



*The information on new possibilities of organization and production of steel, cast iron, alloys on the basis of aluminium, on new equipment and technologies DPPTU-NP, improving technical and economic indices of enterprises, is given.*

В. С. МАЛИНОВСКИЙ, ООО «ИТФ «ЭКТА», г. Москва

УДК 621.74

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В публикациях ведется сравнение дуговых печей постоянного тока, созданных за рубежом, с ЭДП. Объективно показано, что преимущества незначительны. Но никогда не ведется сравнение печной продукции фирм с ДППТУ-НП (универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения), созданных специалистами ИТФ «ЭКТА», хотя печи давно работают в промышленности и результаты их эксплуатации, по крайней мере в России, известны. ДППТУ-НП нельзя сравнивать с дуговыми печами постоянного тока, в том числе зарубежного производства, поскольку они отличаются от них принципиально по конструкции, способу плавки и возможностям.

Высокие, подтвержденные опытом промышленной эксплуатации показатели ДППТУ-НП достигаются путем создания защищенной патентами системы технических решений, одним из звеньев которой является использование дуги постоянного тока. Простой заменой дуговой системы переменного тока на постоянный можно создавать печные установки минимальной стоимости, но наши показатели в этом случае не реализуются. Поэтому стоимость печных установок, минимизированная путем применения простых решений, не может быть базой для конкуренции и нам не известны печи других фирм, на которых достигнуты показатели наших печей.

Цель настоящей работы – дать информацию специалистам о новых возможностях организации и производства стали, чугуна, сплавов на основе алюминия, их миксирования, новых оборудований и технологиях ДППТУ-НП, резко улучшающих технико-экономические показатели предприятий, провести их сравнение с традиционными оборудованьем и технологиями.

Реконструкция действующих и создание новых литейных производств является актуальной задачей модернизации машиностроения России.

Плавильное оборудование большинства предприятий морально и физически устарело и требует реконструкции и замены. Правильный выбор нового оборудования и технологий может обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции в настоящее время и в будущем, если не ориентироваться только на рекламу широко распространенного оборудования и технологий, в том числе известных фирм, а объективно оценивать их в сравнении с вновь разработанными отечественными предприятиями.

Ошибки в выборе металлургического оборудования машиностроения из-за высокой его стоимости, затрат на сопутствующие работы часто невозможно исправить, что разрушает будущее предприятий, лишает их возможности конкуренции на мировых и внутреннем рынках.

Сертифицированное название выпускаемых печей ДППТУ-НП-0,5-100 отражает их универсальность, поскольку весь перечисленный выше сортament выплавляется на печах без изменений в конструкции; 0,5-100 – вместимость печей в тоннах, на которых нами в промышленности внедрены печи вместимостью 0,5–30 т, и мы готовы поставлять печи вместимостью до 100 т. ДППТУ-НП могут быть поставлены комплектно или выполнены путем реконструкции действующих дуговых печей переменного тока.

В качестве альтернативы существующему плавильному оборудованию специалистами ИТФ «ЭКТА» разработана серия универсальных дуговых печей постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП), на которых освоена плавка стали любых марок: Ст.3, Ст.40, ХМЛ, 5ХНМ, 4Х5МФС, 110Г13Л, Р5М5, Р18, нержавеющей хромоникелевых сталей типа 10Х17Н13М3Т, 06Х20Н14С2; азотсодержащих типа 03Х17Г17ДАМБ; безникелевых нержавеющей сталей; штамповых сталей типа 4Х5Р2ФС; высоко-

хромистых сталей типа 95X18, специальных сталей и сплавов типа 14X20H25B5MБ-П и др.; серых чугунов марок от СЧ15 до СЧ30 с возрастанием марки от П45, Ф55 до П в СЧ30; высокопрочных чугунов ВЧ40 – ВЧ70 и др.; сплавов на основе алюминия типа АЛ-9, АК7ч, АК12-18 и др.; лигатур на основе алюминия типа АlSi 20-60, АlMn и др.; раскислителей типа FeAl20Ti, FeAl30Mn30 и др., сплавов на основе меди; восстановительная плавка никеля, кобальта, марганца и др. Разработаны универсальные миксеры для чугуна, стали, сплавов на основе алюминия, меди.

