

СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.

1. Введение.

Широкое развитие печей переменного тока (ДСП) явилось следствием отсутствия в момент появления дуговых печей мощных источников постоянного тока. (Исторические традиции производства качественных сталей по классическим технологиям. Причины и направления модернизации мартеновских печей и медленных дуговых печей переменного тока см. в [1].)

Разработка 3-х фазных трансформаторов сразу сняла ограничения мощности дуговых печей переменного тока, и они получили широкое распространение, не смотря на их принципиальные недостатки в сравнении с дуговыми печами постоянного тока.

Дуга переменного тока имеет более низкую устойчивость, чем дуга постоянного тока. Горение дуги в ДСП протекает с постоянным изменением полярности на электродах. При прямой полярности катод – это графитированный электрод, а анод – это расплав. Плотность тока в анодном пятне на порядок ниже плотности тока в катодном пятне. Металл не является идеальным термокатодом, обладая высокой работой выхода электронов. Графитированный катод, как катод работает в идеальных условиях, обладая низкой работой выхода электронов, и воспринимает минимальную тепловую нагрузку на себя. При смене полярности тепловая нагрузка на графитированный электрод резко возрастает, и плотность тока на металле возрастает больше, чем на порядок, в сравнении с плотностью тока в анодном пятне. Это вызывает локальный перегрев металла под дугой и интенсивное его испарение. Постоянная смена полярности приводит к низкой устойчивости разряда, в сравнении с дугой постоянного тока, к резко-переменной нагрузке на питающую энергосистему и к генерации высокого уровня шума. В период, когда на графитированном катоде располагается анодное пятно, проходит интенсивная эрозия материала катода.

Дуга переменного тока принципиально не позволяет проводить широкий спектр управления форм и характеристиками дугового разряда, управлять его воздействием на расплав и на взаимодействие с окружающей печной средой. Поэтому проявляются сразу **очевидные недостатки дуговых печей переменного тока** перед печами постоянного тока – это высокий уровень: угара металла, графитированных электродов, пылегазовыбросов при плавке, шума и т.д. Всё это требует при создании ДСП больших затрат на экологию, компенсацию затрат на угар шихты, графитированных электродов, охрану труда и т.д.

Первые ДСП обладали невысокой установленной мощностью (350-400 кВт/т), и недостатки, связанные с низким уровнем теплообмена в расплаве, компенсировались длительным временем плавки. Это позволяло производить в ДСП металл достаточно высокого качества, соблюдая выполнение требований классической теории металлургических процессов.

Попытка увеличения производительности ДСП за счет увеличения мощности источников питания оказалась нерациональной, т.к. приводила к быстрому разрушению футеровки печей из-за высокого градиента температуры в ванне расплава.

Для компенсации недостатков печей ДСП, связанных с их низкой производительностью, были приняты меры, ускоряющие плавку на этих печах: подогрев шихты перед плавкой или в её процессе, применение кислорода для продувки металла (подробнее - см. в [1], раздел 2). Эти приемы противоречат классической теории металлургических процессов, привели к резкому увеличению пылегазовыбросов из печей и значительному увеличению угара металла. В созданных печах переменного тока с комбинированным нагревом стало невозможным выплавлять сталь, и процесс её производства (синтезирования [2]) перенесли в установку пещков (УПК) см. [1, 2]. Эти меры привели к резкому ухудшению качества металла, и поэтому дополнительно к УПК в технологическую цепочку поставили оборудование для вакуумирования стали, что в итоге все равно не позволило довести качество металла до уровня,

который ранее получали в мартеновских печах и «медленных» ДСП. Поэтому стали предлагать дополнительно переплавлять металл (после установок УПК и вакуумирования) в электрошлаковых печах (ЭШП), что также не решило проблему с повышением качества металла. (Подробно это описано в [2]).

Очевидно, что выбор ДСП для создания плавильных производств требует дополнительных затрат основных средств на: устройства компенсации реактивной мощности, мощную систему пылегазоочистки, УПК, установку для вакуумирования металла, в некоторых случаях установку ЭШП и большие площади производственных помещений, не решая при этом вопросы качества производимого металла.

2. Дуговые печи постоянного тока.

В настоящее время нет ограничения мощности источников питания постоянного тока, и это уже побудило ряд производителей печей вернуться к производству печей постоянного тока, принципиально лишенных недостатков ДСП; и можно сделать вывод, что применение ДСП в современной металлургии ничем не обосновано.

