

Д.т.н., профессор, Председатель Совета главных металлургов ОАО «НПК «Уралвагонзавод» - Афонаскин А.В.(ОАО «УралНИТИ» г.Екатеринбург); Власова И.Б., К.т.н., с.н.с. Малиновский В.С., Малиновский В.Д. (ООО «НТФ «ЭКТА» г. Москва)

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДУГОВЫЕ ПЕЧИ И МИКСЕРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «НТФ «ЭКТА» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА

1. Введение.

Для производства чугуна ООО «НТФ «ЭКТА» разработала два типа установок: дуговые печи постоянного тока универсальные нового поколения (ДППТУ-НП) для плавки чугуна и дуговые миксеры постоянного тока (ДМПТУ) для выдержки, рафинирования и доводки расплава чугуна, его накопление для получения крупных отливок.

ДППТУ-НП являются инновационной отечественной разработкой, защищенной патентами специалистов «НТФ «ЭКТА».

Оборудование печей и миксеров позволяет реализовывать технологии производства качественного чугуна, описанные в классической теории металлургических процессов.

В ДППТУ-НП разработки «НТФ «ЭКТА» производятся любые марки чугунов, включая высокопрочные, как путём обработки чугуна, так и методом синтезирования с использованием стальной шихты. Эта шихта не требует специальной подготовки перед плавкой: в процессе плавки проводится её науглероживание до заданного состава углерода; за счет активных шлаковых и других классических процессов осуществляется глубокое удаление примесей, включая серу.

В ДППТУ-НП освоена переработка любого лома, включая чугунную стружку – без угара металла и потерь легирующих элементов.

Миксеры ДМПТУ обладают возможностями дуговых плавильных печей для обработки жидкого расплава. Как и в ДППТУ-НП в миксерах ДМПТУ обрабатывают металл горячими шлаками, например, с целью глубокого удаления серы; проводить науглероживание расплава до заданного содержания углерода. В ДМПТУ повышается качество чугуна, выплавляемого, например, в вагранках, осуществляется накопление металла и его задача.

Оборудование ДППТУ-НП и ДМПТУ позволяет с минимальными затратами производить качественное чугунное литьё с выполнением требований экологов по ПДВ и ПДК.

По всем основным показателям, включая расход электроэнергии, потери металла за счет угара и брака, и другим печи ДППТУ-НП превышают показатели любых плавильных печей других типов.

2. Инновационные решения, используемые в ДППТУ-НП и ДМПТУ.

В оборудовании ДППТУ-НП и технологии введены инновационные решения, создавшие новые возможности, как для работы оборудования, так и для ведения в нём технологических процессов. Высокий эффект от внедрения ДППТУ-НП достигается при комплексном подходе к организации плавки металла, при котором использование дуги постоянного тока является одним из элементов **системы** технических решений, разработанных и запатентованных специалистами ООО "НТФ "ЭКТА".

В ДППТУ-НП **организация** процесса расплавления шихты, управляемого магнитогидродинамического (МГД) перемешивания расплава, взаимодействия дуги и расплава, **управление** электрическими параметрами печи **обеспечивают** отсутствие локального перегрева расплава во все периоды плавки, однородность температуры и химического состава расплава, активное взаимодействие расплава металла и шлака, высокую скорость протекания металлургических реакций, эффективное усвоение легирующих элементов и науглероживание расплава, низкий угар шихты и ферросплавов, быстрое формирование шлака высокого качества, подавление взаимодействия печной среды с окружающим

пространством. В ДППТУ-НП реализована экологическая чистота процесса плавки при минимальном уровне пылегазовыбросов, снижен расход электроэнергии.

Перемешивание расплава в ДППТУ-НП осуществляется за счет взаимодействия тока, протекающего через расплав, с электромагнитным полем протекающего тока. Для реализации процесса **принципиально новым** является установка в подине печи не менее двух **подовых электродов уникальной разработки, смещенных от осей симметрии подины**, при этом опорное пятно дуги размещается по центру расплава. Благодаря этому в расплаве вектор тока имеет ярко выраженные вертикальную и горизонтальные составляющие, взаимодействие собственного электромагнитного поля которых с током вызывает **интенсивное перемешивание расплава** в вертикальной и горизонтальной плоскостях, с максимальной скоростью движения набегающего потока расплава под дугу и из под дуги вглубь расплава. Такой характер движения расплава наблюдается в дуговых печах постоянного тока, но он неустойчив. Через относительно короткое время под анодным пятном дуги и над подовыми электродами формируются вихревые потоки, а движение основной массы расплава прекращается. Поэтому была разработана оригинальная система организации оптимального перемешивания расплава с помощью регулятора электрического режима источника электропитания. [1,2,3,4]

