

УДК 622.788:669.162

© Чупринов Е.В.¹, Лялюк В.П.², Журавлев Ф.М.³,
Ляхова И.А.⁴, Кассим Д.А.⁵**РЕЖИМЫ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ В СЛАБООКИСЛИТЕЛЬНОЙ
АТМОСФЕРЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОБОЖЖЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ
С ОСТАТОЧНЫМ УГЛЕРОДОМ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

Проведены испытания для отработки и выбора режимов термоупрочнения сырых окатышей, главной технологической особенностью которых является наличие закатанного внутрь твердого топлива. Полученные обожженные окатыши с остаточным углеродом не только удовлетворяют всем требованиям доменной плавки, но и обладают лучшими металлургическими характеристиками, чем окисленные обожженные окатыши.

Ключевые слова: обожженные окатыши, остаточный углерод, термоупрочнение, слабоокислительная среда.

Чупринов Е.В., Лялюк В.П., Журавлев Ф.М., Ляхова И.А., Кассим Д.А. Режимы термозміцнення в слабоокисленій атмосфері при одержанні обпалених обкотишів із залишковим вуглецем для доменної плавки. Проведені випробування для відпрацювання та вибору режимів термозміцнення сирих обкотишів, головною технологічною особливістю яких є наявність закатаного всередину твердого палива. Отримані обпалені обкотиші із залишковим вуглецем не тільки задовольняють всім вимогам доменної плавки, але й володіють кращими металургійними характеристиками, ніж окислені обпалені обкотиші.

Ключові слова: обпалені обкотиші, залишковий вуглець, термозміцнення, слабоокислена атмосфера.

E.V. Chuprinov, V.P. Lyalyuk, F.M. Zhuravlev, I.A. Lyakhova, D.A. Kassim. Thermostrengthening modes in getting heat-strengthened pellets in weak oxidizing atmosphere with residual carbon for blast furnace melting. In the course of the laboratory tests, that are close to industrial modes of bowl pelletizers and roasting bowl operations, thermostrengthening modes of raw pellets have been worked out and selected, the main technological feature of the pellets being the presence of rolled up solid fuel. The results, obtained in the tests, showed that the selected modes make it possible to get heat-strengthened pellets with the maximum amount of residual carbon in the final product. The results, demonstrating the effect of the heating rate on the process parameters, in particular, on the content of residual carbon in the obtained heat-strengthened pellets are important. It has been shown that increasing the heating rate of raw pellets from 100 to 500°C/min, and cooling rate of the heat-strengthened pellets from 100 to 600°C/min with decreasing oxygen content in the heat-carrying agent for gas burning in the burners and cooling gas from 21% to 10,3-5,1% make it possible to increase the content of residual carbon in the heat-strengthened pellets from 0,8-1,9% to 3,5-3,7%. The obtained heat-strengthened pellets with the residual carbon not only satisfy all the requirements of the blast furnace melting, but also possess better metallurgical characteristics than oxidized heat-strengthened pellets.

¹ ассистент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог,
itchupa@gmail.com

² д-р техн. наук, профессор, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог,
lyalyuk.vitalij@mail.ru

³ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог,
zhfm@ukr.net

⁴ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог

⁵ канд. техн. наук, доцент, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог

Keywords: heat-strengthened pellets, residual carbon, thermostrengthening, weak oxidizing atmosphere.

Постановка проблеми. Высокий удельный расход дорогостоящего кокса приводит к существенному удорожанию себестоимости доменного чугуна. Разработка эффективных технологий производства железорудного материала (окатышей) для доменной плавки является важной задачей в процессе подготовки руд. Таким образом, существует необходимость в создании и отработке режимов производства обожженных окатышей, которые бы позволили получить материал не только соответствующий всем требованиям к доменной плавке, но и не привели бы к усложнению действующей технологии обжига.

Анализ последних исследований и публикаций. Основной затратной статьей в себестоимости при выплавке чугуна в доменных печах является удельный расход кокса [1-5]. В настоящее время используются технологии частичной (в большей или меньшей степени) замены металлургического кокса в доменной плавке другими видами менее дефицитных и менее дорогостоящих в определенное время природных твердых, жидких и газообразных топлив. Основными требованиями к этим топливам являются: максимально возможное содержание полезных и минимальное – вредных элементов, а также минимальное влияние на газопроницаемость столба шихты в печи при их использовании. К числу таких технологий относятся: ввод в шихту доменной плавки кускового антрацита, вдувание в доменную печь пылеугольного топлива, мазута, природного и коксового газов [6].

