

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДУГОВЫЕ ПЕЧИ И МИКСЕРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «НТФ «ЭКТА» ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЛИТЕЙНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Настоящее время показало, что создание эффективно действующей промышленности невозможно без внедрения инновационных проектов.

НТФ «ЭКТА» создала парк и освоила производство промышленных универсальных дуговых печей и миксеров постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП и ДМПТУ-НП), которые успешно эксплуатируются на многих предприятиях России и зарубежья. Опыт промышленной эксплуатации убедительно показал, что по всем основным параметрам ДППТУ-НП значительно превосходят плавильные печи других типов.

Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП) вместимостью от 0,5 до 100 т и дуговые миксеры постоянного тока (ДМПТУ-НП) 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-НП введён комплекс новых технических решений, который позволил значительно расширить технологические возможности дугового нагрева и устранить главные недостатки дуговых печей.

Главное назначение ДППТУ-НП и ДМПТУ-НП – производить металл для высококачественной продукции металлургии и машиностроения. При этом они снимают проблему обеспечения материалами для плавки, поскольку позволяют переплавлять любые виды шихты без специальной подготовки, включая стружку и металлолом.

Для переработки металлолома эффективно использование комбинацию ДППТУ-НП небольшой емкости, с высокой скоростью плавления, и ДМПТУ-НП, 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 химического состава сплава отливается в шихтовую болванку и используется для подшихтовки сплавов в миксере, химический состав которых соответствует составу шихтовой заготовки.

Перспективной возможностью использования ДППТУ-НП является перевод дешевого лома в более дорогой шихтовой материал. Например, выплавка из стального лома синтетического чугуна с низким содержанием серы; производство сложных лигатур и раскислителей из алюминиевых отходов; производство ферротитана и других ферросплавов.

Печи поставляются в стандартной комплектации - источник питания, автоматическая система управления процессом плавки (АСУ-плавка) и автоматическая система технологическим процессом (АСУ ТП), плавильная емкость; и в агрегатном исполнении (ДППТУ-АГ) с двумя плавильными емкостями. В них можно вести переплав отличающихся друг от друга металлов. Емкости могут отличаться друг от друга вместимостью, одна из них может выполнять роль плавильной печи, с функцией сортировки лома, другая – функцию миксера.

Кроме использования ДМПТУ-НП по прямому назначению – выдержки и нагрева расплава, сочетание ДППТУ-НП и ДМПТУ-НП 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-НП в разы большей емкости. Необходимая электрическая мощность миксеров большой вместимости ДМПТУ-НП в разы меньше электрической мощности такой же вместимости плавильных печей. Это позволяет при основном производстве, например,

стального литья массой отливок 5 тонн, получать при необходимости отливки массой 30 и более тонн, не увеличивая при этом энергоёмкость предприятия.

Также, например, при производстве высококачественного алюминиевого литья из алюминиевого лома произвольного состава, целесообразно вести быстрое расплавление шихты в печах ДППТУ-НП небольшой ёмкости, а доведение сплава до необходимого химического состава и процесс рафинирования проводить в миксере. Плавильная печь обеспечивает, при этом, качественную сортировку лома, удаление неметаллических включений из расплава, его дегазацию, отделение от стальных и прочих приделок, а миксер – получение качественного с высокими свойствами литья.

Приведенные примеры показывают широкие возможности применения нового типа оборудования для организации ведения различных эффективных технологий.

В ДППТУ-НП введен комплекс новых технических решений, который позволил значительно расширить технологические возможности дугового нагрева и устранить главные недостатки дуговых печей.

Показатели ДППТУ-НП создали условия для высокорентабельной замены ДСП, индукционных и других плавильных печей на ДППТУ-НП. ДППТУ-НП могут быть созданы, в том числе, путем перевода ДСП на питание постоянным током по методике «НТФ «ЭКТА».

