

ВЫПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.

**Зыскин В.А. (ОАО "Ступинская металлургическая компания"),
Поздняков С.И. (ОАО "Ступинская металлургическая компания"),
Малиновский В.С., к.т.н. (ООО "НТФ "ЭКТА", г. Москва)**

Законы рынка диктуют необходимость создания новых видов продукции, способной конкурировать не только внутри нашей страны, но и с иностранными фирмами.

Одним из путей решения данной проблемы явилось строительство на ОАО «СМК» нового цеха по производству литых автомобильных колес с использованием самого современного оборудования, которым являются дуговые печи постоянного тока нового поколения разработанные специалистами НТФ "ЭКТА".

В качестве метода литья был выбран метод литья под низким давлением, основными преимуществами которого являются: выход годного – не менее 90 %; повышенная плотность отливок; современный уровень автоматизации процесса.

В конце 2002 года была осуществлена установка первой группы машин и началась опытная отливка автомобильных колес из алюминиевого сплава на основе АК7пч. Номинальная емкость миксера LPT 600 машины литья под низким давлением (МЛНД) составляет 500 кг. Выплавку производили в тигельных электропечах сопротивления САТ-0,25. Производительность этих печей составляла 16 кг/ч при часовом расходе электроэнергии 34 кВт·ч. Для обеспечения производственной программы на ОАО «СМК» использовались четыре печи САТ-0,25.

Достоинства печей сопротивления - получение металла достаточно высокого качества и сравнительно высокий коэффициент полезного действия. Однако эти печи имеют ряд недостатков: низкая производительность; трудность эксплуатации, связанные с частым выходом из строя нагревательных элементов; отсутствие возможности механизировать процессы загрузки и приготовления расплава.

Анализ возможностей современных плавильных агрегатов привел СМК к решению установить универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения (ДППТНП) в агрегатном исполнении (ДППТУ-0,5АГ), разработанных и поставляемых НТФ «ЭКТА», для плавки стали, чугуна и сплавов на основе алюминия, меди, никеля и кобальта.

ДППТУ-0,5АГ представляет две плавильные емкости, подключенные к одному источнику электропитания. Производительность этих печей - 800 кг/ч (в 50 раз выше, чем у САТ) с расходом электроэнергии при работе в одну смену - 512 кВт·ч. Это в 2,8 раза ниже, чем в САТ. Основные технические данные ДППТУ-0,5АГ для плавки алюминиевых сплавов приведены в таблице 1.

Согласно концепции НТФ "ЭКТА", печь оснащена системой магнитогидродинамического перемешивания расплава и в ней реализованы специальные режимы плавления.

На ОАО "СМК" в ДППТУ-0,5АГ освоена выплавка алюминиевого сплава АК7К и алюминиевой лигатуры алюминий-марганец, также планируется плавить лигатуры на основе алюминия, ферросплавы, освоить технологию переплава шлака и стружки.

Основной задачей данной работы является освоение нового метода плавки в ДППТУ-0,5АГ с целью получения высокого качества отливок при минимальных издержках производства.



Проведено сравнение показателей при производстве алюминиевого литья с использованием печей САТ-0,25 и ДППТУ-0,5АГ при выпуске автомобильных колес в МЛНД.

Технические данные электропечи ДППТУ-0,5

Табл. 1

Наименование параметров	Значение			Примечание
	Номинальное	Допустимое	Фактическое, в соответствии с тех. процессом	
1. Номинальная емкость (по алюминию), т	0,5	0,6	0,6	-
2. Установленная мощность электропечи, кВА	840-890		600	-
3. Время расплавления, мин., не более	20		45	*
4. Удельный расход электроэнергии, на расплавление, кВт·ч/т	320	340	640	*
5. Диаметр графитизированного электрода, мм	100	-	100	
6. Расход графитизированного электрода, кг/т, не более	1,2		4	*
7. Угар шихты, %, не более	1,5	-	0,5	*

* - приведены для полного цикла плавки с затратами на расплавление и технологические процессы.

