

Н. К. Сигарев, канд. техн. наук, доцент, e-mail: sigarev_NK@ua.fm

Я. А. Сорока, аспирант, e-mail: soroka-90@mail.ua

Д. О. Плакущий, соискатель

Днепропетровский государственный технический университет, Каменское

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В ВИДЕ ФИЛЬТРА

Приведены результаты физического моделирования растворения фильтров из шлакообразующих смесей. Определены скорости потоков в объеме исследуемого ковша. По результатам расчетов значимыми факторами являются количество отверстий в фильтре и интенсивность продувки, высота (диаметр) фильтра почти не влияет на процесс растворения.

Ключевые слова: моделирование, фильтр, растворение, шлакообразующие смеси, продувка.

Приведено результати фізичного моделювання розчинення фільтрів зі шлакоутворюючих сумішей. Визначено швидкості потоків в об'ємі ковша, що досліджувався. За результатами розрахунків значущими факторами є кількість отворів у фільтрі та інтенсивність продування, висота (діаметр) фільтру майже не впливає на процес розчинення.

Ключові слова: моделювання, фільтр, розчинення, шлакоутворюючі суміші, продування.

The results of physical modeling of the dissolution of the filters of slag-forming mixtures are presented. Flow velocities in the volume of the test ladle are defined. On the calculations significant factors are the number of holes in the filter and the intensity of the blowing, the height (diameter) of the filter has little effect on the dissolution process.

Keywords: modeling, filter, dissolution, slag-forming mixtures, blowing.

Введение

Повышение конкурентноспособности литейных цехов возможно только при обеспечении выпуска качественных отливок, низком проценте брака и расширении производства. Существенная доля брака литейных цехов приходится на неметаллические и шлаковые включения, повышенное содержание газов. Значительно сократить брак отливок по этим причинам позволяет повышение эффективности рафинирующей обработки металла в ковше.

При внедрении процессов внепечной обработки, особенно в малотоннажных разливочных литейных ковшах, всегда достаточно остро стоял вопрос дефицита времени на обработку и существенное снижение (потери) температуры особенно при использовании рафинирующих смесей (как правило, 50–90 °С). Уменьшение этих потерь и сокращение времени на обработку может дать предложенный способ внепечного рафинирования расплавов, в котором совмещены три операции: одновременная продувка, фильтрация и обработка рафинирующим реагентом.

В работах [1–2] представлены результаты исследований внепечной обработки с применением фильтров / фильтрующе-рассеивающих перегородок.

Постановка задачи. Целью данных исследований является определение скорости растворения фильтров при разной интенсивности продувания, факторы, влияющие на растворимость фильтров, и время внепечной обработки в целом.

Практическая реализация соответствующих экспериментов связана с проведением огромного числа опытов. Поэтому весьма целесообразно применение методов

Затвердевание сплавов

проведения активных экспериментов по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа 2^k , что позволит получить искомые регрессионные зависимости. В качестве факторов приняли толщину фильтра, количество отверстий, расход газа на продувку. Пределы изменения факторов приведены в табл. 1, а матрица проведения – в табл. 2.

Таблица 1

Пределы изменения факторов

Изменения факторов	Толщина фильтра X_1 , мм	Количество отверстий X_2 , шт	Расход газа на продувку X_3 , л/мин
Минимальная величина фактора min	15	14	1,6
Максимальная величина фактора max	25	34	2,4
Основной уровень	20	24	2,0
Интервал варьирования	5	10	0,4

Таблица 2

Матрица проведения экспериментов

Номер опыта	Факторы						
	толщина фильтра X_1 , мм		количество отверстий X_2 , шт		расход газа X_3 , л/мин		время растворения, мин
	кодированное	натуральное	кодированное	натуральное	кодированное	натуральное	среднее значение
1	+	25	+	34	+	2,4	8,0
2	-	15	+	34	+	2,4	13,5
3	+	25	-	14	+	2,4	8,25
4	-	15	-	14	+	2,4	6,0
5	+	25	+	34	-	1,6	18,3
6	-	15	+	34	-	1,6	6,5
7	+	25	-	14	-	1,6	12,2
8	-	15	-	14	-	1,6	6,01

Исследования проводились посредством метода физического моделирования в лаборатории кафедры металлургии черных металлов ДГТУ, основанного на положениях теории подобия на модели литейного конического ковша [1–2].

В качестве моделирующей жидкости использовали воду при температуре 18 °С. Для продувки моделирующей среды использовали воздух, который подавался сквозь погружную фурму (диаметр сопла составляет 1 мм), а его расход измерялся ротаметром. Визуализацию потоков жидкости осуществляли с помощью полистироловых шариков (трассеров) диаметром 0,3–1,5 мм. Количественные значения скоростей потоков жидкости определяли посредством расчета отношения измеренных на фотоотпечатках длин треков трассеров ко времени экспозиции с учетом коэффициентов масштабирования. Для измерений скоростей потоков

Затвердевание сплавов

выбирали 20 точек в наиболее характерных зонах и измеряли длину трека за определенное время (1 сек).

