

Доклад на Литейном Консилиуме №7 (5-6 декабря 2013г., г.Челябинск)

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ И МИКСЕРОВ
ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «НТФ «ЭКТА»
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЛИТЕЙНЫХ И
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

1. Введение. Исторические традиции производства качественных сталей по классическим технологиям. Причины и направления модернизации мартеновских печей и медленных дуговых печей переменного тока

Ранее массовая выплавка металла велась в мартеновских и медленных дуговых печах переменного тока. Для получения качественных сплавов была разработана классическая теория металлургических процессов, которая совместно с технологиями плавки была заложена в создание марочника металлов и сплавов для различных областей их применения.

В основу сортамента была заложена неразрывная связь химического состава сплавов с технологиями их выплавки.

Классические технологии **предусматривали**, например, при плавке стали диффузионные **процессы, протекающие на границах разделов** расплавов металл-шлак, расплава металла с подиной печи, взаимодействия расплавов шлака и металла с окружающей средой, **и тепломассоперенос расплавов** металла и шлака. Для их ведения были разработаны специальные шлаки и технологии их применения, например, с целью глубокой дефосфорации и десульфурации металла. Разработаны технологические процессы рудного и кислородного кипа, позволяющие производить глубокую очистку металла от неметаллических и газовых включений, отработаны технологии гомогенизации расплава. Все процессы были обязательно теоретически обоснованы.

Исследованы законы взаимодействия различных материалов плавки с газовой средой печного пространства - кислородом, азотом, водородом, в частности, исследовано взаимодействие кислорода с углеродом, с железом и другими элементами плавки **в зависимости от температуры этих элементов.**

Показано, что при попытках ведения рудного или кислородного кипа при низких температурах металла идёт интенсивное окисление железа и других элементов, а не углерода, окислением которого и достигается ведение самого рудного кипа.

Достаточно сложной процедурой является удаление неметаллических и газовых включений из расплава, поэтому для разработчиков классических технологий было понятно, что, например, при сталеварении необходимо вести диффузионные, а не объёмные процессы.

В результате освоен выпуск широкого спектра марок стали и других металлов с гарантированными, в частности, механическими свойствами.

Высококачественные стали производили по классическим технологиям в течение длительного времени, это привело к формированию высококачественного амортизационного лома. Для переплава этого качественного лома оказались эффективными индукционные печи (ИП). Качество металла, производимого в ИП, несмотря на их технологическую пассивность, обеспечивалось наследственными свойствами переплавляемого амортизационного лома. Как только упало качество металла, производимого в основном технологически активном плавильном оборудовании, так сразу возникли проблемы при переплаве металла в индукционных плавильных печах. В результате база металлолома для успешной работы ИП практически перестала существовать.

Недостатком процессов выплавки качественных металлов по классическим технологиям, в частности, сталей являлась низкая производительность плавильного оборудования при их ведении. Производительность нельзя было поднять увеличением мощности источников нагрева

(например, повышением мощности печных трансформаторов ДСП), поскольку она лимитировалась тепломассопереносом в расплаве. Увеличение мощности приводило к повышению температуры поверхности расплава, и мало меняло теплоперенос в глубину расплава. При этом быстро разрушалась футеровка печей, и резко возрастали тепловые потери.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ. ИХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ НЕДОСТАТКИ.

Попытка повысить производительность печей привела к разработке массы «инновационных» приёмов, в большинстве своём без теоретических и практических исследований и без оценки их воздействия на качество металла и экологию.

Дуги в ДСП стали закрывать вспененными шлаками, но при этом менялись требования к этим шлакам, главным из которых стала необходимость их вспенивания, в результате чего искажилась технологическая направленность шлаков, ранее позволявшая вести десульфурацию и дефосфорацию металла, его очистку от неметаллических и газовых включений.

