

УДК 669.18.046
МРНТИ 53.31.21

<https://doi.org/10.31643/2018/6445.32>

Комплексное использование
минерального сырья. № 4. 2018.

ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

Е. Б. ТАЖИЕВ^{1*}, С. М. ТЛЕУГАБУЛОВ¹, Д. И. РЫЖОНКОВ², Г. М. КОЙШИНА¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, *e-mail: eleusiz_t1990@mail.ru

²Национальный исследовательский технологический университет МИСЦ, Москва, Россия

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ПЛАВКА МЕТАЛЛОСодЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ БЕЗ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА

Received: 11 May 2018 / Peer reviewed: 14 September 2018 / Accepted: 5 October 2018

Резюме. Металлургическая переработка группы железо-марганец-хромсодержащего сырья и производство стали и сплавов является фундаментальной основой индустрии. В тоже время на их долю приходится значительная часть выбросов газа в атмосферу и твердых отходов, накапливаемых в отвалах. Традиционная технология производства стали и сплавов основана на использовании окускованного сырья, в результате подготовки и переработки которого происходит образование и накопление мелких и металлосодержащих отходов. На сегодня эффективная переработка их остается проблемой металлургической отрасли. Настоящая работа посвящена решению этой проблемы на базе накопленных металлосодержащих отходов металлургических и горнорудных предприятий. Выполнены экспериментальные исследования по подготовке рудоугольных окатышей из отходов, их металлзации и восстановительной плавке на лабораторных установках. На основе анализа результатов экспериментальных исследований разработана технология восстановительной плавки металлосодержащих отходов. Показано, что в результате реализации технологии могут быть получены качественные стали и сплавы без науглероживания металла, минуя стадии производства чугуна и высокоуглеродистых сплавов. Методика экспериментальных исследований состоит в подготовке из дисперсных металлосодержащих и углеродсодержащих промышленных отходов рудоугольных смесей со стехиометрическим расходом угля на восстановление извлекаемых металлов, получении рудоугольных окатышей, которые далее подвергаются металлзации и восстановительной плавке. В результате реализации предлагаемой технологии в лабораторных условиях получены образцы марганецсодержащих легированных сталей с содержанием углерода в пределах 0,44-0,52 %, марганца 3,5-7,2 % и хромсодержащих легированных сталей с содержанием углерода в пределах 0,42-0,46 %, хрома 4,45-9,27 %.

Ключевые слова: отходы, руда, кокс, сталь, сплав, железо, хром, марганец, углерод, восстановление, плавка

Введение. Традиционная технология производства стали и сплавов основана на использовании предварительно подготовленного и окускованного сырья [1, 2]. Сталеплавильное производство, основанное на комплексе «Доменная печь-кислородный конвертер» состоит из двух стадий – производства чугуна на первой и переработка чугуна в сталь на второй стадии [3]. Производство чугуна и стали на базе указанного комплекса представляет традиционную технологию и в современных условиях интенсивно развивается [4]. Вместе с тем работа доменного комплекса сопровождается образованием мелких отходов железорудного сырья, коксовой мелочи, пыли и шламов на стадии подготовки и переработки шихты. Работа конвертерного комплекса – образованием металлосодержащих шлаков и шламов. В

конвертерный шлак и шламы переходят не только оксиды железа, но и оксиды ценных легирующих металлов – марганца, хрома и др.

Производство ферромарганца, феррохрома и др. также основаны на использовании соответствующих кусковых отсортированных руд и кокса [5, 6]. В процессе сортировки исходных марганцевых и хромитовых руд, образуются и накапливаются мелкие отходы фракции $\leq 5,0$ мм от обогащения соответствующих руд.

Как видно, мелкие и дисперсные металлосодержащие отходы, во-первых, содержат оксиды ценных металлов, во-вторых, не могут быть эффективно переработаны в традиционной технологии. Их накопление в отвалах наносит большой ущерб экологической безопасности промышленных регионов. В связи с этим

переработка таких промышленных отходов является актуальной задачей. Разработка и реализация эффективной технологии металлсодержащих промышленных отходов одновременно представляет экономический интерес. В связи с этим развивается альтернативные технологические процессы в металлургии в XXI веке [7, 8].

В настоящее время разработаны новые технологии прямого восстановления металлов iTmk3 процесс [9-11], производство губчатого железа [12, 13], которые планируются к внедрению в производственных условиях.