В основу технологической концепции созданных печей положено условие, при котором должны выполняться все классические операции, т.е. в процессе расплавления и нагрева расплава должны быть подавлены локальные перегревы металла, газообмен печной среды с окружающим пространством, угар материалов плавки. Управляемое перемешивание расплава, температура и химический состав шлака с развитой за счет перемешивания поверхностью взаимодействия шлак–металл обеспечивают гомогенность химического состава и температуру расплава во все периоды плавки, практическое отсутствие попадания в расплав материалов из источников нагрева, возможность ведения восстановительных и окислительных процессов, подавление насыщения металла газами, в частности азотом или водородом, активное ведение дефосфорации и десульфурации при плавке чугуна и стали, удаление из расплава неметаллических включений и растворенных газов, диспергирование остающихся неметаллических включений и другие процессы. Все это обеспечило высокое качество металла, выплаваемого в наших промышленных печах, что будет показано ниже на конкретных примерах.

Для реализации принятой технологической концепции была разработана универсальная дуговая печь постоянного тока нового поколения (ДППТУ-НП).

#### Примеры промышленного освоения ДППТУ-НП

Технико-экономические показатели ДППТУ-НП установлены в результате их промышленного освоения и рассматриваются на конкретных примерах.

#### Производство стали

ДППТУ-6АГ ОАО «Курганмашзавод» [1]. Плавильный агрегат состоит из одного источника электропитания, подключенного к двум плавильным печам вместимостью по 6 т. Агрегат был создан путем перевода двух печей ДС-5МТ на питание постоянным током и эксплуатируется в течение 5 лет.

На предприятии освоен выпуск сложного высококачественного литья из различных марок стали и чугуна на дуговых печах переменного тока. По своим технико-экономическим показателям это производство одно из лучших в России, поэтому полученные преимущества ДППТУ-6АГ являются наиболее объективными.

В ДСП производство чугуна и стали ведется с использованием рядовой дешевой шихты и возврата собственного производства в соответствии с классическими технологиями. Осуществить перевод заставила возможность решить экологические проблемы не путем строительства системы пылегазоочистки, а реконструкцией печей.

Ниже приведены результаты замеров выбросов из ДППТУ-6АГ при плавке стали 110Г13Л.

Выбросы, г/с		ПДВ, г/с
Пыль	0,3301	0,9853
В том числе Мп	0,0266	0,1486

Из приведенных данных следует, что поставленная задача была решена. Одновременно в среднем на 1 ч сократилось время плавки, значительно уменьшился расход электроэнергии. Наилучший результат – 392 кВт·ч/т, при стабильной работе – 450 кВт·ч/т. Средний расход графитированных электродов составил 1,39 кг/т, угар шихты уменьшился с 6,0–6,5 до 0,5–1,0%. Это дает экономию металла 50–60 кг/т, ферромарганца – 11,6 кг/т.

Отмечено значительное повышение механических свойств стали 110Г13Л. В ДСП при твердости металла НВ 255–269 стрела прогиба составляла 2,5–2,8, балл аустенитного зерна – 2–3. В ДППТУ при НВ 266 стрела прогиба – 3,6–4,4, балл аустенитного зерна – 1.

При выплавке стали 30ХМЛ процессы рафинирования протекают стандартно с более высокими скоростями удаления фосфора и серы. Особенно высокая скорость обезуглероживания при рудном кипении, которая составляет 0,1% в течение 3–5 мин. На предприятии освоено литье для запорной аппаратуры нефтегазового комплекса на давление 750 атм с применением дешевого рядового лома.

При выплавке исследовали содержание газов в образцах. Образцы изготавливали из клиновых проб, предварительно раскисленных алюминием в количестве 0,1 мас.%. Содержание газов приведено ниже.

Номер образца	Содержание газов, %	
	азот	водород
1	0,0145	0,00032
2	0,0125	0,00031
3	0,0150	0,00030
4	0,0090	0,00028
5	0,0011	0,00024

Результаты являются стандартными при производстве сталей различных марок. Вместо увеличения стоимости выплавки введением системы пылегазоочистки для ДСП были получены очень

серьезные технико-экономические показатели и улучшение качества, позволившие быстро окупить затраты путем реконструкции с созданием ДППТУ.

ДППТУ-20 ОАО «Тяжпрессмаш» [2] создана путем реконструкции ДСВ-20. Вместимость печи 22–30 т. По условиям электроснабжения мощ-

ность ДППТУ-НП увеличена только с 8,5 до 10,79 МВА, т.е. печь «медленная». На печи установлен водоохлаждаемый свод, используются классические технологии ДСП, в том числе рудный кип.

В результате реконструкции получены сравнительные показатели, приведенные в табл. 1, 2.

