

**В. В. Суменкова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г.Киев г

Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: ot.del.vch@yandex.ru

## **РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ СФЕРОИДИЗИРУЮЩИХ ЛИГАТУР**

Эффективность и стабильность результатов модифицирования, в значительной мере, определяется механизмом процесса растворения твердого модификатора в жидком чугуна. Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс растворения лигатуры, является её фазовый состав. Фазовый состав модификаторов влияет на кинетику перехода модифицирующих элементов в чугун и, таким образом, определяет результативность действия модифицирования на кристаллизацию и дальнейшее формирование структуры отливок. От фазового состава лигатуры зависит ряд её характеристик: технологичность использования, температура плавления и др.

В процессе взаимодействия лигатуры с жидким чугуном протекают сложные теплофизические и физико-химические процессы, результатом которых является переход активных компонентов в чугун и создание условий для кристаллизации графита шаровидной формы. Для улучшения технологичности использования наиболее активного модифицирующего элемента магния его применяют в виде сплава на основе кремния и железа FeSiMg (ФСМг). В связи со сложностью работы с магниесодержащими сплавами тройные диаграммы состояния для сплавов типа ФСМг отсутствуют, поэтому фазовый состав лигатур (табл. 1) определяется в основном экспериментально.

На основании определенного фазового состава и зная по двойным диаграммам состояния температуры плавления основных фаз возможно приближенное определение температуры плавления лигатуры по стехиометрическому принципу. В табл. 1 приведен пример расчета температуры плавления лигатуры ФСМг9.

Таблица 1 – Химический состав фаз и расчетная температура плавления лигатуры ФСМг9

| № спектра | Стехиометр. формула соединения | Масс. доля элементов / ат. доля, % |       |       |      |       | Кол-во, % | Расчетная $t_{пл}, ^\circ\text{C}$ |
|-----------|--------------------------------|------------------------------------|-------|-------|------|-------|-----------|------------------------------------|
|           |                                | Si                                 | Fe    | Mg    | P    | O     |           |                                    |
| 1         | FeSi <sub>2</sub>              | 55,30                              | 44,70 | –     | –    | —     | 42,77     | 1115                               |
|           |                                | 71,10                              | 28,90 |       |      |       |           |                                    |
| 2         | FeSi                           | 36,48                              | 62,42 | –     | –    | –     | 7,48      |                                    |
|           |                                | 53,29                              | 45,72 |       |      |       |           |                                    |
| 3         | Mg <sub>2</sub> Si             | 34,07                              | –     | 64,85 | 0,57 | 0,51  | 33,87     |                                    |
|           |                                | 30,86                              |       | 67,86 | 0,47 | 0,81  |           |                                    |
| 4         | Mg-Si-O                        | 32,51                              | –     | 51,60 | –    | 15,88 | 15,89     |                                    |
|           |                                | 27,09                              |       | 49,67 |      | 23,24 |           |                                    |

Был проведен расчет температур плавления ряда лигатур, фазовый состав и расчетные температуры плавления которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Химический состав исследуемых лигатур FeSiMg

| № пп | Марка     | Химический состав, масс. % |      |      |      |      |     | Расчетная $t_{пл}, ^\circ\text{C}$ |
|------|-----------|----------------------------|------|------|------|------|-----|------------------------------------|
|      |           | Mg                         | Ca   | PЗМ  | Si   | Fe   | Ba  |                                    |
| 1    | ФСМг3     | 3,2                        | 3,0  | 0,7  | 55,2 | Ост. | 2,0 | 1174                               |
| 2    | ФСМг5     | 5,3                        | 0,6  | 0,72 | 53,2 | Ост. | -   | 1228                               |
| 3    | ФСМг7     | 7,1                        | 0,54 | 0,44 | 54,1 | Ост. | -   | 1310                               |
| 4    | Elmag6000 | 6,8                        | 0,58 | 0,85 | 46,3 | Ост. | -   | 1221                               |
| 5    | VL-69     | 6,6                        | 2,40 | 0,45 | 49,6 | Ост. | -   | 1217                               |
| 6    | ФСМг6     | 6,2                        | 0,45 | 0,40 | 58,2 | Ост. | -   | 1249                               |
| 7    | ФСМг2     | 2,51                       | 2,8  | 2,1  | 62,1 | Ост. | -   | 1268                               |
| 8    | ФСМг7     | 7,49                       | 0,45 | 0,72 | 55,3 | Ост. | -   | 1226                               |
| 9    | ФСМг9     | 9,40                       | 0,40 | -    | 41,2 | Ост. | -   | 1115                               |

Как показывают результаты расчета, величины температур плавления колеблются от 1115 до 1309 $^\circ\text{C}$ . В основном же температуры плавления составляют около 1220 $^\circ\text{C}$ . Самая высокая (1309  $^\circ\text{C}$ ) и самая низкая (1115  $^\circ\text{C}$ ) обусловлены содержанием железистых фаз: чем больше железа в фазах, тем выше температура плавления лигатуры.

В работе [1] проводили экспериментальное определение температур плавления ряда ферросплавов, в том числе и магнийсодержащих лигатур типа ЖКМК, т.е. содержащих кроме Mg, Si, Fe ещё и кальций. Определения темпера-

тур проводили под защитными шлаками. Исследовали лигатуры ЖКМК1, ЖКМК2 и ЖКМК6, составы и температуры плавления которых приведены в таблице 3. Температуры ликвидуса для этого ряда лигатур составили 1010, 1170 и 1200°C соответственно.

Таблица 3 - Составы и температуры плавления сфероидизирующих лигатур

| Марка лигатуры | Содержание, % (по массе) |      |     |    |      |      | $t_{пл}^{\circ}, ^{\circ}C$ |          |
|----------------|--------------------------|------|-----|----|------|------|-----------------------------|----------|
|                | Ca                       | Mg   | PЗМ | Ba | Si   | Fe   | солидус                     | ликвидус |
| ЖКМК1          | 16,1                     | 12,8 | -   | -  | 47,0 | 21,0 | 950                         | 1010     |
| ЖКМК2          | 14,9                     | 9,4  | -   | -  | 46,5 | 27,0 | 1000                        | 1170     |
|                |                          |      |     |    |      |      |                             |          |

Температуры плавления ЖКМК1 и ЖКМК2 более низкие, что можно объяснить наличием в их составе бария. Лигатура ЖКМК6 имеет относительно небольшое содержание магния (3-6%) и, соответственно, большее – кремния и железа, что повышает её температуру плавления.

Сравнение полученных расчетных данных с экспериментальными показало достаточно близкие значения температур плавления сфероидизирующих лигатур. Это позволяет использовать расчетный метод для определения температуры плавления по фазовому составу лигатур.

### Список литературы

1. Рябчиков И.В. и др. Ферросплавы с PЗМ и щелочно-земельными металлами / М.: Metallurgy. – 1983. – 272 с.

УДК 621.771.11

**Н.В. Суло, В.Т. Калинин**

Криворожский национальный университет, Кривой Рог; Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

### **ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДИФИКАТОРА В ОБЪЁМЕ КОВША НА ТВЕРДОСТЬ И УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ**

Эффективность работы шаровых мельниц для помола руды, цемента и других материалов в значительной степени зависит от стойкости мелющих ша-