Для моделирования рафинирующих процессов использовали растворимые фильтры, выплавленные из карбамида, диаметрами 200 и 300 мм (рис. 1).

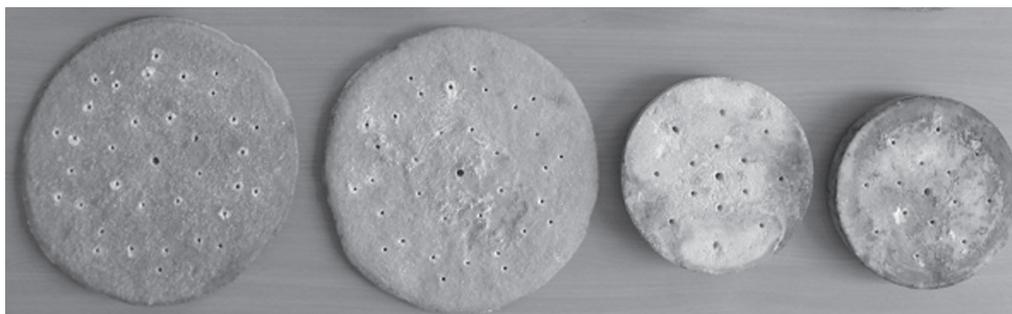


Рис. 1. Фото растворимых фильтров из шлакообразующей смеси

Масса фильтров составляла 750–800 г. Диаметр отверстий – 4 мм. Разметка отверстий в фильтрах представлена на рис. 2.

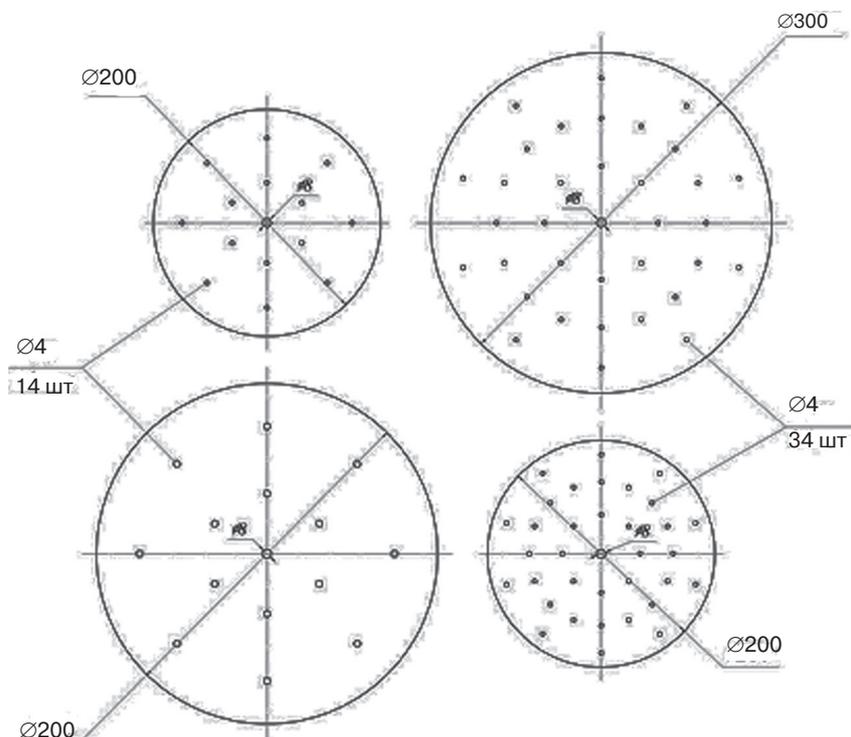


Рис. 2. Разметка отверстий в фильтрах

Результаты исследований. В процессе моделирования исследовали особенности гидродинамики ванны и скорость растворения фильтров при подаче сквозь погружную фурму газа с расходом 1,6 и 2,4 л/мин. Схема распределения потоков жидкости при продувке газом приведена на рис. 3.

Установлено, что при растворении фильтра в направлении от продувочного узла формируется застойная зона, наблюдается сильное размывание днища ковша в месте удара газовой струи. Далее фильтр растворяется и его поверхность уменьшается, интенсивность перемешивания увеличивается, что приводит к оголению зеркала металла.