Таблица 1. Сравнительные показатели печей ДСВ-20 и модернизированной ДППТУ-20 на Рязанском ОАО «Тяжпрессмаш»

Показатель	ДСВ-20	ДППТУ-20
Пыль, мг/м <sup>3</sup>	27,2	9,9
Шум, дБ (общий уровень)	98	84
Расход электроэнергии на 1 т жидкой стали общий/по расплавлению, кВт•ч	880/535	740/450
Производительность жидкой стали, т/ч	4,54	7,16
Средняя продолжительность по плавкам, ч	4,92	3,0
Средняя продолжительность плавания по плавкам, ч	2,75	2,05
Угар металла общий, %	7–7,5	3,5–5
Расход жидкого, кг/т:		
графитированных электродов	14,0	2,12
FeSi	12,5	11,2
SiMn	13,0	11,8
FeMn	11,5	10,6
FeCr (инстр.ст.)	11,2	9,6
FeV (инстр.ст.)	7	4,7
FeMo (инстр.ст.)	2,1	2,1
извести	48,0	20,7
шамота (для наведения шлака)	12,1	2,7
раскислительной смеси (известь, FeSi 45, кокс)	272, 78, 22	192, 46, 18
Магнетитовый кирпич на кладку	22	12
Количество проб в течение плавки, ед.	4–5	3–4
Количество шлака на плавку, т	1,31	0,46
Годовой выпуск жидкой стали (слитки, фасон), т	12000	20600

Таблица 2. Показатели качества

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

Примечание. Уровень повышения соответствия ГОСТ, %; 0 – до реконструкции.

Однородность химического состава и температура 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 химическому составу снизились на 35%, уровень механических свойств на сталях для отливок и кузнечных слитков – на 5–20%, уровень несоответствия ГОСТ – на 90%, соответствие ультразвукового контроля повысилось в поковках на 15%, экспортных валах – на 45%.

Ниже приведены исследования микро- и макроструктуры материала заготовок валов, проведенных Центральной лабораторией ОАО «Тяжпрессмаш».

Плавка Ст.35, диаметр 300: макроструктура – точечная неоднородность, балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура – перлит+феррит, величина зерна балл 6, ГОСТ 5699-82. Плавка Ст.35, диаметр 380: макроструктура – точечная неоднородность балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура – перлит+феррит, величина зерна балл 7, ГОСТ 5639-82. Плавка Ст.45, диаметр 400: макроструктура – точечная неоднородность, балл 1, ГОСТ 10243-75; микроструктура – перлит+феррит, величина зерна балл 7, ГОСТ 5639-82. Плавка Ст.35, диаметр 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, балл 3–4, ликвационные зоны, рыхлота осевая, неметаллические включения в виде скоплений, микроструктура, балл 4–5.

Стало – точечная неоднородность, балл 1, ликваций нет, рыхлоты нет, неметаллические включения разрозненные, не выше 1,5 балла, стабильная микроструктура, балл 6–7.

По результатам анализа Центральной заводской лаборатории плавок на ДСВ-20 и реконструированной печи ДППТУ-20 получены следующие результаты:

- 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 по механическим испытаниям:  
разброс снизился на 20%;  
сходимость увеличилась на 40%;
- возрос уровень механических свойств на сталях:

25Л:  $\sigma_b$  – на 5%;  $\delta$  – на 7%;  $\alpha_k$  – на 10%;  
35Л:  $\sigma_T$  – на 9%;  $\sigma_b$  – на 10%;  $\delta$  – на 7%;  
 $\alpha_k$  – на 15%;

45Л:  $\sigma_T$  – на 18%;  $\sigma_b$  – на 15%;  $\delta$  – на 11%;  $\psi$  – на 12%;

20ГСЛ:  $\sigma_T$  – на 5%;  $\sigma_b$  – на 12%;

35 ХМЛ:  $\sigma_b$  – на 14%;

Ст 20:  $\sigma_T$  – на 8%;  $\sigma_b$  – на 4%;  $\delta$  – на 6%;  $\psi$  – на 9%;

40ХМА:  $\sigma_T$  – на 9%;  $\sigma_b$  – на 13%;  $\delta$  – на 20%;  $\alpha_k$  – на 20%;

40ХН2МА:  $\sigma_T$  – на 11%;  $\sigma_b$  – на 6%;  $\delta$  – на 8%;  $\psi$  – на 4%;  $\alpha_k$  – 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%.

