

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДА ЦИНКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ФЕРРОСПЛАВА И ВОЗГОНОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*А.С. Колесников, Б.А. Капсалямов, О.Г. Колесникова,  
Р.М. Кураев, И.А. Стрюковский*

Рассматривается возможность применения отходов цинкового производства в качестве вторичного металлургического сырья с целью его комплексной переработки и получения товарных продуктов в виде ферросплава и коллективных возгонов цветных металлов. Проведенные промышленные испытания представлены степенью перехода Si в ферросплав до 96 %, Fe – 97 % и степенью извлечения Zn в возгоны на 99,6 %, Pb – 99 %. В качестве основного агрегата для электроплавки отхода цинковой промышленности с получением ферросплава и возгонов цветных металлов нами рекомендуется электропечь марки РКЗ-16,5.

*Ключевые слова:* отход цинковой промышленности, ферросплав, цветные металлы, промышленные испытания.

Современное развитие металлургической отрасли характеризуется уменьшением содержания металлов в рудах и одновременным увеличением объема твердых отходов, с которыми теряется значительное количество цветных металлов и железа. К этой категории отходов относится клинкер вельцевания цинкодержащих оксидных руд, в частности, клинкер вельцевания руд ачисайского месторождения. По различным оценкам, в настоящее время в поселке Ачисай в отвалах находится от 4,5 до 5,7 млн т клинкера, в котором содержится не менее 100 тыс. т Zn, 15 тыс. т Pb, 7 тыс. т Cd, 400 тыс. т Si, 1,0 млн т Fe, 800 тыс. т С. Несмотря на это ачисайский клинкер рассматривается сейчас только как сырье для извлечения углерода и получения железосодержащего магнитного концентрата с извлечением в него до 80 % железа. При этом цинк и свинец не извлекаются и переходят в хвосты флотации немагнитной фракции, которые рекомендуется использовать в производстве строительных материалов.

Поэтому необходим поиск новых инновационных технологий переработки клинкеров вельцевания, способствующих решению сырьевой проблемы в металлургии.

В связи с этим, работы, направленные на создание технологии комплексной переработки ачисайского клинкера с извлечением цветных металлов и железа, являются актуальными.

В ходе проведения промышленных испытаний по переработке электротермическим методом клинкера вельцевания в условиях ТОО «НПФ Казхиминвест» использовались шихты, обеспечивающие получение ферросилиция марок ФС-20, ФС-25 и ФС-45: вариант 1 – шихта, содержащая только клинкер; вариант 2 – шихта, содержащая клинкер, – 43,1 %, кварцит – 34,5 %, кокс – 14,6 %, стружка – 9,8 % по следующей методике – исходные компоненты (клинкер, кокс, кварцит, желез-

ная стружка) предварительно дробились и отсеивались [1]. Для составления шихты использовались материалы фракции от 1 до 2 см. Дробление проводили на валковой дробилке. Шихта готовилась порциями по 250 кг на шихтовочной площадке, выполненной в виде плоского металлического корыта размером 2 × 2 м с высотой бортов 0,15 м. Перед электроплавкой печь прогревалась электрической дугой, горящей между графитированным верхним электродом и коксом, уложенным на подину. Разогрев электропечи проводился в течение 28 часов с использованием I ступени трансформатора с постепенным переходом от 18,4 до 49,0 В. Осциллограммы тока розжига печи свидетельствуют о том, что режим розжига печи – дуговой (на кривых тока явно просматривается пик зажигания и пик гашения дуги). После нескольких плавок был установлен режим загрузки клинкера в электропечь и слива расплава:

– загрузка 10 кг и выдержка в печи в течение 2–4 мин;

– загрузка 20 кг и выдержка в печи в течение 5–6 мин;

– загрузка 30 кг и выдержка в печи в течение 7–10 мин.

После выработки 95–110 кВт·ч производили вскрытие летки ломиком и графитированным электродом размером 3 × 3 см, насаженным на штангу длиной 2 м, соединенным с трансформатором для прожига летки. После слива расплава (ферросплава совместно со шлаком) в изложницу, она транспортировалась по наклонной эстакаде на площадку охлаждения и разборки (масса расплава в изложнице не превышала 30 кг). Расплав в изложнице охлаждался естественным способом в течение 4–5 часов. Затем происходила разборка изложницы с отделением ферросплава и шлака. После слива расплава печь вновь загружалась шихтой по вышеотмеченному режиму. Шлак и

металлизированная фаза взвешивались и анализировались на основные компоненты. Плотность ферросплавов определялась пикнометрическим методом с использованием керосина.

