

ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**В.С. Малиновский (ООО "НТФ "ЭКТА", г. Москва),
Л.В. Брежнев(ОАО "КЭМЗ", г. Ковров),
С.А. Гаевский(ОАО "КЭМЗ", г. Ковров),
В.С. Крюков (ОАО "КЭМЗ", г. Ковров)**

В настоящее время НТФ "ЭКТА" разработала ряд дуговых печей постоянного тока нового поколения, в т.ч. для плавки сплавов на основе алюминия, по основным параметрам значительно превышающих уровень лучших плавильных печей других типов.

Первая в мире промышленная плавка алюминиевых сплавов в дуговой печи постоянного тока была проведена в литейном цехе ОАО "Ковровский электромеханический завод" в конце мая 1987 года на плазменно-дуговой печи постоянного тока ПСП-0,6/0,7 И1, которая была переработана для плавки алюминиевых сплавов и впоследствии, после реконструкции получила название ДППТ-0,5. Перед разработчиками печи ставилась задача по обеспечению литейного производства высококачественным металлом, полностью удовлетворяющим весь выпуск отливок алюминиевых сплавов высокого качества системы AL-Si при меньших затратах на его выплавку, чем в индукционных печах ИАТ – 0,4.

С внедрением двух печей в 1988 году преимущества ДППТ-0,5 стали очевидными, и они заменили четыре индукционные печи ИАТ-0,4 ранее работающие в цехе. Опыт эксплуатации показал, что производительность ДППТ-0,5 в 3-4 раза выше, чем ИАТ-0,4, а свойства алюминиевого сплава системы AL-Si, на примере АК7ч, полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 1583-93.

По сравнению с индукционными печами, значительно сократились затраты на ремонт футеровки и обслуживание печи. Печь обслуживает цеховые дежурные службы, в состав которых входят электронщик, электрик, слесарь – ремонтник и футеровщик.

Срок службы набивной футеровки на основе жаропрочного бетона на первой печи 14 лет, на второй – 13 лет, при незначительном ремонте стен сливного желоба, завалочного окна. Свод, футеруемый жаропрочным бетоном, обычно заменяется через 6-8 месяцев. Масса шихты обычно не превышает 0,5 тонны. Завалка шихты производится с помощью саморазгружающейся тары (корзины), а подшихтовка выполняется чушками через завалочное окно.

Обе печи обычно работают в три смены, в часы утреннего и вечернего максимума нагрузки энергосистемы печи запрещено включать. Лучшее время для плавки – вечерняя или ночная смены, на время которых распространяется льготный тариф, который в 4 раза дешевле дневного. Контроль и управление потреблением электроэнергии осуществляется через заводскую диспетчерскую энергетическую службу. При производстве серийного сплава на каждую печь устанавливается максимальная 30 минутная мощность не более 200 кВА и с помощью компьютера отслеживается суточное потребление электроэнергии в экономичном режиме.

В настоящее время в печи выплавляется алюминиевый сплав АК7ч, используемый в основном для изготовления отливок литьем с кристаллизацией под давлением (жидкой штамповкой). Сплав приготавливается из первичных металлов: силумина марки АК12Пч (Сил.0) ГОСТ 1583-93 и алюминия А8 ГОСТ 11070-74, также используется возврат собственного производства. Угар и безвозвратные потери в полном цикле производства отливок составляют ~ 6 %.

В печах ДППТ-0,5 получают сплав АК7ч высокого качества, который соответствует химическому составу, и превосходит по механическим свойствам требования ГОСТа 1583-93. В литом термообработанном состоянии, на отдельно отлитых образцах в металлическую форму, предел прочности составляет не менее 216 МПа, относительное удлинение не менее 2 %, твердость по Бринелю не менее 60 НВ. На образцах, вырезанных из тела отливки, получают предел прочности не менее 317 МПа, относительное удлинение не менее 9 %, а твердость по Бринелю не менее 94,9 НВ. При этом содержание кремния (Si) колеблется от 6,15 до 7,15 %, магния (Mg) от 0,25 до 0,4 %, железа (Fe) от 0,1 до 0,3 % (Таблица 1).