Установка источников питания постоянного тока на дуговые печи всегда приводит к снижению колебаний электрической мощности, снижению уровня шума, резкому повышению устойчивости горения электрической дуги, существенному уменьшению воздействия характера нагрузки на питающую энергосистему, уменьшению угара металла и графитированных электродов, улучшению условий труда за счет уменьшения уровня шума и выбросов газов из печного пространства. Эти преимущества перед ДСП присущи всем дуговым печам постоянного тока. Но наряду со сказанным, дуга постоянного тока имеет свои особенности, которые могут при неправильном её использовании не улучшить, а ухудшить показатели печей, включая качество производимого металла. Это отражают показатели печей постоянного тока разных производителей.

Например, созданы **печи без подовых электродов**, в которых один или несколько сводовых электродов являются катодами, другие – анодами. В таких печах постоянного тока практически отсутствует магнитогидродинамическое (МГД) перемешивание расплава, что вызывает его локальный перегрев под катодным пятном, интенсивное испарение металла и легирующих элементов, проходит активная эрозия графита на электроде, который является анодом.

В дуговых печах постоянного тока особую роль имеет организация эффективного тепломассообмена в расплаве, достигаемого за счет различных приёмов. При этом создание дуговых печей постоянного тока должно сопровождаться глубокими знаниями физики дугового разряда, условий его взаимодействия с расплавляемым металлом и окружающей печной средой.

В дуговых печах с подовыми электродами без специальных приёмов МГД перемешивания расплава без учета режима горения дугового разряда, достигается перемешивание расплава за счет его перенасыщения растворёнными газами из печного пространства, с формированием, например, азотного кипа металла, при котором усиливается тепломассообмен расплава, и плавка ускоряется. Но этот метод не приемлем для производства качественной стали. **Перемешивание металла при азотном кипении**, применяемое в печах постоянного тока разработки фирмы ООО «НПФ Комтерм» г.Москва, специалисты фирмы ошибочно принимают за магнитогидродинамическое (МГД) перемешивание расплава. Эти **виды перемешивания легко отличить** друг от друга. После отключения дуги, МГД-перемешивание металла, не обладающее инерционностью, немедленно прекращается, тогда как перемешивание, вызванное азотным кипением, определённое время сохраняется.

В настоящее время зарубежными производителями плавильных печей используется дуга постоянного тока без специальных методов управления ею. В этом случае работа печей постоянного тока, как и ДСП, характеризуется низким уровнем тепломассообмена расплава, и не позволяет увеличивать мощность печей за счет увеличения мощности источника питания, что заставляет производителей печей постоянного тока сохранять приёмы ускорения плавки такие же, как в ДСП (т.е. подогрев шихты различными видами горелок, ускорение плавки подачей кислорода, и т.д.), и вести производство стали в УПК, так же как после плавки металла

в комбинированных ДСП. В результате чего такие печи постоянного тока сохраняют все недостатки ДСП [1].

Без специальных приёмов для перемешивания расплава в дуговых печах постоянного тока, как и в ДСП, движение металла практически отсутствует. Но в дуговых печах постоянного тока возможно организовать магнитогидродинамическое перемешивание, например, разместив вокруг ванны расплава обмотки индуктора (так, в частности, организовано перемешивание на печах ОАО «Сибэлектротерм» г.Новосибирск). Этот прием достаточно эффективно ускоряет перемешивание, но обладает недостатками, связанными с распределением скоростей движения металла в ванне: максимальная скорость движения металла наблюдается вблизи стен печи, что приводит к повышенному износу футеровки, и не устранён локальный перегрев металла под опорным пятном дуги, что способствует насыщению металла газами.

ООО «НТФ «ЭКТА» разработала универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП), базирующиеся на глубоком изучении физики дугового разряда, процессов тепломассообмена при расплавлении шихты и МГД-процессов в ванне расплава. В результате разработана и запатентована система технических решений, позволившая получить **принципиально новые возможности плавильных печей и технологий**, обеспечивающих высокую экономическую эффективность, экологическую безопасность и главное – гарантию высокого качества производимого металла [2!, 3!, 4, 5, 6].

Дуговые печи постоянного тока универсальные нового поколения (ДППТУ-НП) разработки ООО «НТФ «ЭКТА» принципиально отличаются от дуговых печей постоянного тока разработки других производителей тем, что в них введена **система технических решений**, позволяющая 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 [3], 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 и позволяют предельно уменьшать пылегазовыбросы из печей в процессе плавки, подавляя вредное воздействие на окружающую среду. Особенности решения экологических вопросов при выплавке металлов в ДППТУ-НП представлены в [3, 9].

