

В.С. Малиновский к.т.н., И.Б. Власова, А.С. Богдановский, Д.Г. Маслов.
(ООО «НТФ «ЭКТА»)

Иновация в процессе выплавки металла для получения отливок из серого, высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом (ВЧШГ и ЧВГ) и других видов чугунов на универсальных дуговых печах постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП).

Основными плавильными агрегатами, производящими металл для получения различных марок чугунов, являются печи: вагранки, индукционные (ИП), дуговые переменного тока (ДСП). Для этих целей ООО «НТФ «ЭКТА» разработала универсальные печи и миксеры постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП и ДМППТУ).

В печи и технологии введены инновационные решения, создавшие новые возможности, как для работы оборудования, так и для ведения в нем 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 общего технического решения. В ДППТУ-НП разработанных и запатентованных специалистами ООО "НТФ "ЭКТА" организация процесса расплавления шихты, управляемого магнитогидродинамического (МГД) перемешивания расплава, взаимодействия дуги и расплава, управление электрическими параметрами печи обеспечивает отсутствие заметного локального перегрева расплава во все периоды плавки, гомогенность температуры и химсостава расплава, эффективное взаимодействие расплава и шлака, высокую скорость протекания металлургических реакций, низкий угар шихты и ферросплавов, быстрое формирование шлака высокого качества, подавление взаимодействия печной среды с окружающим пространством, обеспечивающие экологическую чистоту плавки при минимальном уровне пылегазовыбросов, сниженный расход электроэнергии, возможность проведения в чистом виде всех металлургических процессов, разработанных для печей с кислой и основной футеровкой.

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 любой ДППТУ-НП с распределенным по площади подины токоподводом к расплаву, но он неустойчив во времени. 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 поддержки оптимальной формы перемешивания расплава и сброса вихревых потоков, не разрушающих футеровку подины печи и подовые электроды, осуществляемая с помощью регулятора электрического режима источника электропитания. [1,2,3,4]



Рис.1. Схема МГД перемешивания в ДППТУ-НП

а) торoidalное перемешивание расплава; б) регулярное перемешивание расплава; в) искаженная система перемешивания с вихревыми потоками.

В результате разработанных новшеств ДППТУ-НП имеет совершенную систему управляемого перемешивания расплава, которая с большой скоростью, непрерывно во все периоды нагрева и рафинирования расплава, выравнивает его температуру и хим. состав, многократно увеличивает взаимодействие шлака и расплава, обеспечивает в полной мере передачу энергии электрической дуги в расплав практически без его локального перегрева. Система перемешивания расплава не имеет мировых аналогов, она обладает новизной и предельно проста конструктивно. Она позволила отказаться от любых других способов перемешивания расплава.

ДППТУ-НП предназначены для получения стали, чугуна, сплавов на основе алюминия, меди, кобальта, никеля высокого качества непосредственно в печи, которые можно дополнительно обработать в ковше, например, продувкой аргоном, но не следует в ковше подвергать расплав дуговому нагреву, поскольку высокое качество металла выплавленного в печи при этом будет снижено.

Отметим, что ДППТУ-НП позволяет по-новому, с большей эффективностью производить выплавку металла для высокопрочного, серого и других марок чугунов в сравнении с другими печами. В Таблице 1 представлены данные, собранные на основании публикаций и опыта работы печей постоянного тока. [5]

Сравнительные показатели работы индукционных печей промышленной (ИППЧ), средней частоты (ИПСЧ) и дуговых печей переменного ДСП и постоянного тока (ДППТУ НП) ООО «НТФ «ЭКТА».
(В сопоставимых условиях.)

Таблица 1

Показатель	ИППЧ	ИПСЧ	ДСП	ДППТУ НП
Удельная мощность, кВт/т	300	1000	600-1000	600-1000
Длительность расплавления, мин.	90-120	40-45	60-85	35-50
Уд. расход электроэнергии, кВтч/т	750-2000	500-600	650-750	450-550
Уд. расход графит. Electrodes, кг/т	-	-	5-7	1,5
или кВт*ч/т	-	-	150-200	45-60
Уд. приведенный расход подготовки шихты, кВтч/т	40-80	40-80	-	-
Общий угар, %	2-5	2-3	5-8	0,2-1,5
К.П.Д. плавнения, %	40-60	60-65	80-85	70-85
К.П.Д. выдержки, %	40-50	50-60	20-35	70-90

Стойкость подины, плавков	30-100	100-400	1000-2500	1000-3000
Взрывоопасность	+	+	-	-
Потери тепла при открывании крышки, %	10	10	2	2
Окупаемость, год	2	1,4	≥1,4	≤1,4
Шлаки	пассивные	пассивные	активные	активные
Металлургические операции (окисления, дефосфорации, десульфурации, восстановления)	-	-	+	+
Перемешивание	+	ограниченное	трудоемкое	+
Дегазация «Болото»	-	-	+	+
Плавка «козла»	+	-	+	-
Плавка «козла»	-	затратная	трудоемкая	+
Множественность завалки шихты	+	+	-	-
Подготовка дефицитной шихты	+	+	+	+
Догорание газов	-	-	+	+
Взаимодействие шлаков с неметаллическими включениями, выделяющимися газами	-	-	+	+

Накопленный материал по освоению ДППТУ НП, ДМПТУ в России и за рубежом, отработка на них новых технологических процессов обширны и не могут быть представлены в рамках одного предлагаемого здесь материала. Основные материалы с публикациями и отзывами, описанием принципа действия, преимуществ, особенностей, многочисленных примеров работы, представлены на сайте российского разработчика этих печей www.stf-ecta.ru (ООО «НТФ «ЭКТА»).

