

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ТИГЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Баранов В.Н.<sup>1</sup>, Гильманшина Т.Р.<sup>1</sup>, Безруких А.И.<sup>1</sup>, Лыткина С.И.<sup>2</sup>, Худоногов С.А.<sup>2</sup>, Подшибякина Е.Ю.<sup>1</sup>, Корженевский В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВПО СФУ Института цветных металлов и материаловедения (660025, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 95), e-mail: gtr1977@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВПО СФУ Политехнический институт (660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26), e-mail: pi@sfu-kras.ru

---

Показана возможность использования графитов различного кристаллохимического строения в составах тиглей для плавки легких и благородных металлов и их сплавов. Разработаны тигельные массы на основе графита и каменноугольного пека, которые после обжига при температурах 600–800°C имеют оптимальные для низкотемпературной плавки параметры: прочность на сжатие – 10–17 МПа; удельное электросопротивление –  $(0,5–5,0) \cdot 10^{-3}$  Ом·м; плотность – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>; твердость – 20–25 кг/мм<sup>2</sup>; термостойкость – 6–9 циклов. Показано, что по абсолютной величине более высокие значения свойств имеют тигли на графите ГЛ-1, так как частицы его крупнее, чем у П и ГЛС-3, зольность при этом в среднем на 5–15% ниже по сравнению с графитом ГЛС-3.

---

Ключевые слова: тигли, легкие металлы и сплавы, механоактивация, графит, каменноугольный пек

## DEVELOPMENT OF COMPOSITION CRUCIBLE PRODUCTION FUSIBLE METALS AND ALLOYS

Baranov V.N.<sup>1</sup>, Gilmanshina T.R.<sup>1</sup>, Bezrykih A.I.<sup>1</sup>, Lytkina S.I.<sup>2</sup>, Khudonogov S.A.<sup>2</sup>, Podshibyakina E.Y.<sup>1</sup>, Korzeniowski V.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FSAEI VPO Siberian Federal University Institute of Nonferrous Metals and Materials (660025, city of Krasnoyarsk avenue Newspaper «Krasnoyarsk worker», 95), e-mail: e-mail: gtr1977@mail.ru;

<sup>2</sup>FSAEI VPO Siberian Federal University Polytechnic Institute (660074, Krasnoyarsk, street Kirenskogo, 26), e-mail: pi@sfu-kras.ru

---

The possibility of using different graphite crystal chemical structure in the compositions of crucibles for melting of light and precious metals and their alloys. Crucible developed mass based on graphite, and coal tar, which, after firing at temperatures of 600–800 °C are optimal for low-temperature melting parameters: compression strength - 10–17 MPa; resistivity —  $(0,5–5,0) \cdot 10^{-3}$  Om · m; density - 0.8–1.0 g / cm<sup>3</sup>; hardness — 20–25 kg/mm<sup>2</sup>; thermal stability — 6–9 cycles. It is shown that the absolute value of the higher values of the properties on graphite crucibles have GL-1, since its particles are larger than that of n-3 and SFS, ash with an average of 5–15% compared with graphite GLS-3 .

---

Keywords: crucibles, light metals and alloys, mechanical activation, graphite, coal tar pitch

Основными компонентами графитсодержащих огнеупорных материалов являются природный и искусственный графит, огнеупорная глина, карбид кремния, металлический кремний, борная кислота, магнезит, каолин, жидкое стекло, прокаленный кокс и др. [1–6]. Высокая стоимость некоторых из них и трудоемкость изготовления делают продукцию на их основе дорогостоящей; при этом эксплуатационные свойства тиглей не всегда удовлетворяют требованиям потребителей [7].

Для приготовления легкоплавких сплавов на основе алюминия, цинка, олова, меди, свинца и магния в небольших объемах актуальной является разработка составов и технологии изготовления тиглей малыми сериями непосредственно в цехах и лабораториях.

В качестве исследуемых материалов были выбраны природные графиты месторождений России и Ближнего Зарубежья в природном и активированном состояниях (табл. 1) [8, 9].

**Таблица 1**

Используемые материалы

Материал	Тип	Марка, месторождение	ГОСТ, ТУ
Природный графит	Скрытокристаллический	ГЛС-3 (Ногинское месторождение)	17022-81
		ГЛС-2 (руда Курейского месторождения)	17022-81
	Кристаллический	ГЛ-1 (Завальевское месторождение)	17022-81
	Коллоидный	П (Тайгинское месторождение)	17022-81
Каменноугольный пек	-	Б	10200-82

Тигельные массы смешивали в лабораторных бегунах с вертикальными катками модели 018М2. Время перемешивания составляло 6–8 мин для сухих компонентов и дополнительно 2–5 мин после добавления связующего.

