

Зависимость $V_s(\sigma, T)$ описывается уравнением поверхности 2-го порядка (рис. 2а):

$$V_s = A - B \cdot \sigma - C \cdot T + D \cdot \sigma^2 + E \cdot \sigma \cdot T + F \cdot T^2, \quad (1)$$

где A, B, S, D, E, F – константы материала.

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

В работе экспериментально исследована взаимосвязь акустических параметров с механизмами пластической деформации на основе данных о скорости распространения ультразвука и кинетики фазовых превращений Fe-Cr-Ni сплавов.

Полученные корреляционные зависимости могут быть использованы в качестве информационных параметров, определяющих напряжённо-деформированное состояние металла в условиях пониженных температур и позволяют составить непротиворечивое мнение о природе и режиме развития мартенситных превращений, а также возможности реализации на других сплавах.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22-29-01608, <https://rscf.ru/project/22-29-01608/>.

Список использованных источников:

1. Ultrasonic waves for materials evaluation in fatigue, thermal and corrosion damage / V. Marcantonio, D. Monarca, A. Colantoni, M. Cecchini // Mech. Syst. Sign. Proc. – 2019. – Vol. 120. – P. 32–42.
2. Non-destructive techniques for the detection of sigma phase in duplex stainless steel: A comprehensive review / M.V. Biezma, U. Martin, P. Linhardt [et al.] // Eng. Fail. Analys. – 2021. – Vol. 122. – P. 105227.
3. Effect of strain rate on the strain-induced $\gamma \rightarrow \alpha'$ -martensite transformation and mechanical properties of austenitic stainless steels / J. Talonen, H. Hänninen, P. Nenonen, G. Pape // Met. Mat. Trans. A. – 2005. – Vol. 36. – P. 421–32.
4. Ultrasound velocity variation at plastic deformation of high-chromium steel / S.A. Barannikova, A.V. Bochkareva, A.G. Lunev [et al.] // Izv. Ferr.Metall. – 2016. – Vol. 59. – P. 558–564.
5. Barannikova S.A. Mechanical and acoustic properties of deformable alloys / S.A. Barannikova, M.V. Nadezhkin, P.V. Iskhakova // Izv. Ferr.Metall. – 2023. – Vol. 66. – P. 162–167.

СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Е.П. Теслева^а, к. ф.-м. н., доц., К.В. Кожневникова, студент

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета,

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^аtesleva@mail.ru

Аннотация: рассматривается способ предотвращения попадания шлака в готовую продукцию предприятия, а также уменьшения потерь выплавленного сплава на печках.

Ключевые слова: производство ферросилиция, переработка шлака.

Abstract: this article discusses a way to prevent the ingress of slag into the finished products of the enterprise, as well as to reduce the losses of the smelted alloy in furnaces.

Keyword: ferrosilicon production, slag processing.

Ферросилиций – это сплав железа с кремнием, который применяется для раскисления и легирования стали, а также для получения отливок из чугуна с заданным содержанием кремния [1, 2]. Рудным компонентом шихты при производстве ферросилиция является кварцит. Ферросплавное производство считается бесшлаковым или малошлаковым, поскольку кратность образующегося шлака составляет в среднем около 3 % [3, 4]. Однако увеличение добычи и реализации кварцита на Антоновском руднике привело к повышению содержания как мелких так и крупных фракций в поступающем на производство кварците. Рост содержания кварцита разного размера в шихте привел к ухудшению газопроницаемости колошника, повышению количества шлакообразующих примесей в шихте, снижению извлечения кремния и, как следствие, увеличению процентного содержания шлака, а также брака в готовой продукции [5]. В связи с этим возникла необходимость переработки шлака и поиска способов предотвращения попадания шлака в готовую продукцию предприятия.

Для решения поставленной задачи было предложено установить дополнительную изложницу непосредственно на шлаковню для осуществления сбора ошлакованного ферросилиция и его дальнейшей переработки методом переплава.



Рис. 1. Установка изложницы



Рис. 2. Ошлакованный ферросилиций

Для проведения опытов по извлечению металлической фазы из шлаков выплавки ферросилиция марки ФС 75 были сформированы две партии шлака. Первая партия формировалась во время производства ферросилиция марки FeSi 75 Al 1,5, получаемого путем рафинирования рядового ферросилиция сидеритом (табл. 1, выпуск 1–4); вторая – при производстве рядового ферросилиция без рафинирования (табл. 1, выпуск 5–7).