Годовой экономический эффект от перевода печи составил около 52 млн. руб., по отдельным маркам стали экономия на 1 т жидкой стали составляет 3600 руб., срок окупаемости – 10 мес.

Основные экономически образующие статьи: 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.

Структура экономического эффекта показана на рисунке.

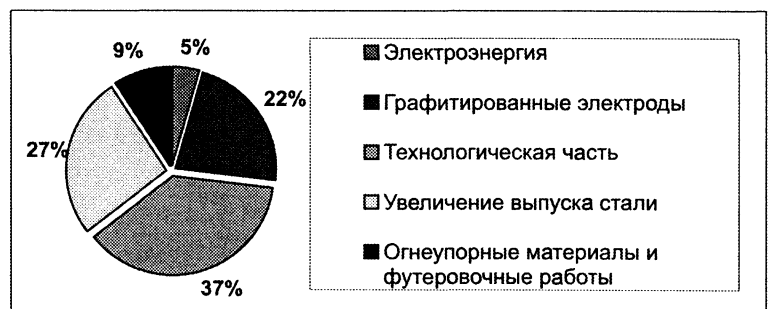
Полученный экономический эффект свидетельствует о том, что экономия

электроэнергии не может быть главной целью реконструкции. Основой технико-экономических показателей являются стоимость сырья и материалов. Установка с целью повышения производительности новых печей также быстро окупается. В расчет не включена экономия затрат на экологию, которая служит одной из весомых составляющих.

ПО «Ижсталь» [3, 4]. Реконструкция ДСП-25 в ДППТ-30. На печи проводили массовое производство инструментальной стали Р6М5. В результате реконструкции уровень пылегазовыбросов снизился в 7–10 раз, уменьшение уровня шума – до санитарных норм, угар графитированных электродов – до 1,5 кг/т расплава, удельный расход электроэнергии при работе на полной мощности – до 12 МВт, на расплавление – до 420–435 кВт·ч со временем расплавления 60–70 мин. Основной экономически образующей статьёй является снижение расхода материалов плавки: легированная шихта – 30–40 кг/т; ферровольфрам – 0,3–0,8; ферромolibден – 0,3; феррохром – 1,5; феррованадий – 4,75 кг/т. Затраты на реконструкцию печи окупались за 7 мес.

ОАО «Электросталь». Реконструкция ДС-5МТ в ДППТУ-6. Печь предназначена для производства высоколегированных сталей и жаропрочных сплавов. Получены обычные для ДППТУ-НП преимущества, на новом техническом уровне проводятся технологии производства высококачественных металлов, проблем с насыщением металла азотом нет. Освоена технология выплавки около 250 марок высоколегированных сталей и сплавов.

ДППТУ-24 (г. Ахмедабад, Индия). Печное оборудование создано для получения безникелевой нержавеющей стали в паре с конвертером. В печи ведется плавка шихты из металлизированных окатышей и брикетов, а также высокоуглеродистого феррохрома. Получение марочной стали осуществляется в конвертере. Задача печи – получать расплав с содержанием углерода до 4,5% для дальнейшей доработки. Печь оснащена водоохлаждаемыми сводом и стеновыми панелями, донным сливом. Печь успешно освоена. Технология плавки отличается от принятых. Шихта в виде окатышей и брикетов загружается в печь в один прием. При



Доля основных показателей формирования экономического эффекта от внедрения ДППТУ-20 (за 10 мес. эксплуатации), руб./т

степени металлизации брикетов восстановленный металл переходит в расплав полностью, выход годного по отношению массы брикетов составляет 93% за счет восстановления невосстановленного оксида железа в шихте. Работа печи характеризуется очень низким уровнем пылегазовыбросов, высоким качеством шлака в конце плавки, низким (610 кВт·ч/т) для данных процессов расходом электроэнергии. Себестоимость 1 т стали оказалась на 25 USD дешевле по сравнению со сталью, получаемой на ЭДП с УПК и конвертером вместимостью 150 т.

Из печи расплав в виде легированного хромом и медью чугуна передается в конвертер с кислородно-аргоновой продувкой, где завершается легирование или прямо на МНЛЗ.

По требованию индийской стороны в технологической цепочке была установлена печь-ковш.

### Производство чугуна

**ОАО «Курганмашзавод»** [1, 5]. Освоена выплавка чугуна в дуговых печах постоянного и переменного тока. Эффективность выплавки значительно выше в ДППТУ-6АГ, чем в печах переменного тока.

