

2. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев [и др.] // Под ред. Ю.С. Юсфина. – М.: Академкнига, 2004. – 774 с.
3. Кузнецов А.М. Использование восстановительной способности газов и развитие прямого восстановления железа в ходе совершенствования параметров доменной плавки / А.М. Кузнецов, И.Г. Товаровский, В.И. Большаков // Металл и литье Украины. – 2004. – № 11. – С. 6-10.
4. Любан А.П. Анализ явлений доменного процесса / А.П. Любан. – М., 1962. – 535 с.
5. Андронов В.П. Минимально возможный расход кокса и влияние на него различных факторов доменной плавки / В.П. Андронов. – Санкт-Петербург: Издательство СПбГТУ, 2001. – 142 с.
6. Товаровский И.Г. Эволюция доменной плавки / И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.
7. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика / Е.Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1981. – 240 с.

Рецензент: В.П. Тарасов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 01.02.2011

УДК 669.16.002.68

Маслов В.А.¹, Дубовкина М.Ю.², Хлестова О.А.³

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧУГУНА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

В статье рассмотрены условия и источники образования графитовой спели. Предложено использование математических моделей снижения температуры чугуна с целью определения выхода углеродсодержащих отходов.

Ключевые слова: графитовая спель, температура чугуна, математическая модель, углеродсодержащие отходы, ресурсосбережение.

Маслов В.О., Дубовкіна М.Ю., Хлестова О.А. Використання математичних моделей зниження температури чавуну з метою визначення вуглецьвмісних відходів. У статті розглянуто теоретичні основи і дано аналіз утворення графітової спелі. Запропоновані методи визначення ділянок з максимальною кількістю вуглецьвмісних відходів.

Ключові слова: графітова спель, температура чавуну, математична модель, утилізація, вуглецьвмісні відходи, ресурсозбереження.

V.A. Maslov, M.Y. Dubovkina, O.A. Khlestova. Usage of mathematical models for decreasing of pig iron temperature to detect carbonaceous wastes yield. In the article theoretical principles and analysis of graphite spill origination have been considered. It also proposes methods to determine segments with maximum percentage of carbonaceous wastes for their further utilization.

Key words: graphite spill, pig iron temperature, utilization, carbonaceous wastes, resource-savin.

Постановка проблемы. Задача управления отходами как источниками ценного сырья для самой металлургии и других отраслей народного хозяйства включает исследование источников образования, механизмов отходообразующих процессов, качественной и количественной оценки состава отходов.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Анализ последних исследований и публикаций. Производство и последующий передел чугуна на металлургических предприятиях связан с разливкой, транспортировкой, переливами и дополнительными операциями (например, десульфурацией). Во всех этих случаях образуются неорганизованные углеродсодержащие отходы, улавливание и последующая переработка которых представляет существенную проблему [1]. Железографитовые отходы, образующиеся в большом количестве на отдельных стадиях переработки чугуна, являются ценным сырьем для получения различных продуктов [2]. По данным НПО «Энергосталь» ресурсы графитосодержащих отходов (ГСО) по предприятиям черной металлургии стран СНГ оцениваются в количестве не менее 4 млн. тонн, в том числе 80% отделений десульфурации и миксерные. Выход дисперсных железографитовых отходов составляет до 600 г/т чугуна [3]. Дисперсные железографитовые отходы представляют собой смесь частиц чугуна, оксидов железа, графита и шлака [4]. Анализ дисперсных (ГСО) отделений десульфурации, проведенный в работе [5], показывает, что содержание углерода в них изменяется в широких пределах (36,15-53,23%). Образование графита в виде кристаллов из расплава связано с понижением температуры жидкого чугуна. Если принять, что суммарное охлаждение чугуна при переливах достигает 100 °С, то теоретическое выделение графита может составить 2,2 -2,5 кг на каждую тонну передельного чугуна, т.е. при производстве 1 млн. тонн чугуна выделится до 2500 тонн графита, из них до 2300 тонн находится в смеси со шлаком (скраповые отходы), а до 200 т графита – в виде пылеобразных железографитовых отходах (ЖГО) [6]. Рациональная переработка ЖГО позволяет достичь существенной экономии в черной металлургии. Такие отходы являются дешевым высококачественным сырьем для производства графита и изделий из него, могут быть основой для получения композиционных порошковых материалов, обладающих радиоэкранирующими и радиопоглощающими свойствами, при производстве аккумуляторного графита, графитовых смазок и коллоидных графитовых препаратов, в качестве добавок в аглошихту и при получении окатышей и брикетов [7-10].

Цель статьи – Использование математических моделей снижения температуры для качественной и количественной оценки процесса образования одного из важнейших вторичных сырьевых ресурсов – углеродсодержащих отходов, позволяющих решить задачи по определению количества образовавшейся графитовой пыли на каждом участке доставки чугуна от доменной печи к миксеру ККЦ.