**Показатели химического состава и механических свойств отливок из сплава АК7ч,
выплавляемого в печи ДППТ-0,5 и модифицированного в раздаточной печи САТ-250**

Таблица 1

№ плавки	Химический состав, % масс						Механические свойства		
	Si	Mn	Cu	Fe	Zn	Mg	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение	Твердость, НВ
2273	6,75	0,5	0,2	0,12	0,3	0,37	283	2	101
2275	6,7	0,5	0,2	0,1	0,3	0,37	243	2	94,9
2277	7,12	0,5	0,2	0,1	0,3	0,4	243	2	94,9
2279	6,15	0,5	0,2	0,1	0,3	0,36	243	2	94,9
2281	6,6	0,5	0,2	0,12	0,3	0,33	243	2	94,9
2283	6,6	0,5	0,2	0,1	0,3	0,34	243	2	94,9
2285	6,6	0,5	0,2	0,1	0,3	0,36	216	2	94,9
2287	6,5	0,5	0,2	0,13	0,3	0,31	216	2	94,9
2289	6,4	0,5	0,2	0,12	0,3	0,33	216	2	94,9
2291	6,5	0,5	0,2	0,1	0,3	0,32	216	2	94,9
2293*	6,3	0,5	0,2	0,15	0,3	0,3	317	9	94,9
2295*	6,45	0,5	0,2	0,2	0,3	0,26	317	9	94,9
2297*	6,63	0,5	0,2	0,15	0,3	0,27	317	9	94,9
2299	6,38	0,5	0,2	0,11	0,3	0,4	230	2	101
2301	6,5	0,5	0,2	0,19	0,3	0,39	230	2	101
2303	6,5	0,5	0,2	0,16	0,3	0,32	230	2	101
2305	6,2	0,5	0,2	0,14	0,3	0,35	244	2	107
2307	6,34	0,5	0,2	0,1	0,3	0,35	244	2	107
2309	6,18	0,5	0,2	0,16	0,3	0,31	240	2	107
2311	6,37	0,5	0,2	0,12	0,3	0,31	247	2	101
2313	6,84	0,5	0,2	0,28	0,3	0,36	247	2	101
2315	6,84	0,5	0,2	0,12	0,3	0,31	247	2	101
2317	6,95	0,5	0,2	0,13	0,3	0,34	247	2	101

*Свойства образцов вырезанных из тела отливки. Остальные образцы отдельно отлиты в металлическую форму.

Структура характерна для доэвтектического сплава системы Al-Si, которая формируется из α – твердого раствора, эвтектики, включений кремния, а также интерметаллических фаз и отличается повышенной дисперсностью неметаллических включений. Содержание водорода (H_2) 0,1-0,2 см³/100 г металла, а пористость отливок получаемых ЛКД из сплава АК7ч всегда соответствует 1 баллу шкалы пористости по ГОСТ 1589-93.

С целью повышения качества отливок при ЛПД и ЛКД расплав при разливке в раздаточной печи фильтруют через стеклоткань ССФ-1, затем модифицируют магнием (Mg) и рафинируют универсальным флюсом, затем продувают инертным газом – аргоном (азотом). Температура металла в раздаточной печи поддерживается автоматически в заданном диапазоне ± 10 °С с помощью потенциометра Диск-250 и тиристорной системы управления нагрева печи.

Четырнадцатилетний опыт промышленной эксплуатации ДППТ-0,5 показал, что реализуемая в них технология выплавки силуминов по сравнению с плавкой в печах ИАТ-0,4 и в печах сопротивления САТ-250 позволяет использовать ряд неоспоримых преимуществ.