В металлической матрице (рис. 1) изготавливали образцы. Для оценки эксплуатационных свойств тиглей (твёрдости, прочности, огнеупорности и др.) образцы диаметром 20 мм и высотой 20–30 мм сушили при комнатной температуре в течение одних суток. Полученные образцы подвергали ступенчатому нагреву со скоростью не более 100°С/ч до 400°С и со скоростью 50°С/ч свыше 400°С. Не прерывая процесс нагрева, при температурах 400, 600, 800 и 1000°С от общей партии образцов отбирали по 3 образца для определения их свойств. При этих температурах образцы выдерживали в течение 30 мин, а затем охлаждали до комнатной температуры и проводили измерение свойств.

Для получения опытных партий тиглей была разработана и изготовлена оснастка, состоящая из матрицы, стержня, двух соединительных колец и двух полуформ [10]. Шероховатость поверхности оснастки ( $R_z$ ) из стали 35ХМЛ, соприкасающейся с огнеупорной массой, составляла не более 1,6.



Рис. 1. Общий вид матрицы для изготовления образцов

На первом этапе сборки стержень и две полуформы устанавливали в полость матрицы и жестко скрепляли двумя соединительными кольцами. На стержень и две полуформы наносили парафиностеариновое покрытие для более легкого извлечения тигля. Собранный образец обладает устойчивостью за счет центрирующей матрицы и двух соединительных колец, позволяя получать тигель с одинаковой толщиной стенки. После набивки тигельной массы оснастку переворачивали, центрирующую матрицу снимали. Затем производили нагрев оснастки, и без особых усилий стержень извлекался, образуя внутреннюю полость тигля. Набивку тиглей проводили вручную при помощи трамбовочного прутка [11, 12].

Полученные тигли сушили в течение суток при температуре 25°C на воздухе и далее подвергали термообработке при температуре до 800°C в шахтной лабораторной печи типа СШОЛ-1.1,6/12-МЗ (рис. 2).

Составы тигельных графитовых масс с различными по составу и количеству связующими приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Составы тигельных масс на графитах различного типа

Материалы	Составы, % по массе		
	1	2	3
Графит ГЛС-3 (ГОСТ 17022-81)	70		
Графит ГЛ-1 (ГОСТ 17022-81)		70	
Графит П (ГОСТ 17022-81)			70
Каменноугольный пек	30	30	30
Вода	5	5	5



*Рис. 2. Общий вид графитового тигля*

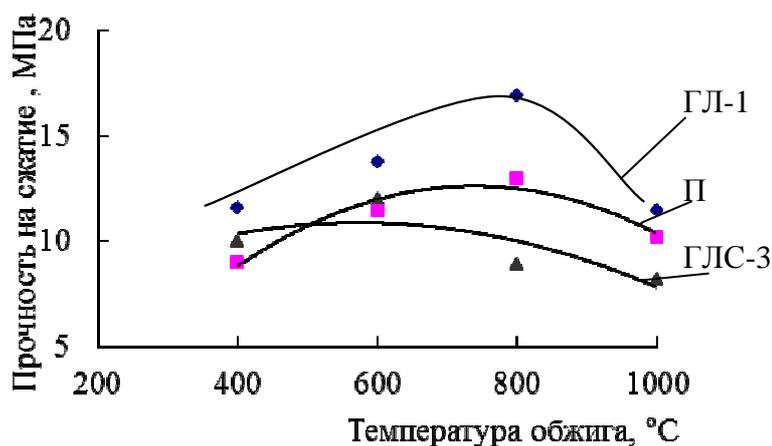
С целью оптимизации состава тигельных масс по углеродистому наполнителю исследовали зависимость свойств тиглей от типа графита: скрытокристаллический ГЛС-3, кристаллический ГЛ-1 и П, механоактивированный ГЛС-3А (с частичной заменой его пылевидным кварцем). В качестве связующих материалов опробовали каменноугольный пек.

Изготовленные образцы, а также тигли составов 1–9 (табл. 2) обжигали и определяли зависимость их механических свойств от температуры обжига (рис. 3–9).

