



УДК 669.

Поступила 17.06.2015

ПОИСК СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ПЫЛИ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА БЕЛОРУССКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

FINDING WAYS OF RECYCLING DUST OF ARC STEEL FURNACES AT THE BELARUSIAN METALLURGIC PLANT

Часть первая. Теоретические и лабораторные исследования

Part 1. Theoretical and laboratory research

А. В. ДЕМИН, А. И. РОЖКОВ, О. М. ГРУДНИЦКИЙ, В. В. НИКОЛАЕВ, А. В. ФЕКЛИСТОВ,
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Беларусь

A. V. DEMIN, A. I. ROZHKOV, O. M. GRUDNICKIJ, V. V. NIKOLAEV, A. V. FEKLISTOV,
JSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Belarus

В первой части рассматривается теоретическая возможность утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей. Приведены различные режимы утилизации пыли в зависимости от поставленной задачи: утилизация с минимальными затратами, утилизация с максимальным извлечением железа или максимальным извлечением цинка. Даны результаты лабораторных исследований, доказывающих техническую возможность утилизации пыли, образующейся на Белорусском металлургическом заводе.

The first part examines the theoretical possibility of recycling dust of arc steel furnaces. The different modes of dust disposal depending on the task of recycling are discussed: recycling at minimal cost; recycling with a maximum extraction of iron; recycling with maximum extraction of zinc. The results of laboratory studies providing information on the technical feasibility of recycling dust formed at the Belarusian metallurgic plant are provided.

Ключевые слова. *Пыль дуговых сталеплавильных печей, углерод, процесс восстановления, шлак, цинк, математическое моделирование, эндотермическая реакция.*

Keywords. *Dust of electrical arc steel furnaces, carbon, recovery process, slag, zinc, mathematical modeling, endothermic reaction.*

В процессе выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) образуется отход производства четвертого класса опасности – пыль. Она представляет собой мелкодисперсный порошок, в состав которого входят оксиды различных элементов. Поэтому почти все способы утилизации пыли – восстановление оксидов с целью их дальнейшего использования.

Тепловые технологии обработки печной пыли основаны на высокотемпературном карботермическом восстановлении выбранных оксидов металлов, присутствующих в пыли. Основные цели данных технологий заключаются в создании безвредного утилизируемого шлака и восстановлении ценных металлов с минимальными производственными издержками. При тепловой обработке пыли углеродсодержащий восстановитель добавляется для восстановления оксидов цинка и свинца в пыли, а также для минимизации восстановления оксидов железа. Преимущество такого селективного восстановления заключается в экономии углерода и энергии и образовании меньшего количества оксидов углерода. Кроме того, требуется меньшая система подачи газа, а более низкие объемы его выделения предполагают уменьшение уноса исходных материалов. Однако для получения на газовой фазе достаточно высокого отношения CO к CO₂ для предотвращения избыточной обратной реакции двуокси углерода с парами цинка определенное восстановление металлического железа требуется при конденсации цинка.

Расчет идеального состояния равновесия на основе минимизации свободной энергии многокомпонентной и многофазной системы был проведен с помощью компьютерной программы MintekPyrosim

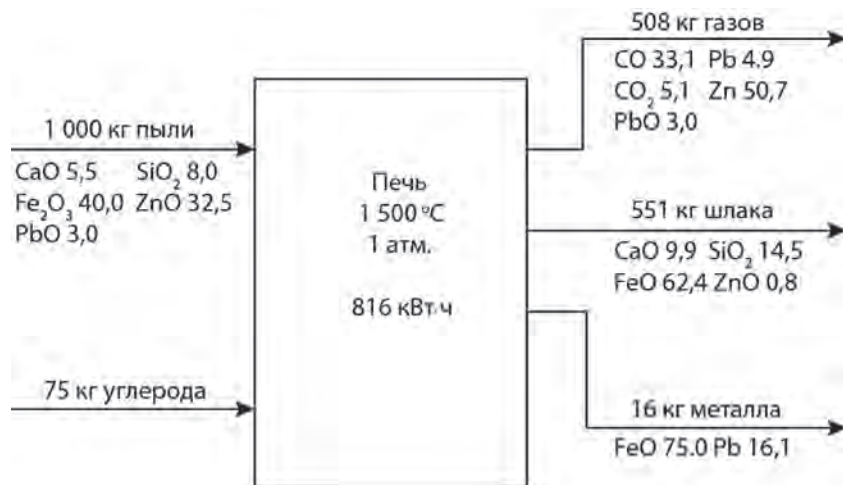


Рис. 1. Прогнозный материально-тепловой баланс для печной пыли с высоким содержанием цинка (результаты анализа приведены в процентной концентрации по массе)

для моделирования процесса переплавки пыли сталеплавильного процесса. Моделирование проводили при фиксированной температуре 1500 °C и давлении 1 атм.