Изложение основного материала. Технология металлургического производства связана с переработкой природных сырьевых материалов с образованием побочных продуктов и большого количества отходов, представляющих собой ценные вторичные сырьевые и энергетические ресурсы.

Образование углеродсодержащих отходов сопровождается различными переделами металлургического предприятия с полным циклом. Как показывают проведенные исследования [11], наибольшее количество углерода в виде пылей, газов и шламов образуется при переработке чугуна. Большие выбросы пыли наблюдаются на литейном дворе, в отделении десульфурации в период продувки чугуна, в период скачивания шлака, а также в миксерных отделениях в период заливки и слива чугуна. Основным условием образования углеродсодержащих отходов является снижение температуры жидкого чугуна, которое на разных стадиях производства и потребления различно.

Углеродсодержащая пыль выделяется практически на всех операциях доменного цеха, сопровождающихся движением и обработкой шихтовых материалов и продуктов доменной плавки, на литейном дворе и далее до сталеплавильного агрегата. Основной составляющей углеродсодержащих отходов является графит. Графитовая пыль (спель) выделяется из насыщенного углеродом чугуна во всех технологических операциях, связанных с его охлаждением в условиях конвективного или лучистого теплообмена открытых поверхностей расплавленного металла с окружающей средой. Это явление объясняется уменьшением растворимости углерода в железе при понижении температуры [12]. Включения графита при температурах чугуна перед заливкой в сталеплавильные агрегаты (1250 —1400°С) имеют форму пластин толщиной от долей микронов до 20-50 мкм при медианном размере от 10 мкм до нескольких миллиметров.

Чугун теряет тепло на выпуске преимущественно излучением, при транспортировке за счет аккумуляции тепла футеровкой ковша, через корпус излучением и конвекцией. Как подтверждает практика металлургических заводов, жидкий чугун в чугуновозных ковшах остывает со скоростью 3-6 град/мин, в то время как при переливах за считанные минуты он остывает

на 20-30 °С. В период обработки в отделении десульфурации часть тепла теряется излучением за счет продувки чугуна азотом. Значительная доля тепловой энергии чугуна расходуется на аккумуляцию тепла продувочной фурмой и на нагрев вводимых реагентов.

При снижении температуры расплава на Δt °С выделяется определенное количество графитовой спели C_g , которое может быть определено из зависимости Шенка [13]:

$$C_g = 1,30 + 2,57 \cdot 10^{-3} \Delta t + 0,027 Mn - 0,31 Si - 0,33 P - 0,4 S. \quad (1)$$

Для прогнозирования снижения температуры чугуна и расчета выхода графитовой спели на всех участках в процессе доставки его от доменной печи к миксеру ККЦ использованы эмпирические зависимости из работы [14]. Полученные зависимости были использованы для расчета выхода графитовой спели при транспортировке чугуна от доменной печи до миксерного отделения (таблица), где ΔT_1 – снижение температуры чугуна, °С; τ_b – время технологических операций, мин; $M_{ч}$ – масса чугуна в ковше, т.

Согласно предложенным моделям можно рассчитать, что при транспортировке чугуна между технологическими операциями теряется от 8 кг графитовой пыли на каждые 100 тонн чугуна.

Анализ результатов расчета показал, что общее снижение температуры при доставке в чугуновозном ковше составляет 34 °С, снижение температуры при выполнении технологических операций (3,4,5,7) – 20,2 °С. Это является причиной высокого уровня выхода графитовой спели.

Таблица

Математические модели снижения температуры чугуна в процессе доставки и соответствующие им расчетные значения (при массе чугуна в ковше 90 т.) выхода графитовой спели

Номер участка	Участок	Математическая модель, статистическое описание	Расчетное снижение температуры чугуна, ΔT	Выход графитовой спели, кг/т чугуна	Количество графитовой спели, при массе чугуна в ковше 90т в кг
1	Литейный двор	$\Delta T_1 = 67,0 - 4,6\tau_b^2 + 0,32(90 - M_{ч})$	48	0,12	10,8
2	Доставка в отделение десульфурации	$\Delta T_2 = T_2 - 0,29\tau$	18	0,046	5,13
3	Первая ступень десульфурации	$\Delta T_3 = T_3 - 2,5\tau$	9,5	0,024	4,05
4	Время между ступенями десульфурации	$\Delta T_4 = T_4 - 0,01\tau$	0,5	0,001	
5	Вторая ступень десульфурации	$\Delta T_5 = T_5 - 1,5\tau$	7,5	0,02	
6	Доставка в отделение скачивания шлака	$\Delta T_6 = T_6 - 0,08\tau$	5,5	0,014	1,26
7	Скачивание шлака	$\Delta T_7 = T_7 - 0,29\tau$	2,7	0,007	0,63
8	Доставка в миксерное отделение ККЦ	$\Delta T_8 = T_8 - 0,4\tau$	10,5	0,027	2,43
Всего	От литейного двора до миксерного отделения ККЦ		102,2	0,27	24,3

В целом, при температуре чугуна на выпуске 1430 °С, его конечная температура при сливе в миксер составит 1328 °С. Из этого следует, что согласно предложенным моделям расчетное снижение температуры от доменной печи до кислородно-конвертерного цеха равно 102 °С.