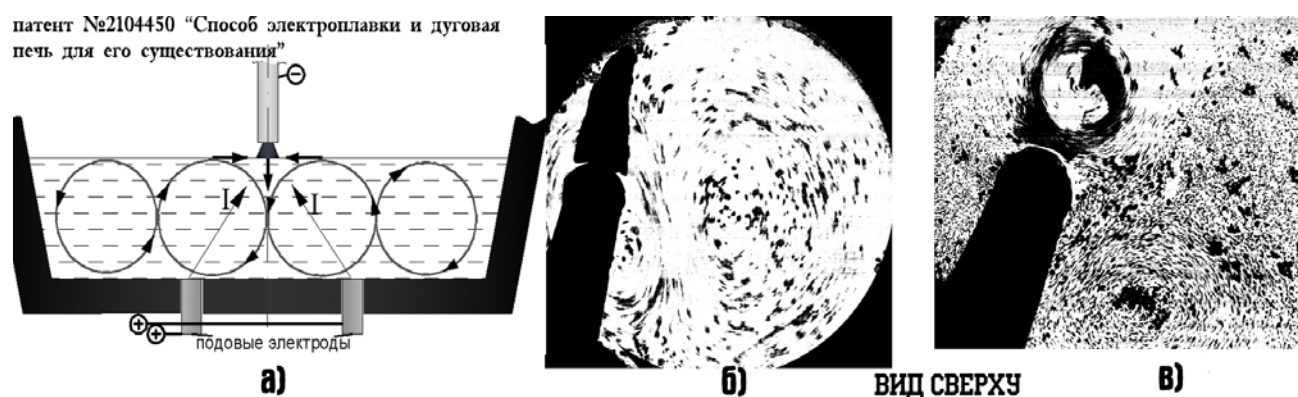


Рис.1. Система МГД перемешивания в ДППТУ-НП и ДМППТУ:

- а) тороидальное МГД перемешивание расплава (схема в поперечном сечении);
- б) система МГД перемешивания включена (активное перемешивание расплава);
- в) система МГД перемешивания отключена.

В результате инноваций ДППТУ-НП имеет совершенную систему **управляемого магнитогидродинамического перемешивания расплава (МГД)** (Рис.1), которое с большой скоростью, непрерывно во все периоды нагрева и рафинирования расплава, выравнивает его температуру и химический состав, обеспечивает эффективный тепломассоперенос в расплавах металла и шлака, включая интенсивное науглероживание расплава металла при выплавке синтетического чугуна.

МГД перемешивание усиливает взаимодействие шлака и расплава, гарантируя, например, глубокую десульфурацию металла. Кроме того МГД перемешивание позволяет в полной мере осуществить передачу энергии электрической дуги в расплав, не допуская локального перегрева металла. Система МГД перемешивания расплава не имеет мировых аналогов, обладает новизной и предельно проста конструктивно. Она позволила отказаться от любых других способов перемешивания расплава.

В ДППТУ-НП применяются два вида дуговых разрядов – колонный и спиралевидный, которые так же, как и МГД перемешивание, являются элементами системы технических решений, запатентованных специалистами НТФ «ЭКТА», – см. рис. 2 (а) и 2 (б); 3(а), 3(б). Управление формами дуговых разрядов позволяет оптимизировать режимы плавления шихты и нагрева расплава.

