

DEOXIDATION OF HIGH-CARBON FERROCHROME WITH ALUMINIUM DURING CASTING TO REDUCE THE FORMATION OF FINE FRACTIONS

ZHAILYKANOV M.A.^{*ib}, USSENOV A.A.^{ib}

***Zhailykanov Maksat Aralbayevich** - Production support manager, smelting shop № 1, master's degree student, Aktobe Ferroalloys Plant - a branch of JSC «TNK «Kazchrome», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: Maksat.Zhailykanov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8031-0011>

Usenov Akulan Almasovich - Production support manager, smelting shop № 1, Aktobe Ferroalloys Plant - a branch of JSC «TNK «Kazchrome», Aktobe, Kazakhstan

E-mail: akulan.usenov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5268-2065>

Abstract. The article investigates the possibility of reducing the yield of the fine fraction (0-10 mm) during the crushing of high-carbon ferrochrome. The relevance of the study is due to the fact that an increased amount of fines deteriorates technological performance, increases metal losses, and reduces the output of commercial product. Pilot industrial trials were conducted to study the effect of deoxidation of liquid ferrochrome with secondary aluminum of grade AV87 under a standard casting scheme. Changes in ingot structure, crystallization conditions, and the material's tendency to crack formation were evaluated. The influence of specific aluminum consumption on ingot formation and the subsequent generation of fine size fractions during crushing was analyzed. It was established that deoxidation contributes to a reduction in gas content and an increase in ingot density, which decreases the proportion of brittle fracture. Based on the results of the trials, an optimal range of aluminum consumption was determined, ensuring minimal fines yield and stable process parameters. The obtained results can be used to improve the casting technology of high-carbon ferrochrome under industrial conditions.

It was noted that the use of aluminum deoxidation does not require significant changes to the existing casting technology and can be implemented without substantial capital investment, thereby improving the economic efficiency of ferrochrome production and enhancing the overall quality of commercial products in metallurgical industry conditions.

Thus, optimization of aluminum consumption makes it possible to regulate deoxidation and crystallization processes, reducing internal defects and improving the structural homogeneity of ingots in industrial metallurgical practice.

Key words: high-carbon ferrochrome, aluminum, deoxidation, particle size distribution, mold.

Introduction

The problem of fine fraction formation is one of the significant challenges across many industrial sectors, including the mining and metallurgical complex. This issue remains relevant for enterprises of JSC «TNK «Kazchrome» at various stages of raw material processing - during the preparation of ore materials, the production of special coke, and especially during ferroalloy smelting. An increased amount of fines negatively affects technological performance, reduces the yield of the final product, and consequently increases its production cost.

Among ferroalloys, high-carbon ferrochrome (HC FeCr) is of particular importance as it is the main carrier of chromium in the production of stainless and corrosion-resistant steels. The production of this alloy involves the high-temperature reduction of chromium-containing raw materials, resulting in the formation of complex multiphase structures and eutectic formations in the metal. Their characteristics are determined by the composition of the charge materials, smelting temperature conditions, and the cooling regime of the melt [1; 2].

The technological scheme for ferrochrome production includes several consecutive stages: preparation of charge components, alloy smelting, crushing, and size classification of the final product [3]. The finished marketable ferroalloy must meet established requirements not only in terms of chemical composition but also in terms of granulometric characteristics. While ensuring the required chemical composition generally does not present significant difficulties, achieving maximum yield of marketable size fractions remains one of the key production challenges [4].

The aim of this study is to investigate the reduction of the 0-10 mm size fraction formation during the crushing and classification of HC FeCr. Based on the above, it is planned to confirm through industrial-scale trials (hereinafter referred to as IST) the technological feasibility of reducing fine fraction formation of HC FeCr by applying aluminum during standard casting practice [5, 160].

Materials and methods of research

Secondary aluminum grade AV87 (GOST 295-98) was used for the experiments, and its chemical composition is presented in table 1. The weight of a single aluminum ingot is approximately 6 kg. To break the aluminum ingots into pieces with a size of approximately 20-100 mm, they were placed on top of a hot high-carbon ferrochrome (HC FeCr) ingot.

