

Код МРНТИ 53.31.21

*R.M. Zhdanov, M.S. Almagambetov, N.A. Ulmaganbetov, S.A. Laikhan
 LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan)

BRIQUETTING OF CORROSION-RESISTANT ELECTRICALLY CONDUCTIVE POWDER

Abstract. The article presents the results of laboratory and industrial tests on the production of briquettes from dispersed metal dust, captured by aspiration units during the crushing of high-carbon ferrochrome. Technological operations on crushing and fractionation are accompanied by formation of a certain amount of siftings and dispersed metal dust. The latter is captured by the dry aspiration system included in the crushing and screening complex. At the moment, dispersed metal dust or so-called corrosion-resistant electrically conductive powder at the Aktobe Ferroalloy Plant is utilized by remelting. The main and significant disadvantage of the method used at the plant is a high proportion of mechanical losses of corrosion-resistant electrically conductive powder during loading into the furnace and dust removal from the furnace itself in the remelting process. In order to reduce losses of corrosion-resistant electrically conductive powder during remelting, we have studied in detail the options and solutions of briquetting by several methods based on increasing the strength of briquettes. Laboratory tests were carried out, which made it possible to determine the agglomeration recipe. According to the results of which a variant was selected for production of industrial batch of briquettes from corrosion-resistant electrically conductive powder.

Key words: corrosion-resistant electrically conductive powder, chrome spinel powder, chrome ore, binder, briquetting, ligno, liquid glass.

Коррозияға төзімді электр тоғын өткізгіш ұнтақты брикеттеу

Аннотация. Мақалада жоғары көміртекті феррохромды ұсақтау кезінде аспирациялық қондырғылар ұстайтын дисперсті металл шаңынан брикеттер жасау бойынша зертханалық және өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелері көрсетілген. Ұсақтау және фракциялау бойынша технологиялық операциялар белгілі бір мөлшерде отрядтар мен дисперсті металл шаңының пайда болуымен қатар жүреді. Соңғысы ұсақтау-сұрыптау кешенінің құрамына кіретін құрғақ аспирация жүйесімен ұсталады. Қазіргі уақытта Ақтөбе феррохромды зауытында дисперсті металл шаң немесе коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақ балқыту жолымен кәдеге жаратылады. Зауытта қолданылатын әдістің негізгі және маңызды кемшілігі-балқыту процесінде пешке және пештің өзінен шаңсорғышқа тиеу кезінде коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтағының механикалық шығындарының жоғары үлесі. Балқыту кезінде коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтағының жоғалуын азайту мақсатында брикеттердің беріктігін арттыруға негізделген бірнеше тәсілмен брикеттеудің нұсқалары мен шешімдері егжей-тегжейлі зерттелді. Тұндыру рецептурасын анықтауға мүмкіндік беретін зертханалық зерттеулер жүргізілді. Нәтижелері бойынша Коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақтан жасалған брикеттердің өнеркәсіптік партиясын жасау үшін опция таңдалды.

Түйінді сөздер: коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақ, хром шпинель ұнтағы, хром кені, байланыстырғыш, брикеттеу, лигно, сұйық шыны.

Брикетирование коррозионностойкого электропроводного порошка

Аннотация. В статье изложены результаты лабораторных и промышленных испытаний по изготовлению брикетов из дисперсной металлической пыли, улавливаемой аспирационными установками во время дробления высокоуглеродистого феррохрома. Технологические операции по дроблению и фракционированию сопровождаются образованием определенного количества отсевов и дисперсной металлической пыли. Последняя улавливается системой сухой аспирации, входящей в состав дробильно-сортировочного комплекса. На текущий момент дисперсная металлическая пыль или так называемый порошок коррозионностойкий электропроводной на Актюбинском заводе ферросплавов утилизируется путем переплава. Основным и существенным недостатком применяемого на заводе способа является высокая доля механических потерь порошка коррозионностойкого электропроводного при загрузке в печь и собственно пылеунос из самой печи в процессе переплава. С целью уменьшения потерь порошка коррозионностойкого электропроводного во время переплава были детально изучены варианты и решения брикетирования несколькими способами, основанными на увеличении прочности брикетов. Проведены лабораторные испытания, позволившие определить рецептуру окускования. По результатам выбран вариант для наработки промышленной партии брикетов из порошка коррозионностойкого электропроводного.

