емкостью 80 т работает в дуплекс процессе с установкой печь-ковш, на ней, по-видимому, проводится только окислительный процесс, требующий из-за большого количества первичного шлака вести его отсечку методом донного слива. А этих условиях нижнюю часть ванны заменяют каждые 10 дней. Технология ДППТ-20 с низкими угарами шихты позволяет всю плавку иметь шлак высокого качества, обеспечивающий дополнительное рафинирование

металла и в ковше. Потому на печи применен слив металла и шлака через сливной носок при наклоне печи сохраненный при реконструкции ДСВ-20. Чистое время ведения технологических операций составляло: нагрев расплава на 100 °С - 8-10 минут, формирование шлака - 3-4 минуты, растворение легирующих элементов - 4-5 минут, науглероживание через расплав - 0,1 % за 1,5 минуты, обезуглероживание при рудном кипении - 0,1 % за 3-4 минуты, т.е. в зависимости от марки стали и качества шихты время технологических операций могло составить 25-30 минут, а среднее время плавки - 120 минут. Учитывая, что технологические операции проводятся при средней мощности дуги 7000 кВт, удельный расход электроэнергии может быть уменьшен до 580 кВт-ч/т. Расход графитированных электродов также должен сократиться до 1,4-1,5 кг/т. Этот резерв может быть реализован за счет ускорения вспомогательных работ на печи - механизации подготовки шихтовых и вспомогательных материалов, ускорения проведения химических анализов, улучшения организации работ в шихтовом пролете и т.д., т.е. без значительных затрат на основные фонды.

С начала эксплуатации ДППТУ-20 предприятие прекратило получать претензии от поставщика электроэнергии по качеству эксплуатации плавильного оборудования. Полностью отсутствуют броски, скачки напряжений при коммутациях на печи.

Это подтвердило возможность увеличения мощности печи без реконструкции системы энергоснабжения, которая была увеличена с 8,5 МВА до 10,5 МВА. Таким образом, ДППТУ-20 работает в «медленном режиме» с удельной мощностью около 500 кВА/т. В печах НТФ «ЭКТА» обычно выбирается удельная мощность 800-900 кВА/т, обеспечивающая время расплавления 35-40 минут, т.е. реконструкция системы электроснабжения могла сократить общее время плавки на 40 минут и уменьшить удельный расход электроэнергии на расплавление до 410 кВт-ч/т и на все плавку до 520 кВт-ч/т. Эти параметры существенны для предприятий, оснащенных МНЛЗ, но избыточны для условий ОАО «Тяжпрессмаш».

В процессе работы совершенствуется технологическая дисциплина со стороны обслуживающего персонала. Повышается уровень квалификации рабочих и мастерского состава, сокращаются непроизводительные, организационные простои, что также влияет на улучшение показателей работы.

Перевод плавильного агрегата по проекту НТФ «ЭКТА» позволяет сегодня успешно использовать во до охлаждаемый свод, а в перспективе установить стеновые панели. Положительно решаются проблемы с шихтой, все больше используется легированный лом с минимальными подшихтовками, лом разной степени загрязненности и габаритов.

На основании результатов промышленной эксплуатации ДППТУ-20 можно сделать вывод о том, что новое оборудование практически по всем технико-экономическим показателям, критериям качества выплавляемой стали, экологии, энергосбережению соответствует или превышает мировой уровень, что подтверждает правильность выбора направления реконструкции устаревшего оборудования.

В настоящее время прорабатывается техническое задание на перевод печи ДС-6Н1 на постоянный ток с учетом всех возможных изменений, учитывающих современные требования.

### Список литературы:

1. Малиновский В.С. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления". Патент РФ № 2104450.
2. Малиновский В.С. и др. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления". Патент РФ № 2048662.
3. Малиновский В.С. и др. "Дуговая печь постоянного тока". Патент РФ № 2045826.
4. Малиновский В.С. «Исследование и разработка мощных плазматронов постоянного тока для плазменных плавильных печей с керамической футеровкой». Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Москва, 1980 г.
5. Малиновский В.С. и др. «Устройство для контроля состояния подового электрода». А.с. 438368, 1973 г.
6. Малиновский В.С. «Подовый электрод». А.с. по заявке 2543436/07, 1977 г.
7. Малиновский В.С. и др. «Способ охлаждения подового электрода плазменно-дуговой печи». А.с. 379062, 1970 г.
8. Малиновский В.С. и др. «Подовый электрод электропечи». Патент РФ №2022490, 1992 г.
9. Малиновский В.С. «Способ плавки металла в дуговой печи постоянного тока». Патент РФ № 2109073, 1998 г.
10. Малиновский В.С. «Подовый электрод электропечи. Патент РФ № 2112187, 1996 г.
11. Афонаскин А.В. и др. Результаты первого этапа освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения на ОАО "Курганмашзавод". Литейное производство, № 11,2000г.
12. Петер Майерлинг и др. «Повышение производительности в электросталеплавильном производстве». Сообщение на Дне металлурга общества немецких металлургов. Дюссельдорф. 11.11.1993 г.