На рис. 1–4 показаны результаты термодинамического моделирования типичной электродуговой печной пыли с высоким содержанием цинка. При введении углеродной добавки в количестве 75 кг на 1 т печной пыли большая часть цинка удаляется из шлака и теоретически производится очень небольшое количество железа (рис. 1, 2). Извлеченный цинк переходит в газовую фазу, содержащую примерно 50% цинка, 30% оксида углерода и 5% двуоксида углерода (при объемном соотношении CO/CO₂, равном 10).

При увеличении углеродной добавки от 75 до 150 кг на 1 т печной пыли теоретическая потребность в энергии повысилась примерно с 0,8 до 1,1 МВт·ч на 1 т печной пыли, а объемное соотношение CO/CO₂ в газах увеличилось примерно с 10 до 1000 (рис. 3). Кроме того, увеличение углеродной добавки привело к уменьшению содержания оксида железа в шлаке примерно с 60 до менее 1%; при этом повысилось количество готового металла с 16 до 310 кг на 1 т пыли (рис. 4).

Когда цинк конденсируется из газовой фазы, температуру газа необходимо быстро уменьшить до уровня ниже 500 °C с тем, чтобы минимизировать повторное окисление цинка двуокисью углерода. Кривые равновесия (рис. 5) показывают температуры, при которых повторное окисление начинается для другого объемного соотношения CO/CO₂ и другого парциального давления цинка в потоке газа. Например, при объемном соотношении CO/CO₂, равном 10, и парциальном давлении цинка в газе 0,3 атм обратная реакция между цинком и двуокисью углерода в состоянии равновесия происходит при температуре ниже 1000 °C. На практике удовлетворительного восстановления цинка можно добиться при объемном соотношении CO/CO₂ в отходящих газах, равном примерно 10, посредством быстрого охлаждения в цинковом или свинцовом конденсаторе с разбрызгиванием.

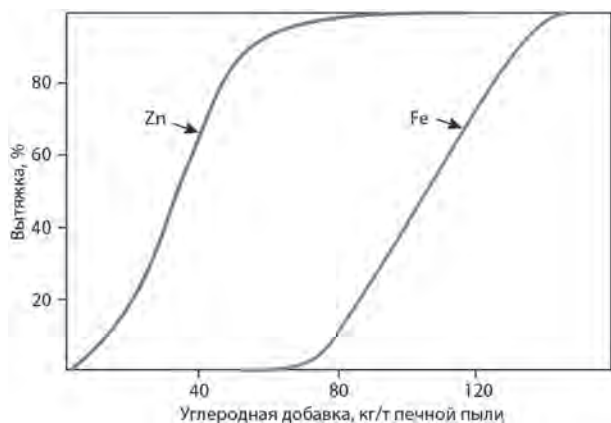


Рис. 2. Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на вытяжку цинка и железа из печной пыли с высоким содержанием цинка

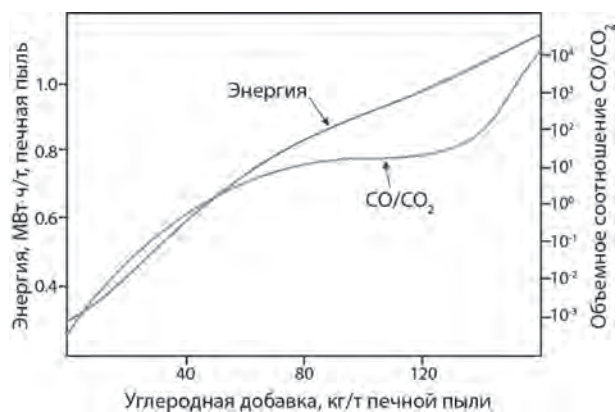


Рис. 3. Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на потребление энергии и расход газа для печной пыли с высоким содержанием цинка