Для снижения удельного расхода кокса в доменной плавке разрабатывались также технологии получения окускованных железорудных материалов (агломерат и окатыши), содержащих в своем составе остаточный углерод из введенного и несгоревшего в них твердого топлива [7-9]. Проводились опытные плавки с использованием этих материалов в доменной шихте [10].

Каждая из отмеченных выше технологий имеет свои преимущества и недостатки как в подготовке топлива к вводу в доменную печь, так и в его влиянии на технико-экономические показатели доменной плавки.

Цель статьи – разработка технологии получения обожженных окатышей в слабоокислительной среде, позволяющей сохранить наибольшее количество углерода топлива, предварительно закатанного в сырые окатыши.

Изложение основного материала. Несомненным преимуществом окускованного железорудного материала с остаточным углеродом является то, что в процессе его термоупрочнения он предварительно частично восстанавливается изнутри за счет газификации закатанного внутрь углерода твердого топлива, а затем при плавке одновременно восстанавливается с поверхности восстановительными газами доменной печи и из центра куска за счет газификации остаточного углерода, что ускоряет скорость восстановления всего куска и, соответственно, повышает производительность доменной печи. Кроме того, исключается влияние разрушения кусков угля внутри железорудного материала при их термическом нагреве на газопроницаемость столба шихтовых материалов в доменной печи, так как уголь находится внутри агломерата или окатыша. Сложность технологий подготовки окускованного железорудного сырья с остаточным углеродом заключается в двух аспектах: сохранении максимального количества несгоревшего твердого топлива в окислительной атмосфере при спекании агломерата и обжиге окатышей, а также при их охлаждении; неконтролируемом развитии высоких температур при сгорании твердого топлива внутри железорудного материала, приводящее к его расплавлению и нарушению технологического процесса.

Высокотемпературная технология получения окускованного железорудного материала (агломерата или окатышей) с максимальным количеством остаточного углерода внутри него может быть осуществлена при обязательном соблюдении двух основных технологических условий: эффективным накатыванием мелких компонентов шихты на кусочки твердого топлива, являющихся зародышами, с обеспечением необходимой прочности полученных сырых комков (окатышей) и минимальным выгоранием углерода этого твердого топлива в процессе термического упрочнения и охлаждения окускованного материала в газовой атмосфере с разным окислительным потенциалом. Кроме того, скорость выгорания твердого топлива внутри окускованного железорудного материала зависит от его реакционной способности. Минимальную реак-

ционную способность среди углей имеет антрацит, который и рекомендуется для закатывания внутрь железорудного материала [11]. Оптимальность соблюдения указанных технологических параметров производства окускованного материала с остаточным углеродом диктуется как возможной простотой и технологичностью параметров её осуществления, так и экономической целесообразностью процесса.

Как отмечалось выше, неперенным первоначальным условием получения высококачественного окускованного материала с остаточным углеродом является эффективное накатывание и сцепление мелких компонентов шихты как между собой, так и с поверхностью кусочков твердого топлива размером 1,5-10 мм, которые выполняют роль зародышей для образования прочных комков (сырых окатышей).

Испытания проводились в лабораторных условиях, максимально приближенных к промышленным. Сырые окатыши получали в непрерывном режиме в чашевом окомкователе, а их термоупрочнение проводили в периодически действующей обжиговой чаше.

Для обеспечения минимального выгорания углерода закатанного в окатыши твердого топлива во время их термоупрочнения, кроме уменьшения времени пребывания окатышей в высокотемпературных зонах обжигового агрегата за счет увеличения скорости их нагрева и охлаждения, испытывалась возможность снижения содержания кислорода в теплоносителе этих зон. Как уже отмечалось выше, использование нейтрального газа (например, азота) связано с существенным усложнением применяемой промышленной технологии и повышением себестоимости готового продукта.