Металлсодержащие промышленные отходы по концентрации в них извлекаемых металлов можно подразделять на две категории: а) высококонцентрированные и б) низко-концентрированные.

Первоочередное внимание привлекают металлсодержащие отходы с более высоким содержанием извлекаемых металлов. На крупных металлургических комбинатах выделяются и накапливаются такие мелкие отходы с высоким содержанием железа (60-68 %), как конвертерный шлак, оксид железа от травления поверхности листопрокатного производства. На обогатительных фабриках накапливаются мелкие отходы от обогащения марганцевых и хромитовых руд с концентрацией марганца и хрома на уровне 25-35 % соответственно.

Разработка технологии переработки каждого отхода в отдельности усложняется снижением экономической эффективности. Поэтому координированное решение проблемы переработки металлсодержащих отходов с учетом их взаимосвязи, направленной на повышение качества выпускаемой продукции имеет важное практическое значение. Железо, как основа стали, марганец и хром, как легирующие сталь металлы, привлекают общий интерес к получению из них качественной конструкционной стали.

В вышеперечисленных отходах все металлы находятся в оксидной форме (Fe_2O_3 , FeO , MnO , Cr_2O_3 и др). Поэтому технология их переработки опирается, прежде всего, на организации восстановительного процесса, который, прежде всего, опирается на научно обоснованном механизме и использовании соответствующего восстановительного реагента.

Цель работы состоит в разработке высокоэффективной технологии переработки металлсодержащих отходов организацией подготовки шихты и восстановительной плавки стали, минуя промежуточный процесс образования чугуна.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Комплексная шихта из отходов, естественно, формируется из компонентов, содержащих соответственно оксиды железа и трудновосстановимых металлов марганца и хрома. Химические составы выбранных компонентов представлены в таблице 1.

Следует заметить, что низшие оксиды марганца и хрома имеют высокую химическую прочность и они не могут быть восстановлены до металлического состояния газовыми восстановителями (CO , H_2). Поэтому для восстановления, как железа, так и марганца, хрома приняли универсальный восстановитель – твердый углерод в виде древесного угля.

Формирование состава шихты из указанных компонентов при прямом восстановлении железа, марганца и хрома без избытка твердого углерода, т.е. его стехиометрическом расходе обеспечивает полное восстановление железа до металлического состояния со степенью 0,98 в области температуры 600-1000 °С восстановление марганца и хрома до металлического состояния со степенью 0,75 и 0,80 соответственно в области температуры 1000-1300 °С.

Таблица 1 – Химические составы компонентов шихты

Наименование материалов	Химический состав, %										
	Fe	FeO	Mn	Cr_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	P	C
Марганцевый отход	12,30	4,8	28,25	-	25,27	10,25	1,78	0,55	0,5	0,21	-
Хромитовый отход	13,12	5,12	0,40	52,36	5,72	7,86	0,76	18,35	0,02	0,014	-
Оксид железа прокатная окалина	68,0	-	0,15	-	-	-	-	-	0,02	0,03	-
Древесный уголь	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	98,0

Такой порядок восстановительных процессов позволил осуществить восстановительную плавку стали [14, 15]. По разработанной методике [16] были определены массовые соотношения компонентов шихты в зависимости от заданной концентрации легирующих металлов (марганца и хрома) в сталь по уравнениям.

Количество марганцевого отхода:

$$g_{Mn/ox} = \frac{R_{Fe} \cdot (Fe + K_{Mn}) \cdot [Mn]}{[Fe] \cdot R_{Mn} \cdot Mn}, \text{ кг/кг} \quad 1)$$

Количество хромитового отхода:

$$g_{Cr/ox} = \frac{R_{Fe} \cdot (Fe + K_{Cr}) \cdot [Cr]}{[Fe] \cdot R_{Cr} \cdot Cr}, \text{ кг/кг} \quad 2)$$

где, R_{Fe} , R_{Mn} , R_{Cr} - степени восстановления железа, марганца и хрома соответственно; K_{Mn} , K_{Cr} - коэффициент отношения концентрации железа к марганцу и к хрому в соответствующих компонентах; $[Mn]$, $[Cr]$ - задаваемая концентрация марганца и хрома в выплавляемой стали, %. Как видно из уравнений (1) и (2), по химическому составу компонентов (Fe; Mn; Cr) и задаваемой концентрации легирующих металлов – Mn, Cr в стали получены достоверные массовые соотношения добавляемых в шихту марганец- и хромсодержащих отходов на единицу массы оксида железа.