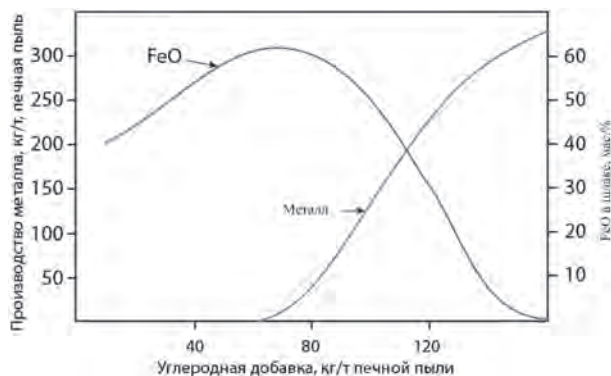


Рис. 4. Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на производство металла и состав шлака для печной пыли с высоким содержанием цинка

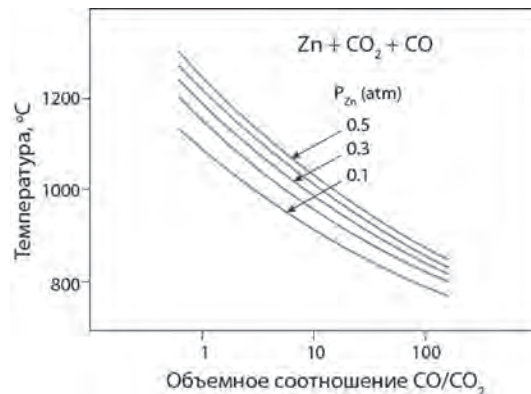


Рис. 5. Температура обратной реакции цинка с CO₂ для разных соотношений CO/CO₂ и парциального давления цинка в отходящих газах

Когда пыль переплавляется при температуре 1500 °С, углеродная добавка в количестве 170 кг на 1 т пыли требуется для вытяжки всех оксидов (рис. 6). Моделирование идеального равновесия показывает также, что теоретическая потребность в энергии составит примерно 1,1 МВт на 1 т пыли, что значительно выше энергии, необходимой для переплавки обычной печной пыли с высоким содержанием цинка (приблизительно 0,8 МВт·ч/т) [1].

С целью проверки возможности утилизации пыли, образующейся на Белорусском металлургическом заводе, в лабораторных условиях были проведены следующие эксперименты: две пробы пыли смешали с науглероживателем типа С 3.14 (зольность 3,8%) в пропорции 80% – пыль, 20% – науглероживатель, после чего нагрели в тигельной печи до температуры 1000 °С. Полученные результаты приведены в таблице.

Как видно из таблицы, в обоих случаях после прокалки пыли с науглероживателем содержание легкоплавких элементов – цинка и свинца уменьшилось, за счет чего содержание практически всех остальных элементов увеличилось, что говорит о принципиальной возможности использования описанного выше метода для утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей, образующейся на Белорусском металлургическом заводе.



Рис. 6. Прогнозный материально-тепловой баланс для пыли из легированной стали (результаты анализа приведены в процентной концентрации по массе)

Химический состав пыли до и после ее прокалки с науглероживателем

Номер пробы	Прокалка	Fe ₂ O ₃ , %	Al ₂ O ₃ , %	Cr, %	Mn, %	Pb, %	Zn, %	CaO, %	MgO, %	Ni, %	SiO ₂ , %	Cu, %
1	до	35,5	0,5	0,21	0,93	0,13	32,3	8,2	1,5	0,01	3,6	0,06
	после	48,3	0,8	0,22	1,13	0,07	26,3	7,9	1,5	0,01	5,8	0,09
2	до	27,9	2,3	0,22	1,8	0,34	21,3	14,5	4,1	0,02	6,5	0,14
	после	30,9	3,8	0,30	2,3	0,20	15,7	19,3	5,6	0,02	10,9	0,20

Часть вторая. Опыты по утилизации пыли в местах ее образования – в дуговой сталеплавильной печи

Part 2. Experiments on dust recycling at the site of its generation – within the electric arc steel furnace

Во второй части дан обзор мирового опыта утилизации пыли путем ее вдувания в местах образования – в дуговых сталеплавильных печах. Приведено краткое техническое описание установок для вдувания пыли, а также рассматриваются опыты по вдуванию пыли на Белорусском металлургическом заводе. Из-за кислородных технологий, внедренных на Белорусском металлургическом заводе, процесс восстановления оксидов оказался невозможным.

The article gives an overview of the global experience of recycling dust by injection of it within the site of its generation – at electric arc steel furnaces. Brief technical description of the injection dust installations is given. The experiments on dust injection at the Belarusian metallurgic plant are described. The process of restoring of oxides was found impossible due to introduction of oxygenous technologies at the Belarusian metallurgic plant.