При проведении испытаний использовали сырьевые материалы, химический состав которых приведен в табл. 1. Нами в период промышленных испытаний было переработано 2720 кг клинкера, в том числе в период балансовых опытов – 2500 кг. В результате плавки было установлено, что при электроплавке клинкера ферросплав представляет ферросилиций с содержанием кремния от 21 до 29 %. Степень перехода Si в ферросплав от 85 до 95 %, а Fe от 94 до 98 %. Содержание меди в ферросилиции не превышало 0,3 %. Выход ферросилиция составил от 29,6 до 32,4 % от массы клинкера. Материальный баланс приведен в табл. 2. По-

лученный усредненный ферросилиций содержал: 24,6 % Si; 67 % Fe; 0,9 % C; 0,2 % Ba; 1,1 % Ca; 0,29 % Cu; 0,012 % Zn. Основная часть Zn (99,5–99,7 %), Pb (98,8–99,2 %), а также 99,6 % Cd перешли в возгоны. Расход электроэнергии в период балансовых опытов составил 2700 кВт·ч на 1 т ферросилиция.

С целью подтверждения получения именно ферросилиция нами были проведены микроскопический и рентгенофазовый анализы. На микрофотографиях ферросилиция, полученного из клинкера вельцевания с увеличением в 320 раз (рис. 1), показано наличие в нем силицидов Fe.

Как видно из рис. 1, проба представлена сплавом серо-стального цвета. В отраженном свете в полированном шлифе структура пробы массивная, пористая, отражательная способность очень высо-

Таблица 1

Химический состав исходных материалов

Материалы	Содержание, %												
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>общ</sub>	Zn	Pb	Cu	S	H <sub>2</sub> O	C	BaO	Прочие
Клинкер вельцевания АО «Ачполиметалл»	18	14,1	5	5,1	22,3	1,6	0,2	0,1	1,6	5,9	13,4	4,9	7,79
Металлургический кокс (для розжига)	4,9	1,5	0,4	1,8	2,2	–	–	–	0,8	1,1	86,0	–	1,3

Таблица 2

Материальный баланс получения ферросилиция из клинкеров вельцевания ачисайской цинковой руды в опытно-промышленных масштабах на ТОО НПФ «Казхиминвест»

Статьи баланса	Количество		Содержание элементов										Распределение элементов, %				
			Fe		Si		Zn		Pb		Cu		Fe	Si	Zn	Pb	Cu
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%					
Приход: Клинкер	2500	100	557,5	22,3	210	7,6	40,0	1,3	5,0	0,3	2,5	0,1	100	100	100	100	100
Расход: Шлак	774,4	30,9	11,25	1,51	10,29	1,33	0,1	0,013	0,03	0,004	0,087	0,011	2,1	4,9	0,2	0,6	3,5
Ферросилиций	800,6	32	539,0	67,3	196,9	24,6	0,1	0,012	0,02	0,0025	2,35	0,29	96,7	93,8	0,2	0,4	94,1
Газы	925,0	37,1	7,25		2,81		39,8		4,95		0,063		1,2	1,3	99,6	99,0	2,4
Итого	2500	100	557,5	22,3	210	7,6	40,0	1,3	5,0	0,3	2,5	0,1	100	100	100	100	100



Рис. 1. Микрофотографии ферросилиция, полученного из клинкера вельцевания с увеличением в 320 раз: 1 – FeSi, Fe<sub>3</sub>Si; 2 – углерод

кая. Основная составляющая пробы – FeSi, при этом наблюдаются крупные участки Fe<sub>3</sub>Si с включениями крупных иголок пластинчатого углерода. Рентгенофазовый анализ также подтвердил образование силицида железа – FeSi, Fe<sub>3</sub>Si, а также микровкраплений цементита (рис. 2). Полный химический анализ ферросплава, проведенный методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, приведен в табл. 3.