В ДППТУ-НП управляемое МГД перемешивание расплава, специальные электрические режимы при плавке и рафинировании металла, устранение локального перегрева металла под дугой, строгое выполнение законов классической теории металлургических процессов позволяют обеспечить:

- развитую эффективную поверхность взаимодействия систем шлак-расплав,
- гомогенность температуры и химического состава расплава,
- быстрое растворение и высокое усвоение легирующих элементов (в процессе плавки практически не изменяется химический состав исходного сырья шихтовых материалов);
- интенсивную скорость ведения технологических процессов - десульфурацию, дефосфорацию, науглероживание, обезуглероживание расплава, удаление неметаллических включений, дегазацию расплава;
- **минимальные расходные показатели:** удельный расход электроэнергии, графитированных электродов; значительно, до 0,5-1,5 %, сократить угар металлической части шихты, включая содержащиеся в ней легирующие элементы, даже при переплаве стружки отказаться от экологически вредных хлоро- и фторосодержащих флюсов (при плавке алюминиевых сплавов);
- **минимальный уровень вредных пылегазовыбросов в атмосферу** (что исключило необходимость строительства мощных дорогостоящих систем пылегазоочистки) и **обеспечение экологии процесса плавки;**
- **высокую производительность печей, их надежность, взрывобезопасность, низкий уровень шума;**
- **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 [2!, 3!, 4, 5, 6].

Все показатели ДППТУ-НП подтверждены промышленными предприятиями, где внедрены печи разработки ООО «НТФ «ЭКТА»; это позволяет заявить, что ДППТУ-НП действительно являются печами нового поколения, возможности которых значительно опережают возможности дуговых печей постоянного тока других производителей.

При сравнении печей постоянного тока разных производителей, с целью правильного выбора плавильного оборудования для своего предприятия, Заказчикам предстоит разобраться в **технологических особенностях**, которые в конечном итоге влияют на показатели и возможности печей.

Получая позитивную или негативную информацию о печах постоянного тока, следует отождествлять их производителей. Если рекламируемые производителями печей результаты, особенно связанные с качеством металла, технико-экономическими и экологическими показателями и надежностью, не подтверждаются при внедрении дуговых печей постоянного тока, то это результаты работы печей только от этих производителей, и они никак не касаются печей постоянного тока ДППТУ-НП разработки ООО «НТФ «ЭКТА».

Промышленные результаты выплавки качественных металлов в печах ДППТУ-НП производства ООО «НТФ «ЭКТА» с реально полученными показателями на разных заводах представлены в [8] и подробно на сайте www.ntfecta.ru.

В заключение: печи ДППТУ-НП производства ООО «НТФ «ЭКТА» – ресурсосберегающее оборудование. Гарантируя высокое качество выплавляемых металлов ДППТУ-НП позволяют экономить не только эксплуатационные расходы, но и затраты на основные средства при создании новых предприятий или реконструкции действующих. Это достигается за счет отсутствия или снижения затрат на системы подготовки шихты и пылегазоочистки, внепечную обработку расплава, средств уменьшения влияния печных установок на питающие энергосистемы, других сопутствующих расходов. Всё это значительно снижает затраты основных средств на организацию плавильных производств с ДППТУ-НП, несмотря на более высокую стоимость их источников питания. Замена любых действующих печей (ДСП, индукционных и других) на ДППТУ-НП окупается обычно в течение 3-х–12-ти месяцев, в зависимости от сортамента выплавляемого металла и необходимой производительности.

Список литературы:

1. К.т.н., с.н.с. Малиновский В.С., Малиновский В.Д., Власова И.Б.: «Обоснование применения универсальных дуговых печей и миксеров постоянного тока нового поколения «НТФ «ЭКТА» для организации высокоэффективных литейных и металлургических производств». Проект доклада на Литейном Консилиуме №7, г.Челябинск, 2013г., (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru - 66).
2. В.С. Малиновский «Организация процесса плавки стали в универсальных дуговых печах постоянного тока нового поколения, ж. Металлургия Машиностроения, 2010 г. (номер публикации на сайте -53).
3. В.С. Малиновский «Энерготехнологические возможности дуговых печей постоянного тока нового поколения», Электromеталлургия, №7, 2007 г. (номер публикации на сайте – 24)
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. «Применение универсальных дуговых печей и миксеров постоянного тока нового поколения разработки «НТФ «ЭКТА» для ломопереработки, включая рециклинг алюминия» (ж.MetalRussia (МирМеталла), март 2013 (номер публикации на сайте -59).
8. В.С. Малиновский "Технико-экономические результаты промышленного освоения дуговых печей постоянного тока нового поколения", Металлургия машиностроения, № 6, 2004 г. (номер публикации на сайте – 1).
9. 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. Электromеталлургия, май-июнь 2012 (номер публикации на сайте www.ntfecta.ru – 58).