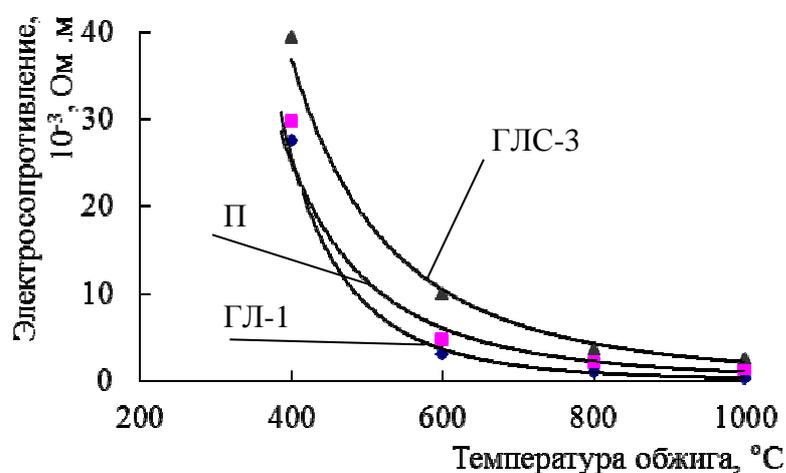
На рисунке 3, *а* (составы № 1–3, табл. 2) приведена прочность тиглей на сжатие для тигельных масс с 30% каменноугольного пека. Установлено, что прочность тиглей на кристаллическом и аморфном графите при температуре обжига до 600°C практически одинакова. Обжиг тиглей при 800°C приводит к снижению прочности тиглей на ГЛС-3 в связи с окислением графита и легкоплавких примесей; графит ГЛ-1, имея меньшую зольность и более крупный размер частиц, обеспечивает тиглям максимальную прочность. Обжиг при 1000°C вызывает массовое окисление (выгорание) углерода из графита всех исследуемых марок, и прочность тиглей резко снижается.

Электросопротивление опытных тиглей (рис. 3, *б*) резко снижается для всех марок графита с увеличением температуры обжига. Оптимальным режимом обжига можно считать интервал от 600 до 800°C.

Плотность (расчетная) тиглей снижается с ростом температуры обжига, и потеря массы тиглей при 600–800°C составляет не более 5–7% для ГЛ-1 (П) и 10% для ГЛС-3 (рис. 4, *а*).



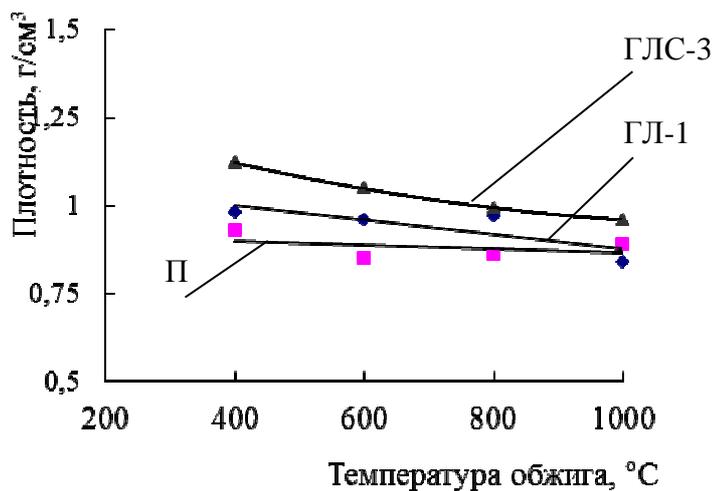
а



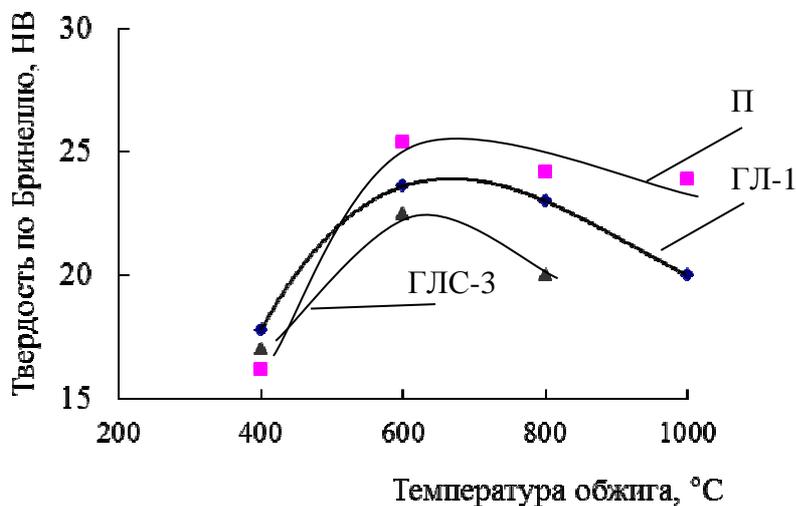
б

Рис. 3. Зависимость прочности (а) и электросопротивления (б) графитовых тиглей на каменноугольном пеке от температуры обжига