Для получения ферросилиция более высокой марки было проплавлено 50 кг шихты, содержащей клинкер, кварцит, кокс и железную стружку. Шихта была составлена на получение ферросилиция марки ФС45. При электроплавке шихты состоящей из 43,1 % клинкера, 34,5 % кварцита, 14,6 % кокса и 9,8 % железной стружки электрический режим был нестабилен. В течение всей электроплавки наблюдались постоянные колебания тока, несмотря на попытки стабилизировать режим перемещением электрода в ванне печи. На электроде (в верхней части) наблюдалось налипание шихты в виде вязкого конгломерата. После вскрытия летки устройством для прожига, расплав из печи сливался с большим трудом. После охлаждения расплава в нем наблюдались вкрапления квар-

цита и кокса. Полученный ферросилиций содержал 34 % кремния. При попытке увеличить температуру процесса за счет развития дугового режима, происходило разбрызгивание расплава и его испарение. Поэтому получение из клинкера ферросилиция марки ФС45 и выше прямым способом довольно проблематично. Для этого необходима иная (не прямая) технология. Возгоны, собранные в циклоне и газовом тракте, содержали 53–59 % ZnO; 9,2–11,7 % PbO; 2,6–3,2 % FeO; 7,6–8,7 SiO<sub>2</sub>; 8,3–9,2 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 6,4–6,8 % CaO; 0,9–1,6 % MgO. Полученный продукт рекомендуется использовать по обычной схеме в цинковом производстве для получения катодного цинка или подвергнуть вторичной термической переработке методом разгонки во вращающихся печах с получением более концентрированных (до 97 %) по Zn сухих белил, в которых содержание Pb возможно уменьшить до 1,5 % [2].

На основании результатов исследований по разработке комплексной электротермической технологии извлечения цветных металлов и железа из клинкера вельцевания оксидных руд нами предлагается технологическая схема, представленная на рис. 3.

