

мировом рынке имеют тенденцию к увеличению.

Сравнительным анализом металлургической ценности отечественного и импортного сырья при выплавке сплавов, установлено, что при производстве силикомарганца с различным содержанием фосфора возможно сочетание всех видов сырья, однако в связи с низкой температурой плавления ШМП доля его в шихте не должна превышать 40-45 % (сплав с Р до 0,35 %). Для получения сплава с фосфором от 0,15 до 0,20 % необходимо использовать импортную руду с подшихтовкой ШМП.

#### Список литературы

1. Грищенко С.Г. Ферросплавная промышленность, как составная часть металлургического комплекса Украины, 1991-1998 годах//Материалы научно-практической конференции: Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства. Днепропетровск, 1999. – С. 17-20.

2. Гасик М.И. Марганец.- М.: Металлургия, 1992. – 608 с.

Рукопись поступила в редакцию 23.03.13

УДК 622.785:669.74

В.В. КРИВЕНКО, канд. техн. наук доц.

А.Н. ОВЧАРУК, д-р техн. наук проф., О.Г. ГАНЦЕРОВСКИЙ, А.Ю. ТАРАН,

А.С. ФИЛЕВ, И.И. КУЧЕР, И.Ю. ФИЛИППОВ, кандидаты техн. наук

КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗЛОЖНИЦ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ РАЗЛИВКЕ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

На основании данных исследований установлен механизм затвердевания ферросиликомарганца в изложницах разливочных машин различной конструкции. Определена конструкция изложницы, обеспечивающая получение фракционированного сплава с допустимым содержанием некондиционных классов.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время все более жесткие требования предъявляются к ферросплавам по химическому и фракционному составу со стороны производителей металла. В связи с этими требованиями на ферросплавных заводах введены в эксплуатацию технологические линии по производству фракционных ферросплавов, отвечающих требованиям потребителей, в состав которых входит дробильно-сортировочное оборудование. При дроблении готовой продукции (кремнистых, марганцевых и других ферросплавов) происходит весьма нежелательное явление - это образование некондиционных фракций (фракции 0-5 мм и 0-10 мм), которые имеют низкий потребительский спрос и отрицательно влияют на технико-экономические показатели производства ферросплавов.

**Анализ исследований и публикаций.** Аналитические исследования показали, что в мировой практике производства ферросплавов существуют технологические и технические решения, направленные на снижение образования некондиционных фракций. Однако полностью решить эту задачу в настоящее время не представляется возможным.

**Постановка задания.** Для разработки решений, позволяющих снизить потери годной продукции, провели исследования по использованию рациональных конструкций изложниц разливочных машин, используя теорию и практику процесса кристаллизации слитка, не снижая удельной производительности разливочной машины.

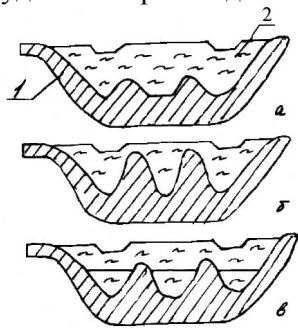


Рис. 1. Конструкции изложниц для машинной разливки ферросиликомарганца: а - стандартная; б - стержневая; в - ячеистая; 1 - изложница в разрезе; 2 - сплав

**Изложение материала и результаты.** В настоящее время на Никопольском заводе ферросплавов (ПАО «НЗФ») находятся в эксплуатации изложницы трех видов (рис. 1): стандартные с двумя поперечными пережимами, которые являются основными и опытными - стержневые и ячеистые (24 ячейки).