Известны приемы и разработаны горелки для сжигания газообразного топлива (например, природного газа) с применением забалластированного воздуха (со сниженным содержанием кислорода) за счет использования отходящих газов из определенных зон конвейерной обжиговой машины для получения магнетитовых окатышей. Разработана также схема газопотоков конвейерной машины для термоупрочнения железорудных окатышей с использованием для сжигания природного газа забалластированного воздуха и последующего их охлаждения [12]. Поэтому эта технология термоупрочнения окатышей в забалластированном теплоносителе была применена при проведении испытаний получения обожженных окатышей с остаточным углеродом.

Как отмечалось выше, неперенным первоначальным условием получения высококачественного окускованного материала с остаточным углеродом является эффективное накатывание и сцепление мелких компонентов шихты как между собой, так и с поверхностью кусочков твердого топлива размером 1,5-10 мм, которые выполняют роль зародышей для образования прочных комков (сырых окатышей). Для этого выделенный антрацит крупностью 0-10 мм обрабатывали натриевым лигносульфонатом по технологии [13], смешивали с шихтой и получали в чашевом окомкователе в непрерывном режиме сырые окатыши с показателями, соответствующими требованиям их последующего термоупрочнения по гранулометрическому составу и прочностным показателям. Шихта и режимы получения сырых окатышей для всех испытываемых режимов были постоянными (содержание влаги $8,4 \pm 0,2\%$, количество годного 8-20 мм составляло $93,1 \pm 0,5\%$, все введенное в шихту твердое топливо было закатано в сырые окатыши). Начальное содержание углерода твердого топлива в сырых окатышах составляло $3,9 \pm 0,3\%$ (табл. 1).

Таблица 1

Влияние скоростей нагрева и охлаждения, содержания кислорода в теплоносителе для сжигания природного газа и охлаждения обожженных окатышей на характеристики получения окатышей с остаточным углеродом и их металлургические свойства

Показатели	Варианты испытаний							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание углерода в шихте, %	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Крупность антрацита, мм	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
Массовая доля влаги в сырых окатышах, %	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4

Продолжение таблицы 1

Количество годного класса в сырых окатышах, %	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1
Количество закатанного в окатыши топлива, %	100	100	100	100	100	100	100	100
Продолжительность термоупрочнения сырых окатышей*, мин.	27,6	27,6	19,3	19,3	12,7	12,7	10,1	10,1
Удельная производительность обжигового агрегата, т/м ² ·ч	0,87	0,87	1,12	1,12	1,47	1,47	1,67	1,67
Количество O ₂ в теплоносителе для горения газа, %	21,0	15,1	21,0	12,3	21,0	9,8	21,0	6,9
Скорость нагрева высушенных окатышей, °С/мин.	100	100	180	180	350	350	500	500
Максимальная температура обжига, °С	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350
Продолжительность обжига, мин.	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Количество O ₂ в отработанном газе для охлаждения, %	21,0	3,8	21,0	5,2	21,0	7,4	21,0	10,3
Скорость охлаждения обожженных окатышей, °С/мин.	100	100	200	200	400	400	600	600
Степень выгорания углерода, %	79,5	51,3	35,9	20,5	17,9	12,8	10,3	5,1
Содержание остаточного углерода в обожженных окатышах, %	0,8	1,9	2,5	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7
Содержание железа в окатышах**, %	60,5	60,7	60,6	60,8	60,7	60,9	61,2	61,4
Содержание FeO в окатышах, %	7,6	10,1	10,3	15,9	23,6	25,4	25,2	32,7
Прочность на сжатие окатышей, кг/ок	216	215	210	212	201	208	190	205
Прочность на удар окатышей, %	96,3	96,4	96,2	95,8	96,5	97,1	96,1	96,7
Истираемость окатышей, %	2,8	2,7	3,0	2,9	2,7	2,6	3,2	2,9
Прочность при восстановлении окатышей, %	86,3	86,5	92,3	93,5	93,1	93,7	91,4	92,6
Истираемость при восстановлении окатышей, %	6,7	6,3	5,4	5,1	5,2	4,8	5,7	5,1
Степень восстановления окатышей, %	84,5	85,4	85,7	89,1	86,2	89,9	87,1	93,8

* – включает только нагрев, обжиг и охлаждение окатышей;