Для ускорения плавки стали использовать кислород. Он позволял с одной стороны перемешивать расплав, с другой – вводить дополнительную энергию за счёт сгорания железа и ферросплавов, особенно в начальный период плавки, что привело к резкому увеличению угара металла при плавке и резкому увеличению экологической нагрузки на окружающую среду. Особенно мощное воздействие на окружающую среду оказало применение средств подогрева шихты различными типами горелок – мазутными и т.д. Возросла не только масса выбрасываемых продуктов горения, но и резко возросло количество вредных примесей в отходящих газах (диоксинов, фуранов, и т.д.).

В результате введённых «новаций» печи потеряли возможность вести процесс сталеварения, производя полупродукт, передаваемый в печь-ковш.

Таким образом, в плавильных печах ДСП и в печах-ковшах полностью отказались от классической теории металлургических процессов, что негативно отразилось на качестве выплавляемого металла. А ускорение процесса расплавления подачей кислорода в мартеновских печах также резко снизило качество выплавляемой стали.

С нашей точки зрения, огромную негативную роль на качество стали сыграла замена её диффузионного раскисления на раскисление алюминиевой проволокой, вводимой в расплав металла в ковшах. Этот процесс привёл к формированию неметаллических включений, которые практически невозможно вывести из расплава металла.

Ничем не обосновано легирование стали в печах-ковшах. Если изначально в мартеновских и «медленных» дуговых плавильных печах гарантировалась однородность расплава и заданная его структура, то при внепечной обработке это стало невозможным.

Если классические законы сталеварения в плавильных печах были разработаны и опирались на результаты научных исследований нескольких поколений ведущих ученых - металлургов мира, обеспечивая заявленные в марочниках показатели механических свойств и структуры марок стали, – предел прочности, ударную вязкость, усталостную прочность, хладостойкость, стабильную структуру и т.д. (основы теории металлургических процессов изложены во многих научных трудах и учебниках [1]), то в настоящее время «синтезирование» металла в установках печь-ковш (УПК) теоретически не обосновано и ничего не гарантирует, кроме совпадения с химическим составом марки стали, но с совершенно другими свойствами. Фактически производится **не сплав, а раствор**, насыщенный неметаллическими включениями, с необеспеченной однородностью структуры и с нарушенной генетикой.

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.

Применение для производства стали установок печь-ковш (УПК) и плавильных комбинированных печей «специалисты» объясняют их экономической эффективностью. С целью ускорения получения расплава для УПК, в плавильных печах применяют комбинированные виды нагрева: дуговой, кислородная продувка металла, газокислородные горелки, предварительный подогрев шихты, и т.д. В процессе плавки сжигаются все ферросплавы, находящиеся в металлоломе, наблюдается огромный (до 10-15%) угар шихты. Образуется при плавке огромное количество пылегазовыбросов с высоким содержанием диоксинов, фуранов, цианидов и других вредных соединений. Это требует оснащать печи мощными системами пылегазоочистки, потребляющими в т.ч. большое количество электроэнергии, которая, как правило, не учитывается в экономических расчетах, но практически нивелирует ту экономию электроэнергии, которую получили при плавке металла в печи. Дополнительно к УПК в технологическую цепочку ставят оборудование для вакуумирования стали. А в последнее время, для улучшения качества стали рекомендуют применение установок ЭШП. В результате затраты на «экономически эффективный» процесс не уменьшились, а увеличились, а качество металла катастрофически снизилось.

На эффективность отечественной металлургии повлияли рекомендации «специалистов» - устанавливать на новые производства «дешёвые» дуговые печи переменного тока, которые сегодня выводят из эксплуатации зарубежные предприятия. Там их вывод объясняется ужесточёнными требованиями: - к нарушению качества электроэнергии при работе печей (заставляющие устанавливать на печные установки СТК), требованиями экологов (заставляющими усилить мощность систем ПГО), и другими, увеличивающими в результате расходы на эти печи, делая их нерентабельными.

