

ВЫПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ДУГОВЫХ ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.А. Зыскин, С.И. Поздняков (ОАО СМК),
В.С. Малиновский, канд. техн. наук (ООО НТФ «ЭКТА»)

Production of Aluminium Alloys in Electric Arc Constant Current Furnaces of New Generation. V.A. Zyskin, S.I. Pozdnyakov, V.S. Malinovsky.

The quality of AK7K alloy produced in DPPTU-0,5 AG electric arc constant current furnace is studied. It is shown that high purity metal, content of hydrogen being no more than $0.23 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$, is produced. The unique feature of melting in the electric arc constant current furnace is rather deep removal of hydrogen and nonmetallic inclusions during charge melting.

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 в ОАО СМК нового цеха по производству литых автомобильных колес с использованием самого современного оборудования – дуговых печей постоянного тока нового поколения, разработанных специалистами НТФ «ЭКТА».

В качестве способа литья было выбрано литье под низким давлением, основными преимуществами которого являются выход годного не менее 90 %, повышенная плотность отливок и современный уровень автоматизации процесса.

В конце 2002 г. была установлена первая группа машин и началась опытная отливка автомобильных колес из алюминиевого сплава на основе АК7пч. Номинальная вместимость миксера LPT 600 машины литья под низким давлением (МЛНД) составляет 500 кг. Выплавку проводили в тигельных электропечах сопротивления САТ-0,25. Производительность этих печей составляет 16 кг/ч при расходе электроэнергии 34 кВт·ч. Для обеспечения производственной программы в ОАО СМК использовали четыре печи САТ-0,25.

Основные преимущества печей сопротивления – это получение металла достаточно высокого качества и сравнительно высокий коэффициент полезного действия. Однако эти

печи имеют низкую производительность и трудны в эксплуатации, что связано с частым выходом из строя нагревательных элементов. Использование таких печей не позволяет механизировать процессы загрузки и приготовления расплава.

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

Печь ДППТУ-0,5АГ представляет собой 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 при выплавке в САТ. Основные технические данные ДППТУ-0,5АГ для плавки алюминиевых сплавов приведены в табл. 1.

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

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

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

В количественном отношении составы

шихты при плавках в печах САТ-0,25 и ДППТУ-0,5АГ были близки (табл. 2).

Специальные методы удаления водорода и неметаллических включений в процессе плавки и выпечной обработки не применялись, так как их удаление обеспечивалось термодиффузией водорода при расплавлении и МГД-перемешивании расплава. Содержание водорода в сплаве составляло $0,12 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ и не превышало $0,23 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

При плавке в электропечах ДППТУ-0,5АГ была применена технология «холодного легирования». Из выплавленного металла отливали автомобильные колеса в МЛНД. Химический состав литых автомобильных колес из сплава АК7К приведен в табл. 3.

Для выплавки лигатуры алюминий-марганец в печи ДППТУ-0,5АГ в качестве шихтовых материалов применяли отходы сплава АД1 и марганец Мн997. Для рафинирования использовали стандартный рафинирующий флюс. Лигатуру разливали в изложницы высотой 50 мм с помощью разливочного ковша. Состав лигатуры дан в табл. 4.

Макроструктуру колес исследовали в поперечном направлении и оценивали на соответствие утвержденным эталонам допустимой и недопустимой макроструктуры литых автомобильных колес из сплава АК7К. Макроструктура колес плавов, полученных в электропечах САТ-0,25 и ДППТУ-0,5АГ, достаточно плотная и однородная с незначительной пористостью, соответствует эталону № 3 – допустимой структуре

Таблица 1			
Технические характеристики электропечи ДППТУ-0,5			
Параметр	Значение		
	номинальное	допустимое	фактическое, в соответствии с технологическим процессом
1. Номинальная вместимость (по алюминию), т	0,5	0,6	0,6
2. Установленная мощность электропечи, кВт	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