Во-первых, это экономичность и мобильность процесса. Печь в любой момент времени может быть включена или при необходимости остановлена. Остановка периодом процесса плавки не лимитируется. После включения холодной печи расплав может быть получен при ограниченной максимальной мощности 200 кВт через 1,5 часа и при полной активной мощности источника электропитания 450 кВт через 0,5 часа. Это позволяет при минимальной установленной мощности и оптимальном количестве печей получать необходимое количество жидкого металла в любое время суток, сократить количество расплавленного металла в цехе, уменьшить его угар в процессе миксирования. Отсутствие "болота" позволяет легко переходить на выплавку различных марок сплавов без создания запаса жидкого металла в миксерах.

Во-вторых, это малая трудоемкость и высокая производительность производства. Разовая завалка шихты и короткое время расплавления освобождают плавильщика от частых подзавалок и длительного наблюдения за режимом работы печи. Один плавильщик ведет одновременную плавку на двух ДППТ-0,5 и обрабатывает металл в десяти раздаточных печах.

В-третьих, дуговой нагрев является единственным из известных методов плавки, при котором газы и неметаллические включения удаляются в процессе расплавления алюминиевого сплава. Высокая скорость плавления, разовая завалка шихты, полный слив металла предотвращают попадание в расплав неметаллических включений из шихты, а организованное перемешивание расплава и специальные режимы дуги диспергируют неметаллические включения в расплаве и способствуют их удалению.

В-четвертых, возможна эффективная переплавка мелкой шихты, стружки, лома алюминиевых сплавов, содержащих трудно извлекаемые детали из сплавов на основе железа, переплавка отходов с отгонкой цинка. При переплаве смешенного лома, детали из сплавов на основе железа оседают на дно ванны, не успевают ассимилироваться расплавом и выгребаются из печи после слива.

В-пятых, печь обладает высокой надежностью и имеет ряд преимуществ в части техники безопасности и улучшения экологической обстановки в литейно-заливочном участке цеха. Низкий уровень пылегазовыбросов, отсутствие необходимости использования флюсов, закрытое плавильное пространство, возможность подачи инертного газа в зону горения дуги, позволяют использовать простые устройства вентиляции и газоочистки. Разовая механизированная завалка шихты облегчает эксплуатацию, улучшает условие труда плавильщика и увеличивает производительность.

Опыт эксплуатации печей ДППТ-0,5 на ОАО "КЭМЗ" показал высокую эффективность дугового нагрева для выплавки высококачественного алюминиевого сплава Al-7 % Si при высокой производительности процесса и минимальных издержках на его производство.

Кроме производства серийного сплава на ДППТ проводились экспериментальные работы.

При проведении исследовательских работ и промышленном освоении ДППТ для плавки алюминия и его сплавов особое внимание было обращено на проверку качества металла без дополнительной рафинирующей обработки. Это связано с тем, что, по мнению широкого круга специалистов, применение дугового нагрева может привести к локальному перегреву, повышенному угару компонентов сплавов, повышенному содержанию включений и отрицательным изменениям механических свойств. Это действительно правильно, если не использовать специальные технологии и режимы плавки, созданные для ДППТ нового поколения.

Проведенная работа подтвердила их высокую эффективность. При выплавке литейных алюминиевых сплавов систем AL-Si, AL-Si-Cu в ДППТ свойства полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 2685-75.

Оценка качества выплавляемых в ДППТ алюминиевых сплавов производилась на примере сплава АЛ9 по химическому составу, механическим свойствам, содержанию водорода и структуре. Результаты приведены в таблице 2.

Результаты экспериментальных плавок

Таблица 2

Режим работы	Состав шихты	Химический состав			Механические свойства			Содержание водорода, см ³ /100
		Si	Mg	Fe	МПА	δ, %	НВ	
Плавка	100 % чушек	6,2-7,0	0,20-0,32	0,28-0,34	172,0	4,1	60,5	0,29
Плавка	50 % возврат	6,4-7,3	0,22-0,31	0,35-0,40	174,9	4,8	61,0	0,3
Плавка	100 % возврат	6,7-7,1	0,32-0,34	0,36-0,39	175,5	3,4	67,0	0,39
Плавка	100 % чушек	7,1	0,25	0,43	173,0	2,8	63,4	0,29
	Переплав 1	6,9	0,25	0,42	171,1	2,6	63,3	0,29
	Переплав 2	7,0	0,27	0,43	166,0	4,0	56,8	0,20
	Переплав 3	6,7	0,21	0,42	173,8	3,2	57,5	0,15
	Переплав 4	7,1	0,25	0,41	175,0	2,5	62,0	0,29
Миксер	через 40 минут	6,9	0,23	0,32	173,9	4,6	60,0	0,30