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 химические виды топлива. Это обеспечивается инновационными, запатентованными специалистами НТФ «ЭКТА», широко опубликованными техническими решениями, использованными в конструкции ДППТУ-НП, схемах силового питания печей, системах управления режимами работы установок и технологическими процессами [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

ДППТУ-НП созданы на основе новейших разработок в области металлургии, силовой электроники, систем микропроцессорного управления, магнитной гидродинамики, исследований в области дугового разряда, адаптированы к ведению сложных технологических процессов. Это позволило, в частности, значительно уменьшить угар шихты, пылегазовыбросы из печи, ускорить процесс плавки, создать благоприятные условия для улучшения качества металла. Промышленное освоение ДППТУ-НП полностью подтвердило получение высоких результатов [1, 2, 3, 7] - по всем основным показателям ДППТУ-НП превосходят все существующие типы плавильных печей.

В статьях [3, 7], патентах и других публикациях, размещенных на сайте НТФ «ЭКТА», подробно описываются процессы плавки и их конечные результаты, связанные с экологией, технико-экономическими показателями, качеством металла, промышленной безопасностью и других. Одно то, что в ДППТУ-НП освоены процессы выплавки, практически без потерь, высококачественных сплавов на основе алюминия, стружки любых высоколегированных сталей и сплавов черных и цветных металлов, говорит о высоком технологическом потенциале ДППТУ-НП. Во всех типах дуговых печей, созданных и эксплуатируемых в мире, эти процессы вести невозможно.

Высокие качественные и технико-экономические показатели при производстве стали и чугуна, сплавов на основе алюминия, меди, никеля, свинца, ферросплавов, раскислителей, лигатур и других металлов на ДППТУ-НП достигаются достаточно просто. Прежде всего, это стало возможным за счет ведения любых технологий производства стали, известных из классической теории металлургических процессов. Показатели производства различных сплавов отражают, в той или иной мере, элементы технологий, применяемых в процессе плавки стали. Поэтому особенности ДППТУ-НП представленного материала, в основном, связаны с производством стали.

Широкое внедрение современных видов плавки, связанных с использованием комбинированных дуговых печей, установок печь-ковш (УПК) несет в себе серьезные стратегические ошибки, связанные не только с высокими потерями шихты за счет угара (от 6 до 15%), чрезмерными выбросами газов в окружающую среду, включая CO₂, высокими потерями энергии, снижением качества металлопродукции, повышением ее себестоимости, но главное – с формированием качества будущей базы возвратного лома.

Обращаем внимание специалистов на то, что к настоящему времени проведена реконструкция многих промышленных предприятий с введением в эксплуатацию современных комплексов производства поковок, проката и качественного литья. Однако на новых предприятиях

наблюдается высокий процент брака, особенно при производстве металлопродукции с высокими требованиями к хладостойкости, усталостной прочности, временной стабилизации свойств стали.

Предлагаем разобраться, прежде всего, в технологии производства стали, нарушение которой, как правило, и является причиной брака.

Прежде всего, следует ввести четкое определение понятия «сталь». «Сталь» - это структура с заданным химическим составом и с присоединенной к ней технологией производства, описанной в классической теории металлургических процессов сталеварения. В этом сочетании разработано большинство применяемых в машиностроении марок стали. Качество стали определяют процессы, происходящие на разделе шлак-расплав, которые имеют диффузионный характер, технология позволяет вести очистку металла от нерастворенных газов и неметаллических включений, проводить десульфурацию, дефосфорацию, науглероживание, обезуглероживание расплава, его легирование, рафинирование и структурирование. При производстве стали широко применяется рудный и кислородный кип. Отработаны процессы раскисления стали. Процессы сталеварения осуществляется или в мартеновских, или в «медленных» дуговых печах переменного тока, или в конверторах без использования УПК, и пока что массовый оборотный лом поступает из стали «сваренной».