Их разрабатывали для увеличения выхода фракционированных ферросплавов, в основном для снижения выхода фракции более 80 (100) мм и фракции менее 5 (10) мм без использования дробильно-сортировочного оборудования. Различие между изложницами, приведенных конструкций, за-

ключается в их массе, конфигурации и массе вмещаемого сплава. Масса зависит от высоты наполнения жидким сплавом и числа пережимов, которые приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Масса и высота наполнения изложниц			
Показатель	Изложницы		
	стандартные	стержневые	ячеистые
Масса изложницы, кг	370	300	226
Высота наполнения сплавом изложницу, мм	95	80	90

Для определения технологического преимущества изложниц разных конструкций исследовали три критерия - стойкость или время эксплуатации, фракционный состав сплава после разливки, максимально удовлетворяющий потребительский спрос и производительность разливочных машин.

Стойкость изложниц во многом зависит от теплового режима эксплуатации, который определяется средней калориметрической температурой -  $t_k$ . Правомерность использования средней калориметрической температуры применительно к процессу разливки ферросиликомарганца вытекает из отношения  $X_2/X_1 > 1$ , где  $X_2$  - толщина стенки изложницы;  $X_1$  - половина толщины слитка. Данное соотношение в зависимости от высоты слитка составляет от 2 до 5, что характеризует используемые изложницы как принудительно неохлаждаемые и к ним применимо понятие о средней калориметрической температуре.  $t_k$  является температурой окружающей среды для слитка и изложницы, до которой охлаждается поверхность слитка и нагревается изложница. Известно ([1] с.269-275), что после появления твердой корочки слиток отходит от поверхности изложницы в результате усадки и  $t_k$  является температурой зазора (или среды) между слитком и изложницей

$$t_k = (t_h + Q/C + m \cdot t_{н.изл.}) / (1 + m), \quad (1)$$

где  $t_h$  - начальная температура разливки сплава, °С;  $Q$  - теплота кристаллизации, кДж/(кг·К);  $t_{н.изл.}$  - начальная температура изложницы, °С;  $m$  - теплоаккумулирующая способность изложницы, которая рассчитывается по формуле

$$m = M_{изл.} \cdot C_{изл.} / M_{сл.} \cdot C_{сл.} \quad (2)$$

где  $M_{изл.}$ ,  $M_{сл.}$  - масса изложницы и слитка соответственно, кг;  $C_{изл.}$ ,  $C_{сл.}$  - теплоемкость материала изложницы и слитка соответственно, кДж/(кг·К).

Чем выше значение  $t_k$ , тем в более тяжелых термических условиях эксплуатируются изложницы. Анализ формулы (1) показал, что основное влияние на тепловой режим работы изложниц оказывает величина  $m$ , менее существенно - начальная температура разливки сплава (в пределах 1300-1400 °С). Зависимость  $t_k$  (для стандартных изложниц) от высоты слитка, начальной температуры разливки сплава и изложницы представлена на рис. 2.

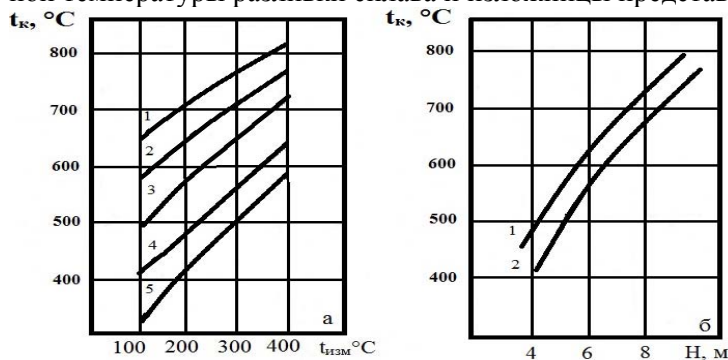


Рис. 2. Зависимость средней калориметрической температуры: а - от начальной температуры разливки силикомарганца для слитков высотой, м: 1 - 0,1; 2 - 0,09; 3 - 0,08; 4 - 0,06; 5 - 0,04; б - от высоты слитка и начальной температуры разливки ( $t_{изл} = 400$  °С): 1 - 1400 °С; 2 - 1300 °С

