

# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

---

УДК 621.745.669.13

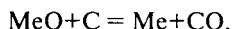
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, Г.В. ДОВНАР, канд. техн. наук,  
В.А. СМЕТКИН, канд. пед. наук, В.В. ПАВЛОВИЧ (БНТУ),  
Р.Э. ТРУБИЦКИЙ (РУП ЛЛМЗ\*)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКОНОМНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ГИЛЬЗОВОГО ЧУГУНА

Чугун для гильз цилиндров автомобильных и тракторных двигателей обычно содержит целый комплекс таких легирующих элементов, как медь, никель, ванадий, титан, хром, бор, фосфор и др. Это обеспечивает получение требуемой микроструктуры в отливках, обладающих износостойкостью, антифрикционными свойствами пары гильза – поршневое кольцо и другими служебными характеристиками, позволяющими увеличить срок службы двигателя.

Известно, что для достижения наибольшей стабильности технологии плавки таких ответственных сплавов необходимо соблюдать последовательность и технологичность операций легирования. Например, на стадии ковшевого легирования элементами с высокой температурой плавления имеет место неоднородность структуры в отливках. Кроме того, использование ферросплавов и лигатур, вводимых в жидкий металл для получения требуемого состава, приводит к значительному расходу материала вследствие более высокого угара. Практический интерес представляет исследование процесса плавки гильзового чугуна с одновременным легированием сплава за счет отходов и вторичных материалов.

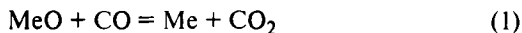
Ввиду того что в отходах (отработанные катализаторы, шламы, изгарь) легирующие элементы содержатся как в свободном, так и в связанном состоянии, возникла необходимость проведения термодинамических исследований процесса их восстановления. В качестве восстановителей наиболее широко используются газы, обладающие высоким химическим средством к кислороду ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ), металлы, образующие прочные оксиды ( $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Ca}$ ), а также твердый углерод. Восстановление оксидов металлов твердым углеродом происходит по реакции



Эту реакцию можно рассматривать как результирующую двух частных реакций:

---

\* Республиканское унитарное предприятие «Лидский литейно-механический завод».



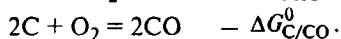
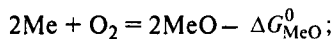
Температура, при которой реакция (3) находится в равновесии, имеет строго определенное значение (при фиксированном давлении). Ее назвали температурой начала восстановления металла углерода ( $T_{\text{н.в}}$ ) [1].

Для расчетного определения  $T_{\text{н.в}}$  оксида металла углеродом применяют различные методы (аналитический и графический).

В данной работе использован графический метод расчета, основанный на том, что  $T_{\text{н.в}}$  металла из оксида углеродом соответствует температуре, при которой химическое сродство восстанавливаемого металла к кислороду и углерода к кислороду одинаково [2], т. е.

$$\Delta G_{\text{MeO}}^0 = \Delta G_{\text{C/CO}}^0.$$

При  $a_{\text{Me}} = 1$ ,  $a_{\text{MeO}} = 1$ ,  $P = 10^5$  Па химическое сродство металла и углерода к кислороду оценивается величиной  $\Delta G^0$  для реакции образования MeO и CO:



Уравнения зависимости  $\Delta G^0$  от температуры для данных реакций записываются так:

$$\Delta G_{\text{MeO}}^0 = M_1 + N_1 T; \quad \Delta G_{\text{C/CO}}^0 = M_2 + N_2 T.$$

На рис. 1 приведены зависимости  $\Delta G_{\text{MeO}}^0$  и  $\Delta G_{\text{C/CO}}^0$  от температуры и схема определения температуры начала восстановления металла углеродом по одинаковым значениям химического сродства металла и углерода к кислороду

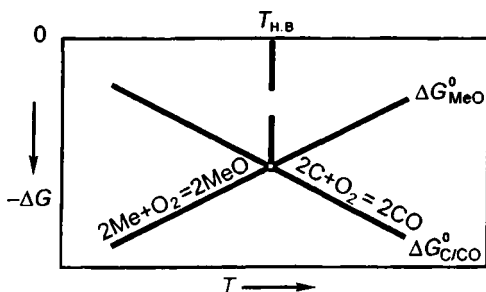


Рис. 1. Схема определения температуры начала восстановления оксида металла твердым углеродом по одинаковым значениям химического сродства металла и углерода к кислороду

дом. Как следует из рисунка, линии пересекаются при определенной температуре, которая соответствует равенству  $\Delta G_{\text{MeO}}^0 = \Delta G_{\text{C/CO}}^0$ .