При проведении плавки никакие дополнительные меры повышения качества металла не применялись.

Полученные результаты свидетельствуют о соответствии сплава АЛ9 во всех случаях требованиям ГОСТ 2685-75 и по механическим свойствам, и по химическому составу.

В литом состоянии предел прочности 160 Мпа (16 кг/мм), относительное удлинение 2 %, твердость по Бринелю НВ 50, содержание элементов кремния и магния 6,0-8,0 % и 0,2 – 0,4 % соответственно.

Структура типична для сплава системы AL-Si, которая формируется из твердого раствора, эвтектики, включений кремния, а также интерметаллических фаз и отличается повышенной дисперсностью неметаллических включений. Содержание водорода составляет 0,2-0,4 см³/100 металла.

Отработка технологии плавки велась для различных вариантов состава шихты: свежих чушковых материалов (100 %), свежих чушковых материалов (50 %) и возврата литейного производства предприятия (50 %), возврата литейного производства предприятия (100 %).

Кроме того, исследовалось влияние многократного (до 4-х крат) переплава АЛ9 в ДППТ и длительностью до 40 минут миксирования при периодическом подогреве расплава, для обеспечения заданной температуры.

Из приведенных выше данных следует, что во всех рассматриваемых случаях при плавке в ДППТ обеспечивается необходимый уровень свойств сплава.

Получение подобных результатов при использовании любых других известных нам типов печей невозможно.

Специалистами ОАО "Заволжский моторный завод" были проведены опытные плавки на ДППТ-0,5 ОАО "КЭМЗ".

Исследованию подвергся алюминиевый сплав, полученный в результате переплава возврата сплава АК9ч от производства отливок на ОАО "ЗМЗ" в дуговой печи постоянного тока емкостью 0,5 т в литейном производстве ОАО "КЭМЗ". На ОАО "ЗМЗ" плавка алюминиевых сплавов проводится в индукционных канальных печах ИАК и повторный переплав отходов приводит к резкому снижению качества металла.

Металлозавалка в ДППТ-0,5 из возврата, в котором не удалялись стальные элементы, составила 427,3 кг. После расплавления и непродолжительной выдержки образовалось 398,29 кг алюминиевого сплава. Потери в шлак, на угар и осадок стальных элементов на подине составили 6,8 %.

Последующему анализу подвергался сплав, отобранный из верхней части ванны ДППТ и нижней части (у подины печи). Переплав верхней и нижней проб сплава в условиях ОАО "ЗМЗ" показал потери в шлак и на угар от верхней пробы 1,85 и 1,2 % и от нижней пробы – 2,32 и 5,42 % соответственно при продолжительности плавки и выдержки около 3 часов. Химический анализ (массовая доля в % по компонентам) имел следующие данные:

	Si	Mg	Cu	Ni	Fe	Mn	Pb	Zn	Ni	Ca
Проба верхняя	8,7	0,2	0,22	0,08	0,68	0,32	0,03	0,01	0,05	0,010
Проба нижняя	8,7	0,2	0,22	0,08	0,78	0,32	0,03	0,01	0,04	0,015

Полученный сплав соответствует марке сплава АК9ч по ГОСТ 1583-93.