Для изложниц, находящихся в эксплуатации, значения температуры нижней поверхности слитка  $t_{н.п.с.}$ , температуры поверхности изложницы (с учетом противопопригарного покрытия)  $t_{п.и.}$  в зависимости от  $m$  представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Изложницы		
	стандартные	стержневые	ячеистые
$m$	3,7	5,1	4,6
$t_{н.п.с.}$ , °С	788	630	670
$t_{п.и.}$ , °С	710	550	600

Из приведенных данных следует, что наибольшей стойкостью обладают стержневые изложницы, затем ячеистые и стандартные. По данным промышленной практики наименьшей стойкостью обладают ячеистые изложницы из-за размывания пережимов и приваривания слитков в местах разрушения.

При разливке металла в стержневые и ячеистые изложницы был получен ферросиликомарганец следующего фракционного состава (табл. 3)

Таблица 3

Тип изложницы	Фракционный состав, %					
	80-100	50-80	20-50	10-20	5-10	0-5
Стержневые	8	38	44	3	2	5
Ячеистые	7	35	48	2	3	5

Исследованиями по разливке ферросиликомарганца в стандартные изложницы установлено, что гранулометрический состав металла зависит от высоты налива его в изложницу. Наилучшие результаты по данному параметру получены при высоте слитка 70-80 мм.

Анализ результатов исследований показывает, что при использовании изложниц предлагаемых конструкций имеется возможность получать металл фракций 5-100 и 10-100 мм без дополнительного дробления и отсева. Сплав фракции 20-80 мм можно получать без отсева на стержневых, ячеистых и стандартных изложницах, при разливке в слитки высотой до 80 мм, но при этом необходим отсев мелочи 0-20 мм.

Производительность разливочных машин определяется продолжительностью полной кристаллизации слитка, высотой жидкого металла в изложницах и скоростью движения ленты конвейера. Время, необходимое для кристаллизации слитков, рассчитывали с помощью закона квадратного корня [2]

$$X = K \cdot t^{1/2}, \quad (3)$$

где  $X$  - толщина твердой корочки, м;  $K$  - коэффициент кристаллизации, м/с<sup>1/2</sup>;  $t$  - время затвердевания слитка, с.

Коэффициент кристаллизации зависит от температуры поверхности слитка и со снижением последней увеличивается, т.е. сокращается период полной кристаллизации слитка. При разливке на конвейерных разливочных машинах в металле движутся два фронта кристаллизации слитка. При этом для верхнего фронта кристаллизации коэффициент  $K$  одинаков для изложниц любой конструкции и составляет  $1,1 \cdot 10^{-3}$  м/с<sup>1/2</sup>; а для нижнего фронта кристаллизации равен согласно [3] данным приведенным в табл. 4.

Таблица 4

Показатель	Изложницы		
	Стандартные	Стержневые	Ячеистые
$K \cdot 10^{-3}, \text{ м/с}^{1/2}$	1,38	1,62	1,58
$t_{\text{кр}} - \text{с}$	1080	720	963

Полученные данные позволили рассчитать часовую производительность разливочной машины по формуле

$$P = 0,55 \cdot M/t \quad (4)$$

где  $P$  - производительность разливочной машины, т/ч;  $M$  - масса плавки, т;  $t$  - время затвердевания, ч; 0,55 - коэффициент использования разливочной машины.

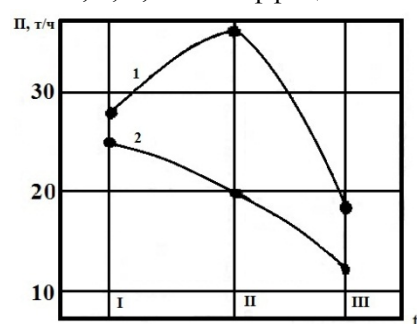


Рис. 3. Зависимость производительности разливочных машин от конструкции используемых изложниц: I - стандартная; II - стержневая; III - ячеистая; 1 - рекомендованная; 2 - существующая

Результаты расчета по уравнению (4), для скорости движения лент конвейеров 10 м/мин, дают основания утверждать, что наибольшая производительность разливочных машин (рис. 3) обеспечивается при использовании стержневых или стандартных изложниц с высотой их наполнения 75-80 мм.