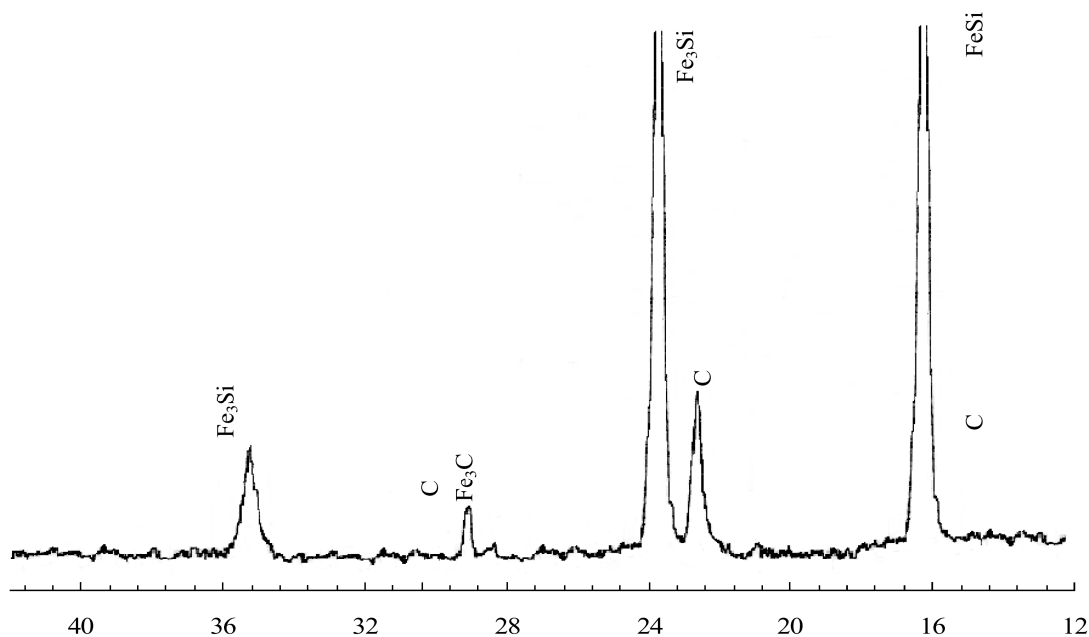


Рис. 2. Рентгенограмма ферросилиция, полученного из клинкера вельцевания

Таблица 3

Химический состав ферросилиция, полученного из клинкера вельцевания

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
Si	25	Ge	0,0104	La	0,002	W	0,0078
Fe	67,646	Se	0,0023	Cu	0,29	Re	0,0017
Zn	0,0129	Sr	0,0052	S	0,02	Os	0,0001
Pb	0,0003	Y	0,0006	P	0,06	Ti	0,1868
C	0,823	Zr	0,0193	Cs	0,166	V	0,0995
Co	0,0325	Nb	0,005	Ga	0,005	Cr	0,6256
Ni	0,1432	Cd	0,0004	Ta	0,004	прочие	4,83

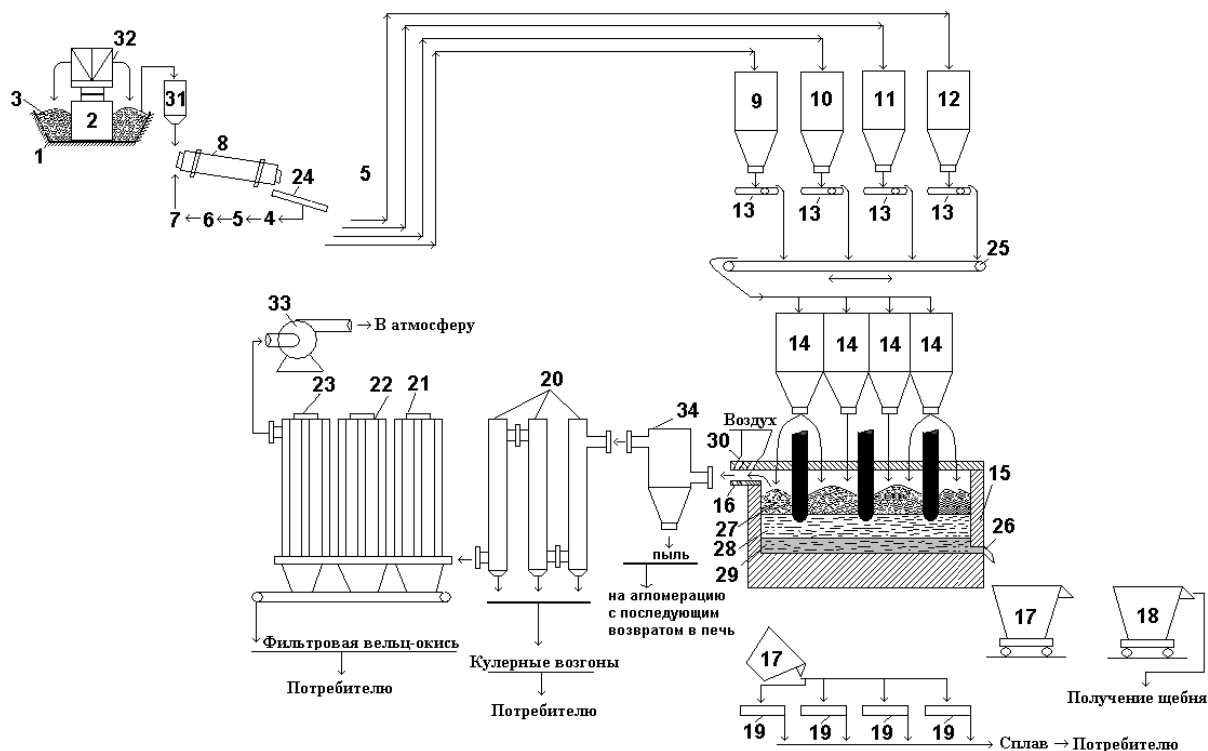


Рис. 3. Аппаратно-технологическая схема переработки клинкера вельцевания:

1 – приемный бункер клинкера; 2 – железнодорожный тупик; 3 – клинкер; 4 – мелочь клинкера; 5 – на измельчение в шаровой мельнице; 6 – на брикетирование; 7 – на повторное использование; 8 – сушильный барабан; 9, 10, 11, 12 – бункера клинкера; 13 – ленточный дозатор; 14 – печные бункера; 15 – закрытая руднотермическая электропечь; 16 – газоход; 17 – ковш для сплава; 18 – ковш для шлака; 19 – изложницы для разлива сплава; 20 – газовые холодильники; 21, 22, 23 – рукавные фильтры; 24 – грохот однооситный; 25 – конверт реверсивный; 26 – летка; 27 – шихта; 28 – шлак; 29 – сплав; 30 – отверстия для подсоса воздуха; 31 – промежуточный бункер; 32 – вагоны; 33 – эксгаустер; 34 – пылевая камера

Клинкер вельцевания (3) по железной дороге (ж/д тупик) (2) доставляется в полувагонах (32) и разгружается в приемный бункер клинкера (1). Затем шихтовые компоненты подаются в промежуточные бункера (31), из промежуточного бункера клинкер поступает в сушильный барабан (8). После сушки клинкер подается на однооситный грохот (24) для просева, мелочь клинкера (4) после отсева идет на измельчение в шаровую мельницу (5), затем на брикетирование (6) и снова возвращается в процесс на повторное использование (7). Подготовленная к электроплавке моношихта в виде клинкера подается в бункера (9, 10, 11, 12), после этого из бункеров по ленточному дозатору (13) шихтовые компоненты подаются на реверсивный конверт (25), из которого готовая шихта поступает в печные бункера (14), непосредственно из которых шихта подается в закрытую руднотермическую электропечь марки РКЗ-16,5. Из подаваемой твердой шихты (27) в процессе плавки образуются расплавы шлака (28) и сплава (29), которые сливаются через летку (26) в ковш для сплава (17) и ковш для шлака (18). Затем сплав из ковша разливается в изложницы (19), после остывания дробится до нужной фракции и идет к потребителю. Шлак из ковша сливается и после остывания дробится на щебень и поступает к потребителю. Газы из печи с воздухом, который поступает через

отверстие для подсоса воздуха (30), поступают в пылевую камеру (34), в которой осаждаются 3–8 % возгонов, далее по газоходному тракту следуют в газовые холодильники (кулера) (20). Кулер представляет собой набор высоких (12–16 м) коленообразных труб диаметром 400–800 мм. Количество возгонов, осевших в кулерах, составляет не более 30–40 % от их общего объема. Температура газов после кулеров 160–220 °С. Для более точного поддержания температурного режима газов на входе в рукавные фильтры в непосредственной близости от них производится подсос холодного (наружного) воздуха. Количество воздуха регулируется автоматически в зависимости от температуры газов на выходе из кулера. Газ охлаждается в кулере наружным воздухом до температуры в среднем 110–115 °С. И на последней стадии улавливания пыли и тонкой очистки газа установлены рукавные фильтры (21, 22, 23), где происходит улавливание возгонов, которые затем поступают потребителю в виде вельц-оксида. Газы из рукавных фильтров попадают в эксгаустер (33) и выбрасываются в атмосферу.

Переработка клинкера вельцевания цинксо-держакших материалов характеризуется (на основании проведенных опытно-промышленных испытаний [1]) степенью перехода Si в ферросплав до 96 %, Fe – 97 % и степенью извлечения Zn в возго-

ны на 99,6 %, Pb– 99 %. В качестве основного агрегата для электроплавки клинкера вельцевания цинксодержащих материалов с получением ферросилиция марки ФС25 и возгонов цветных металлов нами рекомендуется электропечь марки РКЗ-16,5.

Таким образом, предложенный метод переработки клинкера вельцевания запатентован [3] и позволяет:

– уменьшить себестоимость получения 1т ферросилиция от 62 115 (414,4\$ USA) до 58 070 (387,2\$ USA) тенге (т. е. на 9,6 %);

– получить годовую прибыль при производстве 75 000 т ферросилиция (марки ФС25) в количестве 1,153 (0,102\$ USA) млрд тенге;

– окупить капитальные вложения в течение 3 лет.