Анализ кривых зависимости твердости от температуры обжига (рис. 4,б) показал, что при 600–800°C происходит увеличение прочности тиглей. В результате коксования связующего обеспечивается повышение твердости до 20–25 кг/мм<sup>2</sup>. Следовательно, тигельные массы на каменноугольном пеке после обжига при температурах 600–800°C в результате частичной графитизации пека и окисления углерода в графите имеют оптимальные для низкотемпературной плавки параметры: прочность на сжатие – 10–17 МПа; удельное электросопротивление – (0,5–5,0)·10<sup>-3</sup>Ом·м; плотность – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>; твердость – 20–25 кг/мм<sup>2</sup>. Однако по абсолютной величине более высокие значения технических показателей свойств имеют тигли на графите ГЛ-1, так как частицы его крупнее, чем у П и ГЛС-3, зольность при этом в среднем на 5–15% ниже по сравнению с графитом ГЛС-3.



а



б

Рис. 4. Зависимость плотности (а) и твердости (б) графитовых тиглей на каменноугольном пеке от температуры обжига

Проведенные исследования свойств графитов позволяют предположить возможность улучшения технических характеристик тиглей при использовании в составе массы механоактивированного графита ГЛС-3А.

Таким образом, в ходе работы разработаны тигельные массы на каменноугольном пеке, которые после обжига при температурах 600–800°С имеют оптимальные для низкотемпературной плавки параметры: прочность на сжатие – 10–17 МПа; удельное электросопротивление –  $(0,5–5,0) \cdot 10^{-3}$  Ом·м; плотность – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>; твердость – 20–25 кг/мм<sup>2</sup>; термостойкость – 6–9 циклов.

#### Список литературы

1. Карпов С.В., Овчаренко В.И., Чечушкин П.Г. Опыт применения периклазоуглеродистых огнеупоров в электродуговых печах выплавки чугуна на АО «АВТОВАЗ» // Литейщик России. – 2003. – № 1. – С. 23–24.
2. Авторское свидетельство 1295182 А1 кл. F 27 В 14/10 Тигель для плавки и разлива алюминевых сплавов (Уколицкий А.Н., Бойченко З.Н., Козлов Л.Н.).
3. Авторское свидетельство 1577449 А1 кл. F 27 В 14/10 Графитовый тигель для гарнисажной плавки титана (Чернявцев А.Н., Сурков С.А., Трофимова Е.Г.).
4. Авторское свидетельство 1332989 А1 кл. F 27 В 14/10 Графитовый тигель для плавления образцов (Талаев В.С., Данилкин В.А., Андреев А.И.).
5. Авторское свидетельство 1233597 А1 кл. F 27 В 14/10, С 22 В 9/10 Материал футеровки тигля для плавки флюса (Медовар Б.И., Богаченко А.Г., Штанько Ю.П.).
6. Авторское свидетельство 1735691 А1 кл. F 27 В 14/10 Тигель для плавки металлов и сплавов (Ларионов А.Я., Догadin А.И.).
7. Мельников И.И., Веселовский В.С. Состояние и перспектива развития сырьевой базы графита СССР. Вып.9, М, ВНИИМС, 1967.
8. Гильманшина Т. Р. Разработка способов повышения качества литейного графита отдельными и комплексными методами активации: Дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04: Красноярск, 2004. – 141 с.
9. Баранов В. Н. Активация графита различного кристаллохимического строения для огнеупорных изделий и красок в литейном производстве: Дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04: Красноярск, 2005. – 131 с.
10. Механосинтезированные углеродсодержащие композиции для плавильных тиглей / В.Н. Баранов, Л.И. Мамина, Т.Р. Гильманшина [и др.] // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 6. – С. 7–11.
11. Получение графитсодержащих наноструктурированных материалов и композиций для литейного производства / В.Н. Баранов, А.И. Безруких, Т.Р. Гильманшина [и др.] // Литейщик России. – № 10. – 2011. – С. 42–45.
12. Наноструктурированные графитсодержащие изделия / Л.И.Мамина, В.Н.Баранов, Т.Р. Гильманшина [и др.]. – Красноярск, 2013.

#### **Рецензенты:**

Москвичев В.В., д.т.н., профессор, директор СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

Тимофеев В.Н., д.т.н., профессор, директор ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики», г. Красноярск.