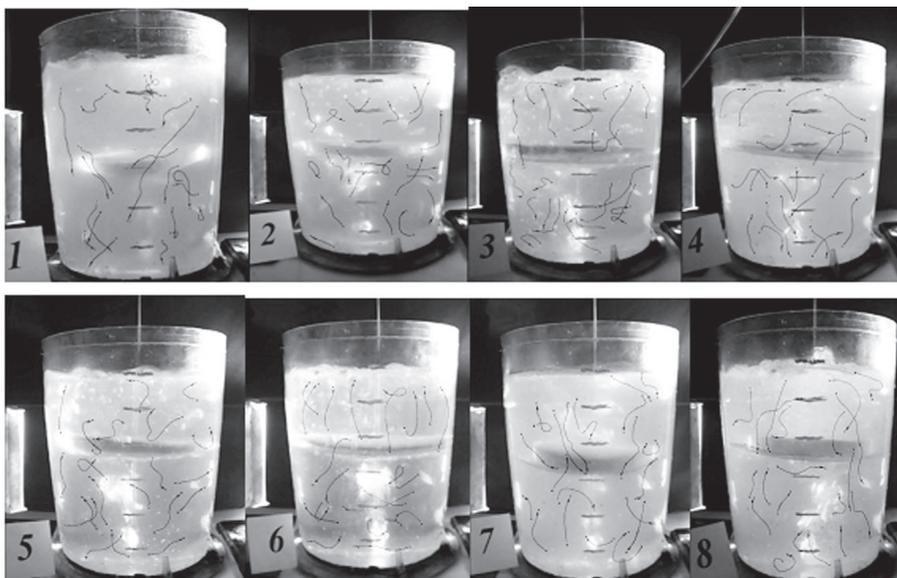


Рис. 3. Схема распределения потоков жидкости при верхней продувке с расходом газа 1,6 и 2,4 л/мин

В ходе исследований установлено, что фильтры, имеющие 34 отверстия, растворялись быстрее независимо от интенсивности продувки. Фильтры, имеющие 14 отверстий, растворялись достаточно быстро при интенсивности продувки ванны 2,4 л/мин. Время растворения фильтров находятся в пределах 6,0–13,5 мин.

По окончании растворения фильтров во всех случаях на поверхности жидкости наблюдалось устойчивое образование имитируемого шлакового пояса и незначительный осадок на днище ковша.

На графиках (рис. 4) видно активные зоны с максимальными скоростями на поверхности ванны ($W = 0,722$ м/с с контрольными точками $R = 0,048$; $H = 0,135$) и застойные зоны у днища ковша ($W = 0,078$ м/с с контрольными точками $R = -0,026$; $H = 0,152$).

В результате реализации опытов по плану эксперимента было получено уравнение:

$$\begin{aligned}
 Y &= 28,342 - 0,8554x_1 - 3,1x_2 - 16,2938x_3 + 0,1616x_1x_2 + \\
 &+ 0,6765x_1x_3 + 1,69x_2x_3 - 0,0835x_1x_2x_3 \\
 Y &= 28,342 - 0,8554 \cdot 25 - 3,1 \cdot 34 - 16,2938 \cdot 2,4 + 0,1616 \cdot 25 \cdot 34 + \\
 &+ 0,6765 \cdot 25 \cdot 2,4 + 1,69 \cdot 34 \cdot 2,4 - 0,0835 \cdot 25 \cdot 34 \cdot 2,4 = 7,975 = 8,0
 \end{aligned}$$

По результатам расчетов значимыми факторами являются количество отверстий в фильтре и интенсивность продувки, высота и диаметр фильтра почти не влияют на процесс растворения, поэтому высоту и диаметр фильтра выбирают конструктивно, для удобства производства. Расчетное значение Y по полученному уравнению для нулевого уровня для изучаемых факторов равнялось 8, что соответствует экспериментальным данным.

Выводы

Определено, что на образце (литейный однотонный ковш) при верхней продувке ванны инертными газами с использованием растворимых фильтров скорости потоков металла в объеме исследуемого ковша при интенсивности продувки 5,75–8,75 л/(мин·т) находятся в пределах 0,078–0,722 м/с.