Ключевые слова: порошок коррозионностойкий электропроводной, хромшпинельный порошок, хромовая руда, связующее, брикетирование, лигно, жидкое стекло.

Introduction

Corrosion-resistant electrically conductive powder (CRP) is dusty waste from crushing and fractionation of high-carbon ferrochrome (HFC), with a size class of 1 mm or less. More than 96% of the material is a powder with a grain size of less than 0.071 mm (Table 1).

aspiration dust from crushing of HFC, the annual volume of its formation at two ferroalloy plants (Aktobe and Aksu) is about 4500 tons.

Alluvial processing of CRP by remelting is associated with significant mechanical losses during loading into the furnace, oxidation and dust carryover into the gas cleaning system. According to estimates, the losses amount to 15-20% of the total annual volume of CRP formation. Taking this into account, there is a need to minimize or exclude such losses by rational methods of their recycling. One of quite simple and widespread ways of dispersed materials utilization is briquetting by semi-dry pressing method and further remelting of the obtained briquettes [1-2].

Table 1

Fractional composition of CRP

Кесте 1

КТҰ фракциялық құрамы

Таблица 1

Фракционный состав ПКЭ

Fraction, mm	Content, %
+0,2	0,07
-0,2 – 0 ,16	0,14
-0,16 – 0,125	0,31
-0,125 – 0,071	2,75
-0,071	96,73

Methods

The laboratory of metallurgy determined the optimal composition of the mixture for briquette formation, as well as selected the type and amount of binder material. Two materials were determined as a binder: sodium liquid glass (LG) produced by the Aktobe Ferroalloy Plant and Ligno polymer binder. Due to poor adhesion associated with low wettability CRP were selected variants of mixtures using different inert materials. In the first case poor dust of bag filters of gas purifiers of smelting shop No.1, chrome-spinel powder (CSP-01), in the second case chrome ore of RH-2 grade, which is universally used in all smelting shops of the Aktobe Ferroalloy Plant,

Processing of this dust into marketable products is an urgent task of involvement in metallurgical processing of technogenic raw materials. An open issue is the effective utilization of

was used. Further all variants of mixtures for briquetting were summarized in Table 2.

Table 2
The result of the splitting strength of briquettes

Кесте 2
Брикetterдің бөліну беріктігінің нәтижесі

Таблица 2
Результат прочности брикетов на раскол

No. of mix variant	Materials	Binder type	Binder consumption, %
1	CRP	LG	6
2	CRP	LG	8
3	CRP	Ligno	3
4	CRP	Ligno	4
5	CRP	LG / Ligno	3:3*
6	CRP	LG / Ligno	4:4
7	CRP + RH-2 (80/20)	LG	6
8	CRP + RH-2 (80/20)	LG	8
9	CRP + CSP-01 (80/20)	LG	6
10	CRP + CSP-01 (80/20)	LG	8
11	CRP + RH-2 (80/20)	Ligno	3
12	CRP + RH-2 (80/20)	Ligno	4
13	CRP + CSP-01 (80/20)	Ligno	3
14	CRP + CSP-01 (80/20)	Ligno	4
15	CRP + RH-2 (80/20)	LG / Ligno	3
16	CRP + RH-2 (80/20)	LG / Ligno	4
17	CRP + CSP-01 (80/20)	LG + Ligno	3:3
18	CRP + CSP-01 (80/20)	LG + Ligno	4:4