На печи освоено производство синтетического чугуна без применения передельного и литейного чугунов. В печи ведется расплавление 5 т металла с расчетным содержанием углерода в металлической шихте 2,2%. Науглероживатель – графитовая крошка электродного боя с содержанием углерода 96%, фракции 3–10 мм, которая загружается на подину после выпуска предыдущей плавки. Усвоение углерода – 75%, время расплавления, нагрева, науглероживания и доводки по элементам – 80 мин, расход электроэнергии при работе в две смены с длительными простоями печи – 630 кВт·ч/т. В шихте передельный литейный чугун заменен стальным ломом 2А по ГОСТ 2787-75. Стоимость такой шихты более чем на 4 тыс. руб. за 1 т ниже стоимости шихты с чушковыми материалами. Остальная шихта – возврат собственного производства.

Окончательный химический состав синтетического чугуна: С – 3,60%, Мп – 0,96, Si – 2,18, S – 0,027, P – 0,086%. По содержанию углерода и кремния чугун соответствует марке СЧ15 согласно ГОСТ 1412-85. Однако механические свойства ( $\sigma_b=11,0$  кг·с/мм<sup>2</sup>, НВ=229) соответствуют марке СЧ20. Высокие свойства обеспечиваются технологическими возможностями ДППТУ-НП.

На предприятии освоено также производство в ДСП и ДППТУ-6АГ серых чугунов марок от СЧ15 до СЧ30 и высокопрочных чугунов ВЧ40–ВЧ70. Содержание перлита в СЧ30 возрастает с увеличением марки от П45, Ф55 до П в СЧ30.

Плавка исходного чугуна для ВЧ осуществляется в печи с основной футеровкой. Активные шлаковые процессы и перемешивание расплава обеспечивают содержание серы не более 0,001%, что позволяет уменьшить расход магниевой лигатуры до 1,0–1,2%. Заметно возрастают механические свойства. Так, чугун с содержанием элементов С – 3,58%; Si – 2,13; Мп – 0,68; S – 0,007; P – 0,06; Cr – 0,17; Ni – 0,05% имеет предел прочности 68 кг·с/мм<sup>2</sup>, а относительное удлинение – 12%.

**ОАО «ГАЗ» ДППТУ-12.** Печь установлена в сталелитейном цехе, не имеющем средств для производства чугуна. После повышения цен на литейный и передельный чугун печь была ориентирована на производство шихтовой заготовки для вагранок из синтетического чугуна. Чугун с содержанием углерода до 3,6% получают путем сплавления брикетированных из стальных листов брикетов и коксика в процессе расплавления шихты и нагрева расплава. Длительность плавки – 80 мин, масса плавки – 12 т, экономический эффект – 3–4 тыс. руб./т.

**ОАО «Костромамотордеталь» ДППТУ-3АГ** [6]. Агрегат состоит из двух печей вместимостью 3 т и работает с завалкой поочередно работающих печей вместимостью 5,5 т. Агрегат переплавляет чугунную с СОЖ стружку россыпью. Выплавку чугуна проводят в печах ИЧТ-10, в которые переливают полученный расплав из ДППТ. Производительность печи 1000 т/мес. Оборудование впервые обеспечило промышленную переработку стружки без отходов, решив серьезную проблему предприятия с рециклингом чугуна.

Наличие большого количества загрязняющих компонентов СОЖ, песка и других в стружке не позволяют определить выход годного взвешиванием. Но он может быть оценен сравнением химического состава расплава с ТУ на металл, из которого была получена стружка. Данные сравнения приведены в табл. 3.

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

Таблица 3. Сравнение химического анализа расплава по основным элементам из стружки с требованиями ТУ

Показатель	C	Si	Mn	S	P
Требования стандартов ТУ, %	3,10–3,30	1,80–2,00	0,30–0,80	□0,05	0,11
Фактические данные, %	3,63±0,8	2,28±0,13	0,4±0,04	0,007	0,11

Экономический эффект работы складывается из разницы цены продажи стружки (~2000 руб./т)

и стоимости шихты для выплавки чугуна (~12000 руб./т).

В настоящее время принимается решение об установке второго источника питания на агрегат с целью замены ИЧТ и переводе производства чугуна в ДППТУ-НП.