По такому методу выполнены расчеты температуры начала восстановления углеродом следующих металлов: меди, хрома, никеля, ванадия, олова, алюминия. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения температуры начала восстановления металлов из оксидов углеродом

Восстанавливаемый металл	Медь	Никель	Ванадий	Хром	Олово	Алюминий
$T_{\text{н.в.}}$ , К	360	750	1540	1600	1210	2300

В лабораторных условиях осуществлены исследования с целью проверки полученных расчетов. Установка для проведения опытов состояла из электрической печи, реакционной трубки, манометра, термопары, потенциометра. В лодочку засыпалась смесь оксида исследуемого металла и углерода (с избытком). Поддерживая равномерный нагрев печи (10...15 °С/мин), через определенное время фиксировали показания манометра. Начало восстановления металла сопровождалось резким выделением газа СО. Установлено, что температура начала восстановления меди, олова, никеля оказалась близкой к расчетной и составила соответственно 350, 760, 1150 К.

Полученные результаты позволили перейти ко второму этапу исследований по технологии экономного легирования гильзового чугуна. На основании анализа сырьевых ресурсов выявлены возможные источники меди, никеля, олова в Беларуси. Это в первую очередь обработанные медь и никельсодержащие катализаторы, медьсодержащие шлаки и шламы, железоникелевые аккумуляторные батареи, отходы оловянно-свинцовой изгары. С одной стороны, в отходах достаточно большое содержание меди, никеля и олова. С другой стороны, часть из них находится в химически связанном состоянии. На основании полученных результатов исследований были изготовлены легирующие присадки, содержащие оксиды цветных металлов (Cu, Ni), углерод и флюсующие добавки. Опытные плавки по экономному легированию гильзового чугуна медью и никелем проводились в лабораторной индукционной печи ИСТ-006 и на гильзовом участке РУП ЛЛМЗ (ИСТ-1,0).

В качестве исходных шихтовых материалов использовались стальной и чугунный лом, возврат, ферросплавы хрома, ванадия, титана, фосфора. Медь и никель в требуемых количествах вводились в виде легирующих смесей разработанного состава. Контролировались следующие параметры: химический состав сплава, твердость и микроструктура отливок. Полученные результаты представлены в табл. 2 и 3.

Химический состав экономнолегированного гильзового чугуна, %

Номер плавки	C	Si	Mn	P	V+V	Ti	Cu	Ni
1	3,42	2,45	0,42	0,35	0,08	0,06	0,65	0,18
2	3,53	2,51	0,71	0,31	0,05	0,05	0,61	0,21
3	3,38	2,36	0,63	0,41	0,04	0,06	0,59	0,25
4	3,56	2,32	0,54	0,39	0,06	0,06	0,64	0,24
Согласно техническим условиям	3,0...3,7	2,0...2,6	0,5...0,8	0,2...0,45	0,02...0,12	0,05...0,15	0,5...0,7	0,1...0,3

Таблица 3

Микроструктура и твердость чугуна в опытных гильзах

Номер отливки	Твердость НВ 5/750/10	Микроструктура		
		Основа	Графит	Фосфидная эвтектика
1	229	П(Ф0)	ПГф2, ПГр2, ПГд90	Фэ4, Фэр1
2	235	П(Ф0)	ПГф1, ПГр3, ПГд45090	Фэ3, Фэр2
3	223	П(Ф0)	ПГф2, ПГр1, ПГд90-180	Фэ3, Фэр1
4	241	П(Ф0)	ПГф1-2, ПГр3, ПГд45	Фэ3, Фэр2
Согласно техническим условиям	217...250	П(Ф0)	ПГф1, ПГф2, АГр1 – ПГр3, ПГд45 – ПГд180	Фэ3 – Фэ5, Фэр1 – Фэр2

Анализ полученных результатов показал, что по содержанию основных легирующих элементов, в том числе меди и никеля, отливки гильз соответствовали техническим условиям. При этом твердость чугуна в отливках составляла от 223 до 241 НВ. Микроструктура металлической основы, форма, распределение и количество графита и фосфидной эвтектики также соответствовали техническим условиям.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали реальную возможность использования легирующих присадок на основе отходов для экономного легирования гильзового чугуна. Это позволит сократить импорт дорогостоящих ферросплавов, снизить затраты на легирование, утилизировать отходы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Экономное легирование железоуглеродистых сплавов / С.Н. Леках, А.Г. Слуцкий, В.Л. Трибушевский и др. Мн.: Наука и техника, 1996. 173 с.
2. Казанков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов. М.: Металлургия, 1988. 287 с.