*- consumption LG 3%: consumption Ligno 3%

The introduction of inert fillers in the form of CSP-01 and ore did not lead to an increase in particle cohesion during the briquetting process for the variants where liquid glass was used as a binder. At the same time, a positive effect was obtained in the variants where Ligno was used. After dosing the components of the charge according to table 3, dry mixing was carried out in a mixer until the mixture was completely averaged. The resulting mixture was then moistened and continued mixing until a homogeneous consistency was obtained. Moisture was varied between 3-5% of the weight of dry material. The prepared mixture was poured into a mold (d channel – 30 mm) and briquetted on a press model IP-1000-1 with a compression force of 30 kN per briquette (with a calculated force of 425 kg per 1 cm²). The obtained briquettes were subjected to forced drying at a temperature of 120°C for 3 hours. At the

end of drying, the briquette splitting strength was measured [3-4].

It should be noted that when briquetting mixtures on pure CRP (variants №1-6), regardless of the type of binder had extremely low raw strength and easily destroyed. Increasing the compression force led to the appearance of deep transverse cracks and breaks, indicating over compression. This is clearly demonstrated in figure 1.



Figure 1. Appearance of briquettes.
Сурет 1. Брикetterдің сыртқы түрі.
Рис. 1. Внешний вид брикетов.

The introduction of inert fillers in the form of CSP-01 and RH-2 did not lead to the stabilization of the briquetting process for the variants where liquid glass was used (mixture #7-10). In the remaining variants the addition of inert fillers had a positive effect (mixtures №11-18). The results of measurements of strength characteristics (for the obtained) briquettes for the variants of mixtures are given in table 3.

According to Table 3, briquettes of almost all variants have high mechanical strength, with the required 150 kg/briquette for briquetted chromium raw material (according to TR 03-31-2021 «Production of briquettes from chromium concentrate»). However, attention should be paid to briquettes with maximum raw strength values, because the higher the raw briquette strength values, the higher the dry briquette strength. For carrying out pilot tests, it is necessary to choose variants of mixtures with maximum strength indices, as the briquetting equipment of Aktobe Ferroalloy Plant provides for a high proportion of mechanical impact on the raw briquettes (screening, manual laying of raw briquettes). Mixtures No.2 and No.4 with a combination of CRP, CSP or chrome ore using Ligno polymer binder meet these conditions [5].

We tested only the mixture based on CRP and CSP-01 in the amount of 30-50 kg, because the experiments on the roller press showed that coarse-grained ore negatively affects the briquette forming. The ready mixture was poured onto the molding plate of the press with the pressed briquette in the form of a brick with the size of 250 × 120 × 90 mm. The briquettes were sufficiently strong in the raw form without microcracks and delaminations [7-8].

The industrial batch of briquettes was produced according to the following methodology. First, CRP, CSP-01 and binder were weighed separately using platform scales. Then the weighed materials were poured into the casting mixer (Fig. 2) and its lid was closed to prevent dusting. Then the electric drive was switched on and dry mixing of the mixture components was carried out for 5 minutes. Upon completion of dry

The result of the splitting strength of briquettes

Table 3

Брикеттердің бөліну беріктігінің нәтижесі

Кесте 3

Результат прочности брикетов на раскол

Таблица 3

No. of mix variant	Composition	Binder, %		W, %	Molding force, kN	Raw splitting strength, kgs/ briquette	Splitting strength after drying 120 °C, 3h, kgs/briquette
		Ligno	LG				
11	CRP-RH-2 (80:20)	3	0	5	30	35	318
12	CRP-RH-2 (80:20)	4	0	5		38	388
13	CRP+CSP-01 (80:20)	3	0	5		34	297
14	CRP+CSP-01 (80:20)	4	0	5		41	505
15	CRP-RH-2 (80:20)	3	3	3		27	182
16	CRP-RH-2 (80:20)	4	4	3		32	432
17	CRP + CSP-01 (80:20)	3	3	4		26	149
18	CRP + CSP-01 (80:20)	4	4	4		31	354

mixing, the mixer was turned off and water was poured in to moisten the mixture. After pouring water again closed the lid of the mixer and re-mixed the moistened mass for 5-7 minutes. The amount of materials for one mixing was: CRP – 400 kg, CSP-01 – 100 kg, ligno – 20 kg and water 25 liters.