#### Плавка сплавов и лигатур на основе алюминия

Плавка в дуговых и плазменных печах алюминиевых сплавов была впервые успешно отработана в 1986–1987 гг. Была поставлена цель – освоить производство качественного литья из вторичных алюминиевых сплавов. Поставленная цель была достигнута и в настоящее время многие процессы, связанные с плавкой качественного литья, переработки отходов алюминиевых сплавов, включая стружку, шлаковых съемов, шихты, выплавки всевозможных лигатур на основе алюминия и раскислителей, успешно освоены в промышленности в ДППТУ-НП, конструкция и принципы работы которых не отличаются от ДППТУ-НП для плавки стали, чугуна и других металлов. Возможности плавки алюминиевых сплавов показал пример промышленной эксплуатации плавильных установок ДППТУ-0,5АГ. Данная установка может быть поставлена в двух вариантах комплектации: первый вариант – одна плавильная емкость, второй вариант – две плавильные емкости. Прототипом печи была плазменная дуговая печь ПСП-06/07, которая была установлена на предприятии КЭМЗ (г. Ковров) и заменила четыре печи ИАТ-0,4 благодаря высокой производительности [7]. Срок службы набивной футеровки 13–14 лет, свод заменяется через 6–8 мес. Сквозной расход электроэнергии на производство литья составлял 2800 кВт·ч/т при применении ИАТ-0,4 и уменьшился до 800 кВт·ч/т после пуска дуговой печи. Сокращение расхода электроэнергии обеспечено резким снижением брака при производстве сложных отливок, значительным сокращением расплава алюминия в цикле производства (время плавки в печи 20 мин, отключение оборудования в нерабочее время), низким (310–340 кВт·ч/т) расходом электроэнергии непосредственно при плавке в печи.

Плавка в ДППТУ-НП обеспечивает высокое качество металла. Так, серийно производится сплав АК7ч, который соответствует химическому составу и превосходит по механическим свойствам ГОСТ 1583-93. В литом термообработанном состоянии на отлитых в металлическую форму образцах предел прочности – не менее 216 МПа, относительное удлинение – не менее 2%, твердость по Бринеллю – не менее 94,9 ВА, при этом содержание кремния колеблется от 6,15 до 7,15%, магния – от 0,25 до 0,4%, железа – от 0,1 до 0,3%, структура отличается повышенной дисперсностью неметаллических включений. Содержание водорода – 0,1–0,2 см<sup>3</sup>/100 г металла, а пористость отливок всегда соответствует 1-му баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93.

Высокое качество алюминиевых сплавов можно показать на примере АЛ9. Сплав подвергался четырехкратному переплаву и на последней плавке расплав выдерживался в течение 40 мин (миксерный режим). В процессе переплавов и выдержек химический состав сплава практически не изменился. Металл содержал 7,1–6,9% Si; 0,43–0,41% Fe. После 40 мин 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 по механическим свойствам и химическому составу и отличался повышенной дисперсностью неметаллических включений. В литом состоянии предел прочности – 160 МПа (16 кг/мм), относительное удлинение – 2%, твердость по Бринеллю НВ – 50. Содержание водорода – 0,2–0,4 см<sup>3</sup>/100 г металла.

ДППТУ-НП является единственным агрегатом, в котором в процессе расплавления идет интенсивное удаление водорода и неметаллических включений. Быстрое расплавление позволяет при переплаве алюминия получать расплав без насыщения железом. Переплав всегда сопровождается получением пористости, соответствующей 1-му баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93, а содержание водорода, как правило, 0,1–0,2 см<sup>3</sup>/100 г металла, в литом состоянии ряда сплавов может достигать максимум 0,4 см<sup>3</sup>/100 г. Это позволяет при гораздо меньших затратах получать качественное литье при переработке вторичного алюминия. За счет исключения множества технологических операций [5], повышения качества сплавов себестоимость технологического передела снижается в 5 раз в сравнении с переделом в индукционных печах и в 15 раз в сравнении с переделом в газовых печах. Специалистами ОАО «Заволжский моторный завод» были проведены опытные плавки на ДППТ-0,5 «КЭМЗ». Исследованию подвергали сплав, полученный в результате переплава возврата сплава АК9ч от производства отливок на ОАО «ЗМС», где плавка сплавов производится в индукционных канальных печах ИАК, и повторный переплав приводит к резкому снижению качества металла. Металлозавалка в ДППТ-0,5 возврата, из которого не удалялись стальные элементы, составила 427,3 кг. После расплавления и непродолжительной выдержки образовалось 398,3 кг алюминиевого сплава. Потери в шлак, на угар и осадок стальных элементов на подине составили 6,8%. Полученный сплав соответствует АК9ч по ГОСТ 1583-93.