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

Таблица 2	
Сравнительный состав шихтовых материалов	
САТ-0,25	ДППТУ-0,5
Силумин АК120ч Алюминий А7 Медь М00к Магний Мг90 Лигатура алюминий–титан–бор Отходы сплавов АД0 и АД1 Технологические отходы сплава АК7К	Силумин АК120ч Алюминий А7 Медь М00к Магний Мг90 Лигатура алюминий–титан–бор Отходы из сплавов АД0 и АД1 Технологические отходы сплава АК7К
–	Кремний металлический КрО (плавки № 645, 646)
Флюсы: Degasal ALT 200 «Дегазал», Eutektal Alt 200 «Эвтектал», Mikrosal ALT 100 «Микросал» фирмы Шайфер	Проводили работу по подбору рафинирующих флюсов

Таблица 3

Химический состав литых автомобильных колес из сплава АК7К

Нормативный документ	Основные элементы, % мас.				Примеси, % мас., 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.

Таблица 4

Химический состав лигатуры алюминий-марганец, % мас.

Нормативный документ	Mn	Si	Cu	Mg	Fe	Ni	Zn	Ti
Протокол химического состава	10,0	0,1	0,024	0,03	0,4	—	0,02	0,01
По техническим указаниям 150-004-2004	8-12	0,5	0,2	0,1	0,8	0,1	0,2	0,1

Таблица 5

Механические свойства и микроструктура литых автомобильных колес в закаленном состоянии

Тип печи	Ном ер плав- ки	Зона вырезки	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ, МПа	Размер колоний эвтектики, мкм	Размер крем- нийсодержа- щих частиц, мкм	Размер усадочных пор, мкм
ДППТУ-0,5	643	Спица	222,1	142,3	9,7	76,3	167х46	от 2,0 до 6,7	Длина 73,7-254,5; ширина 47-147,7
			227,9	146,2	11				
			220,2	144,2	12,7				
ДППТУ-0,5	645	Толстая закраина	230,2	154,5	13	72,4	134х93,8	Мелкодис- персные	Длина 67,0-113,9; ширина 26,8-73,7
			244	143,2	11,7				
			229,2	148,1	12,7				
ДППТУ-0,5	645	Спица	237,6	146,6	10	76,3	134х93,8	Мелкодис- персные	Длина 67,0-113,9; ширина 26,8-73,7
			228,1	149,6	8,3				
			236,8	149,6	10				
САТ-0,25	560	Толстая закраина	232,7	151,6	6,7	70,6	134х93,8	Мелкодис- персные	Длина 67,0-113,9; ширина 26,8-73,7
			247,4	151,1	8,3				
			240	144,9	10,7				
САТ-0,25	560	Спица	222,2	141,1	7,7	70,6	—	от 4,2 до 92,4	Длина 21-137,3; ширина 7-37,4
			221,4	126,5	8,3				
			233,9	142,1	8				
САТ-0,25	569	Толстая закраина	21,9	151,1	7,3	70,6	—	от 4,2 до 92,4	Длина 21-137,3; ширина 7-37,4
			220,4	134	8,3				
			218,7	144,6	7,3				
САТ-0,25	569	Спица	230,2	140,6	8,3	72,4	—	от 2,1 до 71,4	Длина 27,3-144,1; ширина 14,7-92,5
			237,3	154	9,7				
			226,6	148,7	6,7				
САТ-0,25	569	Толстая закраина	234,6	147,1	10	72,4	—	от 2,1 до 71,4	Длина 27,3-144,1; ширина 14,7-92,5
			228,4	137,1	9				
			237,2	140,6	9				

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 мм (на границах отливок) до 0,2 мм (в центре отливок).

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

По результатам микроанализа лигатуры алюминий–марганец установлено, что микроструктура лигатуры алюминий–марганец однородная, микропористая с размерами частиц основной фазы Al_6Mn от 30 до 200 мкм.

Механические свойства литых колес опытных плавков определяли при комнатной температуре в состоянии поставки после термической обработки Т4 ($T_{зак} = 535 \pm 5$ °С, $\tau_{выд} = 4$ ч, $T_{воды} = 40$ °С). Образцы вырезали из трех зон – спица, толстая закраина (по 3 образца) и обод (по два образца).