В количественном отношении составы шихты при плавках в САТ-0,25 и в ДППТУ-0,5АГ были близки друг другу (см. табл.2)

Специальных методов удаления водорода и неметаллических включений в процессе плавки и внепечной обработки не применяли, т.к. их удаление обеспечивалось термодиффузией водорода при расплавлении и МГД перемешивании расплава. Содержание водорода в сплаве 0,12 см³/100 г и не превышало 0,23 см³/100 г.

Сравнительный состав шихтовых материалов

Табл. 2

САТ-0,25	ДППТУ-0,5
Силумин марки АК12оч	Силумин марки АК12оч
Алюминий марки А7	Алюминий марки А7
Медь марки М00к	Медь марки М00к
Магний марки Мг90	Магний марки Мг90
Лигатура алюминий-титан-бор	Лигатура алюминий-титан-бор
Отходы из сплавов АД0 и АД1	Отходы из сплавов АД0 и АД1
Технологические отходы из сплава АК7К	Технологические отходы из сплава АК7К
—	Кремний металлический марки Кр0 (плавка № 645, 646)
Флюсы: Degasal ALT 200 "Дегазал", Eutektal Alt 200 "Эвтектал", Mikrosal ALT 100 "Микросал" фирмы Шайфер.	Проводили работу по подбору рафинирующих флюсов

В плавках на электропечах ДППТУ-0,5АГ была применена технология "холодного легирования". Из выплавленного металла отливались автомобильные колеса на МЛНД.

Для выплавки лигатуры алюминий-марганец в ДППТУ-0,5АГ в качестве шихтовых материалов применяли отходы сплава АД1 и марганец марки Мн997. Для рафинирования применяли стандартный рафинирующий флюс. Лигатуру разливали в изложницы высотой 50 мм с помощью разливочного ковша.

Химический состав литых автомобильных колес из сплава АК7К

Табл. 3

Нормативный документ	Массовая доля основных элементов, %				Массовая доля примесей, не более, %		
	Cu	Mg	Si	Ti	Mn	Fe	Zn
ТУ1-801-9002-2004	0,5-0,8	0,25-0,4	6,0-8,0	0,08-0,15	0,3	0,3	0,5
ТКП150-001-2004*	0,3-0,5	0,3-0,4	7,0-8,0	0,10-0,15	0,02	0,3	0,015

- * - внутрицеховой регламент по химическому составу.

Нормативный документ	Массовая доля компонентов, %							
	Mn	Si	Cu	Mg	Fe	Ni	Zn	Ti
Протокол хим. сост.	10,0	0,1	0,024	0,03	0,4	-	0,02	0,01
По тех.указан. 150-004-2004	8-12	0,5	0,2	0,1	0,8	0,1	0,2	0,1

Макроструктуру колес исследовали в поперечном направлении и оценивали на соответствие утвержденным эталонам допустимой и недопустимой макроструктуры литых автомобильных колес сплава АК7К.

Макроструктура колес плавок, выплавленных в электропечах САТ-0,25 и ДППТУ-0,5АГ,- достаточно плотная, однородная с незначительной пористостью и соответствует эталону №3 - допустимой структуре литых автомобильных колес.

На макротемплетах литых колес дефектов в виде шлаковых и других включений, трещин не обнаружено.

Размер зерен на макротемплетах колес находится в пределах от 0,05 (на границах отливок) до 0,2 мм (в центре отливок).

В таблице 5 приведены результаты микроструктурного анализа литых автомобильных колес, отлитых из сплава АК7К выплавленного в печах ДППТУ-0,5 и САТ-0,25 в закаленном состоянии.

Результаты микроанализа лигатуры алюминий-марганец.

Микроструктура лигатуры алюминий-марганец однородная, микропористая с размерами частиц основной фазы Al_6Mn от 30 до 200 мкм.

Механические свойства и микроструктура литых автомобильных колес в закаленном состоянии.