** – содержание железа только в железосодержащей части обожженных окатышей.

В промышленных агрегатах для термоупрочнения сырых окатышей их нагрев до максимальной температуры обжига (со скоростью до 100°С/мин.), выдержка при этой температуре (3-8 мин.) и охлаждение обожженных окатышей (со скоростью до 100°С/мин.) осуществляется в газовой атмосфере с разным окислительным потенциалом. В проведенных испытаниях для сокращения времени пребывания твердого топлива в окислительной атмосфере при температурах выше температуры его воспламенения (при нагреве и охлаждении окатышей) увеличивали скорость нагрева и охлаждения окатышей выше 100°С/мин. Продолжительность обжига при оптимальной максимальной температуре 1300±50°С, формирующей структуру и металлургические характеристики обожженных окатышей, во всех опытах не изменяли (6 минут) и она была аналогична окатышам без закатанного твердого топлива. Кроме того, в зонах нагрева, обжига снижали содержание кислорода в теплоносителе над слоем нагреваемых и обжигаемых окатышей за счет использования забалластрированного воздуха в горелках по технологии [12]. В зоне

же охлаждения использовали отработанный и охлажденный газ, отсасываемый из вакуумкамеры зон нагрева и обжига, с минимальным содержанием кислорода до 3,8%.

Результаты испытаний показали, что при увеличении скорости нагрева высушенных окатышей со 100 до 500°C/мин. и скорости охлаждения обожженных окатышей со 100 до 600°C/мин и одновременном снижении содержания кислорода в забалластированном воздухе для горения в зонах нагрева и обжига с 21 до 6,9%, а также в отработанном газе для охлаждения обожженных окатышей с 21 до 3,8%, количество остаточного углерода в обожженных окатышах при каждой из испытанных скоростях нагрева и охлаждения увеличивается на 0,2-1,1%. Прочностные характеристики обожженных окатышей с остаточным углеродом по сравнению с аналогичными окатышами без углерода (прочность на сжатие, удар и истираемость) незначительно ухудшились, а прочность и истираемость при восстановлении – улучшились, повысилась и степень их восстановления. Удельная производительность установки возросла с 0,87 до 1,67 т/м²·ч, а степень выгорания углерода твердого топлива уменьшилась с 79,5 до 5,1% (см. табл. 1).

Сравнительные технологические показатели производства и металлургические характеристики производимых окускованных железорудных материалов (агломерата и окатышей) и по разработанным технологиям получения окатышей с остаточным углеродом показывают, что при производстве последних повысится удельная производительность обжигового агрегата (конвейерной обжиговой машины) и снизится удельный расход энергоресурсов. При этом в них увеличится содержание общего железа (с 62,2-65,8% до 63,5-65,9%) и закиси железа (с 1,3-2,7% до 7,6-32,7%) за счет частичного восстановления оксидов железа внутри окатышей в процессе термоупрочнения сырых окатышей. Исходная прочность и истираемость окатышей с остаточным углеродом практически аналогична традиционным окисленным окатышам, а прочность и истираемость при восстановлении несколько лучше. Ниже и показатели величины усадки слоя и перепада давления газа в слое окатышей при высокотемпературном восстановлении. Выше и степень восстановления окатышей с остаточным углеродом. При этом угол естественного откоса их аналогичен окисленным обожженным окатышам и ниже, чем у агломерата (табл. 2).

Таблица 2

Технологические показатели производства и металлургические характеристики промышленных и разработанных окускованных железорудных материалов

Наименование показателей	Промышленный офлюсованный агломерат	Промышленные неофлюсованные и офлюсованные обожженные окатыши	Обожженные окатыши с остаточным углеродом по разработанной технологии [14]	Обожженные окатыши с остаточным углеродом по разработанной технологии [15]
Удельная производительность агрегата, т/м ² ·ч	1,1-1,3*	0,9-1,2**	1,3-1,5**	1,3-1,5**
Удельный расход тепла, МДж/т	1947-2452	401-1140	409-1190	429-1120
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	43,1-71,3	38,7-69,5	37,4-63,7	39,6-62,3
Содержание Fe _{общ.} , %	51,2-57,6***	62,2-65,8***	63,5-65,8***	63,6-65,9***
Содержание FeO, %	9,1-15,6	1,3-2,7	7,6-21,4	23,6-32,7
Содержание SiO ₂ , %	10,4-9,2	7,7-4,7	6,9-1,3	6,9-1,3
Содержание остаточного углерода, %	0	0	2,8-3,2	3,2-3,7
Основность (CaO/SiO ₂) готового продукта, д.ед.	1,2-1,8	0,1-1,25	1,2-1,5	1,2-1,5