Плавильные участки с использованием ДПШТУ-НП значительно **дешевле**, чем с дуговыми печами переменного тока (ДСП) за счет исключения дополнительных затрат на подготовку шихты, снижения требований к её качеству, удешевления системы ПГО, отсутствия необходимости установки СТК и оборудования для внепечной обработки расплава (включая установки печь-ковш и вакуумирования расплава), и т.д.

На многих зарубежных предприятиях дуговые печи переменного тока заменяют на **индукционные печи (ИП)**. Но ИП – технологически пассивны, и требуют применения шихты высокого качества. Это качество обеспечивается технологией производства металла, из которого образовался металлолом.

Ранее лом образовывался из демонтированного оборудования, металл для которого выплавлялся на мартеновских печах по классической технологии, благодаря чему он обладал хорошей наследственностью. Это позволяло выплавлять из лома качественное литье, в любых, в том числе и в индукционных печах методом переплава.

Количество такого лома резко сокращается. Теперь же в состав лома всё больше попадает металл, «синтезированный» в УПК или обработанный с целью раскисления, легирования и модифицирования объемными процессами с помощью различных проволок, продувки порошками и т.д. Глубоко вывести из этого металла неметаллические включения вакуумированием или продувкой аргоном практически невозможно. Металл загрязнен неметаллическими включениями. Если эти включения по размерам на нано уровне, то их невозможно определить существующими методами исследований. В результате металл обладает плохой наследственной структурой, которая сказывается на дальнейших переплавах, и для литья получается **раствор** с заданным химическим составом, а не **сплав**, который имели в виду специалисты-разработчики марочника сплавов, полученных по классической теории сталеварения.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ СТАЛИ В УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА «НТФ «ЭКТА»

В СССР была поставлена задача решить проблему получения качественных металлов при значительном улучшении экологической обстановки и минимальных затратах на производство металла путём создания плазменных плавильных печей и технологий.

К моменту перестройки СОВМИНОМ СССР было принято решение все новые предприятия оснащать только плазменными печами, которые решили проблему экологии, ресурсосбережения, а главное – повышение качества металла. На плазменных печах был освоен выпуск легированных, высоколегированных, конструкционных и других сталей.

В 1990 году, когда стало ясно, что проекты реконструкции предприятий прекращаются, а ведущие институты сворачивают свою работу, была организована «Научно-техническая фирма «ЭКТА», специалистами которой были разработаны и запатентованы универсальные дуговые печи постоянного тока (ДППТУ-НП) для плавки черных и цветных металлов. ДППТУ-НП вобрала в себя опыт освоения плазменных печей и значительно расширивших их возможности за счет введения новых технических решений.

К настоящему времени печи и технологии ЭКТА показали свою высокую эффективность при плавке черных и цветных металлов на металлургических и машиностроительных предприятиях.

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.

В ДППТУ-НП используются только классические технологии плавки, в них не допускается подогрев шихты перед началом плавки посторонними источниками нагрева, ускорение плавки путем подачи кислорода, использование вспененного шлака, не рекомендуется использовать «болото», применять объемные процессы раскисления и модифицирования стали, синтезирование стали в УПК. Все технологические операции производства стали проходят в плавильной печи; возможно разделение производства стали на два этапа: расплавление шихты в ДППТУ-НП и доводка расплава в дуговых миксерах (реакторах) постоянного тока нового поколения (ДМПТУ) разработки НТФ «ЭКТА».

Повышение производительности печей, улучшение качества металла, снижение воздействия на окружающую среду ведётся с помощью системы инновационных решений, не противоречащих требованиям классической теории металлургических процессов, а наоборот, максимально приближающих технологии плавки в ДППТУ-НП к реализации законов классической теории.

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

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-расплав, 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.

Подробная информация об организации процесса плавки при производстве качественного литья в универсальных дуговых печах постоянного тока нового поколения ООО «НТФ «ЭКТА» представлена в [10,11, 12], на сайте www.nfsecta.ru в разделе «Публикации» (см. статьи №№ 53, 59 и 63).