В последние годы широкое распространение получила технология производства стали с использованием установок печь-ковш (УПК), в которых проводится процесс **не сталеварения**, а **синтезирования** материала с химическим составом стали, представляющим собой по структуре **не сплав, а раствор**. Получаемый в УПК продукт нельзя отнести к понятию «сталь», т.к. при его производстве практически полностью исключается классическая технология сталеварения, описанная в теории металлургических процессов, и используемая при разработке практически любых марок стали. **Диффузионные процессы в УПК заменены на объемные**, в которых перемешивание расплава окислением углерода (рудный или кислородный кип) заменяется продувкой аргоном. Обработка металла (с целью десульфурации и дефосфорации) ведётся различными порошками, для его раскисления широко используются материалы и присадки, вводимые в расплав проволокой с помощью трайб-аппаратов. Получаемый в УПК **раствор**, даже со строго выдержанным химическим составом, заданным маркой стали, не позволяет получить основные показатели качества стали. Расплав перенасыщен неметаллическими включениями, водородом и азотом. Если водород можно удалить в установках вакуумирования, то азот и неметаллические включения удалить нельзя. Неблагоприятная структура расплава и его высокая загрязненность заставляют использовать дорогостоящие модификаторы и лигатуры для улучшения свойств синтезированного продукта. Для связывания азота – FeTi, для улучшения структуры – FeV, для повышения механических свойств – FeNb, FeCe и т.д. Модификаторы и присадки, обладая высокой ценой, в значительной степени увеличивают себестоимость синтезированной стали, но при этом качество металла, полученного классическими методами сталеварения, все-таки в УПК не достигается. В получаемом в УПК продукте невозможно обеспечить хладостойкость, усталостную прочность, стабилизированную структуру. Процесс производства металла в УПК теоретически не обоснован, - для него не разработан марочный состав, в который должны быть введены все необходимые модификаторы, лигатуры, и т.д., не разработаны стандарты основных свойств.

Большую опасность представляет собой и шихта, металл которой ранее был произведен в УПК, - из-за изменённых наследственных свойств синтезированной стали и содержащихся в ней неметаллических включений, в числе прочих причин создаются массовые проблемы, когда такая шихта становится сырьём в качестве металлолома для последующих плавок, причем в металлоломе без специальных методов исследования практически невозможно отличить сталь синтезированную и сваренную.

Из-за этого возникают проблемы, например, при получении качественного металла в индукционных печах (ИП) методом переплава. ИП - технологически пассивны, поэтому качественный металл можно получить только из высококачественной шихты. За счет тщательного подбора шихты в ИП можно методом сплавления производить сталь высокого качества, что определило их широкое применение, несмотря на очевидные недостатки. Но при этом, поскольку в настоящее время существует дефицит лома, и практически невозможно отличить металлолом сваренной и синтезированной стали возникают проблемы с низким качеством продукции.

Классические ДСП также обладают своими серьезными недостатками. Они связаны с низкой производительностью, высокими затратами на электроэнергию, графитированные электроды,

плавка в них сопровождается высоким угаром шихты, интенсивными пылегазовыбросами, шумом, резкопеременными нагрузками, негативно воздействующими на систему энергоснабжения.

Разработанные НТФ «ЭКТА» универсальные дуговые печи и миксеры постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП и ДМПТУ), прежде всего, позволяют в полной мере, использовать накопленный в течение многих лет опыт производства качественной стали, классическую теорию металлургических процессов, квалификацию металлургов – сталеваров. ДППТУ-НП обладают всеми технологическими возможностями мартеновских печей и традиционных ДСП, в то же время в них устранены недостатки ДСП.

От разработок дуговых печей других фирм ДППТУ-НП принципиально отличаются – универсальными энерготехнологиями, включающими в себя, в том числе, организацию процесса плавки металла и новое эффективное управляемое магнитогидродинамическое (МГД) перемешивание расплава. Энерготехнологии ДППТУ-НП непосредственно связаны с экологией процесса плавки. Они позволяют предельно уменьшать пылегазовыбросы из печей в процессе плавки, подавляя вредное воздействие на окружающую среду.

В ДППТУ-НП управляемое МГД перемешивание расплава позволяет обеспечить развитую эффективную поверхность взаимодействия систем шлак-расплава, идеальную гомогенность температуры и химического состава расплава, быстрое растворение и высокое усвоение легирующих элементов, интенсивную скорость ведения технологических процессов: десульфурацию, дефосфорацию, науглероживание, обезуглероживание расплава, удаление неметаллических включений, дегазацию расплава; минимальный удельный расход электроэнергии. Значительно, до 0,5-1,5 % сократить потери шихты, гарантировать высокое качество выплавляемых металлов.