Таблица 1

Условия отбора опытных партий шлака

№ выпуска	Si _{исх} , % масс.	Навеска сидерита, кг	Si _{марк} , % масс	Al _{марк} , % масс	Масса шлака в шлаковне, кг	Масса конгломерата в изложнице, кг	Всего, кг
1	76,4 %	50	78,2 %	1,07 %	209,8	11,6	221,4

Окончание таблицы 1

№ выпуска	Si _{исх} , % масс.	Навеска сидерита, кг	Si _{марк} , % масс	Al _{марк} , % масс	Масса шлака в шлаковне, кг	Масса конгломерата в изложнице, кг	Всего, кг
2	78,5 %	100	77,1 %	1,22 %	94,5	309,8	404,3
3	78,2 %	100	75,0 %	1,54 %	202,5	19,5	222
4	76,2 %	150	75,0 %	1,53 %	174,5	43	217,5
5	80,2 %	0	79,0 %	1,46 %	221,5	0	221,5
6	73,9 %	0	71,7 %	–	0	241,5	241,5
7	78,0 %	0	76,4 %	1,47 %	0	241,5	241,5

Опытные партии формировались следующим образом. После окончания разливки, остатки ферросилиция из ковша сливались в отдельную изложницу, а шлак выгребали в пустую шлаковню. При этом получали ферросилиций, загрязненный шлаком, и обедненный шлак. Это позволило определить количество металла, теряющегося при разливке. После двадцатиминутного охлаждения, шлак разбивали на куски менее 500 мм и укладывали в металлические барабаны объемом 0,2 м³. Барабаны маркировали и взвешивали, чем достигалось раздельное хранение и раздельная последующая подготовка партий шлака. В некоторых случаях отбирались образцы конгломерата из поддона и образцы шлака из шлаковни для анализа на химический состав (табл. 2).

Химический анализ проб шлака

Номер выпуска, пробы	Состав проб шлака, % масс.						
	Si	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe _{общ}	SiC
1	12,9	22,59	19,10	11,75	1,80	4,30	17,58
1'	18,4	18,09	17,30	8,53	3,81	5,44	15,79
1''	28,3	17,30	15,00	8,52	2,69	9,48	9,04
2	26,9	21,84	13,99	6,98	3,13	10,55	8,28
2'	40,3	6,03	11,10	3,89	4,81	12,90	2,94
2''	59,2	5,50	4,59	0,96	0,96	17,20	1,95
2'''	22,7	19,43	14,34	9,64	2,89	7,23	13,02
3'	28,5	15,73	13,54	6,38	3,69	10,76	9,24
4'	26,2	18,85	13,76	7,93	2,30	9,66	10,38
4''	43,1	19,73	8,80	3,92	2,48	14,93	5,14
5	33,1	15,97	13,4	7,9	0,7	8,4	13,8
6'	10,1	21,61	22,1	14,0	1,4	2,94	17,5
7'	17,1	22,76	21,7	11,8	0,9	4,4	18,0

Примечание: номера проб, помеченных штрихами, отбирались от образцов, остальные – средние от выпуска.

По окончании разливки нерафинированного ферросилиция практически весь шлак оказался застывшим в виде шлакометаллических коржей, поэтому слив последних порций металла не вызывал никаких затруднений. В случае рафинированного сидеритом ферросилиция отсечка металла представлялась весьма затруднительной.

Металл в шлаке рафинированного ферросилиция в основном рассредоточен в виде мелких корюшечек, однако имеются и крупные включения. Металлические включения в шлаке нерафинированного ферросилиция представляют собой крупные настлы, которые образуют слоеный шлакометаллический корж.

В результате исследования было определено, что масса теряемого металла колеблется в зависимости от мастерства кранового машиниста и конкретных условий разливки (расположение шлаковых настывей в ковше, жидкоподвижности шлака к концу разливки и т. д.). Потери металла со шлаком связаны с тем, что существует опасность загрязнения слитков при разливке последних порций металла.

Крановые машинисты прекращают разливку при появлении такой опасности. Анализ показал, что с одного выпуска теряется от 25 кг до 45 кг ошлакованного металла, что составляет в среднем 1 % от веса металла.

Таким образом, при проведении в среднем 16 выпусков сплава из одной рудовосстановительной печи в сутки возвращается в производство от 256 до 720 кг металла теряющегося при чистке ковшей, с четырех печей до 2880 кг в сутки.