Табл. 5

Тип печи	№ плавки	Зона вырезки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	H_B , МПа	Размер колоний эвтектики, мкм	Размер кремнийсодержащих частиц, мкм	Размер усадочных пор, мкм
ДППТУ-0,5	643	спица	222,1 227,9 220,2	142,3 146,2 144,2	9,7 11 12,7	76,3	167x46	от 2,0 до 6,7	длина пор: 73,7-254,5 ширина пор: 47-147,7
		толстая закраина	230,2 244 229,2	154,5 143,2 148,1	13 11,7 12,7	72,4			
ДППТУ-0,5	645	спица	237,6 228,1 236,8	146,6 149,6 149,6	10 8,3 10	76,3	134x93,8	мелко дисперсные	длина пор: 67,0-113,9 ширина пор: 26,8-73,7
		толстая закраина	232,7 247,4 240	151,6 151,1 144,9	6,7 8,3 10,7	70,6			
САТ-0,25	560	спица	222,2 221,4 233,9	141,1 126,5 142,1	7,7 8,3 8	70,6	—	от 4,2 до 92,4	длина пор: 21-137,3 ширина пор: 7-37,4
		толстая закраина	21,9 220,4 218,7	151,1 134 144,6	7,3 8,3 7,3	70,6			
САТ-0,25	569	спица	230,2 237,3 226,6	140,6 154 148,7	8,3 9,7 6,7	72,4	—	от 2,1 до 71,4	длина пор: 27,3-144,1 ширина пор: 14,7-92,5
		толстая закраина	234,6 228,4 237,2	147,1 137,1 140,6	10 9 9	72,4			

Механические свойства литых колес опытных плавок определяли при комнатной температуре в состоянии поставки после термической обработки Т4 ($T_{зак.} = 535^{\pm 5} \text{ } ^\circ\text{C}$, $\tau_{выд.} = 4$ часа, $T_{воды} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$).

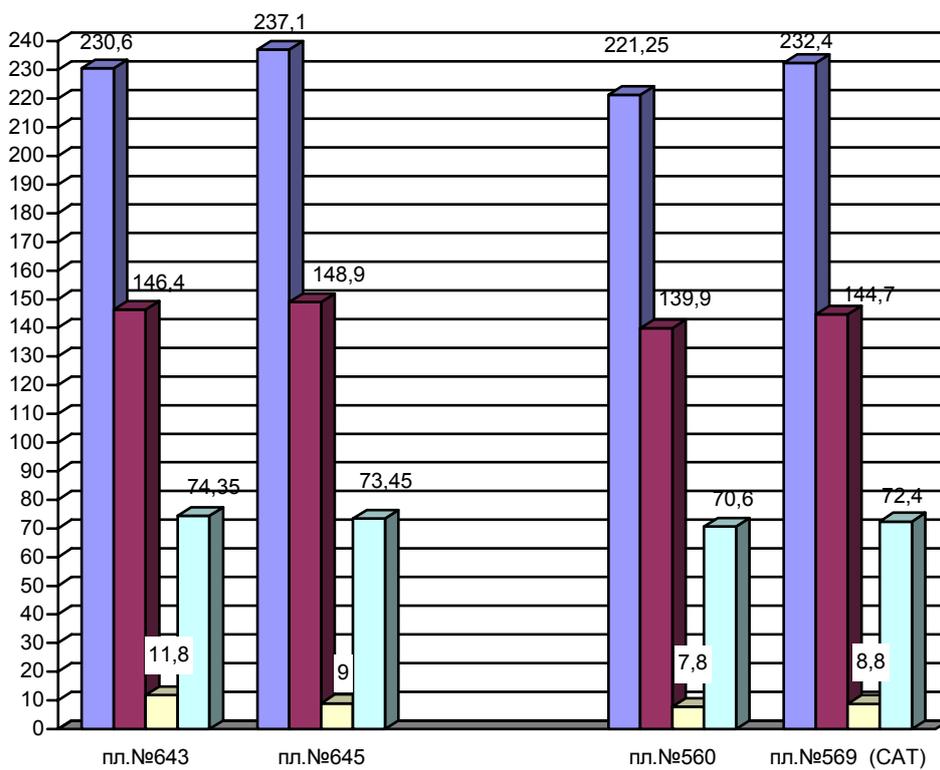
Вырезку образцов производили из трех зон – зоны спицы, толстой закраины (по 3 образца) и обода (по два образца).