Table 1. Chemical Composition of Secondary Aluminum AV87

Grade	Mass fraction, %							
	Total Al and Mg, not less than	including Mg, not more than	impurities, not more than					Total
			Cu	Zn	Si	Pb	Sn	
AV87	87,0	3,0	3,8	3,3	5,0	0,3	0,2	13,0

The melting point of pure aluminum (Al) is 660 °C. Secondary aluminum of grade AV87 contains impurities such as copper (Cu), zinc (Zn), silicon (Si), and magnesium (Mg). Among these elements, magnesium is the most reactive with respect to oxygen. The melting points of magnesium and zinc are lower than that of aluminum, while copper and silicon have melting points above 1000 °C. However, within the concentration ranges present in secondary aluminum, all of these elements reduce the melting point of the alloy.

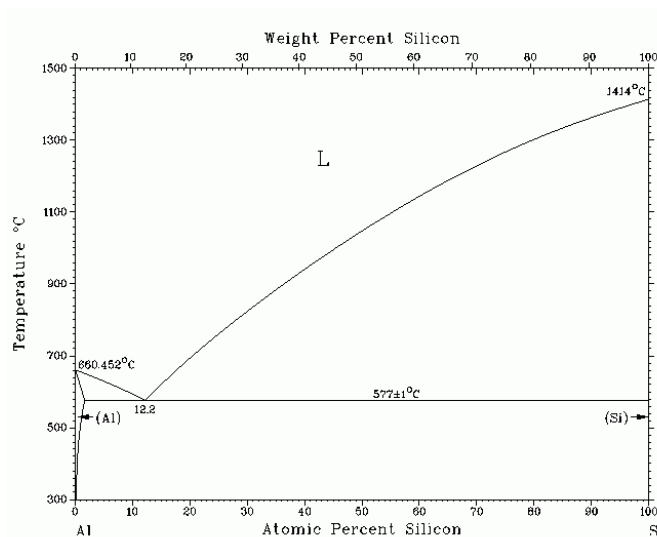


Figure 1. Phase diagram of the Al-Si system [4,5]

According to the technological directive, Furnace №. 13 was selected for the tests. The current casting method used in the shop предусматривает a cascade arrangement of cast-iron molds charged with screenings. Pouring is carried out through a ladle siphon (or spout) into the first mold. After the first mold is filled, the molten ferrochrome flows into the second mold, and so on up to the fourth mold. The working surfaces of the molds are предварительно lined with a sufficient amount of screenings.

For the treatment of molten ferrochrome with aluminum using the adopted method, it is necessary that the ferrochrome be poured from the ladle directly into each individual mold. In this case, a specified amount of aluminum pieces of the required weight is placed at the bottom of each mold pre-filled with screenings. The choice of this aluminum addition method is dictated by safety considerations, as well as by the fact that intense mixing of the metal occurs in the mold due to the

kinetic energy of the stream, which in turn creates more optimal conditions for treating the entire melt with aluminum at a controlled specific consumption of the deoxidizer.

Before pouring, the cast-iron molds were lined with screenings of high-carbon ferrochrome, forming approximately the same cavity depth and rim height, which shape the HCFerCr ingot. This is necessary to ensure that each mold can accommodate approximately the same amount of molten ferrochrome. After charging the screenings, crushed aluminum pieces were placed at the bottom of each mold in a predetermined quantity.

Results and its discussion

The tests on the deoxidation of molten ferrochrome using the described HCFerCr casting method and aluminum addition were carried out over eight days. The aluminum consumption was varied daily to determine its optimal value. The aluminum consumption for the standard casting scheme is presented in table 2.

Table 2. Consumption of Secondary Aluminum

Deoxidation Schedule	Aluminum Consumption per 2 Tons of Molten Ferrochrome*, kg	Aluminum Consumption per 1 Ton of Chromium, kg
Day 1	1	0,72
Day 2	1,25	0,9
Day 3	1,5	1,08
Day 4	1,75	1,26
Day 5	2	1,44

* Assuming that one tap equals 8 tons, and one ingot equals 2 tons of ferrochrome.

Throughout the entire testing period for the deoxidation of molten ferrochrome with aluminum using the standard casting scheme, 15 shifts were completed. The parameters of Stage 1 are presented in Table 3.