Введенная в ДППТУ-НП **система технических решений** позволила значительно повысить скорость ведения классических металлургических процессов и их глубину, достигая высокой производительности оборудования.

На ДППТУ-НП освоена выплавка более 650 марок сталей - конструкционных, литейных и специальных сталей: от Ст.3 до Ст.60, 15-50Л, 25-30ХМЛ, 40ХНЛ, 5ХНМ, 4Х5МФС, 110Г13Л, Р6М5, Р18, нержавеющей хромоникелевых сталей, типа 10Х17Н13М3Т, 06Х20Н14С2, азотосодержащих типа 03Х17Г17ДАМБ; безникелевых нержавеющей сталей; штамповых сталей типа 4Х5В2ФС; высокохромистых сталей типа 95Х18, специальных сталей и сплавов типа 14Х20Н25В5МБ-П и других аналогичных; серых чугунов марок от СЧ15 до СЧ30 с возрастанием марки от П45, Ф55 до П в СЧ30, высокопрочных чугунов ВЧ40 – ВЧ70 и других.

Особенно ярко преимущества ДППТУ-НП перед ДСП выявляются при переводе ДСП в ДППТУ-НП по методике НТФ «ЭКТА». Сравнение показателей ДСП и ДППТУ-НП приведём на примере работы дуговой печи переменного тока ДСП-20 до и после её реконструкции с переводом на постоянный ток в ДППТУ-20, на заводе "Тяжпрессмаш" г.Рязань), см. **Рис.1** и [3].



Рис. 1. ДППТУ-20. ОАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань.

При вместимости печи 22-30 т, по условиям электроснабжения, её мощность при реконструкции увеличена только с 8,5 МВА до 10,79 МВА, т.е. печь "медленная". На ДППТУ-20 установлен водоохлаждаемый свод, используются классические технологии, в том числе рудный и кислородный кип. На ДППТУ-20 получены следующие показатели.

Табл.1. Улучшение показателей качества - уровень повышения соответствия ГОСТ, в %.
(За 0 – приняты значения показателей до реконструкции, когда они соответствуют ГОСТ)

По химическому составу	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 – на 45 %. На "старой" и "новой" печах количество плавок 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 макро и микроструктуры материала заготовок тяжелых валов (поставляемых, как на Российские предприятия, так и за рубеж – в Германию, Францию и т.д.), проведенные 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, рыхлот – нет, неметаллические включения – разрозненные, не выше 1,5 балл, стабильная микроструктура 6-7 балл.

По результатам сравнительного анализа центральной заводской лаборатории плавок на ДСВ-20 и на ДППТУ-20, получены следующие результаты (см. табл.1): - отклонения по химическому составу 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 механических испытаний: разброс снизился на 20 %, сходимость увеличилась на 40 %; - возрос уровень механических свойств на сталях: 1) 25Л; σ_B – на 5 %; δ – на 7 %; α_K - на 10 %; 2) 35Л; σ_T – на 9 %; σ_B – на 10 %; δ – на 7 %; α_K - на 15 %; 3) 45Л; σ_T – на 18 %; σ_B – на 15 %; δ – на 11 %; ψ - на 12 %; 4) 20ГСЛ; σ_T – на 5 %; σ_B – на 12; 5) 35 ХМЛ; σ_B – на 14 %; 6) Ст 20; σ_T – на 8 %; σ_B – на 4 %; δ – на 6 %; ψ - на 9 %; 7) 40ХМА; σ_T – на 9 %; σ_B – на 13 %; δ – на 20 %; α_K - на 20 %; 8) 40ХН2МА; σ_T – на 11 %; σ_B – на 6 %; δ – на 8 %; ψ - на 4 %; α_K - на 11 %. Несоответствия поковок и отливок по механическим свойствам снились: предел текучести - на 90 %, предел точности - на 60 %, относительное удлинение - на 45 %, относительное сужение – без изменений, ударная вязкость - на 80 %.