Ключевые слова. Пыль дуговых сталеплавильных печей, углерод, процесс восстановления, шлак, вдувание, цинк, установка по вдуванию пыли, концентрация цинка.

Keywords. Dust of electrical arc steel furnaces, carbon, recovery process, slag, injection, zinc, dust injection installation, zinc concentration.

Описанные выше химические реакции можно осуществлять либо в специально предназначенных для этого установках, либо непосредственно в ДСП. Утилизация пыли в ДСП требует минимум капитальных затрат по сравнению со строительством специальных установок.

Утилизировать пыль непосредственно в ДСП можно двумя способами с предварительным брикетированием и вдуванием. Если на Белорусском металлургическом заводе в каждую плавку добавлять по 1, 2 т пыли, то можно утилизировать всю образующуюся пыль. Вместе с тем, у этого варианта есть недостатки: увеличение удельного расхода электроэнергии и снижение производительности ДСП.

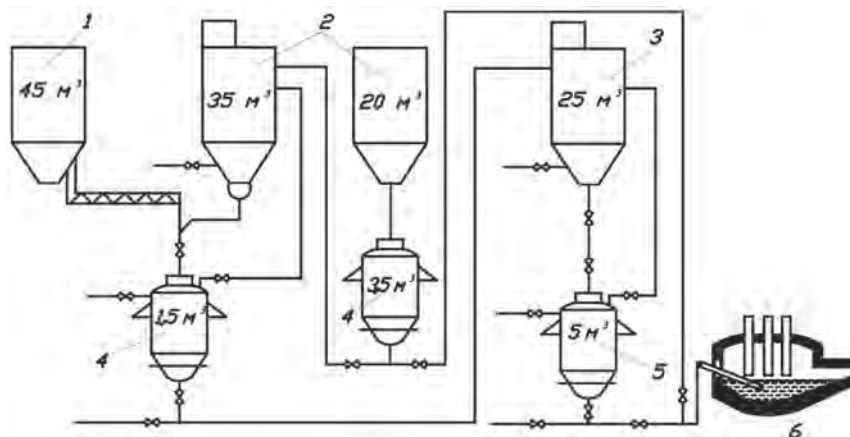


Рис. 7. Схема установки для вдувания цинксодержащей пыли в ванну 140-тонной дуговой печи: 1 – пыль; 2 – уголь; 3 – смесь пыли и угля; 4 – дозатор; 5 – питатель; 6 – ДСП

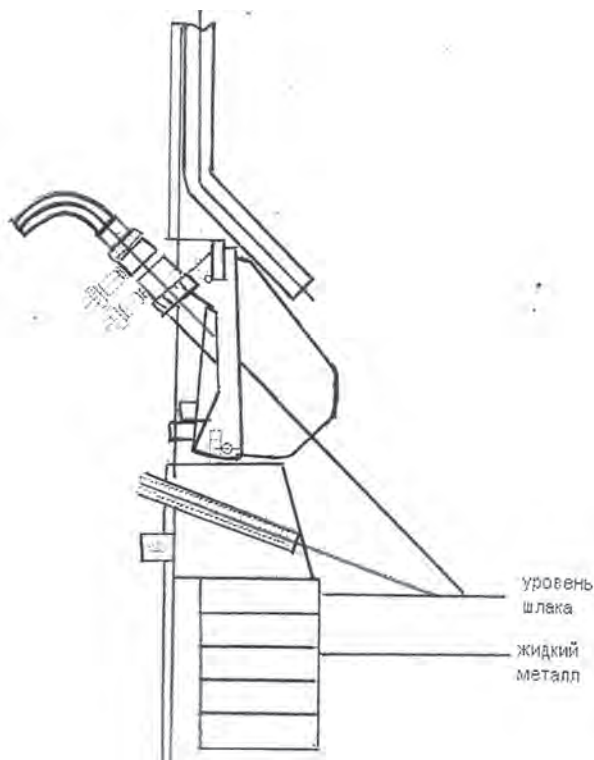


Рис. 8. Схема установки по вдуванию пыли в ДСП

Первые исследования по проверке идеи были проведены в Германии и Дании. Пыль и уголь поступали в смеситель, затем с помощью пневматической установки струей газа-носителя подавались на границу металл-шлак.