Table 3. Parameters of Stage 1 of the Deoxidation Tests

№	Parameters	Units of measurement:	Quantity
1	Cast heats	pcs	60
2	Weight of molten metal	kg	486 740
3	Aluminum consumed	kg	324
4	Screenings used for bedding	kg	81 200
5	Total weight of melt and screenings	kg	567 940

Table 4 presents the results of weighing the initial and fractionated metal. Based on the obtained results, a graph was plotted showing the amount of fines formed as a function of the carbon content in ferrochrome.

As can be seen from Figure 2 and Table 4, during the crushing of FH850-grade ingots, the fines content ranged from 25.61% to 28.76%. The weighted average yield of fines for this grade was 26.79%.

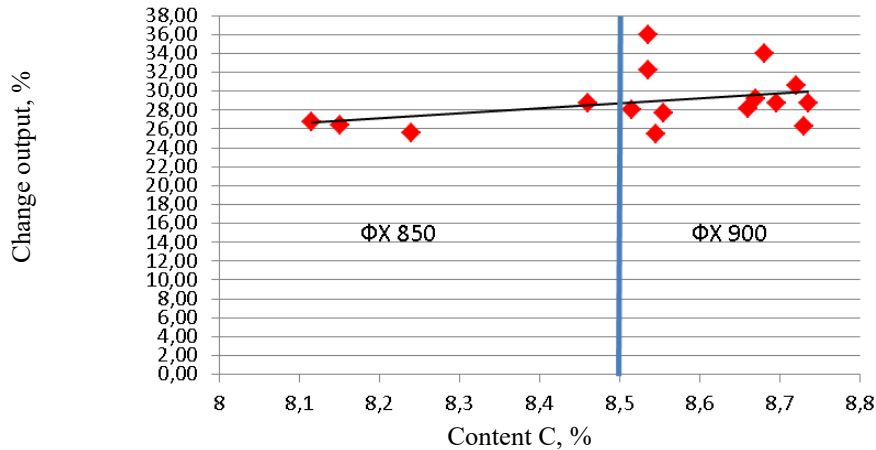


Figure 2. Dependence of the formation of the 0-10 mm fraction on the carbon content in deoxidized ferrochrome

Table 4. Crushing Results of High-Carbon Ferrochrome After Deoxidation with Aluminum

C, %	Al consumption, kg/t Cr	Weight of fractionated metal, kg	Total yield of 0–10 mm fraction, %
8,15	0,72	36420	26,39
8,24		36630	25,61
8,12		33760	26,72
8,46	0,9	30460	28,76
8,56		34610	27,74
8,52		35960	28,09
8,55	1,08	13720	25,51
8,7		30950	29,18
8,74		34400	28,75
8,66	1,26	32500	28,18
8,72		26910	30,58
8,68		33840	33,95
8,54	1,44	19900	35,93
8,70		27070	28,78
8,73		36300	26,25

At the beginning of the experiment, during the first four shifts, FH850-grade metal was actually produced with an aluminum consumption for deoxidation of 0.72 kg/t of chromium. At this stage, the effect of aluminum addition on the yield of fines was insignificant.

Subsequent heats of FH900-grade metal with aluminum additions ranging from 1.1 to 1.44 kg per 1 ton of chromium showed similar fines yield values during fractionation, except for the results obtained with the crusher jaws of the secondary crushing unit set to their minimum gap.

It should be noted that at an aluminum consumption of 1.1 kg/t of chromium, a comparatively lower formation of fines was recorded at a higher carbon content (8.55-8.74%). Thus, based on the conducted tests, the optimal aluminum consumption for deoxidation of HCFeCr is 1.1 kg/t of chromium.

Conclusion

Pilot industrial trials were carried out on the deoxidation of HCFeCr with aluminum using the standard casting scheme.

For effective deoxidation of HCFeCr, it is necessary to use aluminum pieces with a size not exceeding 70 mm.

Based on the results of the tests, the optimal aluminum consumption for HCFeCr deoxidation was determined to be 1.1 kg/t of chromium.