Результаты механических испытаний образцов, вырезанных из литых автомобильных колес типоразмера 7Jx16СН сплава АК7К, приведены в таблице 5. Усредненные показатели механических свойств представлены на гистограмме рисунок 1.

Оценку чистоты металла плавков № 643, 645 (электродпечь ДППТУ-0,5) и плавков № 58, 61 (электродпечь САТ-0,25) из сплава АК7К проводили методом технологической пробы (рисунок 2).

Метод технологической пробы основан на выявлении дефектов в виде отдельных (гладких) площадок в изломах горячедеформированных образцов. Образцы испытывают после горячей деформации с 4 – 5 кратной осадкой. Оценку качества металла проводили по результатам определения отношения площади дефектов (плен в мм²), обнаруженных в изломах технологических проб к общей площади исследуемого излома (в см²) по формуле:

$$K_3 = \frac{S_d}{S_{изл}} \text{ [мм}^2\text{/см}^2\text{]}, \text{ где}$$



■ Временное сопротивление разрыву, МПа ■ Предел текучести, МПа
 □ Относительное удлинение, % □ Твердость, НВ

Рис.1 – Механические свойства

S_d – площадь дефектов, мм², $S_{изл}$ - площадь излома, см²

Сравнительные показатели по загрязненности расплава в ДППТУ и САТ представлены в гистограмме на рисунке 2.

Коэффициент загрязненности дефектами (окисными пленами) в:

- плавках № 643 имеет одинаковый уровень $K_3 = 0,47 \text{ мм}^2\text{/см}^2$, в плавке № 645 – $K_3 = 0,97 \text{ мм}^2\text{/см}^2$ (ДППТУ);

- плавках № 58 уровень $K_3 = 4,91 \text{ мм}^2\text{/см}^2$ и № 61 уровень $K_3 = 3,89 \text{ мм}^2\text{/см}^2$ (САТ-0,25)

Коэффициент загрязненности (K_3) для плавков № 58, 61 (САТ) достаточно высокий. Обработка расплава аргоном в плавках № 58 и 61 не дала положительного результата.

Выводы

- 1 Результат сравнения исследуемых плавков показал, что в ДППТУ-0,5АГ выплавляется металл высокой чистоты.
- 2 При плавлении металла в печи обеспечивается высокая чистота металла, а при длительной разливке (примерно от 1 до 4 часов) поддерживается преимущественно средствами рафинирования.
- 3 Качество металла повышается при обработке расплава флюсами в оптимальном количественном соотношении.
- 4 Проводимые исследования на газонасыщенность показали содержание водорода в сплаве не более $0,23 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.
- 5 При плавке в электропечах ДППТУ-0,5 возможно производить «подмораживание» расплава. В результате, кроме рафинирования расплава, достигается измельчение эвтектических составляющих (типичная плавка № 645). Общее время плавки при этом увеличивается в первой плавке (холодная печь) до 10 мин. и в последующих плавках - до 5 мин. (горячая печь).
- 6 В электропечи ДППТУ-0,5 возможно применение новых технологий по выплавке алюминиевых сплавов, лигатур, ферросплавов.
- 7 В электропечи ДППТУ-0,5 возможно осуществлять переплав отходов металлургического производства (шлака, съемов, стружки и т.д.).
- 8 При соблюдении технологического процесса по выплавке сплавов в ДППТУ-0,5 угар металла не превышает 1,5%. При плавке плотно загруженной шихты угар составляет 0,5 %.
- 9 Повышенный расход электроэнергии и графитовых электродов, работа на пониженной мощности связаны, в данном случае применения ДППТУ-0,5, с длительными простоями печи, вызванными низкой производительностью машины литья под низким давлением (МЛНД).
- 10 Электропечь ДППТУ-0,5 обеспечивает автоматизацию процесса плавки, быструю загрузку шихтовыми материалами.
- 11 Уникальной особенностью процесса плавки в ДППТУ-0,5 является достаточно глубокое удаление водорода и неметаллических включений в процессе плавления шихты.