4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПЛАВКИ КАЧЕСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОВ в ДППТУ-НП

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" (обычно, для ДППТУ-25 «ЭКТА» применяют источник питания 16МВА). 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

снизились на 90%, соответствие ультразвукового контроля повысилось: в поковках - на 15%, экспортных валах – на 45%. На ДСП-20 и ДППТУ-20: количество плавок с содержанием фосфора более 0,035% составило - 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 ДСП-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 %, на экспортных валах - на 45 %; - возросла стабильность результатов механических испытаний: разброс снизился на 20 %, сходимости увеличилась на 40 %; - возрос уровень механических свойств, конкретные примеры на следующих 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 после перевода печи переменного тока на постоянный ток по методике НТФ «ЭКТА» 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. 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.

Универсальные 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, на ДППТУ-0,5АГ в «СМК» Ступино, серийно производился сплав АК7ч (литье автомобильных дисков из вторичного алюминия), 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.

Высокое качество алюминиевых сплавов можно показать также на примере АЛ9. Сплав подвергался четырехкратному переплаву и на последней плавке расплав выдерживался в течение 40 минут (миксерный режим). В процессе переплавов и выдержек химический состав сплава практически не изменился. Металл содержал: Si - 7,1-6,9%; 0,25-0,23 %; Fe – 0,43-0,41%. После 40 минут выдержки содержание Fe уменьшилось до 0,32 %. Никаких других мер повышения качества металла не принималось. Во всех случаях сплав АЛ9 отвечал требованиям ГОСТ 2685-75 и по механическим свойствам и по химическому составу и отличался повышенной дисперсностью неметаллических включений. В литом состоянии $\sigma_b \geq 160$ МПа (16 кг/мм), $\delta \geq 2\%$, твердость $HB \geq 50$. Содержание водорода 0,2-0,4 см³/100г металла.

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.ntfecta.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.

5. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ПРИ ВЫПЛАВКЕ МЕТАЛЛОВ В ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ООО «НТФ «ЭКТА»

Особое внимание обращаем на экологические возможности универсальных дуговых печей постоянного тока нового поколения ДППТУ-НП «НТФ «ЭКТА». По сравнению с действующими ДСП уровень пылегазовыбросов снижается более чем в 10 раз, и в этих выбросах отсутствуют вредные примеси, такие, как диоксины, фураны и т.д., что позволяет размещать ДППТУ-НП внутри зон с высокими требованиями к экологии, в т.ч. в черте города. На всех предприятиях печи ДППТУ-НП работают без претензий экологов.

Для организации и ускорения процесса плавки в ДППТУ-НП не применяются вспененный шлак, любые виды химических топлив и кислород. Это обеспечивает выполнение Киотского Протокола при минимальных затратах на систему пылегазоудаления и очистки.

В ДППТУ-НП подавлен газообмен печной среды с окружающим воздухом и кроме воздействия на качество металла и снижение угара, он препятствует образованию, например, окислов азота, снижает массу печных газов, поступающих в систему вентиляции и газоочистки.

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 неё 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. обеспечиваются 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.

В ДППТУ-НП эффективна выплавка металла из различных шлаковых и других отходов (в т.ч. пыли из системы газоочистки). Окисленная часть металла этих отходов подвергается карботермическому восстановлению с практически полным восстановлением окисленной части металла в шихте подобного рода. Эти процессы идут с интенсивным выделением СО, который внутри печи разогрет до высоких температур и, смешиваясь с воздухом, догорает, выходя из печи.

Другими примесями являются различные виды углеводородных соединений, например, масло, СОЖ и т.п., которые в печи испаряются, и, воспламеняясь на выходе из печи, догорают до простых соединений в виде H₂O и СО₂ при смешивании с воздухом.