Гранулометрический состав ферросиликомарганца приводится в табл. 5.

Гранулометрический состав сплава после разливки								
Требуемые фракции (ТУ или ГОСТ), мм	Выход, (%) фракции, мм							
	>100	>80	10-100	5-100	20-80	0-20	0-10	0-5
5-100	4	-	-	92	-	-	-	4
10-100	4	-	88	-	-	-	8	-
20-80	-	9	-	-	80	11	-	-

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, приведенные исследования эффективности использования изложниц различной конструкции для получения фракционированного ферросиликомарганца, отвечающего требованиям потребителей, показали, что применение для разливки ферросиликомарганца стандартных стержневых изложниц с высотой наполнения их не более 80 мм позволяет исключить из процесса получения фракционированного сплава стадию дробления. По основным технологическим и техническим показателям предпочтительным при разливке ферросиликомарганца является использование стержневых изложниц. С целью увеличения сроков эксплуатации рекомендуемых изложниц, необходимо оптимизировать их конструктивные параметры и химический состав металла изложниц.

#### Список литературы

1. Вейник А.И. Теплообмен между слитком и изложницей. М. Металлургия, 1959. – 357с.
2. Баптизмандский В.И., Рудой Л.С., Исаев Е.И. и др. Разливка и кристаллизация стали. – Киев. Высшая школа, 1993. – 267 с.
3. Люборец И.И., Ткач Г.Д., Кучер А.Г. и др. Сталь. – 1996. – №3. – С. 26-29.

Рукопись поступила в редакцию 23.03.13

УДК 669.162.16

Ф.М. ЖУРАВЛЕВ, канд. техн. наук, доц., В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,  
Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук, Ю.В. КОСОВ, Е.В. ЧУПРИНОВ, ассистент  
КМИ, ГВУЗ “Криворожский национальный университет”

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ РАСЧЕТА ШИХТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА И ОКАТЫШЕЙ ЗАДАННОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Для улучшения качества железорудного окускованного доменного сырья необходимо снижать колебания основных компонентов его химического состава. Разработана и испытана компьютерная программа, позволяющая рассчитывать заданные удельный расход компонентов шихты и полный химический состав агломерата и окатышей, в зависимости от заданных технологических параметров.

Для обеспечения высокопроизводительной работы доменных печей с минимальными удельными расходами энергоресурсов и выплавки высококачественного чугуна необходимо качественное окускованное железорудное сырьё (агломерат и окатыши) с минимальными колебаниями химического состава, крупности и металлургических характеристик. Эти свойства возможно достигнуть в случае использования тщательно усредненных на складе компонентов шихты, дозирования каждого из них автоматическими весовыми дозаторами с необходимой точностью, в рассчитанных соотношениях и заданных технологических параметров.

Применяемые расчеты в цехах по производству агломерата и окатышей отечественных металлургических и горнообогатительных комбинатов не используют полных химических составов компонентов шихты, степени сжигания твердого топлива в шихте, обеспечения в готовой продукции заданного количества определенных элементов и т.п. Так, например, на аглофабрике №3 аглодоменного департамента ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” расчет агломерационной шихты производят на современной вычислительной технике, но используют сокращенную методику (несложно сделать эти расчеты и вручную), учитывающую в химическом составе исходных материалов только: Fe, SiO<sub>2</sub> и CaO. В связи с этим неудивительно, что при проведении аудита службой директора по качеству предприятия содержание железа в готовом агломерате чаще всего отличается от расчетного на 1,5-2,0 %, а баланс железа в доменном цехе №1 при норме в разные годы 980-995 кг/т чугуна чаще всего составляет 1009-1015 кг/т чугуна, а в отдельные месяцы доходит и до 1028 кг/т чугуна.