Figure 2. Foundry mixer.
Сурет 2. Құю араластырғыш.
Рис. 2. Смеситель литейный.

Raw briquettes (brick-shaped) after molding were transferred into special pallets, then the pallets were placed on technological carts and rolled into a tunnel kiln for drying. Drying of briquettes in the oven was carried out at a temperature of 150 °C for 16 hours. The appearance of dried briquettes is shown in Figure 3a. For convenience of further processing (remelting), taking into account the geometric dimensions of the necks of the feed pockets of furnace No.39, the briquettes were broken into several pieces and packed into big bags (Fig. 3b) for transportation to the melting section of the shop [9-10].

Results

The obtained strength values of dried briquettes are sufficient for metallurgical processing (Table 4). As practice shows, such briquettes can withstand multiple overspills and

drops during transportation to the smelting furnace with minimal formation of fines.



Figure 3. Appearance of dried and packaged briquettes: a) briquettes after drying; b) briquettes after packing in big bags.

Сурет 3. Кептірілген және оралған брикеттердің сыртқы түрі: а) кептіруден кейінгі брикеттер; б) биғ-бәзге ораудан кейінгі брикет.
Рис. 3. Внешний вид высушенных и упакованных брикетов: а) брикеты после сушки; б) брикеты после упаковки в биғ-бәзги.

Strength of briquettes after drying at 150 °C for 5 hours

Table 4

5 сағат бойы 150 °C температурада кептірілгеннен кейін брикеттердің беріктігі

Кесте 4

Прочность брикетов после сушки при 150 °C в течение 5 часов

Таблица 4

Mix composition	Ligno, %	Strength, kg/cm ²
CRP+CSP-01 (80:20)	4	293,67
		276,34
		281,12

Conclusions

The technology of CRP briquetting has been worked out on an industrial scale. It was determined that the optimal type of binder material is Ligno polymer binder with a consumption of 4% (dry) at a mixture moisture content of no more than 5%. Briquettes, without visible microcracks, are obtained with the

addition of CSP-01. The obtained briquettes fully meet the needs of production in terms of their qualitative characteristics. Solving the issue of reducing the geometric dimensions of briquettes produced on a hydraulic press in the vacuum-thermal department of melting shop No. 1 will allow them to be fed into the melting furnace without an additional crushing procedure.