В печи в присутствии углерода при температуре сталеварения 1600 °С полностью обеспечиваются условия для восстановления железа с образованием его расплава и быстрого восстановления и испарения цинка, так как цинк – легкоплавкий металл с температурой плавления 419,5 °С и температурой кипения 906 °С.

После 1–2 циклов пыль выводили из системы печи и направляли на заводы цветной металлургии. Балансовые плавки показали, что весь цинк вдуваемой пыли возгоняется и улавливается вновь.

В конце 90-х годов прошлого века рециклинг железо- и цинксодержащих пылей инжекцией был внедрен на 100-тонных электродуговых печах компании «Ко СтилШирнес» (процесс «Карбофер», Англия) и 140-тонных печах фирмы КЕР (Германия) (рис. 7).

На рис. 8, 9 показана схема установки для вдувания пыли в ДСП промышленного исполнения.

Данный способ является наиболее реализуемым в условиях Белорусского металлургического завода. Пыль можно ввести в ДСП установкой вдувания углерода, которая имеется на каждой печи. Этот метод не требует значительных затрат и может быть реализован на существующем оборудовании. Пыль ДСП содержит порядка 20% цинка. Анализ литературы показал [1], что в случае повторного вдувания можно увеличить содержание цинка в пыли, что позволит реализовывать пыль, обогащенную цинком, цинковым заводам. На рис. 10 показано увеличение концентрации цинка и свинца при многократном вдувании пыли [2]. У Белорусского металлургического завода есть потенциальные потребители, которые готовы покупать пыль с содержанием цинка от 25% и выше.

Исследования технической возможности вдувания пыли в сталеплавильную печь проходили на ДСП-2. Смесь пыли с науглероживателем была загружена в один из трех бункеров для вдувания науглероживателя в ДСП-2. В процессе эксперимента смесь застревала в бункере и трубопроводе. Для ее прохождения приходилось стучать по ним в течение всего времени испытаний.

В процессе эксперимента выяснилось, что из-за большого объема вдуваемого кислорода в печи образуется окислительная атмосфера, поэтому науглероживатель не взаимодействует с пылью, а окисляется. Из-за