Средневзвешенный химический состав смесей компонентов с заданными массовыми долями представлен в таблице 2.

По химическим составам подготовленных смесей марганцевых и хромитовых отходов с оксидом железа для каждой позиции, представленной в таблице 2 были определены

стехиометрические расходы древесного угля на восстановление железа и марганца из первой группы и железа хрома из второй группы смесей.

Таким образом, в состав каждой смеси были введены количества твердого углерода с учетом последовательности фазовых превращений оксидов железа, марганца и хрома, что исключило возможность существенного избытка его на науглероживание металла.

Подготовленные образцы углеродсодержащей шихты по указанным позициям последовательно подвергали измельчению – гранулированию на связке жидкого стекла – сушке при 400 °С. В результате такой последовательной обработки получены углеродсодержащий гранулированный материал.

Образцы подготовленных гранулированных материалов по всем позициям были использованы для организации непрерывного восстановительно-плавильного процесса на печи Таммана.

Заложенные в огнеупорные стаканы образцы гранулированных материалов были установлены в температурную зону, предварительно нагретую до 600 °С, при которой начинались реакции восстановления железа твердым углеродом.

Поэтому из стакана в реакционной зоне печи происходило непрерывное выделение газа CO, CO₂, что обеспечивало защиту слоя материала от проникновения воздуха.

Нагрев печи продолжался до 1200-1250 °С, при которой вслед за железом продолжалось восстановление марганца и хрома по реакциям $MnO + C = Mn + CO$, $Cr_2O_3 + 3C = 2Cr + 3CO$, также с выделением газа CO, который поджигали на выходе.

Таблица 2 – Средневзвешенный химический состав шихты

Массовое соотношение	Химический состав, %									
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	S	P
Марган. отход-оксид железа										
0,10-0,90	62,73	0,48	2,97	-	2,53	1,02	0,06	0,18	0,065	0,048
0,15-0,85	59,64	0,72	4,38	-	3,79	1,54	0,08	0,27	0,085	0,055
0,20-0,80	56,86	0,96	5,78	-	5,05	2,05	0,11	0,35	0,12	0,06
Хромит. отход-оксид железа										
0,10-0,90	62,51	0,512	0,17	5,23	0,57	0,78	1,83	0,07	0,02	0,04
0,15-0,85	59,78	0,77	0,187	7,85	0,86	1,18	2,75	0,114	0,02	0,041
0,20-0,80	57,02	1,02	0,20	10,47	1,14	2,57	3,67	0,15	0,02	0,042

Таблица 3 – Выход и состав шлака

Массовое соотношение шихты	Выход шлака, кг/кг мет. пр.	Химический состав, %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	
Марган. отход-оксид железа									
0,10-0,90	0,0418	57,41	24,4	4,3	1,43	0,16	-	12,15	
0,15-0,85	0,0624	57,69	24,67	4,32	1,28	0,17	-	11,85	
0,20-0,80	0,0830	57,71	24,69	4,21	1,32	0,16	-	11,9	
Хромит. отход-оксид железа									
0,10-0,90	0,0403	14,14	19,35	1,73	45,41	0,2	17,93	1,24	
0,15-0,85	0,0605	14,21	19,5	1,88	45,45	0,2	17,89	0,99	
0,20-0,80	0,0904	12,61	28,42	1,66	40,59	0,16	15,96	0,71	

Таблица 4 – Химический состав образцов выплавленных металлов по позициям таблицы 2

Образцы металлов по позициям	Химический состав, %					
	[C]	[Si]	[Mn]	[Cr]	[S]	[P]
Марган. отход-оксид железа						
0,10-0,90	0,44	0,28	3,5	-	0,025	0,038
0,15-0,85	0,48	0,30	5,31	-	0,028	0,039
0,20-0,80	0,52	0,26	7,2	-	0,032	0,040
Хромит. отход-оксид железа						
0,10-0,90	0,42	0,28	0,20	4,45	0,020	0,035
0,15-0,85	0,46	0,26	0,22	6,80	0,021	0,037
0,20-0,80	0,43	0,29	0,24	9,27	0,022	0,036

Таким образом, рабочее пространство печи постоянно находилось под давлением выделяющегося газа. Повышение температуры до 1500 °С привело к образованию расплава и прекращению выделения газа. На каждом опыте расплав нагревали до 1600 °С и выдерживали в течении 15 мин.

Расплав металла выливали в подготовленный огнеупорный противень и после охлаждения были получены твердые слитки металлов и шлаки.