Продолжение таблицы 2

Содержание классов, %:				
60-100 мм	23,7-35,6	0	0	0
20-60 мм	55,9-34,3	0	0	0
5-20 мм	12,3-7,8	93,5-97,3	92,9-98,8	92,9-98,8
0-5 мм	8,1-20,4	4,5-2,7	2,2-3,4	2,2-3,4
Прочность в барабане, ДСТУ ISO 3271:2005, %:				
на удар (+5 мм)	84,5-57,4	92,4-97,1	93,5-96,4	93,2-96,3
истираемость (-0,5 мм)	8,3-10,2	5,8-1,5	3,6-2,5	3,7-2,8
Прочность при восстановлении, ДСТУ ISO 7215:2008, %:				
прочность (+5 мм)	37,8-49,4	69,3-95,8	72,9-93,1	72,7-93,2
истираемость (-0,5 мм)	10,4-9,8	4,7-2,1	4,2-3,3	4,3-3,2
Газопроницаемость и усадка слоя при восстановлении, ДСТУ 3205-95:				
усадка слоя, %	15-18	23-67	13-19	12-17
перепад давления, Па	68-71	108-154	60-72	59-68
Степень восстановления, ДСТУ ISO 7215:2008, %	65,1-82,3	72,8-91,4	89,1-93,8	89,8-94,1
Угол естественного откоса, град.	38-41	28-32	28-32	28-32

* – рабочая площадь агломашины включает только зону спекания, без зоны охлаждения;

** – рабочая площадь обжиговой машины включает зоны сушки, нагрева, обжига и охлаждения;

*** – содержание железа в железосодержащей части окучкованного материала.

Выводы

Таким образом, разработаны технологические режимы термоупрочнения сырых окатышей с закатанным внутрь твердым топливом (антрацитом), позволяющие получить в атмосфере теплоносителя с разным окислительным потенциалом на конвейерной обжиговой машине обожженные окатыши, содержащие остаточный углерод в количестве от 2,8 до 3,7 %, что позволит при их использовании снизить удельный расход кокса в доменной плавке.

Список использованных источников:

1. Донсков Е.Г. Управление ходом доменной плавки / Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк. – Саарбрюккен : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 480 с.
2. Донсков Е.Г. Сокращение расхода энергоресурсов при выплавке чугуна / Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк. – Саарбрюккен : Palmarium Academic Publishing, 2014. – 382 с.
3. Донсков Е.Г. Затраты углерода на нагрев и восстановление при различных условиях доменной плавки / Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, А.Д. Донсков // Сталь. – 2013. – № 6. – С. 2-5.
4. Донсков Е.Г. Коэффициент полезного действия углерода топлива и нагретого дутья в процессах теплотребления доменной плавки / Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, А.Д. Донсков. // Сталь. – 2013. – № 11. – С. 4-8.
5. Металлургия чугуна : учебник для ВУЗов / Е.Ф. Вегман [и др.]. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
6. Коксозамещающие технологии в доменной плавке / В.П. Лялюк [и др.]. – Днепропетровск : Пороги, 2006. – 276 с.
7. А.с. 1188217 РФ, МПК⁴ С 22 В 1/16. Способ производства агломерата.
8. А.с. 1602878 РФ, МПК⁵ С 22 В 1/24. Способ получения углеродсодержащих железорудных материалов.
9. А.с. 1617021 РФ, МПК⁵ С 22 В 1/24. Способ получения железорудных окатышей с остаточным углеродом.
10. Использование опытных железорудных офлюсованных окатышей с остаточным углеродом в доменной плавке / Д.А. Ковалев [и др.] // Сталь. – 1999. – № 8. – С. 4-9.