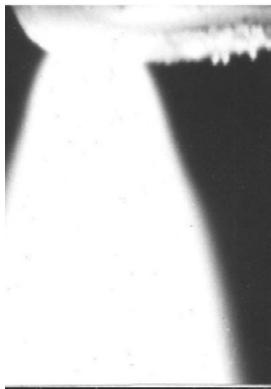


Рис. 2 (а) - вид колонной дуги

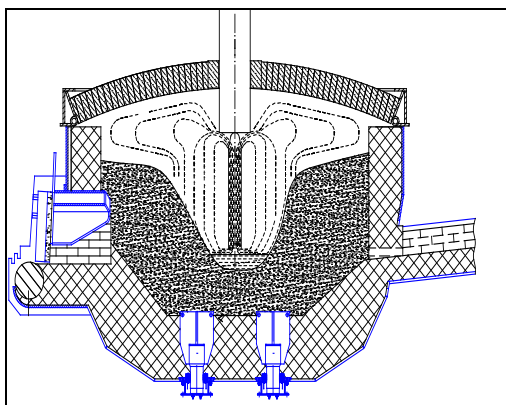


Рис. 2 (б) - движение газов при горении колонной дуги в ДППТУ-НП

Первый режим. Режим плавления с восстановлением окисленной шихты колонным разрядом. Колонный разряд (см. рис.2(а) и 2(б)) характеризуется тем, что пандеромоторные силы закачивают печные газы в прикатодную область дуги. Газы проходят через дугу и выходят из нее в районе анода, что позволяет развить циркуляцию печной атмосферы и ее быстрый нагрев. При этом с поверхности металла идет интенсивное испарение различных органических и других примесей. А высокая температура печных газов не позволяет образоваться диоксидам, фуранам и другим печным выбросам. За счет стабилизации мощности дуги предотвращается подсос воздуха в печную атмосферу. При организованном выходе из печи печные газы воспламеняются и догорают до простых окислов CO_2 и H_2O .

Таким образом, **режим начала плавки является лучшим способом очистки металла шихты от примесей – СОЖ, влаги, масел, и т.д.**

Второй режим. Режим нагрева расплава спиралевидной дугой (рис. 3(а), 3(б)) с управляемым электромагнитным гидродинамическим перемешиванием расплава.

При повышении плотности тока в графитированном электроде режим горения дуги изменяется. Дуга переходит во вторую устойчивую форму горения, приобретая вид спирали, и удерживается в пространстве продольным магнитным полем, формируемым изменившейся формой дуги. Этот режим позволяет быстро провести расплавление основной части шихты без перегрева футеровки и обеспечить максимальную теплопередачу энергии из дуги в расплав.

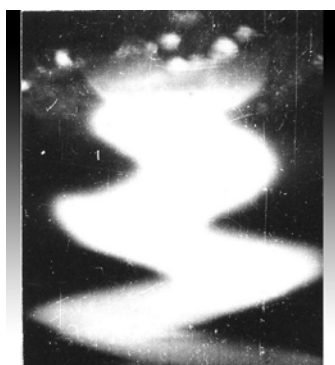


Рис.3(а)



Рис.3(б)

Рис. 3 (а) и 3(б) - Дуговой разряд спиралевидной формы: 3(а) – действительная форма разряда, выявляемая при скоростной фотосъемке; 3(б) – форма разряда при визуальном наблюдении.

Третий режим – доплавление шихты и нагрев расплава. Третий режим подобен второму, но при этом напряжение источника питания снижается, а ток дуги увеличивается. При этом доля энергии дуги, передаваемая непосредственно в расплав, увеличивается до 80-90%. Система МГД перемешивания позволяет получить развитые процессы теплопереноса расплавов шлака и металла, и между ними; выполнять любые требования технологов по качеству металлов.

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.

В ДППТУ-НП эффективна выплавка металла из различных шлаковых и других отходов, включая стружку без её очистки от масел, СОЖ, остатков шлака. При плавке шихты, загрязнённой примесями, которыми являются различные виды углеводородных соединений, например, масло, СОЖ и т.п., они испаряются, нагреваясь до высоких температур внутри печи и, воспламеняясь на выходе из печи, догорают до простых соединений в виде H_2O и CO_2 при смешивании с воздухом.

На рис. 4 приведён пример переплавляемой шихты (стружка с высоким содержанием СОЖ и масел), а на рис 5. - организация дожигания отходящих газов в ДППТУ-НП при плавке сильно загрязненной шихты.

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».

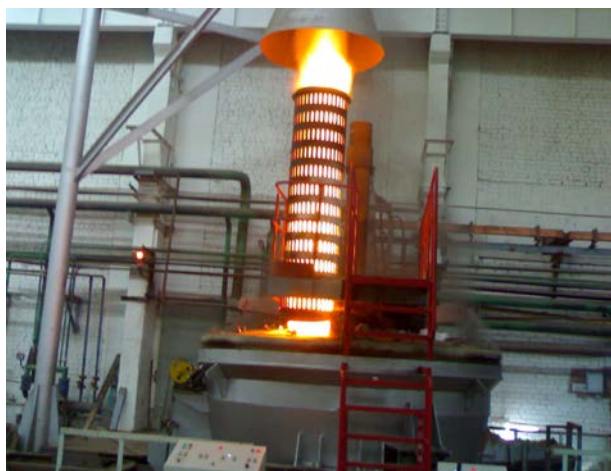


Рис 5. Плавка металлов в ДППТУ-НП с организованным дожиганием отходящих газов при плавке сильно загрязненной шихты (фото 4). (На фото: печной агрегат ДППТУ-6АГ, г.Сухой Лог)



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.

В ДППТУ-НП разработаны надёжные взрывобезопасные подовые электроды, и технология их эксплуатации.