Учитывая проведенные опытные кампании по отделению ошлакованного металла от основного шлака экономически целесообразно произвести установку изложницы на шлаковню для сбора ошлакованного металла при разливке ферросилиция. После формирования слитка ошлакованного металла в изложнице необходимо производить его переработку методом переплава.

Это позволит минимизировать потери выплавленного сплава на печах, а также повысить качество отгружаемого потребителю ферросилиция и исключить попадание ошлакованного металла в товарную продукцию.

Список использованных источников:

1. Воскобойников В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушева – 6-изд., перераб и доп. – ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с. : 253 ил.
2. Зубов В.Л. Электрометаллургия ферросилиция / В.Л. Зубов, М.И. Гасик. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов / Н.В. Толстогузов. – М.: Металлургия. 1992 г. – 241 с.

4. Теслев С.А. Использование железорудных неофлюсованных окатышей при производстве ферросилиция / С.А. Теслев, Е.П. Теслева // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. – Томск: ТПУ, 2015. – С. 155–158.
5. ГОСТ 1415–93. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 2 июня 1994 г. No 160: дата введения 1997-01-01. – Минск.

**РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПОДТАЛКИВАТЕЛЬ КОРМОВ
ПОВЫШЕННОЙ МОБИЛЬНОСТИ С АКТИВНЫМ ШНЕКОРОТОРОМ**

А.В. Проскоков^{1б}, к.т.н., доц., А.В. Алексин¹, студент, В.Р. Рашитов^{2а}, директор ООО ЮНИТ
¹Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
²ООО «Юргинские научно-инженерные технологии»
652065, Кемеровская обл., г. Юрга, пр. Победы 28Б
E-mails: ^аyurga-unit@mail.ru, proskokov@tpu.ru^б

Аннотация: В данной статье представлено описание конструкции самоходного робота-толкателя для животноводческой фермы. Благодаря улучшенным ходовым характеристикам он способен составить конкуренцию известным аналогам. Автономность самоходного робота толкателя позволяет минимизировать участие человека в работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи. Для составления программы прохождения робота оператору необходимо провести робота по маршруту, который запоминается и может повторяться многократно. При необходимости в любой момент времени можно вносить изменения в программу.

Ключевые слова: Робот-толкатель, роботизированная ферма, система управления, траектория движения, система позиционирования.

Abstract: This article describes the design of a self-propelled pusher robot for a livestock farm. Thanks to the improved driving characteristics, it is able to compete with well-known analogues. The autonomy of the self-propelled pusher robot allows minimizing human participation in the work. The owner of such a device only needs to carry out maintenance: external inspection, lubrication of rubbing parts, maintenance of the battery. To create a program for passing the robot, the operator needs to guide the robot along a route that is remembered and can be repeated many times. If necessary, you can make changes to the program at any time.

Keywords: Robot pusher, robotic farm, control system, motion trajectory, positioning system.

В условиях современной животноводческой фермы с целью повышения производительности подача свежего корма в кормушки осуществляется круглосуточном режиме с помощью специальных кормораздатчиков. Животные, находящиеся на стойловом содержании при поедании корма выбирают более привлекательные массы, при этом отодвигают большую его часть от себя. Чтобы обеспечить стабильным доступом к кормам постоянно требуется его периодическое подталкивание к животным. Автономность самоходного робота толкателя позволяет минимизировать участие человека в его работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, подкачка колес, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи.

Данный продукт позволит механизировать тяжелый ручной труд фермеров и снизить зависимость от человеческого фактора. Применение робота толкателя возможно, как начальный уровень перехода на роботизированные технологии умной фермы.

В целом на рынке имеется довольно большое количество вариантов роботов-толкателей кормов. По принципу смещения можно выделить две основные разновидности: смещение кормов за счет сдвига весом робота, и машины с активным шнекоротором для перемешивания кормов. Рассмотрим технические характеристики некоторых из них.

Известен кормоподталкивающий робот JOZ Moov барабанного типа [1], который имеет систему навигации, состоящую из транспондеров и гироскопа, что позволяет роботу всегда проходить максимально точно свой маршрут. Система связи, установленная на устройстве позволяет управлять движением с помощью беспроводного соединения со станцией управления J-load, что позволяет управлять роботом на компьютере или смартфоне с помощью сервиса JOZ Management Servise. Также возможно управление через пульт.