ДППТУ-0,5 для «Aluminium Alloys of Estonia AS». Печь предназначена для производства сплавов алюминия из вторичного алюминия, в том числе стружки, шлака. Вместимость печи доведена до 1 т. Кроме алюминиевых сплавов, велось производство лигатур и раскислителей. Задачу облегчала футеровка подины, выполненная из

магнезита, которая допускает нагрев расплава до 1720 °С. Осуществляется выпуск лигатур AlSi (10–60); AlFe (10–80); AlTi (5–70); AlSr, AlMn и др. Проект фирмы не был завершен.

ДППТУ-0,5 для ОАО «Ступинская металлургическая компания» находится в стадии освоения ряда технологий. Подтверждает высокие показатели процесса производства качественного литья алюминиевых сплавов.

#### **Дуговые миксеры постоянного тока**

ДППТУ-12АГ ОАО «Ярославский моторный завод». Установлен для нагрева и выдержки чугуна, выплавляемого в вагранках. Имеет две механические части, подключенные к одному источнику электропитания мощностью 4,5 МВА. Вместимость механических частей по 12 т, производительность 40 т/ч при нагреве 100 °С. Мощность источника электропитания позволяет расплавить металл в случае его замерзания и обеспечивает параллельную работу двух миксеров. Миксер может быть также применен для выплавки стали, сплавов на основе алюминия и меди.

Концепция НТФ «ЭКТА», согласно которой поставляются две механические части, предполагает возможность ведения поочередно в миксерах технологической обработки расплава — десульфурации, дефосфорации, управления содержанием углерода, легирования, тонкого доведения химического состава, рафинирования с использованием активных шлаковых процессов. Эти возможности позволяют последовательно выполнять задачу производства высококачественного металла из рядовой шихты, после плавки в оборудовании с низкими технологическими возможностями или при переработке лома, предварительно прошедшего сортировку при переливе из ДППТУ-НП меньшей емкости, при организации других технологических цепочек. Миксеры очень просты по конструкции, как и ДСП не имеют проблем с футеровочными материалами и работами, экономичны, работают с возможностью полного слива расплава, безопасны.

Новым методом нагрева могут быть оборудованы раздаточные печи и установки заливки. Они могут повторить технологические возможности установок с индукционным нагревом, но за счет использования дугового нагрева стать более универсальными и безопасными.

НТФ «ЭКТА» готова вести поставку миксеров различной емкости и мощности в соответствии с запросами Заказчиков и сотрудничать с фирмами в направлении создания литейных комплексов.

Из приведенных примеров следует, что оснащение предприятий ДППТУ-НП позволяет не создавать промышленное производство специальных огнеупоров и не покупать их за рубежом; не создавать промышленную переработку лома с выделением из него наиболее качественных, хи-

мически чистых и дорогих, пригодных для выплавки в индукционных печах металлов; не вести термическую или другую обработку металла с целью удаления органики, влаги перед плавкой; не создавать сложную систему внепечной обработки металлов, а вести организацию производства, используя рядовой, дешевый лом, широко распространенные огнеупоры. По отношению к процессам ЭДП+УПК использование ДППТУ-НП ставит производства в выгодные условия выполнения киотских соглашений и требований по охране труда, на высоком техническом уровне позволяет решить проблемы ресурсоэнергосбережения, создать легко перестраиваемое производство с любым графиком работы, согласовать процессы плавки и производства литья в свободном режиме и обеспечить технологическую универсальность, при этом значительно снизить затраты на основные фонды и эксплуатацию.

#### **Перспективные процессы производства стали**

Перспективным направлением применения миксеров является безуглероживание и рафинирование чугуна, заливаемого в миксеры из доменной печи. Для окисления углерода можно использовать рудный концентрат, рудные окатыши, металлизированные окатыши с пониженной степенью металлизации.

Технология реализует возможности плавки с интенсивным МГД перемешиванием расплава, развитой вследствие перемешивания поверхностью шлак–расплав, совершенной формой для восстановления оксидов железа в случае углерода в расплаве; позволяет провести продолжение доменного процесса с полным использованием углерода и вовлечь в процесс дополнительно до 40% рудного концентрата, особенно в виде металлизированных окатышей, с металлизацией не более 60–70%. Независимый нагрев позволяет проводить процесс в заданных интервалах температуры, что при невысоких температурах реакции может окислять примеси чугуна (кремний, марганец и др.) и оставлять их в расплаве при температуре ведения процесса свыше 1600 °С. Процесс можно реализовать в миксерах любой емкости с ограниченной мощностью источников электропитания. Так, на миксер производительностью 100 т/ч технического железа можно установить источник электропитания 25 МВА. Для питания миксера или конвертера синтетическим чугуном, получаемым методом науглероживания стального лома, можно также использовать ДППТ. Этот метод уже внедрен на ОАО «ГАЗ», где в ДППТУ-12 выплавляется синтетический чугун для завалки в вагранки. Проводить выплавку стали при жидкой завалке из миксера можно также в ДППТ малой мощности, оборудованных системой подачи легирующих элементов. Технологическая цепочка ДППТУ-НП для получения