В ДППТУ-НП удалось решить проблему интенсивных пылевых выбросов при ведении рудного или кислородного кипа. При этом процессе угар металла связан с перепадом температуры расплава, от которой зависит сродство с кислородом химических элементов, входящих в состав стали. Окислительный потенциал углерода и других элементов соответствует точно установленной температуре расплава для каждого из них. Если в расплаве наблюдается перепад температуры, то горит не только углерод, но и другие элементы, что сопровождается интенсивными пылевыми выбросами. В ДППТУ-НП за счет управляемого магнитогидродинамического (МГД) перемешивания расплава обеспечивается однородность температуры расплава с его интенсивным массообменом. Это позволяет вести чистый рудный кип без окисления других элементов, кроме углерода - вплоть до его очень низкого содержания в расплаве. На рис 2. (рудный кип в ДППТУ-НП) видно интенсивное горение СО без присутствия в пламени продуктов горения металлов в виде пыли (пламя прозрачно и сквозь него хорошо просматриваются кирпичные стены цеха). На рис 3. - организация дожигающих отходящих газов в ДППТУ-НП при плавке сильно загрязненной шихты. На рис. 4 - пример переплавляемой шихты (стружка с высоким содержанием СОЖ и масел). Для условий России важно то, что ДППТУ-НП работают с полным сливом расплава, что делает безопасным использование влажной шихты.

В случае переплава чистой шихты печи ДППТУ-НП можно не оснащать системой пылегазоочистки, достаточно протяжной цеховой вентиляции. Это позволяет, например, для ДСП вместо строительства дорогостоящей системы пылегазоочистки провести реконструкцию печи переменного тока с переводом на постоянный ток по методике «НТФ «ЭКТА».

Например, в таблице 2 приведены результаты замеров выбросов при плавке стали 110Г13Л в установке ДППТУ-6АГ на ОАО «Курганмашзавод», которая была создана методом реконструкции печей ДСП-5.

Табл.2. Сравнение фактических показателей выбросов пыли из ДППТУ-НП с данными ПДВ

Выбросы пыли из ДППТУ-НП, г/с		ПДВ, г/с
Пыль	0,3301	0,9853
В т.ч. Мп	0,0266	0,1486



Рис. 2. Рудный кип в ДППТУ-НП. (На фото: плавка в ДППТУ-6, ОАО «КУРГАНМАШЗАВОД»)



Рис. 3. Плавка металлов в ДППТУ-НП с организованным дожиганием отходящих газов при плавке сильно загрязненной шихты (фото 4). (На фото: печной агрегат ДППТУ-6АГ, г.Сухой Лог)



Рис. 4. Пример переплавляемой шихты в ДППТУ-НП (стружка с высоким содержанием СОЖ и масел).

Значительное снижение пылегазовыбросов на всех печах, введенных в производство «НТФ «ЭКТА», является одним из главных достоинств ДППТУ-НП.