The addition of aluminum maintains a portion of the ferrochrome ingot surface in a molten state due to the exothermic nature of the reaction between aluminum and atmospheric oxygen. This, in turn, slows down the crystallization rate of local areas, thereby creating favorable conditions for

gas escape from the ingot body.

With the standard casting method and aluminum deoxidation of FH900-grade metal, the weighted average yield of fines at average crusher discharge gap settings did not exceed 28%, which is a comparatively lower value than that observed in the standard casting technology (29.5%).

References

1. Bazhirov T.S., Procenko V.S., Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Serikbaev B.E., Bazhirova K.N. Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya shlakovykh othodov proizvodstva ferrohroma dlya polucheniya zharostojkih materialov. Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Seriya himii i tekhnologii. 2020. № 6. S. 111–119.
2. Kaliakparov A.G., Baltabaev S.R., Strahov V.M., Muhtar A.A. Proizvodstvo vysokouglerodistogo ferrohroma s ispol'zovaniem antracita. Metallurg. 2018. T. 61. № 9–10. S. 765–769.
3. Salkynbaev B.ZH., Ulmaganbetov N.A., Dosekenov M.S., Lazhan S.A. Optimizaciya uzla drobleniya plavil'nogo cekha №4 Aktyubinskogo zavoda ferrosplavov. Vestnik Aktyubinskogo regional'nogo universiteta imeni K. ZHubanova. 2023. №3 (73). S. 22–30.
4. Hansen M., Anderko K. Struktury dvojnih splavov. M.: Metallurgiya, 1962. 608 s.
5. SHank F. Struktury dvojnih splavov. M.: Metallurgiya, 1973. 760 s.

Әдебиеттер тізімі

1. Бажиров Т.С., Проценко В.С., Бажиров Н.С., Даулетияров М.С., Серикбаев Б.Е., Бажирова К.Н. Перспективы комплексного использования шлаковых отходов производства феррохрома для получения жаростойких материалов. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. 2020. №6. С. 111–119.
2. Калиакпаров А.Г., Балтабаев С.Р., Страхов В.М., Мухтар А.А. Производство высокоуглеродистого феррохрома с использованием антрацита. Metallurg. 2018. Т. 61. №9–10. С. 765–769.
3. Салкынбаев Б.Ж., Улмаганбетов Н.А., Досекенов М.С., Лажан С.А. Оптимизация узла дробления плавильного цеха №4 Актюбинского завода ферросплавов. Вестник Актюбинского регионального университета имени К. Жубанова. 2023. №3 (73). С. 22–30.
4. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М.: Metallurgiya, 1962. 608 с.
5. Шанк Ф. Структуры двойных сплавов. М.: Metallurgiya, 1973. 760 с.

МАЙДА ФРАКЦИЯЛАРДЫҢ ТҮЗІЛУІН АЗАЙТУ МАҚСАТЫНДА ҚҰЮ КЕЗІНДЕ ЖОҒАРЫ КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОХРОМДЫ АЛЮМИНИЙМЕН ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ

ЖАЙЛЫКАНОВ М.А. , **ҮСЕНОВ А.А.** 

***Жайлыканов Максат Аралбаевич** - №1 балқыту цехының өндірісті қолдау менеджері, магистрант, Ақтөбе феррокорытпа зауыты - филиал АҚ «ТҰК «Казхром», Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: Maksat.Zhailykanov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8031-0011>

Үсенов Ақұлан Алмасович - №1 балқыту цехының өндірісті қолдау менеджері, Ақтөбе феррокорытпа зауыты - филиал АҚ «ТҰК «Казхром», Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: akulan.ussenov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5268-2065>

Аңдатпа. Мақалада жоғары көміртекті феррохромды ұсақтау кезінде майда фракцияның (0-10 мм) шығымын азайту мүмкіндігі зерттелген. Зерттеудің өзектілігі майда фракция көлемінің артуы технологиялық көрсеткіштердің нашарлауына, металл шығындарының көбеюіне және тауарлық өнім шығымының төмендеуіне алып келетіндігімен түсіндіріледі. Стандартты құю сызбасы жағдайында сұйық феррохромды АВ87 маркалы екінші реттік алюминиймен тотықсыздандырудың әсерін зерттеу мақсатында тәжірибелік-өнеркәсіптік