синтетического чугуна или доменная печь—миксер, сориентированная на процесс восстановления железа углеродом чугуна — ДППУ-НП для получения стали базируется на уже действующих в промышленности печах. Новый технологический процесс может иметь производительность не ниже производительности действующего в металлургии оборудования, но с гораздо более высокими экономическими показателями и в сотни раз сниженными выбросами в атмосферу.

Как вариант ДППТУ-НП можно использовать для переработки стального лома в синтетический чугун для питания конвертера. Это в значительной мере увеличит экономику процесса за счет полной или частичной замены передельного чугуна на синтетический. Процесс производительностью 100 т./г реализован «НТФ «ЭКТА» на Mardia Still, Индия. В качестве шихты для производства безникелевой нержавеющей стали в нем использованы металлизированные окатыши и брикеты, стальной лом, карбюризатор, ферросплавы.

#### Выводы

Из накопленного опыта освоения ДППТУ-НП следует:

1. Печи прочно занимают позиции в литейном производстве России.

2. Техничко-экономические показатели печей в основном определяются не расходом электроэнергии и не возможностью ведения скоростных плавов, а экономией материальных ресурсов, получением качественного металла из дешевой рядовой шихты, сокращением стоимости основных фондов за счет отказа от дополнительных, особенно химических видов энергии и дополнительного оборудования, применения освоенных в России огнеупоров, сокращения количества операций при достижении высокого качества металла, отказа от множества вредных веществ, оснащения промышленности оборудованием, которое резко уменьшает вредные выбросы, а не увеличивает их, вынуждая предприятия затрачивать большие расходы на охрану окружающей среды. Преимущества ДППТУ-НП в реализации этих показателей очевидны.

3. Технологии и оборудование ДППТУ-НП основаны не на искусстве, а на наиболее полном использовании теоретических основ металлургии, накопленного опыта производства и эксплуатации других типов печей, результатов технического прогресса в области электротехники, других областей науки и техники.

4. Высокие показатели оборудования достигаются не переводом печей на нагрев дугой постоянного тока, а путем концепции создания взаимосвязанного комплекса и с его применением технических решений, разработанных и запатентованных нами при создании оборудования ДППТУ-НП. Поэтому стремление снизить стоимость печей за счет использования известных более простых решений делают бессмысленным перевод печей на постоянный ток.

Более подробную информацию о дуговых печах постоянного тока для плавки стали, чугуна, сплавов на основе алюминия и меди Вы можете получить у специалистов НТФ «ЭКТА» по адресу: г. Москва, ул. П.Романова, д.7, оф. 410, 505, тел: (495) 679-48-81, 679-48-43 или по Интернету [www.stf-ecta.ru](http://www.stf-ecta.ru).

#### Литература

1. Афонаскин А.В., Андреев И.Д., Малиновский В.С. и др. Результаты первого этапа освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения на ОАО «Курганмашзавод» // Литейное производство. 2000. № 11.
2. Володин А.М., Богдановский А.С., Малиновский В.С. Результаты работы печи постоянного тока ДППТУ-20 на АОТ «Тяжпрессмаш» // Литейное производство. 2004. № 11.
3. Малиновский В.С. Дуговая печь постоянного тока. Пат. РФ 1464639.
4. Закомаркин М.К., Липовецкий М.М., Малиновский В.С. Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ПО «Ижсталь» // Сталь. 1991. № 4.
5. Афонаскин А.В., Андреев И.Д. Дуговые печи постоянного тока. Рязань, 2004.
6. Овсов Н.С., Малиновский В.С., Ярных Л.В. Первый этап освоения агрегата дуговых печей постоянного тока нового поколения для плавки чугуна стружки.
7. Малиновский В.С., Брежнев Л.В., Гаевский С.А., Крюков А.С. Опыт промышленной эксплуатации ДППТ для плавки алюминиевых сплавов в ДППТ // Литейное производство. 2001. № 5.