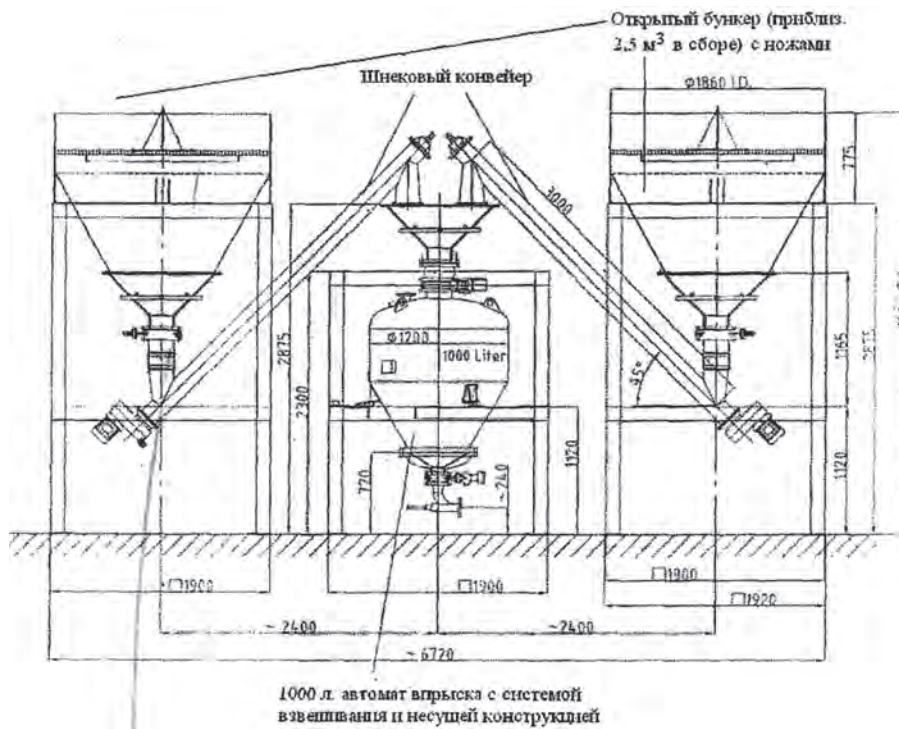


Рис. 9. Вид сбоку установки для вдувания пыли в ДСП

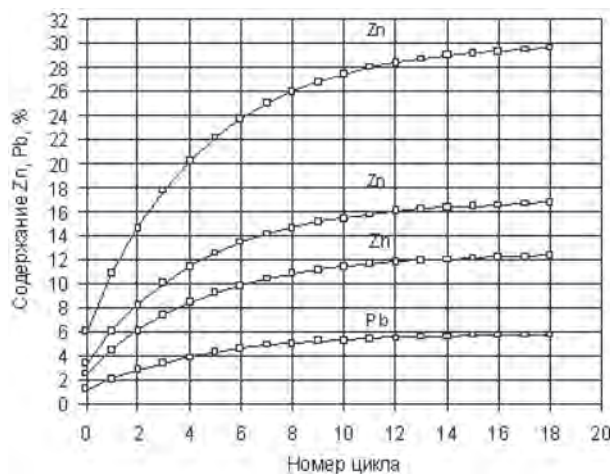


Рис. 10. Увеличение содержания цинка и свинца при рециклинге пылевывноса

отрицательного результата испытания были проведены всего на двух плавках. Поэтому начались опыты по брикетированию пыли с науглероживателем, о чем будет рассказано в третьей части статьи.

Литература

1. Технология Enviroplas для переработки пыли сталелитейного производства // Журн. Южноафриканского института горно-металлургической промышленности (SAIMM). 1993. Т. 93, № 1. С. 1–7.
2. К а ш и р и н а, А. О., Р о с т о в с к и й, В. И. Утилизация цинксодержащих сталеплавильных пылей и шламов. http://www.zdc.ru/publications/publications_8.html.

References

1. S k o u k e n s A. F. S., S h o u F., C h e m a l i E. S. Tehnologija Enviroplas dlja pererabotki pyli stalelitejnogo proizvodstva [Technology Enviroplas processing steelworks dust]. *Zhgurnal Juzhnoafrikanskogo instituta gorno-metallurgicheskoj promyshlennosti (SAIMM)*, 1993, no 1. pp. 1–7.
2. K a s h i r i n a A. O., R o s t o v s k i V. I. Utilizacija cinksoderzhashhih staleplavil'nyh pylej i shlamov. http://www.zdc.ru/publications/publications_8.html.

Сведения об авторах

Демин Александр Владимирович, канд. техн. наук, начальник сталеплавильной лаборатории Исследовательского центра ОАО «БМЗ - управляющая компания холдинга «БМК». Тел. +375-29-322-64-36. E-mail: lvor.to@bmz.gomel.by.

Рожков Андрей Игоревич, канд. техн. наук, ведущий инженер-технолог сталеплавильной лаборатории Исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Тел. раб.: (+375-2334) 5-67-12, моб.: (+375-29) 610-83-28. E-mail: ibm.tu@bmz.gomel.by, andreyrogkov73@yandex.ru.

Николаев Виталий Владимирович – инженер-технолог 2-й категории сталеплавильной лаборатории Исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Грудницкий Олег Михайлович – ведущий инженер-технолог сталеплавильной лаборатории Исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Тел. раб.: (+375-2334) 5-67-76. Тел. моб.: (+375-29) 730-62-47, (+375-44) 730-62-47. E-mail: ovs.tu@bmz.gomel.by.

Феклистов Александр Вениаминович – инженер-технолог 2-й категории сталеплавильной лаборатории Исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Тел. раб.: (+375-2334) 5-67-76. Тел. моб.: (+375-29) 230-50-00.

Information about the authors

Demin Alexander, Ph.D in Engineering, Head of the steel research laboratory, Scientific Center of JSC “BSW” GSM +375 29 322 64 36. E-mail: lvor.to@bmz.gomel.by

Rozhkov Andrey, Ph.D in Engineering, Senior Engineer of the steel research laboratory, Scientific Center of JSC “BSW”. Tel. +375 2334 567 12, GSM +375 29 610 83 28 ibm.tu@bmz.gomel.by, andreyrogkov73@yandex.ru.

Nikolaev Vitaly, Engineer of the steel research laboratory, Scientific Center of JSC “BSW”.

Grudnitskiy Oleg, Senior Engineer of the steel research laboratory, Scientific Center of JSC “BSW”. Tel.+375 2334 567 76, GSM +375 29 730 62 47, ovs.tu@bmz.gomel.by.

Feklistov Alexander, Engineer of the steel research laboratory, Scientific Center of JSC “BSW”. Tel. +375 2334 567 67 76. GSM +375 29 230 50 00.