Усредненные показатели механических свойств литых автомобильных колес типоразмера 7Jx16СН из сплава АК7К представлены на гистограмме (см. рисунок).

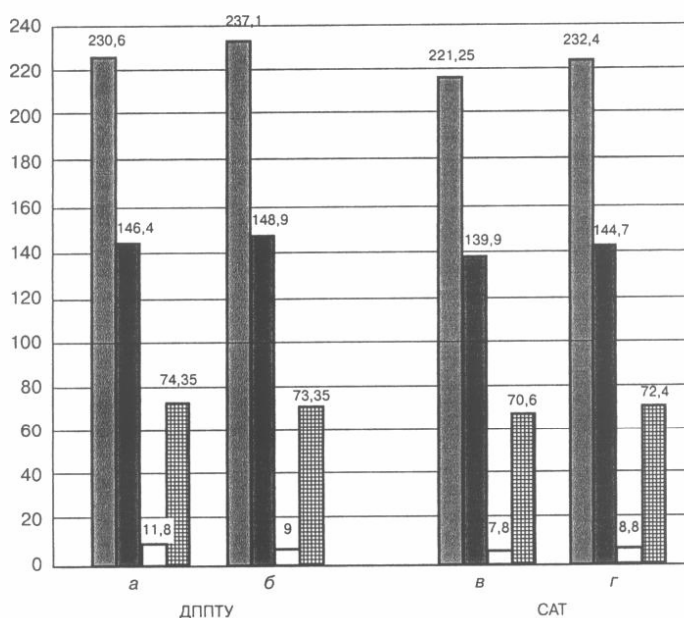
Оценку чистоты металла плавков № 643, 645 (электропечь ДППТУ-0,5) и плавков № 58, 61 (электропечь САТ-0,25) из сплава АК7К проводили методом технологической пробы. Этот метод основан на выявлении дефектов в виде отдельных (гладких) площадок в изломах горячедеформированных образцов. Образцы испытывали после горячей деформации с 4- и 5-кратной осадкой. Качество металла оцени-

вали по результатам определения отношения площади дефектов (плен, мм²), обнаруженных в изломах технологических проб, к общей площади исследуемого излома (см²) по формуле

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

где K_3 – коэффициент загрязненности; S_d – площадь дефектов, мм², $S_{изл}$ – площадь излома, см².

Коэффициент загрязненности дефектами (окисными пленками) в плавке № 643 имеет одинаковый уровень: $K_3 = 0,47$ мм²/см², в плавке № 645 $K_3 = 0,97$ мм²/см² (ДППТУ); в плавке № 58 $K_3 = 4,91$ мм²/см² и в № 61 $K_3 = 3,89$ мм²/см² (САТ-0,25). Коэффициент загрязненности для плавков № 58, 61 (САТ) достаточно высокий. Обработка расплава аргоном в плавках № 58 и 61 не дала положительного результата.



Механические свойства литых автомобильных колес из сплава АК7К:

а – плавка № 643; б – № 645; в – № 560; г – плавка № 569;

■ – временное сопротивление разрыву, МПа; ■ – предел текучести, МПа; □ – относительное удлинение, %; ▨ – твердость НВ.

Выводы

1. Сравнение результатов исследуемых плавов показало, что в печи 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 ч), качество поддерживается преимущественно средствами рафинирования.
3. Качество металла повышается при обработке расплава флюсами в оптимальном количественном соотношении.
4. 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 можно проводить «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 и ферросплавов.
7. В электропечи ДППТУ-0,5 можно осуществлять переплав отходов металлургического производства (шлака, съёмов, стружки и т.д.).
8. При соблюдении технологического процесса по выплавке сплавов в печи 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, а также работа на пониженной мощности связаны (в случае применения ДППТУ-0,5) с длительными простоями печи, вызванными низкой производительностью машины литья под низким давлением (МЛНД).
10. Применение электропечи ДППТУ-0,5 обеспечивает автоматизацию процесса плавки, быструю загрузку шихтовыми материалами.
11. Уникальной особенностью процесса плавки в печи ДППТУ-0,5 является достаточно глубокое удаление водорода и неметаллических включений в процессе плавления шихты.