3. Примеры работы печей постоянного тока для производства чугуна.

ДППТУ-НП позволяют по-новому, с большей эффективностью производить выплавку металла для высокопрочного, серого и других марок чугунов в сравнении с другими печами.

Примерами успешной работы печей постоянного тока для производства чугуна могут служить показатели некоторых передовых предприятий России.

На ОАО «Курганмашзавод» в ДППТУ-6АГ (ООО «НТФ «ЭКТА») была отработана технология выплавки серых и высокопрочных чугунов различных марок от СЧ15 до СЧ30 включительно и ВЧ40-ВЧ70 (ранее выплавляемых в печах переменного тока ДСП-5). После перевода ДСП-5 на постоянный ток по методике ООО «НТФ «ЭКТА» в ДППТУ-6АГ, значительно облегчился и ускорился процесс десульфурации за счет МГД перемешивания металла и его активного взаимодействия со шлаком, основность которого составляет более 2,0. В результате содержание серы в исходном чугуне - не более 0,01%, что позволило уменьшить расход магниевой лигатуры до 1,0-1,2%. В СЧ15 предел прочности возрос на 30-40%, содержание перлита увеличилось на 60%; в ВЧ50 предел прочности возрос на 20%,

относительное удлинение увеличилось на 30%. Следует отметить, что чугун на печи ДППТУ-6АГ выплавляли из рядовой шихты.

Выплавка синтетического чугуна в печах ДСП-5, работающих на переменном токе, была сопряжена со значительными трудностями по науглероживанию расплава. Ввод расчетного количества карбюризатора на подину такой печи требует перегрева металла до 1500-1550⁰С, так как температура металла на подине ниже, чем у поверхности ванны, а при пониженных температурах – 1400⁰С без перемешивания расплава графит карбюризатора плохо растворяется в металле. Поэтому приходилось перемешивать расплав в печи вручную металлическими штангами. Эта операция трудоемка, тяжела и сопряжена с риском получения травм, а также требует дополнительного расходования электроэнергии на перегрев ванны и удлинения процесса плавки чугуна, снижения производительности.

При выплавке синтетического чугуна в дуговой печи постоянного тока ДППТУ-6АГ усвоение углерода металлом из графитовой крошки составило – 75%; с момента зажигания дуги на расплавление, нагрев и науглероживание чугуна и доводку по элементам потребовалось 80 мин. (для сравнения: усвоение углерода из графитовой крошки в ДС-5МТ составляло 50-55%, длительность плавки -2 ч. 30 мин.).

Химический состав синтетического чугуна, выплавленного в ДППТУ-6АГ, был получен: С-3,60%, Мп-0,96%, Si-2,18%, S-0,027%, Р-0,086%. По содержанию углерода и кремния такой чугун соответствует марке СЧ15 согласно ГОСТ 1412-85; механические свойства чугуна этой плавки дали результат: $\sigma_B=21,0$ кгс/мм², НВ=229, что соответствует марке СЧ21.

При производстве серого чугуна СЧ-21 на Ярославском заводе ОАО «Автодизель» была использована схема «вагранка –миксер ДМТУ-12АГ» (АГ –установка в агрегатном исполнении – две механические части и один источник питания). В этом случае производство чугуна в миксере постоянного тока нового поколения стало более эффективным, чем в схеме «вагранка –ДЧМ-10», как по качеству, так и по экономике. Ввод в действие ДМТУ-12АГ позволил: - снизить брак литья до10%; - значительно уменьшить угар металла; - получать качественный чугун из рядовых шихтовых материалов; - значительно снизить расход дорогостоящих графитированных электродов; - устойчиво и стабильно снабжать качественным металлом конвейера литейного цеха; - сократить расход электроэнергии; - снизить уровень шума в цехе на 15-20дБА; - улучшить экологическую ситуацию и уменьшить расходы на оплату штрафных санкций за счёт снижения следующих выбросов: - пыли на 2,93т/год, - оксида углерода на 4,15 т/год, - оксида азота на 0,41 т/год, - диоксида азота на 0,6т/год.

Для сравнения эффективности работы ДМППТУ-12 и трёхфазной ДЧМ-10 результаты сведены в таблицу 1.