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

На ОАО «Курганмашзавод» в электродуговых печах выплавляются серые и высокопрочные чугуны различных марок от СЧ15 до СЧ30 включительно и ВЧ40-ВЧ70.

С внедрением в производство дуговой печи, работающей на постоянном токе, значительно облегчился и ускорился процесс десульфурации за счет 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-5АГ выплавляли из рядовой шихты.

Выплавка синтетического чугуна в печах, работающих на переменном токе, сопряжена со значительными трудностями по науглероживанию расплава. Ввод расчетного количества карбюризатора на подину такой печи требует перегрева металла до 1500-1550°С, так как температура металла на подине ниже, чем у поверхности ванны, а при пониженных температурах – 1400°С без перемешивания расплава графит карбюризатора плохо растворяется в металле. Поэтому приходится 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 ДПТУ-5АГ 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 была определена усваиваемость углерода из графитовой крошки в дуговой печи переменного тока ДС-5МТ, которая составила 50-55%, длительность плавки, при этом, составляет 2 ч 30 мин.

Окончательный химический состав синтетического чугуна, выплавленного в печи постоянного тока, 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. Однако, механические свойства чугуна этой плавки дали следующий результат: $\sigma_B=21,0$ кгс/мм², НВ=229, т.е. соответствует марке СЧ21.

Полученные результаты сравнительных плавки по химическому составу чугуна и его механическим свойствам свидетельствуют в пользу работы без использования в шихте чушковых чугунов, причем, стоимость 1т такой шихты на более чем 4 тыс. руб. дешевле шихты с чушковыми чугунами. [6]

При производстве серого чугуна СЧ-21 на Ярославском ОАО «Автодизель» была использована схема «вагранка-дуговая печь». Причём дуговые печи используются в качестве миксеров. И в этом случае производство чугуна на печи постоянного тока нового поколения становится более эффективным, как по качеству, так и по экономике. Ввод в действие универсальной печи позволил производителям:

- снизить брак литья на 5-10%;
- уменьшить угар металла;
- получать качественный чугун из рядовых 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,
 оксидов углерода на 4,15 т/год,
 оксидов азота на 0,41 т/год,
 диоксидов азота на 0,6т/год.

Для сравнения эффективности работы дуговых печей – миксеров ДМПУ-12 и трёхфазной ДЧМ-10 результаты работы сведены в таблицу 2.

Сравнительные показатели производства чугуна

Таблица 2

Показатели производства чугуна СЧ-21		
Параметры	ДМПУ-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	Mn, Cu, Pb	Mn, Cr, 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 ОАО «Мотордеталь» установка ДППТУ-3 АГ впервые обеспечила промышленную переработку стружки без отходов, с низким угаром, решив серьёзную проблему предприятия с рециклингом чугуна. Агрегат ёмкостью 3 тонны переплавляет чугунную стружку россыпью с наличием большого количества загрязняющих компонентов СОЖ, песка и прочего. Никакое другое оборудование не позволяет без предварительной подготовки стружки провести эффективную плавку. Экономический эффект работы складывается из разницы цены стружки и стоимости шихты для выплавки чугуна. [6,7,8]

Показанные примеры говорят о том, что новые печи ДППТУ и миксеры ДМППТУ, не имеющие аналогов в мире, 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;
- использование меньшего количества раскислителя;
- эффективно проведение плавки с применением высокой доли стали в шихте или выплавки чисто синтетического чугуна;
- ДППТУ НП обеспечивает значительное повышение качества производимых 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 дешёвых шихтовых материалов;
- экологическая чистота металлургических процессов (уровень пылегазовыбросов снижается в разы, шума на 15-20дБА);
- осуществляется магнитогидродинамическое перемешивание расплава,
- сокращается время плавки и увеличивается производительность в 1,5-2 раза;
- действуют управляемые режимы расплавления шихты, нагрева и рафинирования расплава с возможностью вести плавку 50-145% металла от номинальной ёмкости печи, из дешёвого сырья за счёт ведения активных технологических процессов;
- обеспечение низкого угара шихты (1,5%);
- снижение расхода графитированных электродов (1,5 кг/т);
- снижение расхода ферросплавов на 10-30%;
- гарантия низкого расхода электроэнергии (для печи - не выше 550кВтч/т, для миксера- не более 42 кВтч/т при перегреве на 100°С);
- высокий К.П.Д. печей и миксеров -70-85%;
- обеспечение высокой надежности, высокого ресурса электрооборудования взрывобезопасности работы оборудования;
- обеспечение высокого экономического эффекта внедрения и низкого срока окупаемости (0,7-1,2 года);
- улучшение условий работы на плавильных участках.