Полученные образцы слитков металла и шлаков после соответствующей обработки были подвергнуты химическому и масс-спектрометрическому анализу. Результаты анализов представлены в таблице 3, 4.

Вывод. Как видно, химический состав выплавленных образцов металла соответствует составу стали, причем легированной. Из смеси марганцевых отходов и железосодержащих оксидных отходов получены легированные марганцем стали, а из смеси хромитовых и железосодержащих отходов – легированные хромом стали. Схема организации подготовки металлосодержащих отходов и их восстановительная плавка может быть положена в основу технологии их переработки и имеет высокую эффективность, перспективу развития.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. *Металлургия чугуна*. - Киев: Вища школа, 1981. – 496 с.
- 2 Вегман Е.Ф., Жеребин Б. П., Похвиснев А. Н., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф., Пареньков А.Е., Черноусов П.И. *Металлургия чугуна: Учебник для вузов*. 3-е изд., перераб. и доп. / Под редакцией Ю.С. Юсфина. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
- 3 Кудрин В.А. *Металлургия стали*. - М.: *Металлургия*, 1981. – 287 с.
- 4 Шмеле Петер, Бадо Ханс. *Производственные мощности по выплавке чугуна в мире // «Металлургическое производство и технология металлургических процессов»*. – 2008. - №2. – С. 22-28.
- 5 Гасик М.И., Лякишев М.П., Емлин Б.И. *Теория и технология производства ферросплавов: Учебник для вузов*. М.: *Металлургия*, 1988. – 784 с.
- 6 Леонтьев Л.И., Смирнов Л.А., Жучков В.И., Дашевский В.Я. *Производство стали и ферросплавов в мире // Электрометаллургия*. – 2008. – №2. – С. 2-9.
- 7 Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. *Металлургия железа: учебник для вузов*. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.
- 8 Леонтьев Л.И., Шешуков О.Ю., Некрасов И.В. *Анализ переработка и использование техногенных отходов металлургического производства // Комплексное использование минерального сырья*. – 2014. – № 4. – С. 8-25.

9 Kurunov I.F. The direct production of iron and alternatives to the blast furnace in iron metallurgy for the 21st century // *Metallurgist*. – September 2010. – V. 54. – Issue 5-6. – P. 335-342. DOI: 10.1007/s11015-010-9300-7

10 Смирнов Н.А. О внедрении инновационной технологии прямого восстановления железа // *Электromеталлургия*. – 2011. – №4. – С. 46–47.

11 Люнген Х.Б., Кноп К., Стеффен Р. Современное состояние процессов прямого и жидкофазного восстановления железа // *Черные металлы*. – 2007. – №2. – С. 13–25.

12 Gaines H., Joyner K., Peer Günter. *Steel times Int.* – 2008. 32. – №7 – С. 17–18.

13 Хёллинг М., Венг М., Геллерт С. Анализ производства губчатого железа с использованием водорода // *Черные металлы*. – 2018. – №3. – С. 6–11.

14 Тлеугабулов С.М., Киекбаев Е.Е., Койшина Г.М., Алдангаров Е. Прямое восстановление металлов – высокотехнологичное производство // *Сталь*. – 2010. – №2. – С. 4–8.

15 Tleugabulov S.M., Abikov S.B., Altybaeva D.K., Isupov Y.D., Tleugabulov B.S. Reductive Smelting of Iron Ore // *Steel in Translation*. – 2015. – V. 45. – N 5. – P. 351–355. DOI: 10.3103/S0967091215050162

16 Tleugabulov S.M., Tleugabulov B.S., Koishina G.M., Altybaeva D.K., Tazhiev E.B Smelting Reduction of a Monocharge // *Metallurgist*. – May 2016. – V. 60. – Issue 1–2. – P. 31-37. DOI: 10.1007/S11015-016-0248-0

REFERENCES

1 Efimenko G.G., Gimmelfarb A.A., Levchenko V.E. *Metallurgiya chuguna* (Metallurgy of pig-iron). Kiev: Vishcha shkola. **1981**, 496. (in Russ.).

2 Vegman E.F., Zherebin B.P., Pokhvisnev A.N., Yusfin Yu. S., Kurunov I.F., Parenkov A.E., Chernousov P.I. *Metallurgiya chuguna. Uchebnik dlya vuzov. 3-e izd. pererab. i dop.* (Metallurgy of pig-iron. Textbook for high schools). Moscow: IKTs «Akademkniga». **2004**, 774. (in Russ.).