REFERENCES

1. Utilizatsiya i rekuperatsiya otkhodov: Uchebnoe posobie, izdanie 2-e, ispravlennoe i dopolnennoe. / M.E. Krasnyansky. Kharkiv: Burun Kniga, 2007, 265 s. [Waste disposal and recovery: Textbook, 2nd edition, revised and expanded. / M.E. Krasnyansky. Kharkiv: Burun Book. 2007. 265 p.] (in Russian)
2. Dubovets D.S. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya metallosoderzhashchei pyli aspiratsionnykh ustanovok v kachestve vtorichnogo syr'ya liteino-plavil'nogo proizvodstva. // Zhurnal Sci-article. 2020. №88. S. 58-64 [Study of the possibility of using metal-containing dust from aspiration units as a secondary raw material for foundry and smelting production. // Sci-article magazine. 2020. №88. P. 58-64] (in Russian)
3. A.s. 1156806 SSSR. Sposob prigotovleniya zhidkostekol'nogo svyazuyushchego dlya izgotovleniya liteinykh form i sterzhnei. / Shadrin N.I., Volokita V.Ya., Kuchmiy N.I. i dr.; opubl. 1989. Byull. №35 [C.c. 1156806 USSR. A method for preparing a liquid glass binder for the manufacture of foundry molds and cores. / Shadrin N.I., Volokita V.Ya., Kuchmiy N.I. and etc.; publ. 1989. Bulletin. №35] (in Russian)
4. Kukuy D.M. Issledovanie modifitsirovaniya vodnykh rastvorov silikata natriya neorganicheskimi materialami: Sb. Minsk: Metallurgiya, 1984, S. 76-78 [Kukuy D.M. Study of modification of aqueous solutions of sodium silicate with inorganic materials: Coll. Minsk: Metallurgy, 1984, P. 76-78] (in Russian)
5. Korneev V.I. Zhidkoe i rastvorimoe steklo: SPb.: Stroiizdat, 1996, S. 216 [Korneev V.I. Liquid and soluble glass: St. Petersburg: Stroyizdat, 1966, P. 216] (in Russian)
6. Zhang G. Review of briquette binders and briquetting mechanism. / G. Zhang, Y. Sun, Y. Xu. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. P. 477-487 (in English)
7. Elishevich A.T. E 51. Briketirovanie poleznykh iskopaemykh: Uchebnik dlya vuzov. M.: Nedra, 1989, S. 300 [Briquetting of minerals: Textbook for universities. M.: Nedra, 1989. – P. 300] (in Russian)
8. V.A. Noskov, V.I. Bolshakov, B.N. Maymur, E.V. Lapin, V.I. Olshansky. Opytno-promyshlennoe proizvodstvo briketov iz otsefov ferrosplavov na NZF. // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2004. №1. S. 3 [Pilot production of briquettes from ferroalloy screenings at NZF. // Metallurgical and mining industry. 2004. №1. P. 3] (in Russian)
9. Hasan T. Finite element analysis of briquetting of iron ore fines. / T. Hasan, C. Li, Y. Shen, A. Yu., R. Yang. // Powder Technology. 2019. Vol. 353. P. 398-408 (in English)
10. Khudyakov A. Optimization of briquetting technology of fine-grained metallurgical materials based on statistical models of compressibility. / A. Khudyakov, S. Vashchenko, K. Baiul, Y. Semenov, P. Krot. // Powder Technology. 2022. Vol. 412. A. 118025. P. 1-12 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қалдықтарды қайта өңдеу және қалпына келтіру: Оқулық, 2-ші басылым, қайта қаралған және кеңейтілген. / М.Е.Краснянский. Харьков: Бурун кітабы, 2007. 265 б (орыс тілінде)
2. Дубовец Д.С. Аспирациялық қондырғылардың құрамында металды бар шаңды құю және балқыту өндірісі үшін қайталама шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігін зерттеу. // Ғылыми мақала журналы. 2020. №88. Б. 58-64 (орыс тілінде)
3. А.к. 1156806 КСРО. Құю қалыптары мен өзектерді дайындау үшін сұйық шыны байланыстырғышты дайындау әдісі. / Шадрин Н.И., Волокита В.Я., Кучмий Н.И. және т.б.; баспа. 1989, Бюлл. №35 (орыс тілінде)
4. Кукуй Д.М. Натрий силикатының сулы ерітінділерін бейорганикалық материалдармен модификациялауды зерттеу: Ст. Минск: Metallurgiya, 1984, Б. 76-78 (орыс тілінде)
5. Корнеев В.И. Сұйық және еритін шыны: СПб.: Стройиздат, 1996, Б. 216 (орыс тілінде)
6. Чжан Г. Брикетті байланыстырғыштар мен брикеттеу механизміне шолу. / Г. Чжан, Ю. Сунь, Ю. Сюй. // Жаңартылатын және тұрақты энергия көздеріне шолулар. 2018. Т. 82. Б. 477-487 (ағылшын тілінде)
7. Елишев А.Т. Е 51. Пайдалы қазбаларды брикеттеу: ЖОО-ға арналған оқулық. М.: Недра, 1989, Б. 300 (орыс тілінде)
8. Носков В.А. NZF-де ферроқорытпа сүзгілерінен брикеттерді тәжірибелік өндіру. / В.А. Носков, В.И. Большаков, Б.Н. Маймур, Е.В. Лапин, В.И. Ольшанский. // Metallurgiya және тау-кен өнеркәсібі. 2004. №3. Б. 3 (орыс тілінде)