Можно сделать вывод, что ДППТУ-НП не только позволяют снижать себестоимость производства отливок, но и уверенно смотреть в будущее. Отличная от всех, новая технология плавления металла позволяет говорить о неоспоримых преимуществах перед другими технологиями.

Предлагаемые ниже технологические схемы компоновок плавильных мощностей для различных производств, как по номенклатуре, количеству, так и по габаритам, развесу отливок представляют собой эффективное сочетание уникальных технических решений и известных технологических операций на новом уровне:

- ДППТУ-НП для выплавки качественного чугуна с разливкой всего металла, либо в ковш для заливки одной или нескольких форм, либо в ковши для разливки на механизированной или автоматизированной линии.

- Для перехода на номенклатуру высокопрочного чугуна, увеличения выпуска, улучшения качества чугуна существующие на предприятии вагранки или электрические печи дополняются дугowymi миксерами постоянного тока (ДМПТУ).

- ДППТУ-АГ - печь в агрегатном исполнении включает в себя две механические части, питание которых осуществляется от одного источника электропитания. Плавку металла в механических частях осуществляют попеременно, исключая потери времени работы источника электропитания при сливе металла, заправке и завалке печи шихтой.

- ДППТУ-АГ, оснащенная двумя источниками питания (1.Для плавки, 2.Для рафинирования и доводки), с возможностью перераспределения мощностей источников питания. Схема дополнительно увеличивает производительность выплавляемого металла, по сравнению с предыдущим исполнением;

- установка плавильного комплекса в составе: ДППТУ-НП и ДМПТУ (миксер с большей емкостью печи) с двумя источниками питания, с возможностью перераспределения мощностей.

Данные технологические схемы позволяют с наибольшей экономией реализовать задачи:

- ▶ регулирования состава расплава, его температуры и жидкого состояния в широком диапазоне,
- ▶ накопления металла для разливки на формовочные линии или в крупные формы,
- ▶ доводки сплава, рафинировки от неметаллических включений и газов,
- ▶ применения наиболее дешёвых, рядовых шихтовых материалов,
- ▶ унифицирования шихты, расплавляемой в первичных агрегатах,
- ▶ стабилизации структуры и свойств, снижения уровня брака,
- ▶ накопления с небольшими затратами больших количеств металла,
- ▶ обеспечения высокой производительности,
- ▶ улучшения условий работы на плавильных участках.

Все предложенные технологии с использованием высокоэффективного плавильного оборудования ООО «НТФ «ЭКТА» приводят к расширению технологических возможностей плавильных участков.

В Таблице 3 указаны характеристики выпускаемого оборудования.

Базовые параметры стандартного ряда оборудования

Таблица 3

Типы печей	Номинальная вместимость, т	Мощность источника питания, *(быстрая/медленнаяпечь), МВА
ДППТУ-0,2	0,2	- /0,2
ДППТУ-0,5	0,5	- /0,84

ДПШТУ-1,0	1,0	- /1,0
ДПШТУ-1,5	1,5	2,2/1,0
ДПШТУ-3	3,0	4,3/2,2
ДПШТУ-6	6,0	4,73/4,3
ДПШТУ-12	12,0	10,79/-
ДПШТУ-25	25,0	2x10,79/10,79
ДПШТУ-50	50,0	3x10,79/2x10,79
Миксеры		
ДМПШТУ-0,5	0,5	0,2
ДМПШТУ-1	1	0,2
ДМПШТУ-1,5	1,5	0,84
ДМПШТУ-3	3	0,84
ДМПШТУ-6	6	2,2
ДМПШТУ-9	9	2,2
ДМПШТУ-12	12	4,3
ДМПШТУ-16	16	4,3
ДМПШТУ-20	20	4,3
ДМПШТУ-25	25	10,79
ДМПШТУ-30	30	10,79
ДМПШТУ-50	50	10,79
ДМПШТУ-60	60	10,79

Предлагаемые ООО «НТФ «ЭКТА» оборудование и технологии сертифицированы, защищены патентами и имеют разрешение ГОСГОРТЕХНАДЗОРА на разработку и применение. Более подробные материалы о наших печах и результаты работ широко освещены на нашем сайте .

ООО «НТФ «ЭКТА»:

web: www.stf-ecta.ru

юр. адрес: Москва, ул. Петра Романова, д.7,

тел/факс: (495) 679-48-81, 677-58-57,

e-mail: info@stf-ecta.ru

Список литературы:

1. В.С. Малиновский "Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления" Пат. РФ 2164450.
2. В.С. Малиновский "Подовый электрод электропечи" Пат. РФ № 2112187
3. Малиновский В.С. «Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления. Патент РФ № 2104450.
4. Малиновский В.С. «Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления. Патент РФ № 2048662.
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. Малиновский В.С. "Технико-экономические результаты промышленного освоения дуговых печей постоянного тока нового поколения", *Металлургия машиностроения*, № 6, 2004 г.

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 (ДПТУ-НП)", *Труды IX Съезда Сталеплавателей России*, г. Старый Оскол, 2006 г.