Расчеты, выполненные согласно приведенным зависимостям, позволили получить фактические данные снижения температура жидкого чугуна. По приведенным расчетам определены участки с максимальным количеством образования графитовой спели. Прежде всего, это литейный двор, процессы доставки, далее десульфурация чугуна, скачивание шлака.

Полученные данные позволяют рассчитать отходообразующие потоки и стадии процессов во времени. Четко прослеживается связь количества отходов с продолжительностью и способом проведения технологических операций, что позволяет всесторонне оценить вклад процесса доставки чугуна в общие отходообразующие потоки металлургического производства.

Выводы

1. Предложенный метод расчета позволил решить задачу по определению количества образовавшейся графитовой пыли на каждом участке доставки чугуна от доменной печи к миксеру ККЦ.
2. Анализ полученных зависимостей и проведенных по ним расчетов позволяет сделать качественную (обусловленную температурой) и количественную оценку процесса образования одного из важнейших вторичных сырьевых ресурсов – углеродсодержащих отходов.
3. Определение участков максимального образования графитовой спели для ее сбора и дальнейшей утилизации позволяет решать задачи ресурсосбережения и экологии.

Список использованных источников:

1. Маслов В. А. Дифференциальный термический анализ кинетики карботермического восстановления дисперсных железорафитовых отходов металлургического производства / В. А. Маслов [и др.] // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. пр. – Маріуполь, 2003. – Вип. № 13. – С. 76–79.
2. Кравец В.А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна / В.А.Кравец. – Донецк: УкрН-ТЕК, 2002. – 186 с.
3. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии / А.И.Толочко [и др.]. – Челябинск : Металлургия, Челябинское отд-ние, 1990. – 152 с.
4. Магнитный композиционный материал из отходов производства/ В.А. Маслов [и др.] //Порошковые магнитные матеиалы. – К, 1987. – С. 29–33.
5. Маслов В. А. Особенности подготовки к переработке дисперсных железорафитовых отходов отделения десульфурации / В. А. Маслов, Л. А. Трофимова, Л. А. Дан // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. пр. – Маріуполь, 2010. – Вип № 20. – С. 144–148.
6. Южаков Б. А. Исследование физико-химических и технологических свойств дисперсных железорафитовых отходов ОАО «Азовсталь» / Б. А. Южаков, В. А. Маслов // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: сб. науч. работ. – Мариуполь, 1998. – Вып. 6. – С.30–34.
7. Лобас М. Я. Промислове виробництво графіту та графітових препаратів на Маріупольському графітовому комбінаті / М. Я. Лобас, М. В. Кабанов, В. О. Маслов // Хімічна промисловість України. – 1994. – № 4. – С.49–54.
8. Мещерякова Н. И. Утилизация железосодержащих отходов при производстве окатышей за рубежом / Н. И. Мещерякова, О. Ф. Корякова // Бюллетень ЦНИИЧМ. – 1985. – № 9. –С. 8–15.
9. Железоуглеродистый брикет оптимального состава / В.В.Ожогин [и др.] // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. пр. – Маріуполь, 2004. – Вип № 14. – С. 26–29.
10. Изучение восстановимости шламоуглеродистых брикетов / В. В. Ожогин [и др.] // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. пр. – Маріуполь, 2004. – Вип № 14. – С.30–33.
11. Волошин В. С. Механизмы образования отходов углерода в металлургии / В. С. Волошин, О. А. Хлестова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. пр. – Маріуполь, 2009. –Вип. № 19. – С.293–295.
12. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
13. Зайцев В. С.Влияние массы чугуна на его конечную температуру при транспортировке в чугуновозных ковшах / В. С. Зайцев, М. Ю. Дубовкина.// Теория и практика металлургии. – 2001. – № 6. – С. 8–10.
14. Зайцев В. С. К вопросу моделирование потерь тепла в чугуновозном ковше / В. С. Зайцев, М. Ю. Дубовкина // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. пр. – Маріуполь, 2001. – Вип. № 11. – С. 259–262.

Рецензент: А.М.Скребцов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 25.03.2011