Механические и технологические свойства сплава отобранных проб составили:

Свойства сплава	ГОСТ	Верхняя проба	Нижняя проба
1. Относительное удлинение, %	2,0	4,1	2,7
2. Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	15,0	18,5	18,35
3. Твердость, НВ	50	68	72
4. Содержание водорода, см ³ /100 г		0,1433	0,1319
5. Газовая пористость, балл		отсутствует	1
6. Жидкотекучесть, мм		802	775
7. Характер излома	Грубая немодифицированная структура		
8. Содержание окислов, % Al ₂ O ₃	0,31	0,4	

В результате исследований было установлено, что сплав, полученный переплавом возврата ОАО "ЗМЗ" в дуговой печи постоянного тока на ОАО "КЭМЗ", соответствовал требованиям ГОСТ 1583-93 сплаву АК9ч по химсоставу и по механическим свойствам.

К настоящему времени печи, и процесс плавки в них в значительной мере усовершенствованы. НТФ "ЭКТА" поставляет сертифицированный ряд универсальных печей ДППТУ для плавки стали, чугуна, сплавов на основе алюминия и меди. Параметры указанных печей при плавке алюминиевых сплавов приведены в таблице 3.

Предлагаемый ряд печей оснащен системами управляемого перемешивания расплава, подавления пылегазовыбросов из печного пространства, предотвращения локальных перегревов расплава, стабилизации электрического режима, автоматического управления процессом плавки и защиты основных узлов печи и источника электропитания.

Технические характеристики ДППТУ при плавке алюминиевых сплавов см. в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Наименование параметров электропечи	Типы ДППТУ				
		ДППТУ-0,5	ДППТУ-1,5	ДППТУ-3	ДППТУ-6	ДППТУ-12
1	Номинальная емкость, т	0,5	1,5	3,0	5,0	10,0
2	Номинальная мощность, МВА	0,75	1,6	2,7	4,5	10,79
3	Удельный расход электроэнергии на расплавление шихты кВтч/т	410	390-400	380-390	380	360
4	Продолжительность расплавления под током, мин	15-17	15-17	15-17	15-17	15-17
5	Удельный расход графитированных электродов кг/т	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
6	Расход охлаждающей воды м ³ /ч	10	10	20	20	30
7	Параметры питающей сети - напряжение, кВ - число фаз	0,38 ,6, 10 3	6, 10 3	6, 10 3	6, 10 3	6, 10 3
8	Угар шихты (качественной), %	2	1,5	1,5	1,5	1,5
9	Футеровочные материалы по выбору технологов * - свод водоохлаждаемый				*	*

Предлагаемый ряд печей в дополнении к перечисленным выше имеет принципиальные преимущества перед широко применяемыми индукционными печами. ДППТУ взрывобезопасны, позволяют нагревать и выдерживать расплав в интервале температур 650-1700 °С, переводить в расплав и разделять шлако-металлические съемы, использовать рядовые огнеупорные материалы, обеспечивают высокую температуру отходящих печных газов и сгорание органических соединений на выходе из печи, препятствующую образованию дыма.

Это позволило разработать новые технологии производства высокотемпературных лигатур, перерабатывать любую шихту из вторичных металлов, переплавлять съемы с индукционных, газовых и печей сопротивления, отказаться от предварительной подготовки лома, в полной мере выполнять требования экологов и обеспечить промышленную безопасность производства.

ДППТУ являются принципиально новым оборудованием для плавки алюминиевых сплавов, конструкции печных установок и энерготехнологические процессы защищены патентами РФ. По экономическим показателям ДППТ можно отнести к разряду сверхрентабельных. На многих предприятиях замена индукционных и газовых печей на ДППТ нового поколения может окупиться за 3-4 месяца. При производстве вторичного алюминия, продукция которого имеет, как правило, низкое качество, переплав в ДППТ

позволяет получать алюминиевые сплавы по свойствам приближенные к отливкам из первичного алюминия.

Полную информацию о ДППТНП и ООО "НТФ "ЭКТА" можно получить по адресу:
109193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, тел./ф.: (095) 279-48-43, 279-48-81,
e-mail: stf_ekta @ mailru.com,
www. ecta. ru.