

# ПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (ДППТУ-НП)

Малиновский В.С., к.т.н. (НТФ «ЭКТА»),  
Мешков М.А., к.т.н. (НТФ «ЭКТА»)

Алюминий и его сплавы по объемам производства и потребления занимают второе место после стали. Потребление алюминия имеет тенденцию постоянного роста, поэтому его производство развивается опережающими темпами. Широкое использование алюминиевых сплавов в различных отраслях народного хозяйства связано с тем, что важнейшим их преимуществом является высокая технологичность. Данное обстоятельство при использовании алюминиевых сплавов позволяет применять наиболее производительное оборудование и новейшие технологии, обеспечивающие качественное изготовление деталей. Расчеты показывают, что несмотря на высокую стоимость алюминия и новейшего используемого оборудования, затраты на изготовление продукции из алюминиевых сплавов, полностью окупаются и дают значительный эффект, в первую очередь при организации крупносерийного производства.

Примером новой технологии, обеспечивающей качественное изготовление деталей из алюминиевых сплавов, явилось использование дуговых печей постоянного тока нового поколения (ДППТНП), разработанных специалистами научно-технической фирмы «ЭКТА» [1]. Впервые в мире данное новейшее плавильное оборудование используется как для плавки чугуна, стали, алюминиевых, так и различных других сплавов. Развитие новой плавильной техники и технологии плавки алюминиевых сплавов способствует как ускорению научно-технического прогресса в целом, так и повышению эффективности отдельных производств, за счет роста производительности труда, улучшения качества выпускаемой продукции.

Наиболее важными проблемами выплавки алюминиевых сплавов с позиций ресурсосбережения на современном этапе являются:

- сокращение безвозвратных потерь металла;
- экономия энергетических затрат;
- повышение производительности труда;
- сокращение до минимума вредных выбросов в атмосферу, что исключает необходимость строительства дорогостоящих систем пылегазоочистки.

В настоящее время наиболее широкое распространение для плавки алюминиевых сплавов получили пламенные отражательные и индукционные печи.

К недостаткам пламенных отражательных печей можно отнести:

большие капитальные затраты при их строительстве, включая строительство газопровода или мазутохранилища, подъездных путей, систем пылегазоочистки;

значительное выделение тепла и продуктов сгорания в систему эвакуации печных газов и в атмосферу;

возможные выбросы металла при загрузке в печь влажной шихты;

низкая стойкость подина из-за значительных ударных нагрузок при завалке шихты, резких теплосмен;

значительные безвозвратные потери металла от 2 % и более;

высокая насыщенность расплавов газами и неметаллическими включениями.

Отражательные электрические печи, по сравнению с пламенными, имеют более ограниченное применение, так как они не отвечают современным требованиям, как по производительности, так и по уровню механизации, высоким затратам электроэнергии. В настоящее время в основном печи сопротивления используются в качестве миксеров.

Индукционные тигельные печи промышленной частоты, несмотря на их значительно широкое использование, имеют целый ряд существенных недостатков:

значительный расход электроэнергии;

низкая стойкость футеровки;

взрывоопасность печей, возникающая при неисправности системы водоохлаждения индуктора;

низкое качество выплавляемых алюминиевых сплавов с повышенным содержанием газа и неметаллических включений.

Индукционные каналные печи являются одними из наиболее совершенных плавильных агрегатов, но и они имеют недостатки:

быстрое зарастание каналов;

необходимость их периодической чистки;

довольно частые футеровки и перефутеровки;

вынужденное ограничение мощности с целью уменьшения зарастания каналов;

образование довольно частого пинч-эффекта – разрывов металла в каналах.

Отмеченные недостатки каналных печей создают часто экономически невыгодные условия их использования. Таким образом, на основании краткого рассмотрения и анализа наиболее широко используемых плавильных печей для плавки алюминиевых сплавов по сравнению с плавкой в дуговых печах постоянного тока нового поколения, можно сделать следующие выводы.

Плавка алюминиевых сплавов дугой постоянного тока с высокой концентрацией вводимой в печь энергии представляет собой принципиально новое направление, обеспечивающее решение практически всех проблем, существующих при использовании известных типов печей. Так, например, использование ДППТНП для плавки алюминиевых сплавов позволило решить одну из важнейших мировых задач, связанную с экономией первичного алюминия, во-первых, за счет сокращения угара металла в 2,5-3 раза по сравнению с другими наиболее широко используемыми печами, во-вторых, за счет возможности использования ДППТНП для выплавки сплавов из вторичного сырья, не уступающим по качеству сплавам, приготавливаемым из первичных металлов.

Следующим важнейшим преимуществом ДППТНП по сравнению с другими типами электрических печей является более низкий расход электроэнергии. Так, по сравнению с индукционными печами, расход электроэнергии ниже на 20 %, соответственно с электропечами сопротивления – расход электроэнергии еще ниже [2]. В среднем расход электроэнергии в ДППТНП составляет 340 кВт·ч/т.