11. Исследование процесса металлизации рудоугольных окатышей / С.Т. Ростовцев [и др.] // Труды института Уралмеханобр. Окускование железных руд и концентратов. – Свердловск, 1975. – С. 70-77.
12. Расчетные и экспериментальные параметры сжигания газов для безокислительного обжига железорудных окатышей / А.Л. Ефимов [и др.] // Сталь. – 1980. – № 1. – С. 10-11.
13. Пат. 94772 Україна, МПК С 22 В 1/14. Спосіб виробництва обпалених обкотишів із залишковим вуглецем / Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова, Д.О. Кассім, В.П. Соколова, Є.В. Чупринов. – № 201407549; заявл. 04.07.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.
14. Пат. 95241 Україна, МПК С 22 В 1/14. Спосіб виробництва випалених котунів із залишковим вуглецем / Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова, Д.О. Кассім, Є.В. Чупринов. – № 201408129; заявл. 17.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.
15. Пат. 95240 Україна, МПК С 22 В 1/14. Спосіб виробництва обпалених котунів із залишковим вуглецем / Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова, Д.О. Кассім, Є.В. Чупринов. – № 201408114; заявл. 17.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.

Bibliography:

1. Donskov E.G. Controlling the blast furnace / E.G. Donskov, V.P. Lyalyuk. – Saarbrucken : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 480 p. (Rus.)
2. Donskov E.G. Reducing energy consumption in the smelting of iron / E.G. Donskov, V.P. Lyalyuk. – Saarbrucken : Palmarium Academic Publishing, 2014. – 382 p. (Rus.)
3. Donskov E.G. The costs of carbon on heating and recovery under various conditions of the blast furnace / E.G. Donskov, V.P. Lyalyuk, A.D. Donskov // Steel. – 2013. – № 6. – P. 2-5. (Rus.)
4. Donskov E.G. The efficiency of carbon fuel and heated air blast in the blast furnace process heat / E.G. Donskov, V.P. Lyalyuk, A.D. Donskov // Steel. – 2013. – № 11. – P. 4-8. (Rus.)
5. Ironmaking : textbook for universities / E.F. Wegman [et al.]. – M. : ICC «Akademkniga», 2004. – 774 p. (Rus.)
6. The substituents of coke technologies in the blast furnace / V.P. Lyalyuk [et al.]. – Dnepropetrovsk : Porogi, 2006. – 276 p. (Rus.)
7. Inventor's certificate 1188217 SU, IPC⁴ C 22 B 1/16. A method of production of agglomerate. (Rus.)
8. Inventor's certificate 1602878 SU, IPC⁵ C 22 B 1/24. The process for producing carbon-containing iron materials. (Rus.)
9. Inventor's certificate 1617021 SU, IPC⁵ C 22 B 1/24. A method of producing iron ore pellets from residual carbon. (Rus.)
10. The use of experienced iron ore fluxed pellets with a residual carbon in the blast furnace / D.A. Kovalev [et al.] // Steel. – 1999. – № 8. – P. 4-9. (Rus.)
11. Investigation of the ore metallization-coal pellets / S.T. Rostovtsev [et al.] // Proceedings of the Institute of Uralmekhanobr. Agglomeration of iron ores and concentrates. – Sverdlovsk, 1975. – P. 70-77. (Rus.)
12. Calculated and experimental parameters of the combustion gases for nonoxidative firing of iron ore pellets / A.L. Efimov [et al.] // Steel. – 1980. – № 1. – P. 10-11. (Rus.)
13. Patent 94772 Ukraine, IPC C 22 B 1/14. Method of production of burned pellets with residual carbon / F.M. Zhuravlev, V.P. Lyalyuk, I.A. Liakhova, D.A. Kassim, V.P. Sokolova, E.V. Chuprinov. – № 201407549; filed 04.07.2014; publication 25.11.2014, Bull. № 22. (Ukr.)
14. Patent 95241 Ukraine, IPC C 22 B 1/14. Method of production of burned pellets with residual carbon / F.M. Zhuravlev, V.P. Lyalyuk, I.A. Liakhova, D.A. Kassim, E.V. Chuprinov. – № 201408129. filed 17.07.2014; publication 10.12.2014, Bull. № 23. (Ukr.)
15. Patent 95240 Ukraine, IPC C 22 B 1/14. Method of production of burned pellets with residual carbon / F.M. Zhuravlev, V.P. Lyalyuk, I.A. Liakhova, D.A. Kassim, E.V. Chuprinov. – № 201408114; filed 17.07.2014; publication 10.12.2014, Bull. № 23. (Ukr.)

Рецензент: А.Д. Учитель
д-р техн. наук, проф. КМИ ГВУЗ «КНУ»

Статья поступила 05.05.2016