3 Kudrin V.A. *Metallurgiya stali* (Metallurgy of steel). Moscow: Metallurgy. **1981**, 287. (in Russ.).

4 Shmele Peter., Bado Khans. *Proizvodstvennyye moshchnosti po vyplavke chuguna v mire* (Production facilities for the smelting of pig iron in the world). «*Metallurgicheskoye proizvodstvo i tekhnologiya metallurgicheskikh protsessov*» = «*Metallurgical production and technology of metallurgical processes*». **2008**, 2, 22-28. (in Russ.).

5 Gasik M.I., Lyakishev M.P., Emlin B.I. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov: Uchebnik dlya vuzov* (Theory and technology of production of

ferroalloys. Textbook for high schools). Moscow: Metallurgy. **1988**, 784. (in Russ.).

6 Leontyev L.I., Smirnov L.A., Zhuchkov V.I., Dashevskiy V.Ya. *Proizvodstvo stali i ferrosplavov v mire* (Manufacture of steel and ferroalloys in the world). *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*. **2008**, 2, 2–9. (in Russ.).

7 Yusfin Yu.S., Pashkov N.F. *Metallurgiya zheleza: uchebnik dlya vuzov* (Metallurgy of iron: textbook for high schools). Moscow: IKTs «Akademkniga». **2007**, 464. (in Russ.).

8 Leontyev L.I., Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V. *Analiz pererabotka i ispolzovaniye tekhnogennykh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva* (Analysis of processing and use of technogenic wastes of metallurgical production). *Kompleksnoe ispolzovanie mineral'nogo Syr'a = Complex use of mineral resources*. **2014**, 4, 8 – 25.

9 Kurunov I.F. The direct production of iron and alternatives to the blast furnace in iron metallurgy for the 21st century. *Metallurgist*. **2010**, 54. 5-6. 335–342. DOI: 10.1007/s11015-010-9300-7. (in Russ.).

10 Smirnov N.A. *O vnedrenii innovatsionnoy tekhnologii pryamogo vosstanovleniya zheleza* (On the introduction of innovative technology for direct reduction of iron). *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*. **2011**, 4, 46-47. (in Russ.).

11 Lyungen Kh.B., Knop K., Steffen R. *Sovremennoye sostoyaniye protsessov pryamogo i zhidkofaznogo vosstanovleniya zheleza* (Current state of the processes of direct and liquid-phase reduction of iron) *Chernyye metally = Ferrous metals*. **2007**, 2, 13-25. (in Russ.).

12 Gaines H., Joyner K., Peer Günter. *Steel times Int.* **2008**, 32, 7, 17-18. (in Eng.).

13 Khelling M., Veng M., Gellert S. *Analiz proizvodstva gubchatogo zheleza s ispolzovaniyem vodoroda* (Analysis of the production of sponge iron using hydrogen). *Chernyye metally = Ferrous metals*. **2018**, 3, 6-11. (in Russ.).

14 Tleugabulov S.M., Kiyekbayev E.E., Koyshina G.M., Aldangarov E. *Pryamoye vosstanovleniye metallov – vysokotekhnologichnoye proizvodstvo* (Direct reduction of metals - high-tech production). *Stal = Steel*. **2010**, 2, 4-8. (in Russ.).

15 Tleugabulov S.M., Abikov S.B., Altybaeva D.K., Isupov Y.D., Tleugabulov B.S. Reductive Smelting of Iron Ore. *Steel in Translation*. **2015**, 45, 5, 351–355. DOI: 10.3103/S0967091215050162. (in Eng.).

16 Tleugabulov S.M., Tleugabulov B.S., Koishina G.M., Altybaeva D.K., Tazhiev E.B Smelting Reduction of a Monocharge. *Metallurgist*. **2016**, 60, 1-2, 31–37. (in Russ.). DOI: 10.1007/S11015-016-0248-0. (in Eng.).