Важной отличительной особенностью ДППТНП от других типов печей является их высокая мобильность. Печь может быть в любой момент включена и при необходимости остановлена, причем ее остановка периодом процесса плавки не лимитируется. После включения холодной печи расплав в зависимости от емкости печи может быть получен за 15-25 мин. Данные показатели позволяют сделать вывод о том, что производительность ДППТНП по сравнению с другими печами выше в 2,5-3 раза и более. Кроме того, высокая мобильность данных печей позволяет отказаться от дополнительных рабочих смен, сократить количество расплавленного в цехе металла, содержащегося в печах-миксерах для устранения возможных простоев литейного оборудования в связи с нехваткой металла, что позволяет значительно уменьшить потери металла за счет угара и уменьшить расход электроэнергии за счет миксирования расплава.

Приготавливаемые в ДППТНП расплавы отличаются низким содержанием газа и неметаллических включений, так как исследованиями установлено, что плавка в данной печи является одновременно дегазирующей и рафинирующей операцией, удаляющей водород и неметаллические включения [3]. Выплавляемые в ДППТНП сплавы также имеют однородный химический состав за счет магнитогидродинамического (МГД) перемешивания расплава в процессе плавки. Также установлено, что за счет расплавления алюминиевых сплавов дугой постоянного тока происходит восстановление сплава с ликвидацией его некачественной наследственности, при этом структура сплава приобретает мелкозернистую структуру, что способствует повышению его механических свойств. Исследования механических свойств сплавов, выплавляемых в ДППТНП, показали, что их механические свойства в зависимости от типов сплавов на основе алюминия повышаются в среднем по сравнению с ГОСТ 1583-93 примерно в 1,5 раза [4]. При выплавке сплавов из вторсырья механические свойства выплавляемых алюминиевых сплавов соответствуют ГОСТ 1583-93. В связи с высокими качественными показателями сплавов, получаемых из вторичных алюминиевых отходов

производств, дуговые печи постоянного тока нового поколения приобретают особенно важное значение с целью экономии первичных металлов. Очень важной особенностью приготовления алюминиевых сплавов в ДППТНП из вторичного сырья является и то, что к отходам не предъявляется особых требований к их чистоте, и это значительно упрощает приготовление сплавов из вторсырья по сравнению с другими типами печей, в особенности с индукционными, в которых сильно загрязненные возвраты вообще использовать невозможно.

В дополнение к изложенному можно отметить еще одно важное преимущество при приготовлении в ДППТНП сплавов из вторичных отходов. Если в алюминиевых деталях, предназначенных для переплава, имеются заливные детали из стали, чугуна, то их удаление, как это обычно делается при переплавах в других печах, при переплавах в ДППТНП не требуется, т.к. во время короткого времени расплавления алюминия они не успевают оплавиться и после слива алюминиевого сплава удаляются из печи, при этом алюминиевый сплав железом не насыщается. Так, например, для приготовления сплавов системы алюминий-кремний возможно использование, как показала практика, низкосортного кремния из отсева, который не соответствует ГОСТ и имеет более низкую стоимость. В ДППТНП данный кремний может использоваться как для приготовления лигатур, так и в чистом виде для сплавов, в том числе на основе вторичного сырья.

В связи с получением в ДППТНП высококачественных сплавов за счет МГД перемешивания, низкого содержания в расплаве газа и неметаллических включений, мелкозернистой структуры сплава, появляется возможность изготовления сложных с повышенными механическими и другими свойствами, в т.ч. герметичностью. Повышение качества заготовок также позволяет снизить брак после их механической обработки на 25-30 %. Использование ДППТНП на основании выше изложенного обеспечивает снижение трудоемкости на 4-6 н.час/т, а экономия вспомогательных материалов достигает 15-20 %. Так, например, в связи с высоким качеством расплавов, имеющих мелкозернистую структуру, содержащих в соответствии с ГОСТ минимальное количество газов  $\sim 0,15$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует первому баллу пористости, и неметаллических включений не более 0,17 мм<sup>2</sup>/см<sup>2</sup> по технологической пробе Добаткина, отпадает необходимость в дегазации, рафинировании и модифицировании сплавов. При приготовлении сплавов в ДППТНП также отсутствует необходимость в использовании покровно-рафинирующих флюсов. Их использование, как показала практика, не оказывает влияния на качество выплавляемых алюминиевых сплавов, но оказывает отрицательное влияние на возникновение газовыделений.

Дуговые печи постоянного тока нового поколения отличаются от всех других известных печей высокой экологичностью. При их использовании отсутствует необходимость в создании дорогостоящих систем пылегазоочистки. Таким образом, практикой установлено, что использование ДППТНП позволяет существенно улучшить экологические условия, как внутренние цеховые, так и внешние заводские, за счет уменьшения пылегазовыбросов и отсутствия в ряде случаев выполнения операций дегазации и рафинирования с использованием различных солей с содержанием солей хлора, фтора и др. элементов, отрицательно влияющих на экологию окружающей среды.