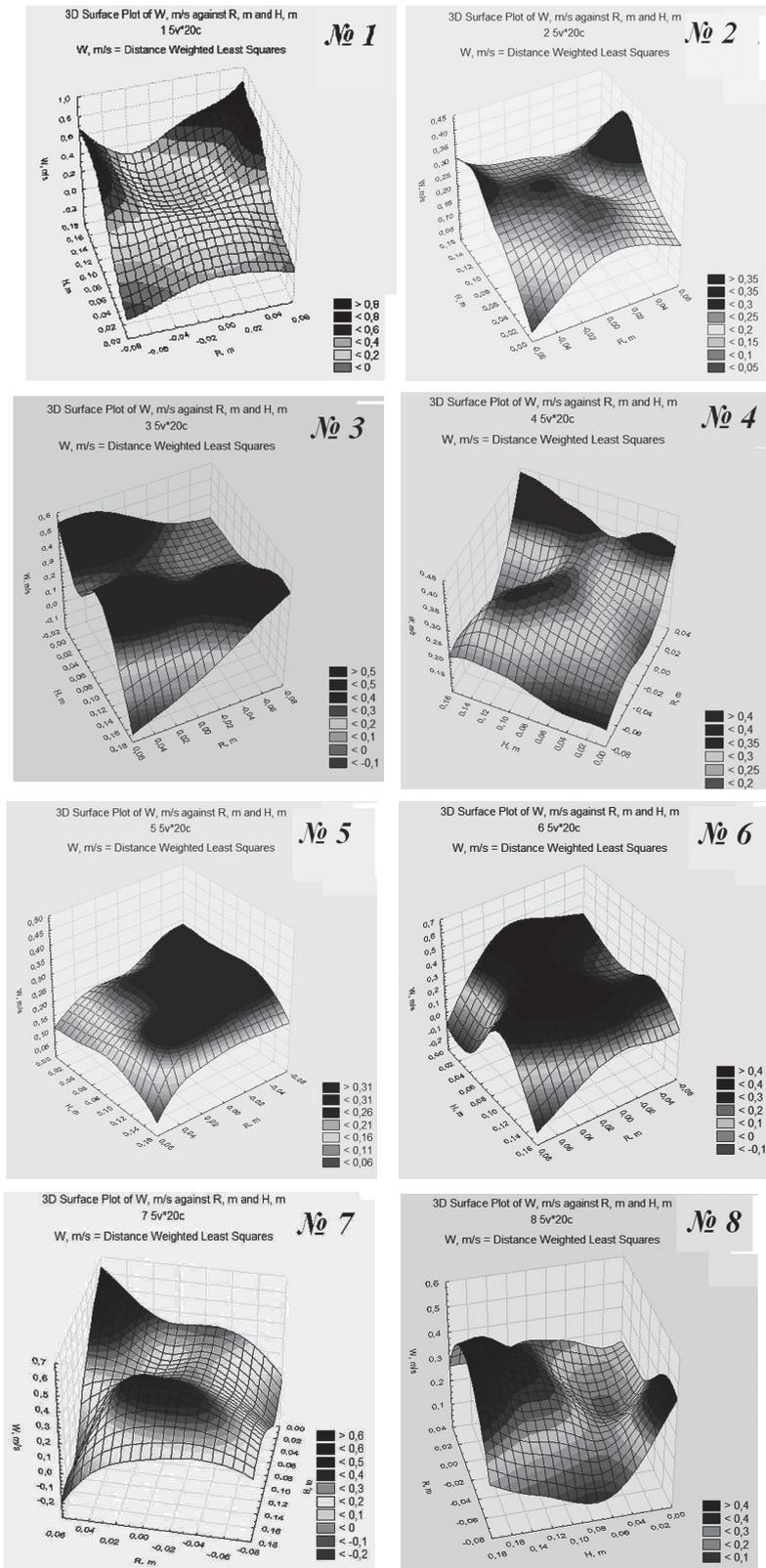
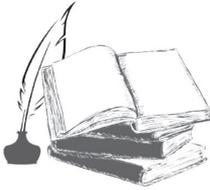


Рис. 4. Зависимость распределения скорости (W) потоков металла в однотонном литейном ковше от расположения контрольных точек (R и H)



Список литературы

1. Сигарев Н. К. Физическое моделирование гидродинамики жидкого металла в литейном ковше при верхней продувке ванны с использованием фильтрующе-рассеивающей перегородки / Сигарев Н.К., Сорока Я.А., Плакущий Д.О. // Сб. ДГТУ. – Днепродзержинск, 2015. – Вип. 2 (27). – С. 17–23.
2. Сігарьов М. К. Вплив інтенсивності продування на гідродинаміку металу в ливарному ковші / Сігарьов М.К., Сорока Я.А., Плакущий Д.О. // Металознавство та обробка металів. – 2016. – Вип. 3.– С. 25–31.



References

1. Sigarev, N., Soroka, Y., Plakuschiy, D. (2015). Fizicheskoe modelirovanie gidrodynamici zhidkogo metalla v liteynom kovshe pri verkhney produvke vannы s ispolzovaniem filtruyushche-rasseivayushchey peregorodki [*Physical modeling of hydrodynamics of liquid metal in the foundry ladle during top blowing of a bath with the use of filtering and scattering partition*]. Sb. DGTU. Dniprodzerzhyns'k, Vol. 2 (27), pp. 17–23. [in Russian].
2. Sigarev, N., Soroka, Y., Plakuschiy, D. (2016). Vplyv intensyvnosti produvannya na hidrodynamiku metalu v lyvarnomu kovshi [*The influence of blowing on hydrodynamics of metal in the casting ladle*]. Metaloznavstvo ta obrobka metaliv, Vol. 3, pp. 25–31. [in Ukrainian].

Поступила 11.07.2017