9. Хасан Т. Темір рудасының ұсақ бөлшектерін брикеттеудің ақырлы элементтерді талдауы. / Т. Хасан, Ч. Ли, Я. Шен, А. Ю, Р. Ян. // Ұнтақты технологиялар. 2019. Т. 353. Б. 398-408 (ағылшын тілінде)
10. Худяков А. Сығылудың статистикалық үлгілері негізінде ұсақ түйіршікті металлургиялық материалдар үшін брикеттеу технологиясын оңтайландыру. / А. Худяков, С. Ващенко, К. Баюл, Ю. Семенов, П. Крот. // Ұнтақты технологиялар. 2022. Т. 412. А. 118025. Б.1-12 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Утилизация и рекуперация отходов: Учебное пособие, издание 2-е, исправленное и дополненное. / М.Е. Краснянский. Харків: Дубовец Д.С. Исследование возможности использования металлосодержащей пыли аспирационных установок в качестве вторичного сырья литейно-плавильного производства. // Журнал Sci-article. 2020. №88. С. 58-64 (на русском языке)
3. А.с. 1156806 СССР. Способ приготовления жидкостекольного связующего для изготовления литейных форм и стержней. / Шадрин Н.И., Волокита В.Я., Кучмий Н.И. и др.; опубл. 1989. Бюлл. №35 (на русском языке)
4. Кукуй Д.М. Исследование модифицирования водных растворов силиката натрия неорганическими материалами: Сб. Минск: Металлургия, 1984, С. 76-78 (на русском языке)
5. Корнеев В.И. Жидкое и растворимое стекло: СПб.: Стройиздат, 1996, С. 216 (на русском языке)
6. Чжан Г. Обзор связующих для брикетов и механизма брикетирования. / Г. Чжан, Ю. Сунь, Ю. Сюй. // Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии. 2018. Т. 82. С. 477-487 (на английском языке)
7. Елишевич А.Т. Е 51. Брикетирование полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1989, С. 300 (на русском языке)
8. Носков В.А. Опытно-промышленное производство брикетов из отсевов ферросплавов на НЗФ. / В.А. Носков, В.И. Большаков, Б.Н. Маймур, Е.В. Лапин, В.И. Ольшанский. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. №3. С. 3 (на русском языке)
9. Хасан Т. Конечный-элементный анализ брикетирования мелочи железной руды. / Т. Хасан., Ч. Ли, Я. Шен, А. Ю, Р. Ян. // Порошковые технологии. 2019. Т. 353. С. 398-408 (на английском языке)
10. Худяков А. Оптимизация технологии брикетирования мелкозернистых металлургических материалов на основе статистических моделей сжимаемости. / А. Худяков, С. Ващенко, К. Баюл, Ю. Семенов, П. Крот. // Порошковые технологии. 2022. Т. 412. А. 118025. С.1-12 (на английском языке)

Information about the authors:

Zhdanov R.M., Bachelor of metallurgy, 2-nd category engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Renat.Zhdanov@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0009-8372-8227>

Almagambetov M.S., Candidate of technical sciences, head of metallurgy laboratory LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Maral.Almagambetov@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0005-5501-1385>

Ulmaganbetov N.A., Master of technical sciences, 1-st category engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4747-9381>

Laikhan S.A., Master of technical sciences, engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Salamat.Laikhan@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6847-4075>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жданов Р.М., металлургия бакалавры, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының 2 категориялық инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Алмагамбетов М.С., техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының басшысы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Улмаганбетов Н.А., металлургия магистрі, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының 1 категориялық инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Лайхан С.А., металлургия магистрі, ЖШС ERG «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Информация об авторах:

Жданов Р.М., Бакалавр металлургии, инженер-технолог 2 категории лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Алмагамбетов М.С., кандидат технических наук, начальник лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Улмаганбетов Н.А., магистр металлургии, инженер-технолог 1 категории лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Лайхан С.А., магистр металлургии, инженер-технолог лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)