сынақтар жүргізілді. Құйманың құрылымындағы өзгерістер, кристалдану жағдайлары және материалдың жарықшақ түзілуіне бейімділігі бағаланды. Алюминийдің меншікті шығынының құйма түзілуіне және кейіннен ұсақтау барысында майда фракциялардың түзілуіне әсері талданды. Зерттеу нәтижесінде тотықсыздандырудың газ мөлшерін азайтып, құйманың тығыздығын арттыратыны, соның нәтижесінде морт сыну үлесінің төмендейтіні анықталды. Сынақ нәтижелері негізінде майда фракция шығымын барынша азайтып, технологиялық параметрлердің тұрақтылығын қамтамасыз ететін алюминий шығынының оңтайлы аралығы белгіленді. Алынған нәтижелер өндірістік жағдайларда жоғары көміртекті феррохромды құю технологиясын жетілдіру үшін қолданылуы мүмкін. Сондай-ақ алюминиймен тотықсыздандыруды қолдану қолданыстағы құю технологиясына елеулі өзгерістер енгізуді талап етпейтіні және айтарлықтай күрделі қаржы салымдарынсыз жүзеге асырылатыны атап өтілді. Бұл феррохром өндірісінің экономикалық тиімділігін арттыруға және металлургия өнеркәсібіндегі тауарлық өнім сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Осылайша, алюминий шығынын оңтайландыру тотықсыздандыру және кристалдану процестерін реттеуге, ішкі ақауларды азайтуға және өндірістік металлургиялық тәжірибеде құймалардың құрылымдық біртектілігін жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жоғары көміртекті феррохром, алюминий, тотықсыздандыру, гранулометриялық құрам, калып.

РАСКИСЛЕНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА АЛЮМИНИЕМ ПРИ РАЗЛИВКЕ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ

ЖАЙЛЫКАНОВ М.А. , УСЕНОВ А.А. 

*Жайлыканов Максат Аралбаевич - Менеджер плавильного цеха №1, магистрант, Актюбинский завод ферросплавов - филиал АО «ТНК «Казхром», Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», г. Ақтөбе, Қазақстан.

E-mail: Maksat.Zhailykanov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8031-0011>

Усенов Ақұлан Алмасович - Менеджер плавильного цеха №1, Актюбинский завод ферросплавов - филиал АО «ТНК «Казхром», г. Ақтөбе, Қазақстан.

E-mail: akulan.ussenov@erg.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5268-2065>

Аннотация. В статье исследована возможность снижения выхода мелкой фракции (0-10 мм) при дроблении высокоуглеродистого феррохрома. Актуальность исследования обусловлена тем, что увеличение количества мелочи ухудшает технологические показатели, повышает потери металла и снижает выход товарной продукции. С целью изучения влияния раскисления жидкого феррохрома вторичным алюминием марки АВ87 в условиях стандартной схемы разлива были проведены опытно-промышленные испытания. Оценены изменения структуры слитка, условий кристаллизации и склонности материала к образованию трещин. Проанализировано влияние удельного расхода алюминия на формирование слитка и последующее образование мелких фракций при дроблении. В результате исследования установлено, что раскисление способствует снижению содержания газов и повышению плотности слитка, вследствие чего уменьшается доля хрупкого разрушения. На основе результатов испытаний определен оптимальный диапазон расхода алюминия, обеспечивающий минимальный выход мелкой фракции и стабильность технологических параметров. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологии разлива высокоуглеродистого феррохрома в промышленных условиях. Также отмечено, что применение алюминиевого раскисления не требует существенных изменений существующей технологии разлива и может быть реализовано без значительных капитальных вложений. Это позволяет повысить экономическую эффективность производства феррохрома и улучшить качество товарной продукции в условиях металлургической промышленности. Таким образом, оптимизация расхода алюминия позволяет регулировать процессы раскисления и кристаллизации, снижать внутренние дефекты и повышать структурную однородность слитков в промышленной металлургической практике.

Ключевые слова: высокоуглеродистый феррохром, алюминий, раскисление, гранулометрический состав, изложница.