По отдельным маркам стали экономия на 1 т жидкого металла составила 3600 руб. Срок окупаемости - 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. Следствием реконструкции явились: экономия электроэнергии - порядка 250кВт·ч/т после перевода ДСП в ДППТУ-НП, сырья и материалов, увеличение производительности печи и выхода годного, значительное повышение качества выплавляемого

металла. Из анализа показателей следует, что реконструкция ДСП в ДППТУ-НП оправдана и быстро окупает себя. В данный расчет не была включена экономия затрат на экологию, которая также является одной из весомых экономических составляющих при внедрении ДППТУ-НП.

Уникальные возможности ДППТУ-НП подтверждены не только в результате промышленной эксплуатации оборудования высокими показателями при выплавке стали, но и освоенными в ДППТУ-НП уникальными технологиями, многие из которых, как ранее считалось, в дуговых печах вести невозможно. Так, например, серийно производится сплав на основе алюминия - АК7ч, который соответствует химическому составу и превосходит по механическим свойствам ГОСТ 1583-93. В литом термообработанном состоянии на отдельно отлитых в металлическую форму образцах предел прочности $\sigma_b \geq 216$ МПа, относительное удлинение $\delta \geq 2\%$, твердость по Бринеллю $HB \geq 60$. На образцах, вырезанных из тела отливки, получают $\sigma_b \geq 317$ МПа, $\delta \geq 9\%$, $HB \geq 94,9$, при этом содержание Si - от 6,15-7,15%, Mg - от 0,25 до 0,4%, Fe - от 0,1 до 0,3%; структура отличается повышенной дисперсностью неметаллических включений. Содержание водорода – 0,1-0,2 см³/100г металла, а пористость отливок всегда соответствует 1 баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93.

ДППТУ-НП является единственным агрегатом, в котором, в процессе расплавления сплавов на основе алюминия, идет интенсивное удаление водорода и неметаллических включений. Быстрое расплавление позволяет при переплаве алюминия, имеющего стальные приделки получать расплав без насыщения железом. Переплав, всегда сопровождается получением пористости соответствующей 1 баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93, а содержание водорода, как правило 0,1-0,2 см³/100 г металла, в литом состоянии ряда сплавов может достигать максимум 0,4 см³/100 г. Это позволяет при гораздо меньших затратах выходить на качественное литье при переработке вторичного алюминия. За счет исключения множества технологических операций, повышения качества сплавов, себестоимость технологического передела снижается: в 5 раз - в сравнении с переделом в индукционных печах и в 15 раз - в сравнении с газовыми печами.

Результаты промышленной эксплуатации ДППТУ-НП и отзывы предприятий, внедривших печи и миксеры, представлены на сайте ООО «НТФ «ЭКТА»: www.nfecta.ru

При создании ДППТУ-НП была поставлена и решена задача реализации металлургических процессов, проводимых по классическим технологиям, с возможно полным приближением к их требованиям, на новом уровне, позволяющем обеспечивать высокое качество металла независимо от качества сырьевой базы, а также решены и другие важнейшие задачи, связанные с энергоресурсосбережением, экологией, безопасностью производства, повышением экономической эффективности, снижением непродуктивных затрат на основные средства.

Список литературы.

1. В.С. Малиновский "Технико-экономические результаты промышленного освоения дуговых печей постоянного тока нового поколения", Металлургия машиностроения, № 6, 2004 г.
2. М.К. Закомаркин, М.М. Липовецкий, В.С. Малиновский "Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ПО "Ижсталь". Сталь, № 4, 1991 г.
3. В.С. Малиновский, А.М. Володин, А.С. Богдановский "Результаты работы дуговой печи постоянного тока", журнал «МЕТ», № 6, 2004 г.
4. Патент № 2104450 РФ. С 22 В 9/21. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" Малиновский В.С., 04.01.1995 г.
5. Патент № 2048662 РФ. С 22 В 9/20. «Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления». Малиновский В.С., Чудновский А.Ю., Липовецкий М.М., 31.03.1992 г.
6. Патент № 2112187 РФ. Н 05 В 7/06. «Подовый электрод электропечи» Малиновский В.С., 13.03.1996 г.
7. Малиновский В.С., к.т.н.; Малиновский В.Д., Власова И.Б. (ООО «НТФ «ЭКТА», г. Москва), «Универсальные дуговые печи постоянного тока для металлургии и машиностроения». Металлургия. Машиностроение, №3, 2007 г.