Табл.1. Сравнительные показатели производства чугуна

Показатели производства чугуна СЧ-21		
Параметры	ДМППТУ-12	ДЧМ-10
Производительность т в год	160000	100000
Удельный расход эл.эн на нагрев 1т на 100° С	42кВт*ч/т	115 кВт*ч/т
Удельный расход графитированных электродов	0.34кг/т	2.8кг/т
Гомогенность t° С и хим. состава	+	-
Брак по неспаям	-	+
Брак по газовым раковинам	-	+
Легирующие для мех.свойств	Мп, Сu, Рb	Мп, Сr, Ni
Распределение графитовых включений	Равномерное	Неравномерное
Участки с графитовыми включениями	<35мкм	>35мкм
Микроструктура	Перлит 100%	Перлит<30%
Нерастворимые ферросплавные вкл.	-	+
Гост 1412 (мех.свойства)	СЧ-24	СЧ-21

На Костромском заводе ОАО «Мотордеталь» печная установка ДППТУ-3АГ впервые обеспечила промышленную переработку чугунной стружки, с низким угаром, решив

серьезную проблему предприятия с рециклингом чугуна. Агрегат переплавляет чугунную стружку россыпью. Наличие большого количества загрязняющих компонентов СОЖ, песка и др. в стружке не позволяют определить выход годного взвешиванием. Но он может быть оценен сравнением химического состава расплава с ТУ на металл, из которого стружка была получена – см.Табл.2.

Таблица 2. Сравнение химического анализа расплава по основным элементам из стружки с требованиями ТУ

Наименование показателей	C	Si	Mn	S	P
Требования ТУ, %	3,10-3,30	1,80-2,00	0,30-0,80	≤0,05	0,11
Фактические показатели, %	3,63±0,8	2,28±0,13	0,4±0,04	0,007	0,11

Превышение содержания C, Si, Mn требований ТУ по-видимому вызвано восстановлением материалов СОЖ и песка из шлака. Низкое содержание серы является следствием классической десульфурации в ДППТУ-НП.

Промышленная эксплуатация оборудования подтвердила, что печи ДППТУ-НП и миксеры ДМПТУ имеют следующие **преимущества** при производстве различных марок чугунов:

- использование рядовой шихты, стружки с обычным содержанием серы;
- наведение активных шлаков для проведения дефосфорации и десульфурации;
- обеспечение однородности химического состава и требуемой температуры по всему объёму металла для обеспечения требуемой формы графита;
- экономия раскислителя при выплавке чугуна;
- эффективное производство высококачественного синтетического чугуна; значительное повышение качества любых видов чугунов (повышение механических свойств на 10-20%, улучшение внутренней структуры с соблюдением требований по неметаллическим включениям и газам, стабильность состава и температуры) без использования дополнительного оборудования для подготовки шихты и внепечной обработки, с применением дешевых шихтовых материалов;
- экологическая чистота металлургических процессов (уровень пылегазовыбросов снижается в разы, шума на 15-20дБА);
- сокращается время плавки и увеличивается производительность в 1,5-2 раза;
- низкий: угар шихты (не более 1,5%); расход графитированных электродов (не более 1,5 кг/т); электроэнергии (для печи -не выше 550кВтч/т, для миксера- не более 42 кВт.ч/т при перегреве на 100⁰С); высокий К.П.Д. печей и миксеров -70-85%;
- низкий расход ферросплавов;
- высокая надежность и взрывобезопасность оборудования;
- короткий срок окупаемости затрат на оборудование (не более 10-12 месяцев);
- значительное улучшение условий труда обслуживающего персонала.

Предлагаемые ООО «НТФ «ЭКТА» оборудование и технологии сертифицированы, защищены патентами и имеют разрешение ГОСГОРТЕХНАДЗОРА на разработку и применение. Подробные материалы о результатах работы оборудования представлены на сайте www.ntfecta.ru.

Список литературы:

1. 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)
2. Патент № 2104450 РФ. С 22 В 9/21. "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" Малиновский В.С., 04.01.1995 г.
3. 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.
4. Патент № 2112187 РФ. Н 05 В 7/06. «Подовый электрод электропечи» Малиновский В.С., 13.03.1996 г.

5. Малиновский В.С., Власова И.Б. «Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения – средство эффективного решения проблем ресурсосбережения и экологии в литейном и металлургическом производствах», «Металл информ» г. Минск, №5, 2008г.

6. 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)

7. В.С. Малиновский, В.Д. Малиновский, Л.В. Ярных, А.В. Афонаскин, П.Д. Андреев, В.Д. Князев, В.Д. Дороднов "Сравнительный анализ характеристик дуговых печей постоянного тока нового поколения и индукционных печей", Литейщик России, №1, 2002 г.

8. В.С. Малиновский, В.Д. Малиновский, И.Б. Власова, А.В. Афонаскин, А.М. Володин, А.С. Богдановский "Результаты промышленного освоения выплавки стали и чугуна в универсальных дуговых печах постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП)", Труды IX Съезда Сталеплавателей России, г. Старый Оскол, 2006 г.