Выпускаемые в настоящее время ДППТНП, приведенные в табл.1, имеют высокую стойкость футеровки, в некоторых случаях до 10 лет, высоконадежные конструктивные механизмы, печь оснащена автоматизированной системой управления электрическими параметрами, контроля и регулирования режимов плавки.

### Технические характеристики ДППТНП для плавки алюминиевых сплавов

Таблица 1

Наименование параметра	Тип печей ДППТУ-				
	-0,5	-1,5	-3	-6	-12
1. Номинальная емкость, т	0,3-0,6	1,0-1,5	2,0-3,0	3,0-5,0	8,0-10,0
2. Номинальная мощность, МВА	0,75	1,6	2,7	4	11,2
3. Диаметр графитированного электрода, катода, мм	100	150	200	300	350
4. Продолжительность расплавления	15-17	25	25	25	25

под током, мин.					
5. Удельный расход электроэнергии на расплавление твердой завалки, кВт·ч/т	410	390	380	380	370
6. Удельный расход графитированного электрода, < кг/т	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7. Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /час	5	10	15	20	30
8. Параметры питающей сети: напряжение, кВ; частота, Гц; число фаз.	6; 10 50 3				
9. Масса металлоконструкций, т	6,3	12	30	50	90

Практикой установлено, что высокая надежность работы ДППТНП, простота их обслуживания, взрывобезопасность позволяют одному плавильщику обслуживать две печи. Высокие технические показатели использования ДППТНП имеют теоретические обоснования. Так, например, минимальный угар алюминиевых сплавов в пределах 0,5-1,5 % объясняется следующими факторами: отсутствием локальных перегревов под дугой, интенсивного магнитогидродинамического (МГД) перемешивания расплава, высокой теплоемкостью и теплопроводностью алюминия.

На низкое содержание в сплавах газа и неметаллических включений оказывает влияние высокая герметичность рабочей зоны печи, поэтому расплавленный металл в основном взаимодействует только с печной атмосферой, в которой содержатся пары аргона, графита, которые практически не взаимодействуют с жидким металлом, покрытым быстро образующейся защитной окисной пленкой алюминия. При быстром расплавлении верхних слоев алюминия, он стекает в нижележащие более холодные слои и кристаллизуется, при этом из сплава выделяется водород. Интенсивное МГД перемешивание происходит без замешивания окисной пленки, что способствует удалению ее из расплава. Несмотря на присутствие в атмосфере паров углерода наличия в сплавах углерода в виде карбидов отмечено не было. Об этом свидетельствуют высокие отрицательные значения энергии Гиббса ( $\Delta G^\circ$ ) [5]. Так, например, реакция с азотом с образованием нитрида алюминия идет при  $P_{N_2} = 1,68 \cdot 10^{-16}$  МПа, а изменение энергии Гиббса при образовании карбидов ( $\Delta G^\circ_{Al_4C_3} = -36,8$  кДж/моль), то практически они образуются в крайне ограниченных количествах ~0,003 %, что практически не оказывает влияния на свойства алюминиевых сплавов.

Таким образом, анализ минимального загрязнения алюминиевых сплавов, приготавливаемых в ДППТНП, позволяет сделать вывод: на протяжении всего металлургического цикла плавления металла в связи с низкой активностью печной атмосферы за счет ее герметичности, отсутствии водяных паров, наличия нейтрального газа – аргона, химические процессы протекают с минимальным количеством образования новых веществ. Скорость диффузии газов в расплавленный металл минимальна ввиду пассивного состояния поверхности расплава за счет быстрого образования защитной пленки  $Al_2O_3$  толщиной до 0,2 мкм. При переходе  $\gamma Al_2O_3$  в  $\alpha Al_2O_3$  при температуре выше 950 °С окисление сильно замедляется. Таким образом, анализ основных закономерностей плавления алюминиевых сплавов показывает, что многие производственные задачи при использовании ДППТНП могут быть успешно решены.

## Список литературы:

- В.С. Малиновский, Л.В. Ярных «Дуговые печи постоянного тока нового поколения» / *Металлургия машиностроения*, 2001, №1, с.2-13.
- В.С. Малиновский, В.Д. Малиновский, А.В. Афонаскин и др. «Сравнение характеристик дуговых печей постоянного тока нового поколения и индукционных печей» / *Литейщик России*, 2002, №1с. 24-27.
- М.А. Мешков. «Исследование и технология плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока». Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. ЦНИИТН. Москва, 2002, с.148.
- М.А. Мешков. «Исследование процесса плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока» / *Технология легких сплавов*, 2002, №2, с.20-26.
- М.Б. Альтман, Г.С. Макаров. *Основы теории плавления алюминиевых сплавов* // *Технология легких сплавов*, 1983, №6, с.17-29.