Е. Б. ТӘЖИЕВ^{1}, С. М. ТІЛЕУҒАБЫЛОВ¹, Д. И. РЫЖОНКОВ², Г. М. ҚОЙШИНА¹*

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

**e-mail: eleusiz_11990@mail.ru*

²МБЖҚИ ұлттық технологиялық зерттеу университеті, Мәскеу, Ресей

МЕТАЛ БАЛҚЫМАСЫН КӨМІРТЕКТІНДІРУСІЗ МЕТАЛДЫ ӨНДІРІС ҚАЛДЫҚТАРЫНАН ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРА БАЛҚЫТУ

Түйіндеме. Темір-марганец-хромқұрамды шикізаттарды металлургиялық өңдеу және олардан болат пен қорытпа өндіру индустрияның іргелі негізі болып табылады. Сонымен қатар, олар атмосфераға шығарылатын газдардың қомақты бөлігін құрайды және қоқыс жиналатын қатты қалдықтардың қатарына жатады. Болат және қорытпа өндірудің дәстүрлі технологиясы кесектелген шикізатты пайдалануға негізделген, нәтижесінде оларды дайындау және өңдеу барысында ұсақ дисперсті металқұрамды шикізаттар жинақталады. Қазіргі таңда оларды тиімді өңдеу металлургия саласындағы басты мәселе болып табылады. Жұмыс металлургиялық және тау-кен өндірістерінің жинақталған металқұрамды қалдықтарының жағдайында осы мәселені шешуге арналған. Қалдықтардан кен-көмір жентектерін алу, оларды металдандыру және балқыту процесстері бойынша зертханалық қондырғыларда тәжірибелік жұмыстар жүргізілді. Тәжірибелік зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша металқұрамды қалдықтарын редуциялап балқыту технологиясы жасақталды. Технологияны жүзеге асыру барысында шойын және жоғары көміртекті болат алу сатыларын жойып, металдың көміртектенусіз сапалы болат және қорытпалар алуға болатындығы көрсетілген.

Эксперименттік зерттеу әдісі металданған және көміртегі бар өнеркәсіптік қалдықтардың металдарды редуциялауға жұмсалатын көмірдің стехиометриялық мөлшерінен тұратын көмір-кен қоспасын дайындау, металдандыру және редуциялап-балқыту процесінде өнделетін кен-көмір жентектерін алу сатыларынан тұрады. Ұсынылған технологияны жүзеге асыру барысында құрамы шамамен 0,44-0,52 % көміртегі, 3,5-7,2 % марганецтен тұратын марганецқұрамды легіріленген болаттың және құрамы 0,42-0,46 % көміртегі, 4,45-9,27 % хромнан тұратын хромқұрамды легіріленген болаттың зертханалық үлгілері алынды.

Түйін сөздер: қалдықтар, руда, кокс, болат, қорытпа, темір, хром, марганец, көміртек, редуция, балқыту

Е. В. TAZHIYEV^{1}, S. M. TLEUGABULOV¹, D. I. RIZHONKOV², G. M. KOISHINA¹*

*¹Kazakh National Research Technical University after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan, *e-mail: eleusiz_11990@mail.ru*

²National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

REDUCTION MELTING OF METAL-CONTAINING INDUSTRIAL WASTES WITHOUT CARBURIZING OF METAL ALLOY

Abstract. Metallurgical processing of group iron-manganese-chromium-containing raw materials and the production of steel and alloys are the fundamental basis of the industry. At the same time, they represent a significant part of the gas emissions into the atmosphere and solid waste accumulated in dumps. The traditional technology for the production of steel and alloys is based on the use of agglomerated raw materials, as a result of the preparation and processing of which the formation and accumulation of small and metal-containing waste takes place. For today, effective processing of them remains the problem of metallurgical sector. The present work is devoted to solving this problem on the basis of accumulated metal-containing waste of metallurgical and mining enterprises. Experimental studies on the preparation of ore-coal pellets from waste, their metallization and reduction melting in laboratory installations were performed. Based on the analysis of the results of experimental studies, a technology for reducing smelting of metal-containing waste has been developed. It is shown that as a result of the technology implementation, high-quality steels and alloys without carburizing of metal can be obtained, bypassing the stages of production of cast iron and high-carbon alloys. The experimental research method consists in preparation of dispersed metal-containing and carbon-containing industrial wastes of ore-coal mixtures with stoichiometric consumption of coal for recovering recoverable metals, and the obtaining of ore-pellets that are further subjected to metallization and reduction melting. As a result of the implementation of the proposed technology, samples of manganese-containing alloy steels with a carbon content in the range 0,44-0,52%, manganese 3,5-7,2%, and chromium-containing alloy steels with a carbon content in the range 0,42-0,46%, chromium 4,45-9,27% were received.

Keywords: waste, ore, coke, steel, iron, alloy, chromium, manganese, carbon, reduction, melting

Поступила 11.05.2018