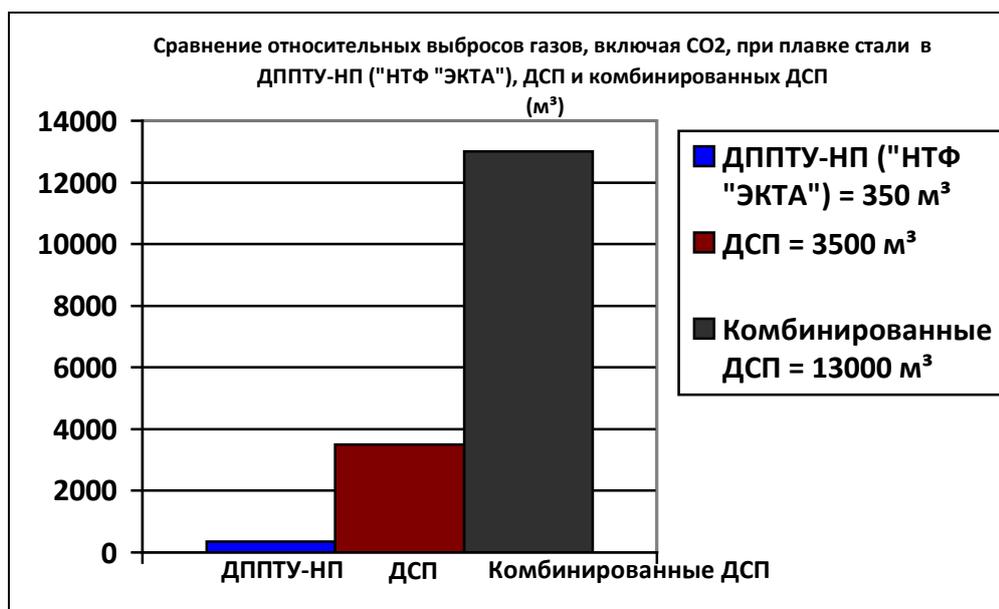


Рис.5. Диаграмма: Сравнение относительных выбросов газов, включая CO₂, при плавке стали в ДППТУ-НП («НТФ «ЭКТА»), ДСП и комбинированных ДСП.

Подробная информация о конструктивном решении экологических вопросов при выплавке металлов в ДППТУ-НП ООО «НТФ «ЭКТА» представлена в [13, 14] (на сайте www.ntfecta.ru в разделе «Публикации» см. статьи под №№ 24, 58).

Список литературы:

1. Б.В. Линчевский «Теория металлургических процессов», Москва, Металлургия 1995 г.
2. В.С. Малиновский «Исследование и разработка мощных плазмотронов постоянного тока для плазменных плавильных печей с керамической футеровкой». Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. ВНИИЭТО, Москва, 1980г.
3. В.С. Малиновский "Технико-экономические результаты промышленного освоения дуговых печей постоянного тока нового поколения", Металлургия машиностроения, № 6, 2004 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 1)
4. М.К. Закомаркин, М.М. Липовецкий, В.С. Малиновский "Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ПО "Ижсталь". Сталь, № 4, 1991 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 3)
5. В.С. Малиновский, А.М. Володин, А.С. Богдановский "Результаты работы дуговой печи постоянного тока ДППТУ-20 на АООТ «Тяжпрессмаш»", Литейное производство, № 11, 2004 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 20)
6. Патент № 2104450 РФ. С 22 В 9/21. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" Малиновский В.С., 04.01.1995 г.
7. 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.
8. Патент № 2112187 РФ. Н 05 В 7/06. «Подовый электрод электродпечи» Малиновский В.С., 13.03.1996 г.
9. 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 Машиностроения, №3, 2007 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 27)
10. к.т.н. В.С. Малиновский (ООО «НТФ «ЭКТА») ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ СТАЛИ В УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. Металлургия Машиностроения, 2010 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 53)
11. К.т.н., с.н.с. Малиновский В.С., Малиновский В.Д., Власова И.Б. (ООО «НТФ «ЭКТА»): «Универсальные дуговые печи и миксеры постоянного тока нового поколения «НТФ «ЭКТА» для организации высокоэффективных литейных и металлургических производств». Доклад на Съезде Литейщиков, г. Екатеринбург, 16-20 сентября 2013г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 63)
12. К.т.н., с.н.с. Малиновский В.С., Малиновский В.Д., Власова И.Б. (ООО «НТФ «ЭКТА» г.Москва) «Применение универсальных дуговых печей и миксеров постоянного тока нового поколения разработки «НТФ «ЭКТА» для ломопереработки, включая рециклинг алюминия» (версия для печати в ж. MetalRussia (МирМеталла), март 2013). (Номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 59)
13. Малиновский В.С., Малиновский В.Д., Власова И.Б., Давыдов В.П., Каплун М.Я (ООО «НТФ «ЭКТА», г. Москва), Вальдберг А.Ю. (МГУИЭ, г. Москва) «Особенности решения экологических вопросов при выплавке металлов в дуговых печах постоянного тока нового поколения ООО «НТФ «ЭКТА». Москва, журнал. Электрометаллургия, май-июнь 2012. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 58)
14. В.С. Малиновский «Энерготехнологические возможности дуговых печей постоянного тока нового поколения», Электрометаллургия, №7, 2007 г. (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 24)