### *Литература*

1. *Опытно-промышленные испытания получения ферросилиция из клинкеров вельцевания Ачисайской цинковой руды / В.М. Шевко, Б.А. Капсалиямов, Е.Я. Калашиников и др. // Новости науки Казахстана. – 2006. – № 3 (90). – С. 36–39.*

2. *Абдеев, М.А. Вельцевание цинк-свинцово-державших материалов / М.А. Абдеев, А.В. Колесников, Н.Н. Ушаков. – М.: Металлургия, 1985. – 120 с.*

3. *Предварительный патент РК. № 16191. Шихта для получения ферросилиция / В.К. Бишимбаев, Б.А. Капсалиямов, В.М. Шевко, А.С. Колесников, С.К. Картбаев; опубли. 15.09.05, Бюл. № 9.*

**Колесников Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология электротермических производств и металлургия», РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова». 160012, Республика Казахстан, Южно-Казахстанская область, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5. Тел.: (7252)300651. E-mail: kas164@yandex.ru.

**Капсалиямов Бауыржан Ауесханович**, доктор технических наук, доцент, директор по развитию, ТОО «Производственное объединение литейных заводов». 100018, г. Караганда, Октябрьский район, Октябрьская промышленная зона.

**Колесникова Ольга Геннадиевна**, учебный мастер военной кафедры, РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова». 160012, Республика Казахстан, Южно-Казахстанская область, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5. Тел.: (7252)232413.

**Кураев Расим Мурадович**, студент 1 курса кафедры «Технология электротермических производств и металлургия», РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова». 160012, Республика Казахстан, Южно-Казахстанская область, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5. Тел.: (7252)300651.

**Стрюковский Илья Александрович**, студент 1 курса кафедры «Технология электротермических производств и металлургия», РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова». 160012, Республика Казахстан, Южно-Казахстанская область, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5. Тел.: (7252)300651.

*Bulletin of the South Ural State University  
Series "Metallurgy"  
2013, vol. 13, no. 1, pp. 34–39*

## **TECHNOLOGY OF THE CONVERSION OF THE DEPARTURE TO ZINC INDUSTRY WITH RECEPTION OF FERRO-ALLOY AND PAIRS NON-FERROUS METAL**

**A.S. Kolesnikov, B.A. Kapsalyamov, O.G. Kolesnikova,  
R.M. Kuraev, I.A. Stryukovskiy**

The paper considers a possibility of using zinc production wastes as secondary metallurgical raw material that can be complexly converted to commercial products (a ferroalloy and collective sublimates of the non-ferrous metals). Industrial tests yielded a degree of transition of Si in ferroalloy up to 96%, Fe up to 97%, and degree of extraction of Zn in sublimates of 99,6%, Pb of 99%. The RRC-16.5 electric furnace is recommended as the main unit for electrothermal melting zinc production wastes to obtain a ferroalloy and non-ferrous metal sublimates.

*Keywords: zinc industry wastes, ferroalloy, non-ferrous metals, industrial tests.*

**Kolesnikov Aleksandr Sergeevich**, candidate of engineering science, head of the Technology of Electrothermal Production and Metallurgy Department, M.O.Auezov South Kazakhstan State University. 5 Tauke Khan avenue, Shymkent, South Kazakhstan region, Kazakhstan 160012. Tel.: (7252)300651. E-mail: kas164@yandex.ru.

**Kapsalyamov Bauyrzhan Aueskhanovich**, doctor of engineering science, assistant professor, development director, LLC "Production Association of Foundry Plants". October industrial zone, October region, Karaganda, Kazakhstan 100018.

**Kolesnikova Ol'ga Gennadijevna**, educational master of the Military Department, M.O.Auezov South Kazakhstan State University. 5 Tauke Khan avenue, Shymkent, South Kazakhstan region, Kazakhstan 160012. Tel.: (7252)232413.

**Kuraev Rasim Muradovich**, student of the Technology of Electrothermal Production and Metallurgy Department, M.O.Auezov South Kazakhstan State University. 5 Tauke Khan avenue, Shymkent, South Kazakhstan region, Kazakhstan 160012. Tel.: (7252)300651.

**Stryukovskiy Il'ya Aleksandrovich**, student of the Technology of Electrothermal Production and Metallurgy Department, M.O.Auezov South Kazakhstan State University. 5 Tauke Khan avenue, Shymkent, South Kazakhstan region, Kazakhstan 160012. Tel.: (7252)300651.

*Поступила в редакцию 21 февраля 2013 г.*